



เอกสารผลงาน

ผู้ขอดำรงตำแหน่งทางวิชาการ รองศาสตราจารย์

น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง

โดยวิธี ปกติ

ในสาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (รหัส ๐๑๐๗)

ประเภทผลงานวิชาการ

งานวิจัย จำนวน ๕ เรื่อง

ผลงานวิชาการลำดับที่ ๑

ประเภท : งานวิจัย

รูปแบบ : บทความวิจัย

เรื่อง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูล

ผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยาน

สำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาเวอากาศ

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มิ.ย. 64

Contents

บทความวิจัย

- การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารเมื่อใช้วัสดุปิดผิวที่ต่างกันโดยใช้ระเบียบวิธีของแถว
วรารณ พูลจันทร์ เทียนสิริ เหลืองวิไล วีระพล วิลามาศ สมภูมิ มีชานา สุภาวดี สีสายุทธ และ สามารถ หมดและ
การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือทดสอบความชื้นน้ำของดินสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ
พนิต รัตนปรมากุล และ วาริส บัวขาว
การวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก
โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล
อิทธิ ยุทธยานนท์ วันชัย เจียจันทร์ และ อธิพันธ์ วงศ์กังแห
การคำนวณชั้นขีดผิวแบบลามินาร์บนผิวแพนอากาศ
สุภาพ เพ็งมาก และ ไชยบูรณ์ สุขประเสริฐ
แบบจำลองภาพเสมือนจริงเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบส่องสว่างภายในอาคาร
อโศก ศรีทองธรรม
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์
ชัยญาวัจน์ สถิตภัทรสมบัติ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง
การตัดสินใจเลือกรูปแบบในการจัดการมูลฝอยของกองทัพอากาศ ณ ที่ตั้งดอนเมือง
นพรัตน์ นุ่มศิริ และ กมลชนก สุทธิวาทนฤพุดิ
บทความวิชาการ
การได้ไกล และไว
พลานันท์ ปะจายะกฤตย์ อิทธิ ยุทธยานนท์ และ จิรวุฒิ คล่องตรงจโรช



การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต

Geo-Informatics and Communications via Cellular Networks in Aircraft Tracking for Search and Rescue: An Application

^{1*} ชัญญาวจน์ สติภัทรสมบัติ และ ^{2#} ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง

^{1,2} กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} Chanyawat Sathidbhattarasombad and ^{2#} Phummipat Daungklang

^{1,2} Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

Received : April, 22 2021

Revised : June, 15 2021

Accepted : June, 22 2021

*chanyawat_s@rtaf.mi.th, #phummipat_d@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ

การใช้เรดาร์เพื่อการตรวจจ้ออากาศยานที่ระดับความสูงไม่มากนักมีข้อจำกัดในเรื่องการบดบังของภูมิประเทศ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถทราบพิกัดที่แน่นอน ในกรณีเกิดเหตุการณ์ที่อากาศยานขาดการติดต่อที่ระดับความสูงไม่มากหรือเกิดอุบัติเหตุอากาศยานตก จึงส่งผลให้ชุดค้นหาและช่วยชีวิตต้องทำการค้นหาในพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และทำให้การค้นหาใช้เวลานาน ค่าใช้จ่าย และไม่ทันการณ์ ดังนั้น การติดตามตำแหน่งของอากาศยานของกองทัพอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องติดตาม ตรวจสอบ และเฝ้าระวังตลอดเวลา

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับการรับส่งข้อมูลพิกัดของอากาศยานผ่านระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ เพื่อการติดตามอากาศยานของกองทัพอากาศ โดยใช้อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบพกพา (GPS Tracker) พร้อมติดตั้งซิมการ์ดหรือใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน สำหรับการส่งข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ตั้งแต่อากาศยานเริ่มทำการบินจนเสร็จสิ้นภารกิจการบิน ซึ่งข้อมูลฯ ดังกล่าวจะถูกส่งผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ด้วย GPRS Protocol ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ติดตั้งระบบ Traccar เพื่อทำการประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บและแสดงผลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และจะถูกส่งต่อไปยัง Web Server ผ่าน Web Socket API เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องทราบบน Web Application ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบฯ ดังกล่าวร่วมกับอากาศยานของกองทัพอากาศจำนวน 4 แบบ ได้แก่ AU-23, DA-42, Bell-412 และ F-16 A/B จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่าระบบฯ มีประสิทธิภาพในการตรวจจ้ออากาศยานที่ระดับความสูงที่ถูกบดบังจากภูมิประเทศ สามารถสนับสนุนภารกิจการค้นหาและช่วยชีวิตได้

คำสำคัญ: เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ, เครือข่ายเซลลูลาร์, การติดตามอากาศยาน, การค้นหาและช่วยชีวิต

Abstract

Obscuring terrain is indeed disadvantageous to low-altitude aircraft detection with radars, because of which the exact position of aircraft in case of lost contact at low altitude or accidents cannot be determined. Search and rescue teams must therefore unnecessarily operate in wide areas. Too much time is then unavoidably spent,

which could lead to unexpected casualties occasionally. Thus, while being deployed in mission areas, military aircraft should be tracked continuously.

For this reason, we propose an application of Geo-Informatics and communications via cellular networks for tracking RTAF's aircraft: during every flight, GPS trackers which are equipped with SIM cards or registered smartphones send information about aircraft's positions, using the GPRS protocol, to a server on which the Traccar system is installed. The server then processes the received information into a form suitable for storing and being displayed together with Geo-Informatics system. Eventually, the processed information is forwarded a Web Server to be shown to the personnel concerned on a Web application. As for the evaluation, tests were performed on 4 types of aircraft, namely AU-23, DA-42, Bell-412, and F-16 A/B. As the result, we conclude that the proposed application can track aircraft at low altitude and thus support search and rescue missions.

Keywords: Geo-Informatics, Cellular Network, Aircraft Tracking, Search and Rescue

1. บทนำ

ปัจจุบันกองทัพอากาศมีแนวทางการพัฒนาระบบงานต่าง ๆ ให้อยู่บนพื้นฐานการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง เพื่อความสะดวกในการบูรณาการและแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างหน่วยงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการบัญชาการ และควบคุม (Command and Control) ซึ่งมีความจำเป็นต้องบูรณาการระบบการตรวจจับ (Sensor) ของกองทัพอากาศให้มีความพร้อมปฏิบัติการกิจอย่างมีประสิทธิภาพ และหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีความสำคัญต่อการใช้เป็นเครื่องมือในการบูรณาการข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ คือ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics) เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และภารกิจทางทหารก็มีส่วนแล้วแต่มีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการปฏิบัติการกิจการบินในด้านต่าง ๆ รวมถึงภารกิจการค้นหาและช่วยชีวิตที่ใช้การตรวจจับและติดตามอากาศยานจากรadar ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) เป็นต้น

ในส่วนของการตรวจจับและติดตามอากาศยานด้วยเรดาร์นั้น ยังมีข้อจำกัดในการตรวจจับอากาศยานที่ระดับความสูงที่ถูกบดบังจากภูมิประเทศ เช่น กรณีที่อากาศยานเกิดอุบัติเหตุและขาดการติดต่อในพื้นที่ที่เป็นป่าและภูเขา ทำให้ไม่สามารถทราบพิกัดที่แน่นอน ส่งผลให้ชุดค้นหาและช่วยชีวิตต้องทำการค้นหาในพื้นที่ที่เป็นบริเวณกว้าง การหาจุดที่อากาศยานตกเป็นไปด้วยความล่าช้า ไม่ทันการณ์ และอาจส่งผลถึงการช่วยชีวิตของผู้ประสบภัยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ประกอบกับการติดตามระบุดาแห่งของยานพาหนะทางยุทธการและบุคคล เมื่อเดินทางไปปฏิบัติการกิจในพื้นที่ดังกล่าว เป็นสิ่งจำเป็นที่หน่วยควบคุมและสั่งการต้องทราบเพื่อติดตามสถานการณ์ และใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างทันทั่วทั้งที่

จากข้อจำกัดของการใช้เรดาร์ในการตรวจจับและติดตามอากาศยานในระดับความสูงที่ถูกบดบังด้วยภูมิประเทศ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการติดตามอากาศยานของกองทัพอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับให้ครอบคลุมในทุกระดับชั้นความสูง โดยนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี GPS Tracking ที่จะทำให้ทราบพิกัดที่แน่นอนของอากาศยานที่ระดับความสูงที่ไม่มากได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ รวมถึงจะเป็นการเพิ่มศักยภาพเพื่อให้ระบบบัญชาการและควบคุมสามารถทราบพิกัดของอากาศยานตลอดเวลา ส่งผลให้การปฏิบัติการกิจ เช่น การค้นหาและช่วยชีวิต สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นเพิ่มศักยภาพการตรวจจับอากาศยานในระดับความสูงที่ถูกบดบังจากภูมิประเทศ สำหรับการกิจการค้นหาและช่วยชีวิตให้สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ รวมถึงเพิ่มศักยภาพด้านระบบบัญชาการและควบคุมในการติดตามอากาศยานของกองทัพอากาศให้มีขีดความสามารถในการปฏิบัติการบนพื้นฐานที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง โดยผู้วิจัยพัฒนาโปรแกรมเพื่อติดต่อสื่อสารและส่งข้อมูลตำแหน่งพิกัดของอากาศยานผ่านผู้ให้บริการเครือข่ายเซลลูลาร์ และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการแสดงผลการติดตามอากาศยาน

3. ขอบเขตงานวิจัย

ผู้วิจัยพัฒนาโปรแกรมโดยการรับส่งข้อมูลพิกัดของอากาศยานผ่านผู้ให้บริการเครือข่ายเซลลูลาร์ภายในประเทศเท่านั้น ซึ่งไม่ครอบคลุมการให้บริการนอกประเทศ รวมถึงบริเวณในประเทศที่ไม่อยู่ในพื้นที่การให้บริการ

4. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 หลักการการค้นหาและช่วยชีวิตของกองทัพอากาศ

กองทัพอากาศจะปฏิบัติการใช้กำลังทางอากาศตามขีดความสามารถที่มีอยู่ทั้งในระดับยุทธศาสตร์และยุทธวิธี เช่น การโจมตีทางยุทธศาสตร์ การต่อต้านทางอากาศและภาคพื้น การต่อต้านทางทะเล การลำเลียงทางอากาศ การลาดตระเวน และเฝ้าตรวจ รวมถึงการค้นหาและช่วยชีวิต เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถบรรลุภารกิจทางทหารได้อย่างครอบคลุมทั้งภารกิจ การสงคราม และปฏิบัติการทางทหารที่มีใช้สงคราม (MOOTW) [1]

จากการปฏิบัติการทางอากาศยุทธวิธีของกองทัพอากาศที่ใช้อากาศยานในทางกรรบและมีใช้การรบนั้น อาจเกิดความสูญเสียได้ทุกเมื่อ ดังนั้นการช่วยเหลือนักบินและเจ้าหน้าที่ประจำอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุให้ปลอดภัยจะเป็นการลดความสูญเสีย เพิ่มขวัญกำลังใจ และความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ประสบเหตุ อีกทั้งนักบินและเจ้าหน้าที่ประจำอากาศยานจะมีหลักประกันแห่งความปลอดภัยในระดับหนึ่งเมื่อต้องปฏิบัติการในอากาศ จะเห็นได้ว่าภารกิจการช่วยเหลือและกู้ภัยจึงเป็นภารกิจที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการปฏิบัติการทางอากาศของกองทัพอากาศ [1]

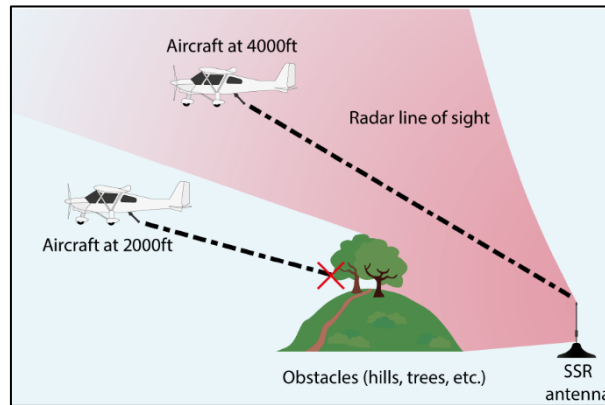
การค้นหาและช่วยชีวิตในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง เช่น พื้นที่ป่าเขา นั้น เป็นภารกิจที่ย่างยาก ซับซ้อน และเสี่ยงต่อการสูญเสียเป็นอย่างยิ่ง ต้องมีการพิจารณาการใช้อากาศยานร่วมกันหลายประเภท และมีหน่วยในการสนับสนุนภารกิจหลายหน่วย การที่จะปฏิบัติการค้นหาและช่วยชีวิตให้ได้ผลสำเร็จด้วยดีจึงขึ้นอยู่กับการตัดสินใจและการวางแผนที่ดีของผู้มีหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง และผู้ปฏิบัติทุกฝ่ายจะต้องประสานงานกันเป็นอย่างดี มีวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสม และพร้อมที่จะเผชิญกับเหตุการณ์ต่าง ๆ

จากการศึกษาการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาและช่วยชีวิต สรุปได้ว่าการติดตามและค้นหาตำแหน่งสุดท้ายของอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุมีความสำคัญต่อการช่วยชีวิตของผู้ประสบภัยอย่างยิ่ง ซึ่งหากทราบข้อมูลพิกัดที่แม่นยำ และรวดเร็ว จะส่งผลให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการช่วยชีวิตสามารถส่งความช่วยเหลือไปยังผู้รอดชีวิตได้อย่างทันทั่วถึง และสามารถลดความสูญเสียอันเกิดจากอุบัติเหตุได้ [1] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการที่จะทราบตำแหน่งของอากาศยานที่แม่นยำได้นั้นเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะกรณีที่อากาศยานเกิดอุบัติเหตุในบริเวณที่เป็นป่าและภูเขา เนื่องจากข้อจำกัดของเรดาร์ที่สามารถตรวจจับอากาศยานได้ที่ระดับความสูงที่ไม่ถูกบดบังจากภูมิประเทศเท่านั้น ทำให้ทีมค้นหาต้องค้นหาผู้รอดชีวิตในพื้นที่กว้าง และต้องใช้เวลา

4.2 เทคโนโลยีการติดตามอากาศยาน

เทคโนโลยีการติดตามอากาศยานในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่อยู่ในกลุ่ม Secondary Surveillance Radar (SSR) เช่น Automatic Dependent System-Broadcast (ADS-B), Mode-S [2] โดย SSR สามารถรับข้อมูลพิกัด ความสูงของอากาศยานจากอุปกรณ์ Transponder ที่ติดตั้งในอากาศยาน ซึ่งส่งสัญญาณคลื่นวิทยุตอบกลับมาจาก

ได้รับคลื่นวิทยุจาก SSR ทั้งนี้ เทคโนโลยี SSR ได้ถูกใช้โดยหน่วยงานในประเทศไทยด้วย เช่น บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด [3] อย่างไรก็ตาม หากเสาอากาศของ SSR ตั้งอยู่บริเวณที่ Line of Sight หรือเส้นตรงที่ลากจากเสาอากาศไปยังอากาศยาน ถูกบดบังจากภูมิประเทศ (รูปที่ 1 [2]) ซึ่งมักจะเกิดจากการที่อากาศยานทำการบินในระดับที่ไม่สูงมาก จะทำให้มีข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูล กล่าวคือ การรับส่งข้อมูลมีความไม่ต่อเนื่อง [2]



รูปที่ 1 ข้อจำกัดของการติดตามอากาศยานด้วย SSR

4.3 เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการบูรณาการองค์ความรู้และเทคโนโลยีด้านการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) และระบบการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) เข้าด้วยกัน [4] ซึ่งในปัจจุบัน เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GNSS) ได้เข้ามามีบทบาทและเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวัน โดยจะเห็นได้จากจำนวนที่มากขึ้นและพัฒนาการแบบก้าวกระโดดของโปรแกรมประยุกต์ (Application) รวมถึงแพลตฟอร์ม (Platform) ที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งบนพื้นโลก เช่น การติดตามเป้าหมาย การค้นหาตำแหน่ง และการนำทางของผู้ขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น โดยโปรแกรมที่ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วไป ได้แก่ Google Maps นอกจากนี้ในส่วนของผู้ใช้งานระดับองค์กรยังมีแพลตฟอร์มที่สามารถนำมาติดตั้งใช้งานแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย ได้แก่ ระบบ Traccar [5] ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบดังกล่าวสำหรับทดลองรับส่งข้อมูลระหว่างภาคอากาศและภาคพื้น โดยใช้อุปกรณ์ระบุและส่งข้อมูลตำแหน่งแบบพกพา (GPS Tracker) รุ่น AT6 3G Asset GPS Tracker (รูปที่ 2) [6] ในการส่งข้อมูลพิกัดมายังเครื่องแม่ข่าย (Server) ของระบบ Traccar ผ่านรูปแบบ GPRS protocol ดังตัวอย่างในรูปที่ 3 [7, 8] ซึ่งก่อนการใช้งานจะต้องทำการตั้งค่าตามที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานให้เรียบร้อย นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนแทนอุปกรณ์ GPS Tracker ผู้ใช้งานสามารถติดตั้งแอปพลิเคชัน Traccar Client ได้ ซึ่งในปัจจุบันรองรับทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android



รูปที่ 2 GPS Tracker (AT6 3G Asset GPS Tracker)

Description of field content										
keyw ds	time	Cell phone number			latit ude	S / N	Lo ng it ude	E/W	Sp ee d	direction /request address
,001	,0809231929	,13554900601	F/L	A/V		S / N		E/W		360.00/1

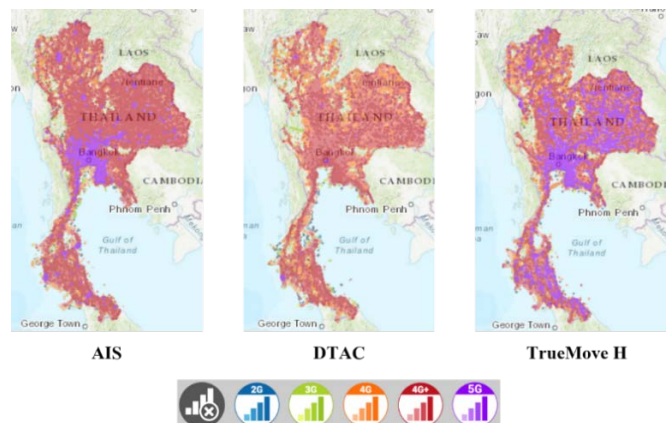
Continued access						
Altitude	ACC state	Door State	First fuel sensor	Second fuel sensor	Temp erature	
	1	1				;

1. . acc
For example:
imei:353451044508750,001,0809231929,13554900601,F,055403.000,A,2233.1870,
N,11354.3067,E,0.00,30.1,65.43,1.0,10.5%,0.0%,28;

รูปที่ 3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล GPRS Protocol

4.4 การสื่อสารระหว่างภาคพื้นและภาคอากาศ

ในส่วนของการสื่อสารข้อมูลพิกัดตำแหน่งระหว่างภาคพื้นและภาคอากาศ ผู้วิจัยได้เลือกใช้บริการเครือข่ายเซลลูลาร์จากผู้ให้บริการ AIS, DTAC และ TrueMove H ซึ่งมีพื้นที่การให้บริการตามแผนที่แสดงความครอบคลุมของเครือข่าย (รูปที่ 4) [9]



รูปที่ 4 แผนที่แสดงความครอบคลุมของเครือข่าย AIS, DTAC และ TrueMove H

การประยุกต์ใช้เครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามเป้าหมาย ได้แก่ บุคคล ยานพาหนะ ตลอดจนอากาศยาน ถือได้ว่าเป็นหัวข้อที่นักวิจัยได้ให้ความสำคัญอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยเรื่อง GPS/GSM Based Low Altitude Rotary Wing Aircraft Tracking System ที่นำเสนอระบบติดตามอากาศยานปีกหมุนที่ทำการบินบนระดับความสูงที่ไม่มาก เช่น เฮลิคอปเตอร์ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GPS tracking และเทคโนโลยี GSM ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวได้เสนอให้นำ GPS module และ SIM900 GSM module มาเชื่อมต่อกับ Arduino เพื่อรับข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ของเฮลิคอปเตอร์ผ่านทาง GPS module แล้วส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้งานโดยใช้ SIM900 GSM module ผ่านเครือข่าย GSM และข้อมูลพิกัดจะถูกนำเสนอบนแอปพลิเคชัน Google Maps [10]

นอกจากนี้งานวิจัยเรื่อง Tracking Light Aircraft with Smartphones at Low Altitudes ที่มีวัตถุประสงค์ในการนำโทรศัพท์สมาร์ทโฟนมาใช้เป็น Transponder ของอากาศยานขนาดเล็ก เช่น Microlight aircraft, Ultralight aircraft หรือ Gyrocopters สำหรับพัฒนาระบบติดตามอากาศยานที่ระดับความสูงที่ไม่มาก เพื่อแก้ไขปัญหาคือข้อจำกัดของเรดาร์ในการติดตามอากาศยานในพื้นที่ที่มีการบดบังของภูมิประเทศ โดยได้จัดทำแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน และใช้เทคโนโลยี GPS ของโทรศัพท์สมาร์ทโฟน สำหรับการส่งข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์, ความสูง, ความเร็ว รวมถึงส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) ผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ [2]

5. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต โดยได้ดำเนินการตามแนวทาง System Development Life Cycle (SDLC) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 กำหนดปัญหา

ตำแหน่งพิกัดของอากาศยานสุดท้ายถือได้ว่าเป็นความสำคัญที่สุดสำหรับทีมค้นหาและช่วยชีวิต ซึ่งหากทราบตำแหน่งที่แน่นอนและแม่นยำ จะทำให้การส่งความช่วยเหลือไปยังผู้รอดชีวิตเป็นไปอย่างทันท่วงที และลดความสูญเสียได้อีกทั้งการวางแผนค้นหาและช่วยชีวิตที่เป็นระบบจะทำให้การประสานสอดคล้องระหว่างหน่วยงานเป็นไปด้วยความราบรื่น ดังนั้น หัวใจสำคัญของการพัฒนาระบบงาน คือ ระบบจะต้องอำนวยความสะดวกให้ทีมงานค้นหาและช่วยชีวิตทราบพิกัดสุดท้ายของอากาศยานได้อย่างแม่นยำที่สุด รวมถึงระบบจะต้องสนับสนุนการวางแผนและรายงานการปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การทำงานเป็นระบบมากขึ้น

5.2 การวิเคราะห์

จากข้อจำกัดของเรดาร์ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.2 ส่งผลให้ต้องค้นหาอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขข้อขัดข้องดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อทำการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซลลูลาร์ที่มีโครงข่ายครอบคลุมมากกว่าทดแทนเรดาร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามอากาศยานในระดับต่ำ โดยผู้ใช้งานมีความต้องการใน 2 ประเด็นหลัก ดังนี้

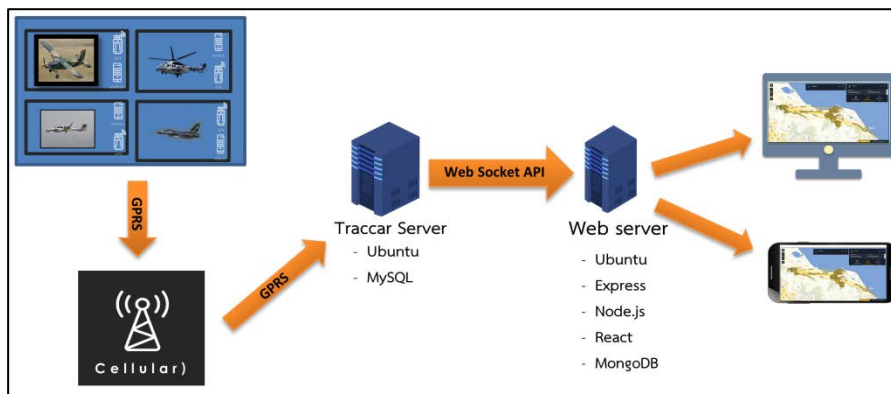
5.2.1 สถานการณ์ปกติ ผู้ใช้งานจะต้องทราบการเคลื่อนไหวของอากาศยานที่ติดตั้งอุปกรณ์ GPS Tracker และโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ลงทะเบียนใช้งาน โดยสามารถแสดงภาพรวมของอากาศยานที่อยู่ในระบบได้

5.2.2 สถานการณ์ที่อากาศยานเกิดอุบัติเหตุ ผู้ใช้งานส่วนกลาง (Administrators) จะต้องสามารถทราบถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยระบบจะทำการเปลี่ยนแปลงสัญลักษณ์ที่แสดงบนแผนที่ ทำให้เมื่ออากาศยานเกิดอุบัติเหตุ เจ้าหน้าที่จะสามารถทราบตำแหน่งสุดท้าย และแจ้งให้หน่วยที่เกี่ยวข้องรับทราบต่อไปได้อย่างรวดเร็ว

5.3 การออกแบบ

จากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการติดตามอากาศยาน ซึ่งสามารถสรุปได้ใน 2 ประเด็นหลัก ดังนี้

5.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบ ภาพรวมของระบบจะเป็นไปตามรูปที่ 5 อธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 5 สถาปัตยกรรมของระบบ

1) อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบพกพา (GPS Tracker) พร้อมติดตั้งซิมการ์ด จะถูกตั้งค่าการรับส่งข้อมูลผ่าน GPRS Protocol (รูปที่ 3) รวมถึงต้องลงทะเบียนก่อนการนำมาใช้งานร่วมกับระบบ และเมื่อทำการลงทะเบียนใช้งานเรียบร้อยแล้ว อุปกรณ์จะทำการส่งข้อมูลพิกัดผ่านระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ติดตั้งระบบ Traccar ในทุก ๆ 5 วินาที (สามารถปรับรอบการส่งข้อมูลได้ตามความเหมาะสม) และในกรณีที่ผู้ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนผู้ใช้งานจะต้องติดตั้งแอปพลิเคชัน Traccar Client พร้อมกับตั้งค่าการรับส่งข้อมูลตามที่แอปพลิเคชันดังกล่าวกำหนด รวมถึงต้องนำโทรศัพท์สมาร์ทโฟนมาลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบด้วย

2) เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของระบบ Traccar ได้รับข้อมูลพิกัดจากอุปกรณ์ GPS Tracker หรือโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ระบบ Traccar จะทำการประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บและแสดงผลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการจัดเก็บข้อมูลในระบบ Traccar ผู้วิจัยได้เลือกกระบวนฐานข้อมูล MySQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

3) ในส่วนของระบบติดตามอากาศยาน จะทำการพัฒนาระบบในรูปแบบ Web Application ที่จะทำการเชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งอุปกรณ์ GPS Tracker หรือโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผ่าน Web Socket API ของระบบ Traccar ซึ่งมีโครงสร้างข้อมูลตามตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6 พร้อมทั้งทำการแสดงผลข้อมูลพิกัดตำแหน่งไปบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง โดยการพัฒนาในส่วนนี้ผู้วิจัยได้เลือกออกแบบโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Ubuntu เวอร์ชัน 18.04, ใช้ Express เป็น Web Server, ใช้ Node.js สำหรับการพัฒนา Back-end, ใช้ React สำหรับการพัฒนา Front-end และใช้ระบบฐานข้อมูล MongoDB สำหรับจัดเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งจากอุปกรณ์ GPS Tracker และโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ตลอดจนจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับทั้งระบบฯ

```
[{"id": 0, "deviceId": 0, "protocol": "string", "deviceTime": "2019-08-24T14:15:22Z",
  "fixTime": "2019-08-24T14:15:22Z", "serverTime": "2019-08-24T14:15:22Z", "outdated": true,
  "valid": true, "latitude": 0, "longitude": 0, "altitude": 0, "speed": 0, "course": 0, "address": "string",
  "accuracy": 0, "network": {}, "attributes": {}}]
```

รูปที่ 6 โครงสร้างข้อมูล Application Program Interface (API)

5.3.2 ส่วนโปรแกรมประยุกต์สำหรับผู้ใช้งาน เป็นส่วนที่พัฒนาสำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลการติดตามอากาศยานผ่าน Web Application จากคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์พกพา โดยโปรแกรมฯ จะมีฟังก์ชันการใช้งานโดยสรุป ดังนี้

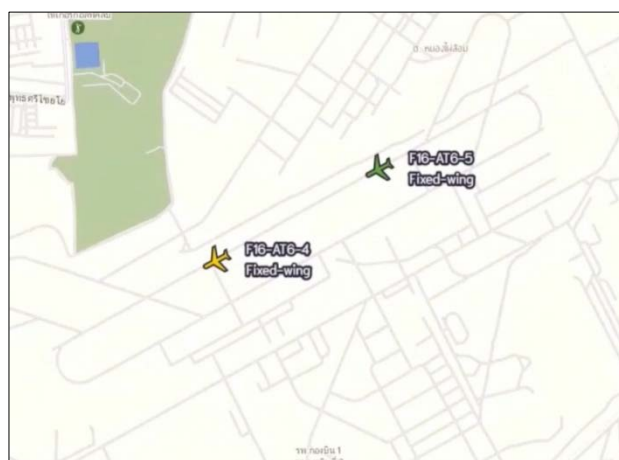
1) การลงทะเบียนอุปกรณ์ เป็นฟังก์ชันที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการลงทะเบียนอุปกรณ์ GPS Tracker รวมถึงโทรศัพท์มือถือ

2) การติดตามอากาศยาน ผู้ใช้งานสามารถติดตามอากาศยานแบบ Near Real Time โดยอุปกรณ์ GPS Tracker หรือโทรศัพท์มือถือ (ที่ผ่านการลงทะเบียนใช้งาน) จะส่งตำแหน่งมาระบบฯ ตามวงรอบที่กำหนด (เบื้องต้นกำหนดไว้ทุก ๆ 5 วินาที) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถทราบสถานะอากาศยานจากสีที่แสดง โดยแต่ละสีมีความหมายดังต่อไปนี้ (ตัวอย่างการแสดงผลตามรูปที่ 7)

- สีเขียว หมายถึง อากาศยานอยู่ในสถานะปกติ มีการส่งสัญญาณมายังภาคพื้นตลอดเวลา

- สีส้ม หมายถึง อากาศยานอยู่ในสถานะที่ควรต้องเฝ้าระวัง อันเนื่องมาจากมีการขาดหายของสัญญาณจากเครือข่ายเซลล์ลาร์ ซึ่งเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานส่วนกลาง จำเป็นต้องทำการตรวจสอบสถานะของอากาศยานผ่านระบบเรดาร์ควบคู่กันไป

- สีแดง หมายถึง อากาศยานประสบอุบัติเหตุหรือเกิดเหตุฉุกเฉิน เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานส่วนกลางคอยตรวจสอบสถานะของอากาศยานที่เป็นสีส้มร่วมกับระบบเรดาร์ และในกรณีที่ตรวจพบหรือยืนยันได้ว่าอากาศยานเกิดอุบัติเหตุ เจ้าหน้าที่จะเปลี่ยนสถานะของอากาศยานจากสีส้มเป็นสีแดง พร้อมกับนำเสนอเตือนภัยที่ตรวจพบกับผู้บังคับบัญชาให้สั่งการหน่วยเกี่ยวข้องในการปฏิบัติการกักกันและช่วยชีวิตต่อไป



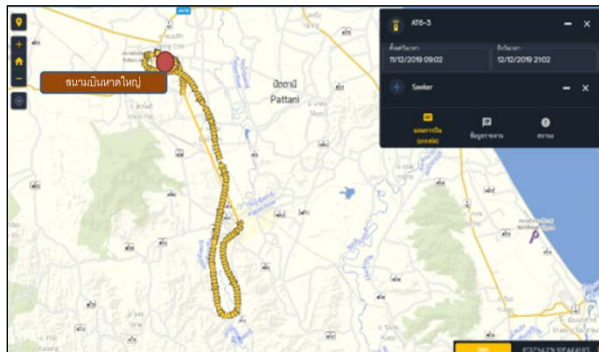
รูปที่ 7 การแสดงสถานะของอากาศยานโดยใช้สี

3) การตรวจสอบประวัติการเดินทางของอากาศยาน ผู้ใช้งานสามารถใช้ฟังก์ชันในส่วนนี้เพื่อเรียกดูประวัติการเดินทางของอากาศยานได้

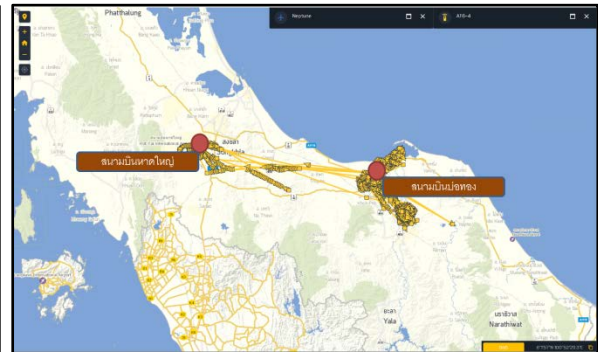
4) การวางแผนการค้นหาและช่วยชีวิตผู้ประสบเหตุ ฟังก์ชันนี้จะเป็นเครื่องมือพื้นฐานการใช้งานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่จะอำนวยความสะดวกให้กับเจ้าหน้าที่ในการวางแผนการปฏิบัติในการค้นหาและช่วยชีวิต

5.4 การพัฒนาและทดสอบ

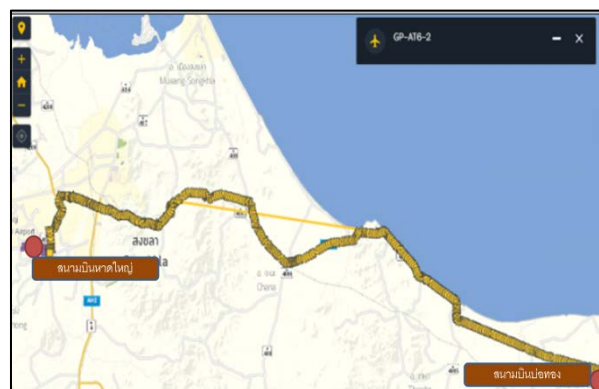
เป็นขั้นตอนการเขียนโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการติดตามอากาศยาน โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบตามผลการวิเคราะห์ระบบในข้อ 5.2 และการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ได้ระบุในข้อ 5.3 ซึ่งเมื่อพัฒนาระบบฯ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานร่วมกับอากาศยานของกองทัพอากาศ ได้แก่ AU-23, DA-42, Bell-412 และ F-16 A/B และได้ผลการทดสอบการใช้งานระบบฯ ร่วมกับอากาศยานทั้ง 4 แบบตามรูปที่ 8 - 11 ตามลำดับ



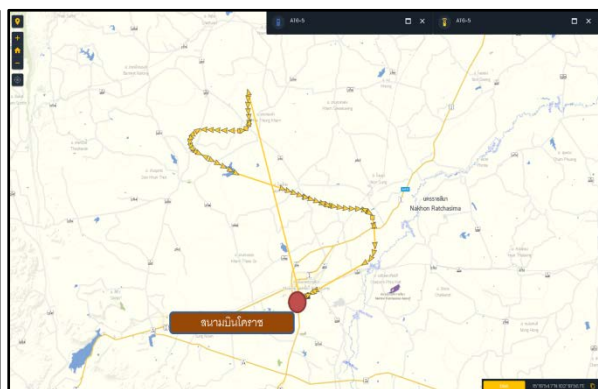
รูปที่ 8 ผลการบินทดสอบร่วมกับ AU-23



รูปที่ 9 ผลการบินทดสอบร่วมกับ DA-42



รูปที่ 10 ผลการบินทดสอบร่วมกับ Bell-412



รูปที่ 11 ผลการบินทดสอบร่วมกับ F-16 A/B

นอกจากนี้ยังได้มีการจัดเก็บข้อมูลที่คาดว่าจะจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความต่อเนื่องในการรับส่งสัญญาณระหว่างภาคอากาศและภาคพื้น โดยข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย ระยะความสูงจากพื้นที่ทำการบินในการปฏิบัติการจริง ความเร็วที่ใช้ในการบิน ระยะความสูงที่สัญญาณขาดหายหลังอากาศยานขึ้นบิน เวลาที่สัญญาณขาดหายหลังอากาศยานขึ้นบิน ระยะความสูงที่ตรวจจับสัญญาณได้ก่อนอากาศยานลงจอด และเวลาที่ตรวจจับสัญญาณได้ก่อนอากาศยานลงจอด โดยมีสรุปผลการทดสอบระบบตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสรุปผลการทดสอบระบบด้วยการบินร่วมกับอากาศยาน

แบบอากาศยาน	จำนวนเที่ยวบิน	จำนวนชม.บินทดสอบ (ชม.)	ระยะความสูงเฉลี่ยที่ทำการบินจากพื้น (ฟุต)	ความเร็วโดยเฉลี่ย (น็อต)	ระยะความสูงเฉลี่ยที่สัญญาณขาดหายหลัง Take off (ฟุต)	เวลาเฉลี่ยที่สัญญาณขาดหายหลัง Take off	ระยะความสูงเฉลี่ยที่ตรวจจับได้ก่อน Landing (ฟุต)	เวลาเฉลี่ยที่ตรวจจับสัญญาณได้ก่อน Landing
F-16 A/B	9	5.25	20,000-30,000	350-420	1,500 - 2,000	20 - 40 วินาที	1,000 - 2,000	10 - 25 วินาที
DA-42	102	168.4	4,000-6,000	120-150	2,000 - 2,800	20 - 30 นาที	1,800 - 2,500	18 - 25 นาที
BELL-412	47	56.3	1,000 - 2,000	90-110	ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง	ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง	ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง	ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง
AU-23	71	140.8	1,500-7,000	90-120	2,500 - 3,000	30 - 45 นาที	2,000 - 2,500	25 - 30 นาที

5.5 การติดตั้งระบบ

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการติดตามอากาศยานได้ติดตั้งให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบฯ ผ่านเครือข่ายของกองทัพอากาศ โดยติดตั้งไว้ที่กรมข่าวทหารอากาศ

6. ผลการวิจัย

จากผลลัพธ์การทดสอบระบบฯ ร่วมกับอากาศยานของกองทัพอากาศตามตารางที่ 1 จะเห็นว่าอากาศยานที่มีความเร็วสูงอย่าง F-16 A/B ที่ปฏิบัติการในชั้นความสูงมาก ๆ (รูปที่ 11) จะสามารถตรวจจับอากาศยานได้แค่ขณะที่ทำการบินขึ้นที่ระดับความสูงเพียง 1,500 - 2,000 ฟุต และก่อนลงจอดที่ระดับความสูง 1,000 - 2,000 ฟุต เท่านั้น อีกทั้งเวลาที่ตรวจจับในช่วงเวลาที่ทำการบินขึ้นก็เป็นเวลาเพียงช่วงสั้น ๆ คือ 20 - 40 วินาที และเวลาที่ตรวจจับได้ก่อนการลงจอดเพียง 10 - 25 วินาที

ในขณะที่อากาศยานที่ปฏิบัติการในระดับความสูงที่ไม่มากนักและมีความเร็วต่ำอย่างเฮลิคอปเตอร์ BELL-412 (รูปที่ 10) จะสามารถตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้อากาศยานขนาดเล็ก คือ DA-42 และ AU-23 ที่ปฏิบัติการที่ระดับความสูง 4,000 - 6,000 ฟุต และ 1,500 - 7,000 ฟุต ตามลำดับ (รูปที่ 8 และ 9) นั้น จะสามารถตรวจจับได้ก่อนขึ้นทำการบินจนถึงระดับความสูงประมาณ 2,000 - 2,800 ฟุต และ 2,500 - 3,000 ฟุต สัญญาณก็จะเริ่มขาดหายที่เวลา 20 - 30 นาที และ 30 - 45 นาที และจะกลับมาตรวจจับได้อีกรอบที่ระดับความสูง 1,800 - 2,500 ฟุต และ 2,000 - 2,500 ฟุต ที่เวลาประมาณ 18 - 25 นาที และ 25 - 30 นาที ก่อนทำการลงจอด

7. สรุปผล

จากข้อจำกัดที่เรดาร์สามารถตรวจจับอากาศยานได้ในระดับความสูงที่ไม่ถูกบดบังจากภูมิประเทศนั้น ผู้วิจัยจึงได้คิดแนวทางที่มุ่งเน้นการเพิ่มศักยภาพตรวจจับอากาศยานในระดับที่ไม่สูงมาก โดยการประยุกต์ใช้การส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งของอากาศยานผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์เนื่องจากมีโครงข่ายที่ครอบคลุมมากกว่า ซึ่งเดิมเต็มขีดความสามารถในการตรวจจับอากาศยานให้ครอบคลุมในทุกระดับชั้นความสูง เพื่อให้ภารกิจการค้นหาและช่วยชีวิตสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยการประยุกต์ใช้การรับส่งข้อมูลตำแหน่งพิกัดของอากาศยานผ่านระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการแสดงผลในการติดตามอากาศยาน อีกทั้งยังสามารถแสดงตำแหน่งและประวัติการเดินทางในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการตรวจจับอากาศยานและการรับส่งข้อมูลระหว่างภาคพื้นและภาคอากาศก็ขึ้นอยู่กับภารกิจของอากาศยานแต่ละแบบที่ใช้ความเร็วและความสูงที่แตกต่างกัน แต่หากพิจารณาถึงวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย

ที่ต้องการทราบข้อมูลพิศุขสุดท้ายของอากาศยานซึ่งมีความสำคัญที่สุด จะเห็นได้ว่าระบบฯ นี้สามารถใช้ได้กับอากาศยานทุกแบบ และจะทำให้เป็นการเพิ่มศักยภาพการตรวจจับสำหรับภารกิจการค้นหาและช่วยชีวิตให้กับผู้ปฏิบัติงานในห้องบัญชาการรบ (War Room) ของศูนย์ปฏิบัติการในทุกระดับ โดยจะสามารถใช้ระบบฯ นี้เป็นเครื่องมือเพื่อให้เกิดสถานการณ์ที่ยั่งรื้อร่วมกัน และประกอบการตัดสินใจในการกิจที่เกี่ยวข้อง ได้รวดเร็ว และทันต่อเหตุการณ์

8. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นใช้ระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ เป็นสื่อสำหรับรับส่งข้อมูลพิศุขของตำแหน่งอากาศยาน ทำให้มีความจำเป็นต้องพึ่งพาผู้ให้บริการระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ ซึ่งแต่ละผู้ให้บริการจะมีพื้นที่การให้บริการที่ไม่เท่ากัน โดยผู้ใช้งานจะต้องเลือกใช้ผู้ให้บริการที่เหมาะสมตามแต่ละพื้นที่ ผู้วิจัยจึงขอเสนอให้พัฒนาการติดต่อสื่อสารพิศุขผ่านระบบวิทยุที่มีใช้ในกองทัพอากาศ เพื่อลดค่าใช้จ่ายการใช้บริการเครือข่ายเซลลูลาร์ และเป็นการสนับสนุนการพัฒนาที่พึ่งพาตนเองของกองทัพอากาศต่อไป

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการบินและอวกาศกองทัพอากาศ (ศวอ.ทอ.) และพลอากาศตรี ชัยณรงค์ พันธุ์เทศ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการพัฒนางานวิจัยมา ณ โอกาสนี้

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ, กองค้นหาและช่วยชีวิต. (2563). คู่มือการปฏิบัติการกิจ การค้นหาและช่วยชีวิตในพื้นที่การรบ กองทัพอากาศ. กรุงเทพฯ.
- [2] Lilly, B., Cetinkaya, D., & Durak, U.. (2021). Tracking Light Aircraft with Smartphones at Low Altitudes. Information, 12(3): 105. <https://doi.org/10.3390/info12030105>
- [3] บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด. ระบบติดตามอากาศยาน. ค้นเมื่อ 26 เมษายน 2564. จาก <https://www.aerorhai.co.th/th/services/ระบบติดตามอากาศยาน>
- [4] สุกกานต์ แก้วเหลี่ยม และภูมิพัฒน์ ดวงกลาง. (2563). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประยุกต์เพื่อการติดตามอากาศยานพาหนะและบุคคล กองทัพอากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ, 16(1): 42-51.
- [5] Traccar. (2020). ค้นเมื่อ 29 ตุลาคม 2563. จาก <https://www.traccar.org/>
- [6] Concox. (2020). AT6 3G Asset GPS Tracker. ค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2563. จาก <https://www.iconcox.com/products/at6-3g-gps-tracker.html>
- [7] Traccar. (2020). Protocols. ค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2563. จาก <https://www.traccar.org/protocols/>
- [8] SHENZHEN COBAN ELECTRONICS CO.LTD. (2014). GPRS PROTOCOL. (p. 4). <https://www.traccar.org/protocols/>
- [9] nPerf. (2021). แผนที่ความครอบคลุม 3G/ 4G/ 5G, Thailand. ค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2564. จาก <https://cdn.nperf.com/th/map/TH/>
- [10] Rahman, A. A. M. Mostafizur, Hossain, S., Tuku, I. J., Hossam-E-Haider, Md., Amin, Md. Syedul, & Bhuiyan, M. Arif Sobhan. (2016, November). GPS/GSM Based Low Altitude Rotary Wing Aircraft Tracking System. Paper presented at the 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEEES)

หลักฐานการมีส่วนร่วม

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ

ก. ชื่อผลงาน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต

ข. สถานะผู้ขอในผลงาน

- ☐ ผู้ประพันธ์อันดับแรก (First Author)
☐ ผู้มีส่วนสำคัญทางปัญญา (Essentially Intellectual Contributor)
☒ ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author)

ค. ประเภทของผลงาน

กลุ่มที่ ๑ ☒ งานวิจัย

กลุ่มที่ ๒ ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่น

- | | |
|--|--|
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่ออุตสาหกรรม | ☐ กรณีศึกษา |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนและการเรียนรู้ | ☐ งานแปล |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนานโยบายสาธารณะ | ☐ สิทธิบัตร |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | ☐ ซอฟต์แวร์ |
| ☐ พจนานุกรม สารานุกรม นามานุกรม และงานวิชาการในลักษณะเดียวกัน | |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านสุนทรียะ ศิลปะ | ☐ ผลงานนวัตกรรม |
| ☐ ผลงานรับใช้ท้องถิ่นและสังคม | |

กลุ่มที่ ๓ ☐ ตำรา

☐ หนังสือ

☐ บทความทางวิชาการ

รายละเอียดของการมีส่วนร่วม

ผู้ขอกำหนดตำแหน่งต้องกรอรายละเอียดให้ครบถ้วน (เนื่องจากไม่มีการแบ่งส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ ดังนั้น บทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบตามที่ผู้ขอระบุจะมีผลต่อการพิจารณาผลงานทางวิชาการ และต้องแนบเอกสารหลักฐานเพื่อประกอบการพิจารณา)

รายละเอียดการมีส่วนร่วม	บทบาทและหน้าที่ความรับผิดชอบ
ก. ความคิดริเริ่มและสมมติฐาน	น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตั้งสมมติฐานงานวิจัย
ข. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria	น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ร.อ.ชัยญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ รับผิดชอบควบคุมการปฏิบัติในทุกขั้นตอน ตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์
ค. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล	ร.อ.ชัยญาวัจน์ฯ รวบรวมข้อมูล และความต้องการระบบ, น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ฯ วิเคราะห์ข้อมูล และความต้องการระบบ
ง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม	ร.อ.ชัยญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ รับผิดชอบการสรุปผลการวิจัย, น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้อง และนำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์
จ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น	ร.อ.ชัยญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ เป็นผู้ร่างบทความวิจัย และ น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องและแก้ไขบทความวิจัย
ฉ. การให้การสนับสนุน specimens, logistics, ทุนวิจัย (โปรดระบุแหล่งทุน เงินทุน และปีที่ได้รับ) เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์	เป็นงานวิจัยนี้ดำเนินการตามยุทธศาสตร์ ทอ. มิติการใช้กำลังทางอากาศที่ได้รับงบประมาณจากงบวิจัยและพัฒนาวัตถุด้านยุทธการ ปี ๖๒ และผ่านการรับรองมาตรฐานผลงานวิจัย พัฒนาการทหารและการผลิตของกองทัพอากาศ เมื่อ ๓๑ พ.ค.๒๕๖๔
ช. อื่น ๆ	

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง)

ผู้ขอกรอรายละเอียดตำแหน่ง

ลงชื่อ.....
(..... ร.อ. ชัยญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ)

ผู้ประพันธ์อันดับแรก

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง)

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

หลักฐานการใช้ประโยชน์ / การอ้างอิง



กองทัพอากาศ

ขอรับรองว่า

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประยุกต์เพื่อการติดตามอากาศยานของ ทอ. และยานพาหนะทางยุทธการ

ผ่านการรับรองมาตรฐานผลงานวิจัย พัฒนาการทหารและการผลิตของกองทัพอากาศ

ตั้งแต่วันที่ ๓๑ เดือน พฤษภาคม พุทธศักราช ๒๕๖๔

พลอากาศเอก

(แอร์บูล สุทธิวรรณ)

ผู้บัญชาการทหารอากาศ

เอกสารที่อ้างอิงบทความวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยาน
สำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต

Geo-Informatics and Communications via Cellular Networks in Aircraft Tracking for Search and
Rescue: An Application

การจัดกลุ่มหน่วยประมวลผลแบบ เอ็กทรา-จีซีเอส เพื่อการสื่อสารแบบเพอร์ซันนัลไลซ์ ออล-ทู-ออล บนเครือข่ายการเชื่อมต่อไฮเพอร์คิวบ์แบบชั้น

A Grouping of Processors with Extra-GCS Combination for Parallel ATAPE on Hierarchical Hypercube Systems

^{1*} นันทิพัฒน์ พิศุทธางกูร และ ^{2#} เฉลิมขวัญ สิริพันธุ์

^{1,2}ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} Nuntipat Phisutthangkoon and ^{2#} Chalermkwan Siripanth

^{1,2}Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*nuntipat_phis@rtaf.mi.th, #chalermkwan_s@rtaf.mi.th

Received : August 17, 2022

Revised : October 19, 2022

Accepted : December 20, 2022

บทคัดย่อ

เครือข่ายไฮเพอร์คิวบ์แบบชั้น (Hierarchical Hypercube Systems : HHCs) เป็นหนึ่งในเครือข่ายที่ได้รับความนิยมอย่างมากในระบบประมวลผลสมรรถนะสูง (High Performance Computing) เนื่องจากสามารถขยายขนาดได้ง่าย อีกทั้งมีราคาในการสร้างที่ถูกกว่าเครือข่ายไฮเพอร์คิวบ์ (Hypercube Systems : HCs) แบบปกติ อย่างไรก็ตาม สำหรับการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบขนานบน HHCs ยังมีความซับซ้อน และอาจจะมีผลกระทบของข้อมูล (Data Collision) เนื่องจาก HHCs มีการลดเส้นเชื่อมระหว่างหน่วยประมวลผลลง ดังนั้น หากปัญหาดังกล่าวได้รับการแก้ไข จะทำให้ HHCs มีความเหมาะสมอย่างมากในการนำไปสร้างลงบนชิปของระบบมัลติโพรเซสเซอร์ (Multiprocessors) ที่รองรับการประมวลผลแบบขนาน เช่น การแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบเพอร์ซันนัลไลซ์ ออล-ทู-ออล (All-to-All Personalized Exchange: ATAPE) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเสนอการจัดกลุ่มเพื่อการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผลบน HHCs ในสถานะที่เครือข่ายมีหน่วยประมวลผลถูกใช้งานอยู่เป็นจำนวนมาก หรือสถานการณ์ที่มีข้อจำกัด ทำให้มีหน่วยประมวลผลย่อย ๆ ที่ไม่ถูกใช้งาน โดยเรียกการจัดกลุ่มนี้ว่า การจัดกลุ่มแบบเอ็กทรา-จีซีเอส สำหรับความถูกต้องของการสื่อสารจะถูกทดสอบกับการสื่อสารแบบ ATAPE ระหว่าง k ต้นทาง จนถึง k ปลายทาง ตามลำดับ

คำสำคัญ: การรวมกลุ่มคิวบ์ย่อยแบบไขว้, การหาเส้นทางการสื่อสารแบบขนานที่สั้นที่สุด, กลุ่มของคิวบ์แบบไขว้, การแลกเปลี่ยนแบบเพอร์ซันนัลไลซ์ ออล-ทู-ออล, เครือข่ายไฮเพอร์คิวบ์แบบชั้น

Abstract

Due to higher scalability and lower cost compared with normal Hypercube systems (HCs), Hierarchical Hypercube system (HHCs) is one of the popular models for high performance computing machines. However, edges in HHCs are less than those in HCs and communications between processors in HHCs are more complex, which

6. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้เสนอการรวมกลุ่มของหน่วยประมวลผลเพื่อการสื่อสารแบบขนาน บน n -HHCs ที่เรียกว่าการรวมกลุ่มแบบเอ็กทรา-จีซีเอส โดยการรวมกลุ่มนั้นถูกเสนอมาเพื่อรองรับในกรณีที่เครือข่ายมีหน่วยประมวลผลถูกใช้งานอยู่เป็นจำนวนมาก หรือภายใต้สถานการณ์ที่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจัดสรรหน่วยประมวลผลสำหรับงานใหม่ที่จะเข้ามาสู่เครือข่ายได้ สำหรับความถูกต้องของการสื่อสารจะถูกตรวจสอบโดยใช้การสื่อสารแบบ ATAPE ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบขนานที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่ง ผลการทดลองพบว่า การรวมกลุ่มแบบเอ็กทรา-จีซีเอส สามารถรวมกลุ่มของหน่วยประมวลผลขนาด $2^{m+1} \leq k \leq 2^M$ เมื่อ $M = 2^m - 2^{m-1} + m - 1$ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อมาทดสอบกับการสื่อสารแบบ ATAPE ก็สามารถส่งข้อมูลจากต้นทาง ถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง และยังคงมีคุณสมบัติของการเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดอยู่ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดกลุ่มที่ถูกเสนอมาก่อนหน้านี้ คือ แบ่งกลุ่มของคูลิตว็บแบบไขว้ (GCD) และการรวมกลุ่มคิวบ์ย่อยแบบไขว้ (GCS) พบว่า การรวมกลุ่มแบบ GCD และ GCS ยังไม่สามารถรองรับการใช้หน่วยประมวลผลภายใต้สถานการณ์ที่มีข้อจำกัดได้

7. ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรหน่วยประมวลผลบน HHCs จำเป็นที่จะต้องมีการมีขั้นตอนวิธีในการจัดสรรหน่วยประมวลผลที่ทำการรวมหน่วยประมวลผลขนาดเล็กที่สุด เช่น 1 หรือน้อยกว่า 2^{m+1} หน่วยประมวลผล ซึ่งอาจอยู่คนละ Group กัน นำมารวมกลุ่มกันให้สามารถประมวลผลงานที่ต้องการได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากหน่วยประมวลผลได้อย่างคุ้มค่าที่สุด

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัญญาวาจน์ สถิตกัทรสมบัติ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง. (2564). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ*, 17(1): 60-70.
- [2] Abd-El-Barr, M., & Al-Somani, T.F. (2011). Performance comparison of hierarchical interconnection networks. *IEEE Pacific Rim Conference on Communications*.: 191 – 196.
- [3] Antoine, B., & Keiichi, K. (2011). Set-to-Set Disjoint-path Routing in Perfect Hierarchical Hypercube. *The Fourth International C* Conference on Computer Science and Software Engineering*. : 51-57.
- [4] Cheng-Nan, L. (2014). An efficient construction of one-to-many node-disjoint paths in folded hypercubes. *J.Parallel and Distributed Computing*. vol.74: 2310-2316.
- [5] Cheng-Nan, L. (2017). Optimal Construction of Node-Disjoint Shortest Paths in Folded Hypercubes. *J. Parallel and Distributed Computing*. vol.102: 37-41.
- [6] Chienhua, C., & Dharma, P. A. (1993). dBCube: a new class of hierarchical multiprocessor interconnection networks with area efficient layout. *IEEE Trans. Parallel and Distributed System*. 4(12): 1332-1344.
- [7] Baojun, Q., Feng, S., & Weixing, Ji. (2007). THIN: A New Hierarchical Interconnection Network-on-Chip for SOC. *The 7th international conference on Algorithms and architectures for parallel processing*. : 446-457.
- [8] Ke, Q. (2008). An efficient Disjoint Shortest Paths Routing Algorithm for the Hypercube. *14th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems*. : 43 – 47.
- [9] Yousef, S., & Martin, H.S. (1988). Topological properties of hypercubes. *IEEE Trans. Comput*. 37(7): 867-872.
- [10] Qutaibah, M., & Magdy, B. (1994). The hierarchical hypercube: A new interconnection topology for massively parallel systems. *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*. 5(1): 17-30.
- [11] Ruei, Y.W., Chen, G.H., & Gen, J. (2007). Node-disjoint paths in hierarchical hypercube networks. *Information Sciences*. 117(19): 4200-4207.

ผลงานวิชาการลำดับที่ ๒

ประเภท : งานวิจัย

รูปแบบ : บทความวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว

ของผู้ใช้ QR Code ด้วยเทคนิคการอำพรางในภาพ

เพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอากาศยาน

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มิ.ย. 65

Contents

บทความวิจัย

- การเฝ้าติดตามไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงด้วยกูเกิลเอิร์ธเอนจิน กรณีศึกษา อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน 1-14
พงศ์พันธุ์ จันทะคัต ยาวเรศ จันทะคัต และ จอมกัฒ จันทะคัต
- การรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของ QR Code ด้วยการอำพรางในภาพ 15-25
เพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ
ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ประสงค์ ประณีตพลกรัง
- ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี 26-37
สุเมธ สุทธารักษ์ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง
- การศึกษาต้นทุนการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 38-49
นเรศ สิริวรารุ และ ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์
- ดีซีบูตตีบูตคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางสำหรับการประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าในโหมดคืนพลังงาน 50-63
รุ่งวิชา ไชยยศ
- ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการผ่านเกณฑ์การตรวจวัดทางเวชศาสตร์การบิน ของนักศึกษาการบินในประเทศไทย 64-78
ชนนนาถ เทพลิบ

บทความวิชาการ

- นักรบไซเบอร์ กำลังอำนาจแห่งชาติที่จำเป็นต่อการรบในสงครามแห่งอนาคต 79-87
दनัย ปฏิยุทธ์
- การศึกษาการบริหารความเสี่ยงความปลอดภัยของเครื่องบินขณะลงสนามบิน 88-97
ตามมาตรฐานองค์กรการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กรณีศึกษา พื้นที่ทางวิ่งเปี้ยก
ธนากร เอี่ยมปาน



การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ด้วยเทคนิคการอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ

The Application Development in Security and Privacy of QR Code Users Using Steganography Techniques for Efficient Communication in the Royal Air Force

^{1*} ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ^{2#} ประสงค์ ประณีตพลกรัง

^{1,2} กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} Phummipat Daungklang and ^{2#} Prasong Praneetpolgrang

^{1,2} Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*phummipat_d@rtaf.mi.th, #prasong_pr@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ

Quick Response Code หรือ QR Code เป็นบาร์โค้ดในรูปแบบเหลี่ยมจัตุรัส 2 มิติที่เป็นผลลัพธ์จากการแปลงข้อความให้อยู่ในรูปแบบภาพที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย และรวดเร็วผ่านอุปกรณ์พกพา มีประโยชน์ที่ใช้แทนการส่งข้อมูลที่มีความซับซ้อน และยากต่อการจดจำ ดังนั้น QR Code จึงได้รับความนิยมใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม หากใช้ QR Code อย่างไม่ระมัดระวังอาจเป็นจุดเริ่มต้นของความเสียหายที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อหน่วยงานหรือถูกละเมิดความเป็นส่วนตัวได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบการอำพราง QR Code ในภาพ โดยใช้เทคนิคการอำพรางข้อมูลไว้ที่ค่าพิกเซลของภาพแบบบิตนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least Significant Bit: LSB) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารด้วย QR Code ให้มีความปลอดภัย และน่าเชื่อถือ ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพหลังการอำพราง QR Code มีความคล้ายคลึงกับภาพต้นฉบับจนยากต่อการแยกแยะด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสาร และแลกเปลี่ยนข่าวสารได้อย่างปลอดภัยในระบบเครือข่าย

คำสำคัญ: การอำพรางข้อมูล, รหัสคิวอาร์โค้ด, บิตนัยสำคัญน้อยที่สุด

Received : March 29, 2021

Revised : March 14, 2022

Accepted : March 31, 2022

Abstract

A QR Code (Quick Response Code) is a 2D square barcode that is a result from conversion of text into an image format, which can be quickly and easily accessed via mobile devices. They can be used as a substitute for transmitting complex and difficult-to-remember information, so QR codes are popular today for communicating and exchanging information. However, if QR codes are used carelessly, they can cause damage to organization or breach of privacy. Therefore, the researcher has developed a system for concealing the QR Code in an image by using the Least Significant Bit (LSB) pixel value masking technique in order to increase the efficiency of communication with QR Code safely and reliable. The result is that the image after QR code “camouflage” is so similar to original image that it is difficult to be distinguished by human eyes. It can be used for communication and information exchange securely in the network.

Keywords: Steganography, QR Code, Least Significant Bit

1. บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง โดยเห็นได้จากโปรแกรมประยุกต์ (Application) ที่มีจำนวนมากขึ้น และมีการพัฒนาแบบก้าวกระโดด รวมถึงแพลตฟอร์มด้านสื่อสังคมออนไลน์ที่มีฟังก์ชันในการอำนวยความสะดวกให้การติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้ส่ง และผู้รับสารให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแพลตฟอร์มที่กำลังเป็นที่นิยม ได้แก่ Line WhatsApp Facebook และ Instagram เป็นต้น ในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารพบว่า ภาพ (Image) ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากภาพสามารถทำให้ผู้รับสารเข้าใจเนื้อหารายละเอียดของสารได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งรูปแบบของภาพที่นิยมใช้สื่อสารกันบนสื่อสังคมออนไลน์ ได้แก่ ภาพถ่าย โพสต์เตอร์ และอินโฟกราฟิกส์ (Infographics) เป็นต้น นอกจากนี้ ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อความ (Text) ยังถูกแปลงให้เป็นภาพที่อยู่ในรูปแบบของรหัสคิวอาร์ (QR Code) ก่อนทำการส่งให้ผู้รับสารอีกด้วย

จากความนิยมในการใช้ภาพแทนข้อความในการติดต่อสื่อสาร ทำให้ภาพถูกใช้เป็นส่วนในการซ่อนข้อมูลลับหรือข้อมูลส่วนบุคคล ซึ่งกระบวนการซ่อนพรางข้อมูลนี้จะเรียกว่า วิทยาการอำพรางข้อมูล (Steganography) เป็นศาสตร์ที่มุ่งเน้นการทำให้ข้อความไม่สามารถอ่านและเข้าใจได้จากผู้ที่ไม่อยู่ในกลุ่มของผู้รับสาร ทำให้ข้อความสามารถส่งถึงกลุ่มผู้รับสารได้อย่างปลอดภัย และมีความน่าเชื่อถือ

นอกจากความนิยมในการอำพรางข้อมูลในภาพแล้ว การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของรหัสคิวอาร์ (QR Code) ก่อนส่งให้กลุ่มผู้รับสารเป็นที่ได้รับความนิยมเช่นกัน ซึ่งในปัจจุบัน QR Code ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการใช้สื่อสารข้อมูล โดยประโยชน์ที่เห็นได้ชัดของ QR Code คือ สามารถแปลงข้อมูลหรือหมายเลขที่ซับซ้อนที่จดจำได้ยากให้อยู่ในรูปแบบภาพที่สามารถเข้าถึงผ่านอุปกรณ์พกพาได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว จากประโยชน์ของ QR Code ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น กองทัพอากาศจึงได้นำ QR Code มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศต่าง ๆ ได้แก่ ด้านกำลังพล ด้านการส่งกำลังบำรุง ด้านการรักษาความปลอดภัยพื้นที่ รวมถึงใช้แทนการส่งลิงค์แบบสำรวจออนไลน์ เป็นต้น อีกทั้งข้าราชการของกองทัพอากาศยังใช้ QR Code ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันอีกด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในโลกยุคปัจจุบัน QR Code ได้เข้าไปมีบทบาทในทุกภาคส่วน

อย่างไรก็ตาม การใช้งาน QR Code ที่ไม่ระมัดระวัง และไม่คำนึงถึงการรักษาความปลอดภัยอาจจะส่งผลเสียต่อหน่วยงานหรือเจ้าของข้อมูลได้ เช่น การถูกละเมิดความเป็นส่วนตัวจากกรณีที่เบอร์หมายเลขโทรศัพท์ตกไปอยู่กับบุคคลที่สาม รวมถึงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ อันเนื่องมาจากแบบสอบถามถูกส่งไม่ตรงกลุ่มเป้าหมาย ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัย QR Code ก่อนทำการส่งให้ผู้รับสาร ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับอำพราง QR Code ในภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายให้มีความปลอดภัย ตลอดจนเป็นต้นแบบการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้วิทยาการอำพรางข้อมูลสำหรับใช้งานในกองทัพอากาศต่อไป

2. ขอบเขตงานวิจัย

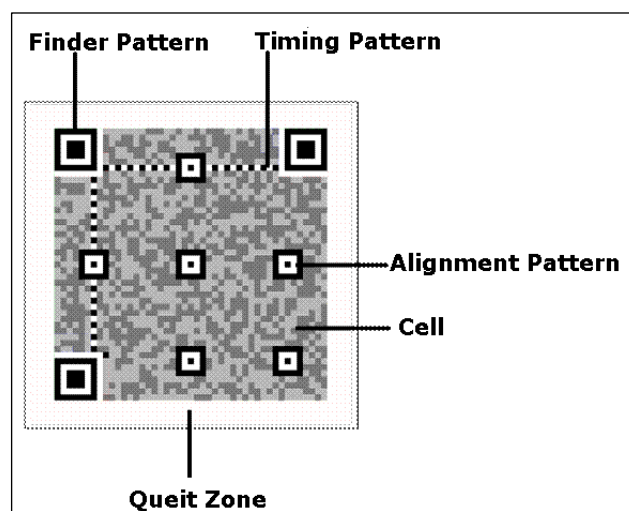
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการอำพราง QR Code ในภาพก่อนส่งให้ผู้รับสารผ่านระบบเครือข่าย เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการติดต่อสื่อสาร รวมถึงสามารถรักษาความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบจะใช้เทคนิคการอำพราง QR Code ไว้ที่ค่าพิกเซลของภาพโดยใช้เทคนิค Least Significant Bit (LSB) ใช้ภาษาไพทอนในการพัฒนาโปรแกรม และใช้ไลบรารี OpenCV สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพดิจิทัล รวมถึงใช้โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL สำหรับจัดการบัญชีผู้ใช้งาน

3. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 QR Code (Quick Response Code)[1]

เป็นบาร์โค้ดที่อยู่ในรูปแบบสองมิติรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีโมดูลข้อมูลตั้งแต่ 21x21 ถึง 177x177 สามารถบรรจุข้อมูลตัวเลขได้ 7,089 ตัวเลข หรือ 4,296 ตัวอักษร ซึ่งข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน QR Code จะอยู่ในรูปแบบของค่าไบนารี 0 และ 1 โดย ค่า 0 จะแทนพื้นที่สีขาว และค่า 1 จะแทนพื้นที่สีดำ ในส่วนโครงสร้างภายในของ QR Code (ตามรูปที่ 1) ประกอบด้วย

- 3.1.1 Finder pattern สำหรับการตรวจหาตำแหน่งในการอ่านข้อมูล
- 3.1.2 Timing pattern สำหรับการตรวจตำแหน่งของแต่ละเซลล์
- 3.1.3 Alignment Pattern สำหรับแก้ไขการบิดเบือนของ QR Code
- 3.1.4 Quiet Zone เป็นพื้นที่ขอบ QR Code
- 3.1.5 Data Area หรือ Cell เป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูล



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของ QR Code

จากประโยชน์ของ QR Code ที่ผู้ใช้งานสามารถแปลงข้อมูลหรือหมายเลขที่มีความซับซ้อนยากต่อการจดจำให้อยู่ในรูปแบบภาพที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายผ่านอุปกรณ์พกพา นั้น ทำให้ QR Code ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้กับงานในหลากหลายด้าน ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ QR Code เพื่อส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ สำหรับศูนย์รวมสายพันธุ์กล้วยเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดกำแพงเพชร ที่ทำให้ผู้มาใช้บริการมีความสะดวกขึ้นในการเข้าถึงข้อมูลของกล้วยไม้สายพันธุ์ต่าง ๆ เช่น ชื่อสายพันธุ์ ความแข็งแรงทนทาน รูปแบบเด่นชัด ชื่อวิทยาศาสตร์ ข้อมูลทั่วไป ลำต้น ใบ ดอกผล และประโยชน์ของกล้วยไม้ชนิดนั้น ๆ เป็นต้น [2] ซึ่งผลลัพธ์จากการสำรวจความพึงพอใจการประยุกต์ใช้งาน QR Code อยู่ในระดับที่สูงมาก นอกจากนี้ QR Code ยังสามารถนำมาใช้กับการบริหารข้อมูลทะเบียนพัสดุ หรือสิ่งของต่าง ๆ ได้ เช่น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code เพื่อจัดทำทะเบียนพรรณไม้สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน [3] เป็นต้น

3.2 การอำพรางข้อมูล (Steganography)

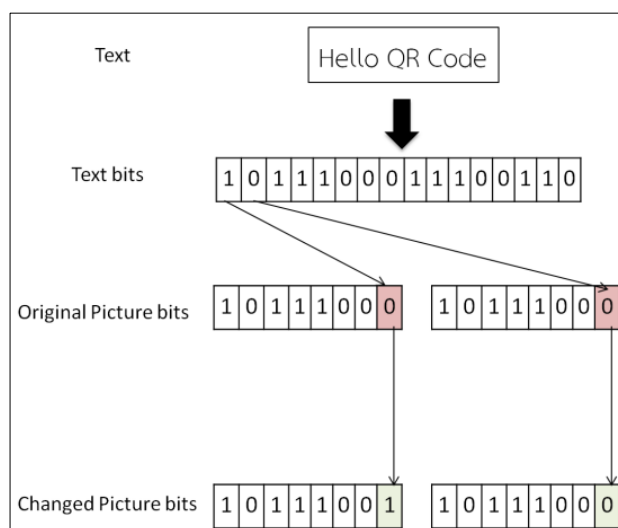
เป็นการสื่อสารข้อมูลที่ใช้เทคนิคการซ่อนพรางข้อมูลชนิดหนึ่งแฝงไปกับข้อมูลอีกชนิดหนึ่งให้ดูเหมือนว่าไม่มีการอำพรางข้อมูลใด ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อไม่ให้บุคคลที่สามสามารถมองเห็น รับรู้ และเข้าใจได้จากสายตาปกติ ซึ่งการอำพรางข้อมูล (Steganography) จะเป็นวิธีที่มุ่งเน้นไม่ให้บุคคลที่สามสามารถรับรู้ได้ถึงการมีอยู่ของข้อมูลลับ

ในขณะที่วิทยาการเข้ารหัสลับ (Cryptography) จะเน้นการทำให้ข้อมูลไม่สามารถอ่านและเข้าใจได้ โดยทั่วไปแล้วการอำพรางข้อมูลจะต้องมีการเตรียมการ และออกแบบข้อมูลลับให้อยู่ในรูปแบบที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปอำพรางบนสื่อสัญญาณต่าง ๆ เช่น การอำพรางข้อความในภาพจะต้องทำการแปลงข้อความให้อยู่ในรูปแบบรหัส ASCII หรือ Byte เพื่อให้เหมาะสมพร้อมที่จะนำเข้าไปแฝงร่วมกับแต่ละค่าพิกเซลของภาพ

ปัจจุบันการอำพรางข้อมูลในภาพได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากภาพเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ สามารถทำให้ผู้รับสารรับรู้และเข้าใจในเนื้อหาของสารได้ง่ายและรวดเร็ว โดยการอำพรางข้อมูลในภาพแบ่งได้หลัก ๆ ดังนี้ การอำพรางข้อมูลเชิงโดเมนพื้นที่ ซึ่งจะซ่อนข้อมูลไว้ที่ค่าพิกเซล (Pixel) ของภาพ และการอำพรางข้อมูลไว้ที่โดเมนความถี่ที่ได้จากการแปลงโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Cosine Transform : DCT) นอกจากนี้ยังมีการอำพรางข้อมูลภาพแบบผสมร่วมกันระหว่างเชิงโดเมนพื้นที่ และความถี่อีกด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการอำพรางข้อมูลไว้ที่ค่าพิกเซลของภาพ โดยพิจารณาการอำพรางข้อมูลไว้ที่บิตนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least Significant Bit : LSB) เนื่องจากสามารถเข้าใจได้ง่าย และสามารถใช้ได้กับข้อมูลภาพทุกประเภท อย่างไรก็ตาม การอำพรางข้อมูลในภาพลักษณะนี้อาจจะสามารถทำให้เห็นถึงความบิดเบือนข้อมูลหลังจากที่มีการอำพรางแล้วได้ง่ายกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอำพรางข้อมูลในรูปแบบเชิงโดเมนความถี่

การอำพรางข้อมูลในภาพแบบบิตนัยสำคัญน้อยที่สุด Least Significant Bit (LSB) [1] มีหลักการคือจะอำพรางข้อความไว้ที่บิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด เนื่องจากจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีในภาพน้อยที่สุด และยากที่จะสังเกตเห็นด้วยสายตาของมนุษย์ สำหรับกระบวนการอำพรางข้อมูลแบบ Least Significant Bit มีขั้นตอน (ตามรูปที่ 2) ดังนี้

- 3.2.1 แปลงข้อมูลที่ต้องการจะอำพรางให้อยู่ในรูปแบบ ASCII Byte
- 3.2.2 แปลงข้อมูลจากรูปแบบ ASCII Byte เป็นบิต
- 3.2.3 แปลงข้อมูลภาพที่ต้องการที่จะใช้เป็นสื่อให้อยู่ในรูปแบบบิต
- 3.2.4 นำแต่ละบิตของข้อมูลไปแทนที่บิตสุดท้ายของแต่ละค่าพิกเซลในภาพจนครบทุกบิตของข้อมูล



รูปที่ 2 การอำพรางข้อความโดยใช้วิธีการ LSB

จากวัตถุประสงค์ของการอำพรางข้อมูลที่มุ่งเน้นไม่ให้นักลับที่สามสามารถรับรู้ได้ถึงการมีอยู่ของข้อมูลลับ จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการอำพรางข้อมูลร่วมกับงานด้านการรักษาความปลอดภัยข้อมูล โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการอำพรางข้อมูลในหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ การฝังข้อมูลลับเกี่ยวกับการทำ Transaction ทางการค้าไปบน QR Code เพื่อสร้างทางเลือกให้กับผู้ใช้งาน QR Code สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลลับผ่านการใช้ QR Code โดยไม่เพิ่มภาระให้กับ

ระบบมากขึ้นไป [1] นอกจากนี้ พบว่ามีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับใช้อำพรางข้อมูลที่มีการเข้ารหัสแล้วนำไปทำการอำพรางลงบนภาพ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลลับให้มากยิ่งขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยดังกล่าวจะทำให้ยากที่จะรับรู้ได้ว่ามีข้อมูลลับ รวมถึงหากรับรู้ก็ยากต่อการถอดรหัสข้อมูลลับ เพื่อทำความเข้าใจ [4]

4. การดำเนินการวิจัย

จากความนิยมในการใช้ QR Code ในการแปลงข้อมูลที่ซับซ้อนให้เป็นภาพสำหรับใช้ติดต่อสื่อสารผ่านช่องทางที่มีการรักษาความปลอดภัย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับอำพรางข้อมูล QR Code ในภาพ โดยการพัฒนาที่ใช้แนวทางของวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) [5] ประกอบด้วย ดังนี้

4.1 กำหนดปัญหา

ปัจจุบันกองทัพอากาศยึดถือแนวทางการพัฒนาระบบงานบนพื้นฐานการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Operations : NCO) [6] ที่มุ่งเน้นการติดต่อสื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างหน่วยงานผ่านเครือข่าย ทำให้ในปัจจุบันข้าราชการส่วนใหญ่มีทักษะและขีดความสามารถในการปฏิบัติงาน ติดต่อสื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลกันผ่านระบบเครือข่ายโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ หรือแพลตฟอร์มสื่อสารออนไลน์ที่กองทัพอากาศอนุมัติให้ใช้งาน และหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างกันคือ QR Code ซึ่งการใช้ QR Code อย่างไม่มีมัลแวร์อาจทำให้ผู้ที่ไม่ประสงค์ดีสามารถเข้าถึงข้อมูล และอาจจะส่งผลกระทบต่อหน่วยงาน เจ้าของข้อมูล รวมถึงตัวผู้ส่ง QR Code ดังนั้น QR Code จำเป็นต้องมีการรักษาความปลอดภัยก่อนการส่งให้ผู้รับสาร

4.2 การวิเคราะห์

จากปัญหาที่ QR Code จำเป็นต้องได้รับการรักษาความปลอดภัยก่อนส่งให้ผู้รับสาร ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ความต้องการ และมีแนวทางการรักษาความปลอดภัย QR Code ดังนี้

4.2.1 QR Code จะต้องผ่านกระบวนการอำพรางในภาพก่อนส่งให้ผู้รับสาร

4.2.2 ข้อมูลผู้ส่งและผู้รับสารจะต้องถูกอำพรางในภาพด้วยเพื่อใช้กำหนดและยืนยันกลุ่มของผู้รับสารให้ชัดเจน

4.2.3 ผู้ใช้งานจะต้องทำการลงทะเบียนก่อนการใช้งานระบบอำพรางข้อมูล

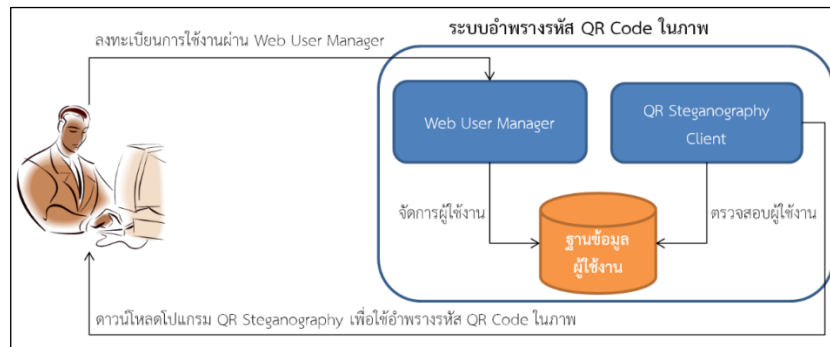
4.3 การออกแบบ

จากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบอำพราง QR Code ในภาพ (รูปที่ 3) มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ระบบอำพราง QR Code จะประกอบด้วย ส่วนฐานข้อมูลผู้ใช้งานที่ใช้จัดเก็บบัญชีผู้ใช้งาน ซึ่งบริหารจัดการบัญชีผู้ใช้งานผ่านโปรแกรม Web User Manager และอำพราง QR Code ในภาพด้วยโปรแกรม QR Steganography Client โปรแกรมทั้งสองส่วนจะทำงานร่วมกันโดยผู้ใช้งานจะต้องมีข้อมูลในระบบฐานข้อมูลของโปรแกรม Web User Manager ถึงจะสามารถเข้าใช้งานโปรแกรม QR Steganography Client ได้

4.3.2 ผู้ใช้งานจะเริ่มต้นการใช้งานโดยการลงทะเบียนผ่านโปรแกรม Web User Manager

4.3.3 หลังจากการลงทะเบียนผู้ใช้งานจะทำการดาวน์โหลดโปรแกรม QR Steganography Client เพื่อใช้ในการอำพราง QR Code ในภาพ ซึ่งการใช้งานในแต่ละครั้ง ระบบจะทำการตรวจสอบสิทธิ์ และสถานะผู้ใช้งานในฐานข้อมูลบัญชีผู้ใช้งาน รวมถึงระบบจะเก็บประวัติการใช้งานของผู้ใช้งานแต่ละคนอีกด้วย



รูปที่ 3 ระบบอำพราง QR Code ในภาพ

4.4 การพัฒนาและทดสอบ

เป็นขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสำหรับระบบอำพราง QR Code ในภาพ ซึ่งระบบนี้ประกอบด้วยส่วนบริหารจัดการบัญชีผู้ใช้ (Web User Manager) ที่ใช้ภาษา PHP ใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล MySQL โดยโปรแกรมส่วนนี้จะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้สามารถทำการสมัครสมาชิก มีฟังก์ชันสำหรับให้ผู้ใช้และระบบตรวจสอบ และยืนยันข้อมูลความถูกต้องของสมาชิก ตรวจสอบพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้แต่ละคน รวมถึงมีฟังก์ชันสำหรับการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าใช้งานโปรแกรม QR Steganography Client ในรูปแบบของ API ด้วย

ในการพัฒนาสำหรับในส่วนของการพัฒนาโปรแกรม QR Steganography Client จะใช้ภาษาไพธอน (Python) และไลบรารี OpenCV สำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งการพัฒนาโปรแกรม QR Steganography Client นั้น จะใช้เทคนิค Least Significant Bit (LSB) โดยการอำพรางข้อมูลในภาพมีขั้นตอน (ตามรูปที่ 4) ดังนี้

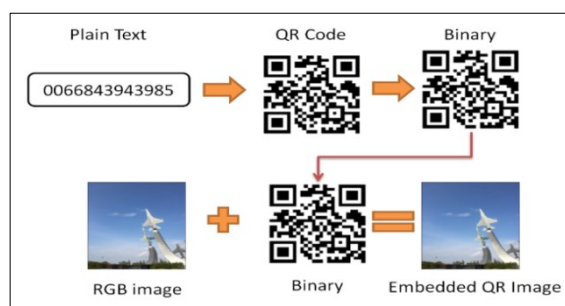
4.4.1 แปลงข้อความให้อยู่ในรูปแบบของ QR Code

4.4.2 แปลง QR Code ให้อยู่ในรูปแบบ Binary ซึ่งจะมีค่า 1 และ 0 โดยค่า 1 จะแทนด้วยพื้นที่สีขาว และค่า 0 แทนพื้นที่สีดำ

4.4.3 ปรับแก้บิตสุดท้ายของภาพที่จะใช้เป็นสื่อในการอำพรางให้มีค่า 0 สำหรับทุกพิกเซลของภาพต้นฉบับ เช่น ค่าพิกเซลของภาพมีค่า 255 เมื่อแปลงเป็นไบนารีจะได้ 11111111 และเมื่อทำการปรับค่าบิตสุดท้ายเป็น 0 ค่าพิกเซลใหม่ที่ได้อีกคือ 11111110 สำหรับในกรณีที่พิกเซลใดที่บิตสุดท้ายมีค่าเป็น 0 อยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ค่าในพิกเซลนั้น เช่น ค่าพิกเซลของภาพมีค่า 250 เมื่อแปลงเป็นไบนารีจะได้ 11111010 จะเห็นว่าบิตสุดท้ายเป็น 0 ดังนั้นพิกเซลนี้ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ค่า

4.4.4 ปรับค่าบิตสุดท้ายของภาพผลลัพธ์จากข้อ 4.4.3 ในทุกตำแหน่ง โดยให้สอดคล้องกับค่าในตำแหน่งนั้น ๆ ของ QR Code ที่อยู่ในรูปแบบไบนารี (รูปที่ 5)

4.4.5 ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพที่มีการอำพราง QR Code

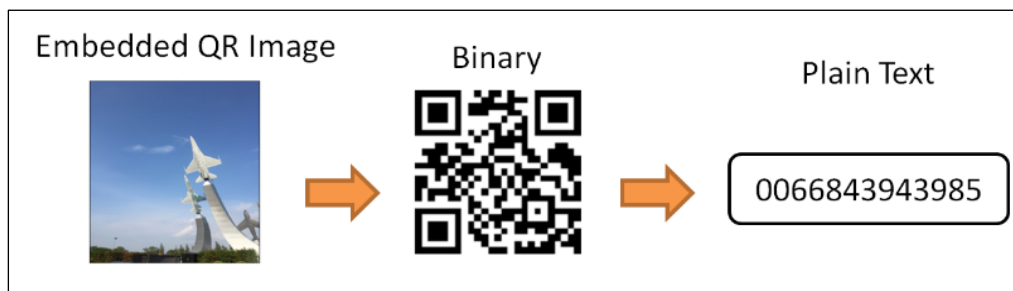


รูปที่ 4 กระบวนการอำพรางข้อมูล QR Code ในภาพ

```
def make_secrete_qrcode_image(base_image,qr_image):
    rows,cols = qr_image.shape
    for row in range(rows):
        for col in range(cols):
            if qr_image[row,col] > 0 :
                base_image[row,col,0] = base_image[row,col,0]+1
    return base_image
```

รูปที่ 5 อัลกอริทึมปรับค่าบิตสุดท้ายของภาพสำหรับซ่อน QR Code

สำหรับกระบวนการกู้คืน QR Code จะเป็นกระบวนการย้อนกลับของกระบวนการอำพราง (รูปที่ 6) โดยจะพิจารณาค่า Pixel ในภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการอำพรางข้อมูล (The Embedded QR Image) ว่าเป็นเลขคู่หรือเลขคี่เพื่อนำมาสร้างเป็น QR Code (รูปที่ 7) ซึ่งในกรณีที่ค่า Pixel เป็นเลขคู่จะกำหนดให้ค่า Pixel ของภาพ QR Code เป็น 0 ในขณะที่ค่า Pixel เป็นเลขคี่จะกำหนดให้ค่า Pixel ของภาพ QR Code เป็น 1 โดยผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ QR Code ที่อยู่ในรูปแบบไบนารีที่สามารถแปลงเป็นข้อความให้ผู้รับสารสามารถเข้าใจได้



รูปที่ 6 กระบวนการกู้คืน QR Code

```
def qrcode_decode(the_secret_image,rows,cols):
    result = np.zeros([rows,cols])
    pixels = np.array(the_secret_image)
    for row in range(rows):
        for col in range(cols):
            if pixels[row,col,0] % 2 != 0 :
                result[row,col] = 1
    return result
```

รูปที่ 7 อัลกอริทึมสร้าง QR Code

4.5 การติดตั้งระบบ

ระบบอำพราง QR Code ในภาพจะติดตั้งให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบผ่านเครือข่ายของกองทัพอากาศ ซึ่งระบบจะติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Window Server 2012 และใช้ IIS เป็น Web Server โดยผู้ใช้งานสามารถลงทะเบียนและดาวน์โหลดโปรแกรมไปใช้งาน และเมื่อทำการอำพรางข้อมูลผ่านระบบแล้ว ผู้ใช้งานสามารถนำภาพที่ได้ส่งต่อให้กับผู้รับสารได้โดยที่บุคคลที่สามไม่สามารถรับรู้ว่ามีข้อมูลลับในภาพนั้น ๆ

5. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบอำพราง QR Code ในภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อการรักษาความปลอดภัย QR Code ทำให้การติดต่อสื่อสารโดยใช้ QR Code มีความน่าเชื่อถือ รวมถึงสามารถอำพรางข้อมูลลับที่บุคคลที่สามไม่สามารถรับรู้หรือเข้าใจได้ โดยระบบจะประกอบด้วย ดังนี้

5.1 ส่วนบริหารจัดการบัญชีผู้ใช้งาน

ซึ่งทำหน้าที่ในการรับลงทะเบียน แก้ไขและลบบัญชีผู้ใช้งาน (ตามรูปที่ 8)

The screenshot shows a web application interface for user management. At the top, there is a form with fields for 'UserName', 'Password', 'Email' (pre-filled with 'name@example.com'), and 'Group' (a dropdown menu set to 'Member'). Below these fields are 'save' and 'cancel' buttons. Under the form is a section titled 'Information' with a 'Show 10 entries' dropdown and a search bar. Below this is a table with columns: 'id', 'username', 'group', 'email', 'key', and 'manage'. The table contains two entries. The first entry has id '1', username 'admin', group 'Administrator', email 'phummipat_d@rtaf.mi.th', and key 'f6fdffe48c908deb0f4c3bd36c032e72'. The second entry has id '2', username 'bua', group 'Member', email 'bua@rtaf.mi.th', and key '9bea164887d554dc7f6465dbfdc9271d'. Each entry has 'Edit' and 'Del' buttons in the 'manage' column. At the bottom, it says 'Showing 1 to 2 of 2 entries' and has 'Previous', '1', and 'Next' links.

id	username	group	email	key	manage
1	admin	Administrator	phummipat_d@rtaf.mi.th	f6fdffe48c908deb0f4c3bd36c032e72	Edit Del
2	bua	Member	bua@rtaf.mi.th	9bea164887d554dc7f6465dbfdc9271d	Edit Del

รูปที่ 8 ส่วนบริหารจัดการบัญชีผู้ใช้งาน

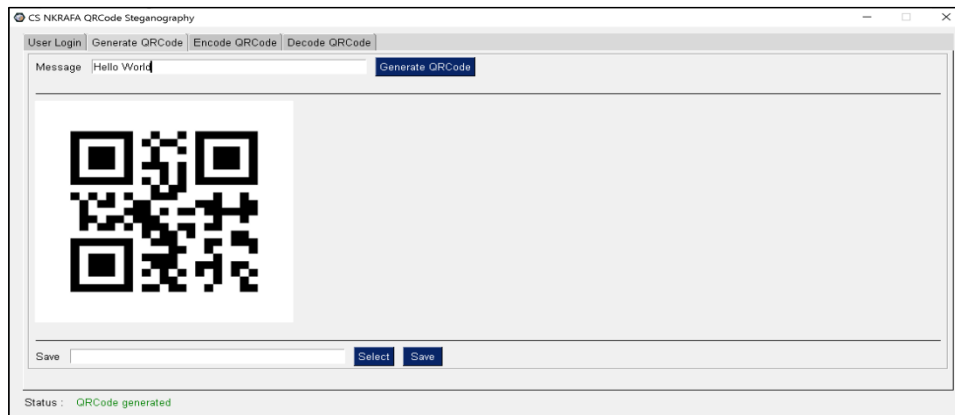
5.2 ส่วนโปรแกรมอำพราง QR Code (QR Steganography Client)

ทำหน้าที่ประมวลผลภาพสำหรับอำพราง QR Code ในภาพ โดยการทำงานจะประกอบด้วย 3 เมนูหลัก ดังนี้

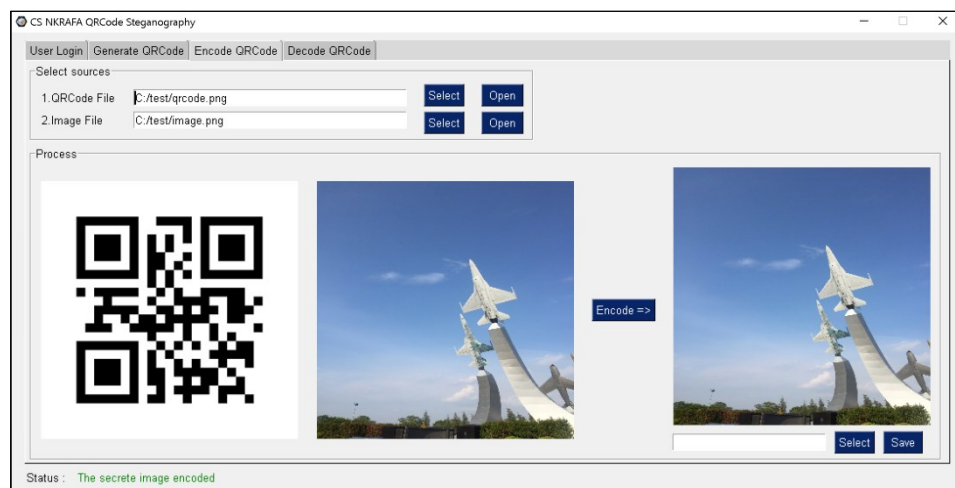
5.2.1 Generate QR Code จะทำหน้าที่ในการสร้าง QR Code (ตามรูปที่ 9)

5.2.2 Encode QR Code จะทำการประมวลผลการอำพราง QR Code ร่วมกับภาพ (ตามรูปที่ 10)

5.2.3 Decode QR Code เป็นส่วนที่จะใช้กู้คืน QR Code ที่ได้อำพรางไว้ในภาพ (ตามรูปที่ 11)



รูปที่ 9 ส่วนสร้าง QR Code



รูปที่ 10 ส่วนประมวลผลการอำพราง QR Code



รูปที่ 11 ส่วนประมวลผลการกู้คืน QR Code

6. สรุปผลการวิจัย

จากการประมวลผลอำพราง QR Code ในภาพด้วยโปรแกรม QR Steganography Client โดยใช้เทคนิค LSB พบว่า ภาพต้นฉบับก่อนการอำพราง QR Code ตามรูปที่ 12(ก) และภาพผลลัพธ์หลังอำพราง QR Code ตามรูปที่ 12 (ข) มีความคล้ายคลึงกันจนยากต่อการแยกแยะด้วยสายตาดูภาพใดที่มีการซ่อนพราง QR Code ในประเด็นขนาดของภาพที่ใช้เป็นสื่อสำหรับอำพราง QR Code นั้น สรุปได้ว่าภาพจะต้องมีขนาด หรือ Dimension ที่ใหญ่กว่า QR Code



รูปที่ 12 (ก) ภาพต้นฉบับ



รูปที่ 12 (ข) ภาพหลังการอำพรางข้อมูล

7. ข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบัน QR Code มีความสำคัญต่อการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร โดยจะสังเกตได้จากผู้ใช้งานนิยมส่ง QR Code แทนการส่งข้อมูลที่มีความซับซ้อน และยากต่อการจดจำ อย่างไรก็ตามด้วยความสะดวกของการใช้ QR Code อาจทำให้ผู้ใช้งานใช้ QR Code อย่างไม่ระมัดระวังจนส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อหน่วยงานหรือถูกละเมิดความเป็นส่วนตัว ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบการอำพราง QR Code ในภาพ โดยใช้เทคนิคการอำพรางข้อมูลไว้ที่ค่าพิกเซลของภาพแบบ LSB เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารด้วย QR Code ให้มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือ โดยระบบสามารถอำพราง QR Code ในภาพที่ให้ภาพผลลัพธ์หลังการอำพราง QR Code มีความคล้ายคลึงกับภาพต้นฉบับจนยากต่อการแยกแยะด้วยสายตามนุษย์

สำหรับการวิจัยในอนาคตเพื่อเป็นการยกระดับมาตรการให้การรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ได้เพิ่มมากขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอเสนอให้ทำการทดลองเข้ารหัสข้อความหรือข้อมูลก่อนการแปลงเป็น QR Code [7] รวมถึงทดลองประยุกต์การอำพรางข้อมูลไว้ที่ค่าอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ค่าพิกเซลของภาพ หรือประยุกต์ใช้การอำพราง QR Code ไว้ที่การแปลงโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง (DCT) ของภาพ เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีญาทิพย์ แดงมี และ วรพล ลีลาเกียรติสกุล. (2015). การอำพรางข้อมูลลับด้วย Steganography บน QRCode. JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 5(1) : 35-41.

- [2] ขวัญจุฑา คำบรรลือ, วิวัฒน์ มีสุวรรณ และ พิษณุภา ขวงสร้อย. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดเพื่อส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับศูนย์รวมสายพันธุ์กล้วย เณลิมพระเกียรติ จังหวัดกำแพงเพชร. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 19(1) : 184-193.
- [3] กิตติพงษ์ จันทรถาวร และ ชุตินาถ วาฤทธิ. (2563). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรหัสคิวอาร์เพื่อจัดทำทะเบียนพรรณไม้สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน. วารสารวิชาการนวัตกรรมการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 7(1) : 8-19.
- [4] มนธล พรหมวิเชียร และ เกียรติศักดิ์ โยชนะง. (2010). โปรแกรมประยุกต์การอำพรางข้อมูลลงภาพโดยใช้วิธีการสลับบิตร่วมกับการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้มาตรฐานการเข้ารหัสลับขั้นสูง. THE 6 th NATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND INFORMATION TECHNOLOGY(692-679). Bangkok, Thailand.
- [5] ปรีชา พินทุศรี, จูติรัตน์ จันทรคารา, ยุทธเดช ช้อยแสง, ธนิกา กอสันประเสริฐ และ ดวงนภา บัวสันต์. (2562). การพัฒนาโปรแกรมสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการด้านทะเบียนทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม. วารสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน, 25(2): 79-91.
- [6] ยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ.2561 - 2580) (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2563).
- [7] Simalaotao, P. (2018). The Prototype Development of Traceability System of LSB Steganography in Image Files with Base64 and MD5 Encoding. Journal of Thai Interdisciplinary Research, 14(1):29-34.
- [8] Al-Sadoon, B., Mathkour, H., and Assassa, G. (2007). On the Development of Steganographic Tools, Department of Computer Science, College of Computer and Information Sciences, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.
- [9] Bandyopadhyay, S. K., Bhattacharyya, D., Ganguly, D., Mukherjee, S., and Das, P. (2008). A Tutorial Review on Steganography, University of Calcutta, Computer Science and Engineering Department, Heritage Institute of Technology, Anandapur, Kolkata.
- [10] Dobsicek, M. (2003). Modern Steganography, Department of Computer Science and Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, Karlovo náměstí, Czech Republic.
- [11] Fridrich, J., Goljan, M., Du, R. (2001). Reliable Detection of LSB Steganography in Color and Grayscale Images, Air Force Research Laboratory, the Air Force Office of Scientific Research (AFOSR).
- [12] Hunt, K. (2005). A Java Framework for Experimentation with Steganography, The University of Wisconsin - La SIGCSE '05, St. Louis, Missouri, USA.
- [13] Johnson, N. F., and Jajodia, S. (1998). Steganalysis of Images Created using Current Steganography Software, Workshop on Information Hiding Proceedings(273-289). Portland, Oregon, USA.
- [14] Abbas, C., Joan, C., Kevin, C. and Paul, M. K. (2009), Digital Image Steganography: Survey and Analysis of Current Methods, School of Computing and Intelligent Systems, Faculty of Computing and Engineering University of Ulster at Magee, Londonderry, Northern Ireland, United Kingdom.
- [15] LENTI, J., (2000). Steganographic Methods, Department of Control Engineering and Information Technology, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary.
- [16] Lin, E. T. and Delp, E. J. (2000). A Review of Data Hiding in Digital Images (VIPER), School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University, Indiana.

หลักฐานการมีส่วนร่วม

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ

ก. ชื่อผลงาน การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR.Code ด้วยเทคนิคการอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ

ข. สถานะผู้ขอในผลงาน

- ☒ ผู้ประพันธ์อันดับแรก (First Author)
☐ ผู้มีส่วนสำคัญทางปัญญา (Essentially Intellectual Contributor)
☐ ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author)

ค. ประเภทของผลงาน

กลุ่มที่ ๑ ☒ งานวิจัย

กลุ่มที่ ๒ ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่น

- | | |
|--|--|
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่ออุตสาหกรรม | ☐ กรณีศึกษา |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนและการเรียนรู้ | ☐ งานแปล |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนานโยบายสาธารณะ | ☐ สิทธิบัตร |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | ☐ ซอฟต์แวร์ |
| ☐ พจนานุกรม สารานุกรม นามานุกรม และงานวิชาการในลักษณะเดียวกัน | |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านสุนทรียะ ศิลปะ | ☐ ผลงานนวัตกรรม |
| ☐ ผลงานรับใช้ท้องถิ่นและสังคม | |

กลุ่มที่ ๓ ☐ ตำรา

☐ หนังสือ

☐ บทความทางวิชาการ

รายละเอียดของการมีส่วนร่วม

ผู้ข้อกำหนดตำแหน่งต้องกรอรายละเอียดให้ครบถ้วน (เนื่องจากไม่มีการแบ่งส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ ดังนั้น บทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบตามที่ผู้ขอระบุจะมีผลต่อการพิจารณาผลงานทางวิชาการ และต้องแนบเอกสารหลักฐานเพื่อประกอบการพิจารณา)

รายละเอียดการมีส่วนร่วม	บทบาทและหน้าที่ความรับผิดชอบ
ก. ความคิดริเริ่มและสมมติฐาน	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตั้งสมมติฐานงานวิจัย
ข. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง รับผิดชอบควบคุมการปฏิบัติในทุกขั้นตอน และ พล.อ.ต. ศ.ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง เป็นผู้ให้คำปรึกษา
ค. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นหัวหน้าทีมที่ดำเนินการรวบรวมข้อมูล และความต้องการระบบ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูล
ง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้นำเสนอแนวทางและผลการวิจัย โดยมี พล.อ.ต. ศ.ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง เป็นผู้ให้คำปรึกษา
จ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ดำเนินการเขียนบทความวิจัยหลัก และ พล.อ.ต. ศ.ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้อง
ฉ. การให้การสนับสนุน specimens, logistics, ทุนวิจัย (โปรดระบุแหล่งทุน เงินทุน และปีที่ได้รับ) เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์	เป็นงานวิจัยที่สนับสนุนยุทธศาสตร์กองทัพอากาศในมิติไซเบอร์ และได้รับประมาณ จากบวิจัยและพัฒนาวิถุด้านยุทธการ
ช. อื่น ๆ	

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง)

ผู้ข้อกำหนดตำแหน่ง

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง)

ผู้ประพันธ์อันดับแรก

ลงชื่อ..... พล.อ.ต. ศ.ดร. ประสงค์ ปราณีตพลกรัง

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

หลักฐานการใช้ประโยชน์ / การอ้างอิง



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สนข.ขว.ทอ.(กปข.โทร.๒-๐๘๘๓)

ที่ (ต่อ สนข.ขว.ทอ.เลขรับ ๒๙๙๕/๖๖)

วันที่ ๓ ก.ค.๖๖

เรื่อง ขอใช้โปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของ QR Code ด้วยการ
อำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ

เรียน จก.ขว.ทอ.

เพื่อพิจารณาอนุมัติตามข้อ ๓

พล.อ.ต.

ผอ.สนข.ขว.ทอ.

อนุมัติตามข้อ ๓

พล.อ.ท.

จก.ขว.ทอ.

๓

ก.ค.๖๖



บันทึกข้อความ

สำนักข่าวกรอง ขว.ทอ
เลขรับ ๖๐๕๔
วันที่ ๐๕ มิ.ย. ๖๖
เวลา ๐๕.๐๙

ส่วนราชการ กปข.สนข.ขว.ทอ.(ผ.๑ โทร.๒-๐๘๘๗)

ที่ กท ๐๖๐๕.๔(๔.๒)/ ๖๕๖

วันที่ ๖ มิ.ย.๖๖

เรื่อง ขอใช้โปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของ QR Code

ด้วยการอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ

เรียน ผอ.สนข.ขว.ทอ.

๑. ตามที่ กปข.สนข.ขว.ทอ.มีหน้าที่ดำเนินการด้านการปฏิบัติการข่าว การต่อต้านการข่าวกรองในมาตรการเชิงรุก การข่าวกรองเพื่อความมั่นคง การสืบสวนกรณีการละเมิดการรักษาความปลอดภัย และการสืบสวนพิเศษ นั้น

๒. กปข.๑ มีข้อมูลนำเรียน ดังนี้

๒.๑ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กวคค.กคส.ร.ร.น.ก.ได้รับอนุมัติให้ดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ด้วยเทคนิคการอำพรางในภาพ เพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มทางเลือกในการรักษาความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูลส่วนบุคคลหรือข้อมูลที่มีชั้นความลับ โดยการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ QR Code และอำพราง QR Code นั้นไปยังรูปภาพที่กำหนดไว้ เมื่อรูปภาพดังกล่าวถูกส่งถึงปลายทาง ผู้รับจะสามารถนำรูปภาพนั้น เข้าสู่กระบวนการถอดรหัส เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่แฝงอยู่ในภาพ ทั้งนี้ โครงการวิจัยดังกล่าวได้รับการยอมรับและตีพิมพ์เผยแพร่ในงานวิจัยลงในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ ปีที่ ๑๘ ฉบับที่ ๑ มกราคม ถึง มิถุนายน ๒๕๖๕ หน้า ๑๕ - ๒๕ ตามแนบ

๒.๒ กปข.๑ ได้ประสาน ภาควิชาคอมพิวเตอร์ ๑ แล้ว สามารถใช้โปรแกรมดังกล่าวได้โดยไม่ต้องเสนอหนังสือถึง รร.น.ก. เนื่องจากเป็นผลงานวิจัยฯ ที่พร้อมให้บริการกับ นขต.ทอ.ทั้งภายในและภายนอกกระบวนเครือข่ายของกองทัพอากาศ อีกทั้งยังสอดคล้องกับภารกิจด้านการต่อต้านการข่าวกรองในมาตรการเชิงรุก ของ กปข.๑ ที่มีความจำเป็นสำหรับการรักษาความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูลที่มีความสำคัญของหน่วย

๓. กปข.๑ พิจารณาแล้ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานด้านการต่อต้านการข่าวกรองในมาตรการเชิงรุก จึงเห็นสมควรขอใช้โปรแกรมฯ ตามข้อ ๒.๑ และเสนอความต้องการเพิ่มเติมให้กับทีมงานวิจัยสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

น.อ.

ผอ.กปข.สนข.ขว.ทอ.

เอกสารที่อ้างอิงบทความวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ด้วยเทคนิค
การอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ

The Application Development in Security and Privacy of QR Code Users Using Steganography
Techniques for Efficient Communication in the Royal Air Force

การประยุกต์ใช้ QR Code เพื่อรักษาความปลอดภัย
กรณีศึกษา ณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

QR Code Application for Building Security: A Case Study of Navaminda

Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

^{1*} ภูมินันท์ บัวงาม ^{2#} พนิดา แก้วชนิด

Received : October 6, 2022

Revised : October 23, 2022

Accepted : December 20, 2022

^{1,2}ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} Phuminun Bua-ngam and ^{2#} Panida Kaewchanid

^{1,2}Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*phuminun@rtaf.mi.th, #panida_ka@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี โดยประยุกต์ใช้ QR Code 2) เพื่อจัดทำระบบเก็บข้อมูลผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช โดยใช้ภาษา PHP และ JavaScript ฐานข้อมูล My SQL โดยระบบที่พัฒนาระบบสามารถให้เข้าใช้งานโดยมี 2 ส่วนหลักคือ ระบบจัดการผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน และหน้าการใช้งาน QR Code ของผู้ปฏิบัติงานผ่านโมบายแอปพลิเคชัน จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีโดยมีผลค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.1 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.57 คะแนน และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบอยู่ในระดับดี มีผลค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.42 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.59 คะแนน แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

คำสำคัญ: การรักษาความปลอดภัย, รหัสคิวอาร์โค้ด, ระบบฐานข้อมูล

Abstract

This research aims to develop a security system based on applying QR Code and create the operator record system based on PHP and JavaScript, My SQL for Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy (NKRAFA) area Muak Lek District, Saraburi province. The developed system allows two main ways of accessing, including the management system via web application page and QR Code of work operators with a mobile application. The results showed user satisfaction with the system from experts, which were at a good level by having means at 4.1 points, standard deviation at 0.57 and the assessment result of users' satisfaction toward the system was a good level. The means were at 4.42 points, a standard deviation of 0.59 points. It showed that the efficiency of the system was at a good level.

Keywords: Security, QR Code, Database System

ทั้งหมดได้ และส่วนของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งได้ประเมินผลประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยประเมินระบบทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านความถูกต้องในการทำงาน และด้านความใช้งานที่ง่ายของระบบ โดยได้คะแนนค่าเฉลี่ยรวมที่ 4.1 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ 0.57 คะแนน ผลการประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้ง 3 ด้านเหมือนกันได้คะแนนค่าเฉลี่ยรวมที่ 4.42 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.59 คะแนน โดยอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ข้อจำกัดของการใช้งานระบบคือระบบมีความจำเป็นที่ต้องใช้งานสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่มีความเสถียร แต่เนื่องจากโรงเรียนนายเรืออากาศอยู่ในระหว่างทำการก่อสร้างบางส่วนทำให้ สัญญาณอาจไม่ค่อยเสถียรเท่าที่ควร และส่วนที่ให้ผู้ปฏิบัติงานใช้งานผ่านโมบายจะมีส่วนที่ต้องใช้งานกล้องเพื่อถ่ายภาพเก็บข้อมูลต้องทำการตั้งค่าที่เครื่องแม่ข่ายอย่างละเอียดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการบันทึกของรูปภาพของผู้ปฏิบัติงาน

9. ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บข้อมูลในช่วงโรคระบาด Covid-19 เพื่อให้การเก็บข้อมูลใบหน้ามีความชัดเจนอาจต้องถอดหน้ากากซึ่งมีความเสี่ยงที่จะติดเชื้อได้ ดังนั้นการเก็บข้อมูลควรต้องใช้ความระมัดระวังและให้ผู้ปฏิบัติงานวัดอุณหภูมิ และตรวจ ATK ก่อนเข้าปฏิบัติงาน

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kalam, A. A. E., Baida, R. E., Balbiani, P., Benferhat, S., Cuppens, F., Deswarte, Y., & Trouessin, G. (2003). Organization based access control. In Proceedings POLICY 2003. IEEE 4th International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks. 120-131.
- [2] ปฏิภาณ กิตตินันทวัฒน์. (2563). การประยุกต์ใช้นวัตกรรมคิวอาร์โค้ดเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนภาษาจีน. *ROMPHRUEK JOURNAL*. 38(3): 91-102.
- [3] Sivakami, N. (2018). Comparative study of barcode, QR-code and RFID system in library environment. *International Journal of Academic Research in Library & Information Science*. 1(1): 1-5.
- [4] Manurung, D. (2020). Designing of user authentication based on multi-factor authentication on wireless networks. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*. 12(1).
- [5] จิรศักดิ์ หมวดโพธิ์กลาง และ วัชรพงศ์ เกตุปาน. (2564). อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิบุคคลพร้อมด้วยระบบจดจำและบันทึกใบหน้าอัตโนมัติ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ* 16(2): 45-55.
- [6] จรรยา สายนุ้ย และคณะ. (2564). การประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าสำหรับระบบลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา. *วารสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 7(2): 39-49.
- [7] กิตติศักดิ์ แก้วเนียม และ นิรมิตร ยอดเกลี้ยง. (2562). AV Self-Check บริการยืมโสตทัศนวัสดุด้วยตนเองผ่าน QR Code หอสมุดจอห์นเอฟเคนเนดี. *PULINET Journal*. 6(2): 23-32.
- [8] ปรีชาพล บุญส่ง และ ศุภศิวิ สุวรรณเกษร. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด(QR Code) เพื่อพัฒนาระบบระบุตัวตนสำหรับจัดระเบียบการจราจรจักรยานยนต์:กรณีศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต. *โครงการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ "ราชภัฏวิจัยครั้งที่ 4"* (875-884), นุรีรัมย์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- [9] สุภาภรณ์ อัฐจิ และคณะ. (2562). ระบบสารสนเทศไม่ขึ้นต้นและไม่คอกโดยการใช้ QR Code การประชุมวิชาการระดับชาติ "สารสนเทศศาสตร์วิชาการ 2019".(1-7), นครศรีธรรมราช : มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

- [10] อภิชาติ ทองมั่ง กำเนิดว่า และ เสาวลักษณ์ ชกณวิ. (2564). ระบบคิวอาร์โค้ดและการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในองค์กร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม. 14(2): 24-37.
- [11] ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง แลคณะ (2565). การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ด้วยเทคนิคการอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาอเวออากาศ. 18(1): 15-25.

ผลงานวิชาการลำดับที่ ๓

ประเภท : งานวิจัย

รูปแบบ : บทความวิจัย

เรื่อง

ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอากาศยาน

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มิ.ย. 65

Contents

บทความวิจัย

- การเฝ้าติดตามไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงด้วยกูเกิลเอิร์ธเอนจิน กรณีศึกษา อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน 1-14
พงศ์พันธุ์ จันทะคัต ยาวเรศ จันทะคัต และ จอมกัฒ จันทะคัต
- การรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของ QR Code ด้วยการอำพรางในภาพ 15-25
เพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ
- ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ประสงค์ ประณีตเลกั้ง
- ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี 26-37
สุเมธ สุทธารักษ์ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง
- การศึกษาต้นทุนการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 38-49
นเรศ สิริวรารุ และ ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์
- ดีซีบูตตีบูตคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางสำหรับการประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าในโหมดคืนพลังงาน 50-63
รุ่งวิชา ไชยยศ
- ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการผ่านเกณฑ์การตรวจวัดทางเวชศาสตร์การบิน ของนักศึกษาการบินในประเทศไทย 64-78
ชนนนาถ เทพลิบ

บทความวิชาการ

- นักรบไซเบอร์ กำลังอำนาจแห่งชาติที่จำเป็นต่อการรบในสงครามแห่งอนาคต 79-87
ดนัย ปฏิยุทธ์
- การศึกษาการบริหารความเสี่ยงความปลอดภัยของเครื่องบินขณะลงสนามบิน 88-97
ตามมาตรฐานองค์กรการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กรณีศึกษา พื้นที่ทางวิ่งเปี้ยก
- ธนากร เอี่ยมปาน



ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี

Geographic Information System-Based Integrated Imagery Sensing System for Military Operations

^{1*}สุเมธ สุทธารักษ์ และ ^{2#}ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง

^{1,2} กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*}Sumeth Sutharak and ^{2#}Phummipat Daungklang

^{1,2} Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*sumade@rtaf.mi.th, #phummipat_d@rtaf.mi.th

Received : March 16, 2021

Revised : April 8, 2022

Accepted : April 21, 2022

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหน่วยปฏิบัติการทางยุทธวิธีของกองทัพอากาศมีระบบตรวจจับข้อมูลภาพที่อยู่ในรูปแบบ IP Web Camera สำหรับการใช้งานทางยุทธวิธีจำนวนมาก อย่างไรก็ตามข้อมูลภาพจากระบบต่าง ๆ เหล่านี้ ยังไม่ถูกนำมาบูรณาการการใช้งานร่วมกันอย่างเป็นระบบในรูปแบบ Common Operation Picture (COP) ที่สามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพให้การตัดสินใจของผู้บังคับหน่วยได้ ดังนั้น คณะวิจัยจึงได้ทำการสร้างระบบบูรณาการอุปกรณ์ ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคโนโลยี Web Real-Time Communication (WebRTC) เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการทางยุทธวิธี โดยคณะวิจัยได้ทดลองใช้ระบบกับกล้องจากโทรศัพท์พกพา ซึ่งเป็นกล้อง ในรูปแบบ IP Web Camera เช่นเดียวกัน และใช้เฟรมเรตในการแสดงผลอยู่ที่ 30 FPS ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ระบบ สามารถใช้ได้สืบพื้นฐานความเร็วอินเทอร์เน็ต 0.1~0.5 Mbps สำหรับขนาดภาพ 180p ความเร็วอินเทอร์เน็ต 0.5~1.0 Mbps สำหรับขนาดภาพ 360p และความเร็วอินเทอร์เน็ต 1.0~2.0 Mbps สำหรับภาพขนาด 720p

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, การสื่อสารทางเว็บตามเวลาจริง, การปฏิบัติการทางยุทธวิธี

Abstract

The IP Web Camera is currently used as a tactical mean for image data acquisition in many operational units of the Royal Thai Air Force. Nevertheless, those image data have not been integrated into a system called Common Operation Picture (COP), which can further contribute to a competent decision made by the commander of the units. Hence, the research team created the system by integrating the Geographic Information System (GIS) with Web Real-Time Communication (WebRTC) to support the tactical operations. The research team has experimented on mobile phone cameras with IP Web Camera and the frame rate of 30 FPS. The experiment results have shown some remarkable performance under the following circumstances; 0.1 – 0.5 Mbps internet for the image size of 180p, 0.5 – 1.0 Mbps internet for the image size of 360p and 1.0 – 2.0 Mbps internet for the image size of 720p.

Keywords: Geographic Information System, Web Real-Time Communication, Military Operational Missions

1. บทนำ

การป้องกันภัยทางภาคพื้นเป็นการรักษาความปลอดภัยพื้นที่ บุคคล ทรัพย์สิน ตลอดจนยุทธโศปกรณ์ที่อยู่ภายในพื้นที่ของกองทัพอากาศ ซึ่งการป้องกันภัยทางภาคพื้นถือเป็นภารกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความอยู่รอดของกำลังพลและทรัพย์สินภายในพื้นที่ตั้งของหน่วยทหาร โดยในทางปฏิบัติจะมีทั้งภารกิจเชิงรุกและเชิงรับ เช่น การป้องกันฐานบิน การลาดตระเวนรอบพื้นที่ตั้งทหาร ซึ่งจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของกำลังพลอาวุธ และการรับรู้สถานการณ์ทั่วไปรอบหน่วยที่ตั้ง รวมถึงการวิเคราะห์ความสามารถและท่าทีของข้าศึก อีกทั้งผู้ปฏิบัติงานแต่ละระดับจะต้องศึกษาภารกิจให้เข้าใจ เพื่อจะได้หาวิธีการที่เหมาะสมมาใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ โดยจะต้องมีการจัดเตรียมแผนการป้องกันที่มีความเหมาะสมและอ่อนตัวได้ตามสถานการณ์ นอกจากนี้ความได้เปรียบทางเทคโนโลยีของเครื่องมือ และอาวุธยุทธโศปกรณ์ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสำเร็จของภารกิจเช่นกัน ในปัจจุบันกองทัพอากาศมีเทคโนโลยีที่มีความทันสมัยต่อยุคความรูปแบบใหม่ โดยสังเกตได้จากที่กองทัพอากาศมีอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลภาพสำหรับการใช้งานทางยุทธวิธีจำนวนมาก ได้แก่ ข้อมูลภาพจากโทรศัพท์พกพาที่สามารถใช้ร่วมกับงานสายตรวจจักษุยานยนต์ ตลอดจนข้อมูลภาพจากกล้องรูปแบบ IP Web Camera เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลภาพจากระบบต่าง ๆ เหล่านี้ ยังไม่ได้นำมาบูรณาการการใช้งานร่วมกันอย่างเป็นระบบในรูปแบบ Common Operation Picture (COP)[1] ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการวางแผนและติดตามสถานการณ์ร่วมกัน โดยระบบจะแสดงภาพสถานการณ์ข้อมูลฝ่ายเรา และฝ่ายตรงข้ามไปพร้อมกันผ่านระบบแผนที่สถานการณ์ที่อยู่บนพื้นฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อช่วยให้การตัดสินใจของผู้บังคับหน่วยสามารถทำได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการบูรณาการข้อมูลภาพและพิกัดของระบบตรวจจับภาพ สำหรับช่วยให้ผู้บังคับบัญชาและผู้ปฏิบัติงานเห็นภาพ และสามารถหยั่งรู้สถานการณ์ร่วมกันได้

2. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Web Real-Time Communication (WebRTC) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับบูรณาการภาพจากกล้องของโทรศัพท์พกพา และกล้องจากระบบ IP Web Camera ให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบบัญชาการและควบคุมทางยุทธวิธีบนพื้นฐานการแสดงผลข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ COP โดยใช้แนวทาง System Development Life Cycle (SDLC) [2]

3. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

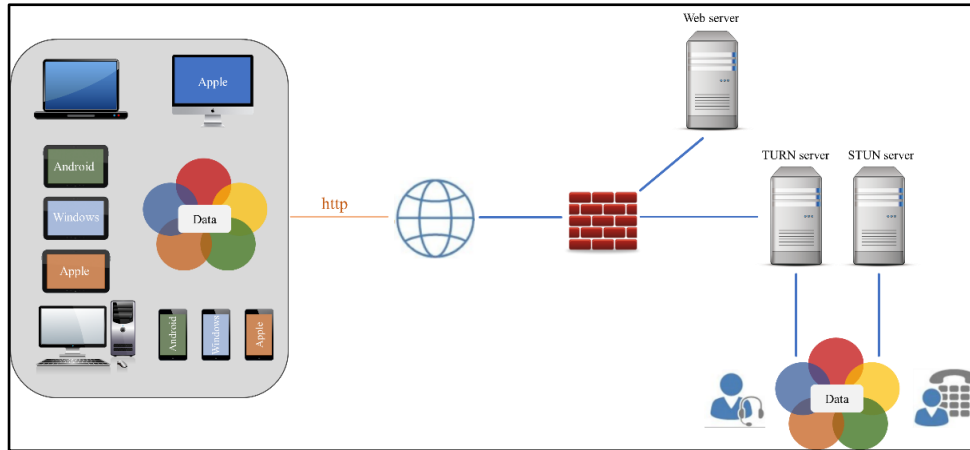
3.1 Web Real-Time Communication (WebRTC) [3]

เป็นความสามารถของ Web Browser ที่รองรับมาตรฐาน HTML5 ในการสื่อสารข้อมูล เช่น เสียง วิดีโอแบบเรียลไทม์ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์หรือโปรแกรมเพิ่มเติมสำหรับอุปกรณ์ส่งและรับข้อมูล ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารสามารถเป็นได้ทั้งคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต สมาร์ททีวี ตลอดจน อุปกรณ์เกี่ยวกับ Internet Of Thing (IOT) เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี WebRTC อย่างแพร่หลาย เช่น การประยุกต์ใช้ร่วมกับการจดจำใบหน้าแบบเรียลไทม์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ [4] รวมถึงการประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมสื่อสังคมออนไลน์ เป็นต้น

3.1.1 ส่วนประกอบของ WebRTC (ตามรูปที่ 1) มีดังนี้

- 1) อุปกรณ์ต้นทาง เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต เป็นต้น
- 2) อุปกรณ์ปลายทาง คือ อุปกรณ์ที่จะใช้สื่อสารกับอุปกรณ์ต้นทาง สามารถเป็นอุปกรณ์ประเภทเดียวกันหรือต่างกับอุปกรณ์ต้นทางก็ได้
- 3) Session Traversal Utilities for NAT (STUN Server) มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต้นทาง และปลายทางให้สามารถสื่อสารผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

- 4) Traversal Using Relays around NAT (TURN Server) มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต้นทางและปลายทางในกรณีที่การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต้นทางและปลายทางผ่าน STUN Server ไม่สำเร็จ เนื่องจากระบบเครือข่ายมีความซับซ้อน
- 5) Web Server มีหน้าที่สำหรับให้บริการ WebRTC



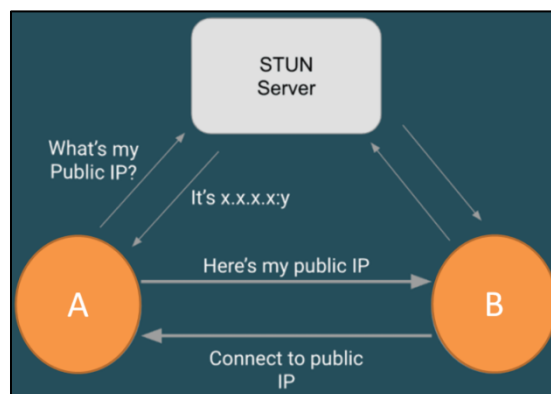
รูปที่ 1 WebRTC

3.1.2 หลักการทำงานของ WebRTC [5] โดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์ต้นทางหรือปลายทางที่อยู่ต่างระบบเครือข่ายจะได้รับไอพีแอดเดรสที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง ดังนั้น ระบบ WebRTC จึงมีการใช้ STUN Server และ TURN Server สำหรับแปลงไอพีแอดเดรสภายในเครือข่าย (Private IP) เป็นไอพีของเครือข่ายสาธารณะ (Public IP) เพื่อช่วยจัดการให้อุปกรณ์ต้นทางและปลายทางสามารถสื่อสารกันได้ (รูปที่ 2) ดังนี้

- 1) อุปกรณ์ต้นทาง (A) จะทำร้องขอไปยัง STUN Server สำหรับแปลงไอพีภายในให้เป็นไอพีของเครือข่ายสาธารณะ
- 2) อุปกรณ์ปลายทาง (B) จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งสองโดยใช้ไอพีของเครือข่ายสาธารณะที่ได้จาก STUN Server

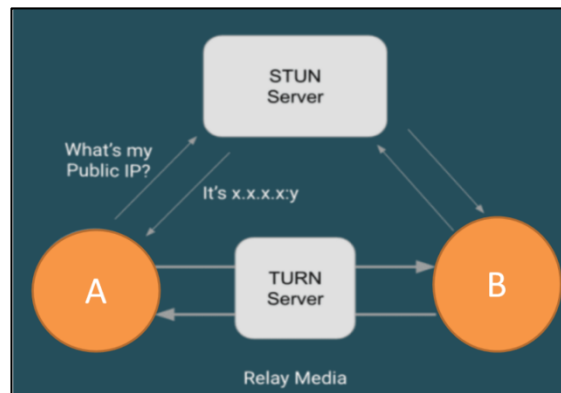
Server

- 3) ถ้าการเชื่อมต่อสำเร็จ อุปกรณ์ทั้งต้นทาง (A) และปลายทาง (B) จะสามารถสื่อสารข้อมูลกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่าน Server หรือ อุปกรณ์เสริมใด ๆ



รูปที่ 2 การทำงานของ STUN Server

4) ในกรณีที่การเชื่อมต่อไม่สำเร็จ TURN Server จะเข้ามามีบทบาทในการแจ้งไปยังทุกอุปกรณ์ให้ทำการสื่อสารข้อมูลผ่าน TURN Server แทน (รูปที่ 3)



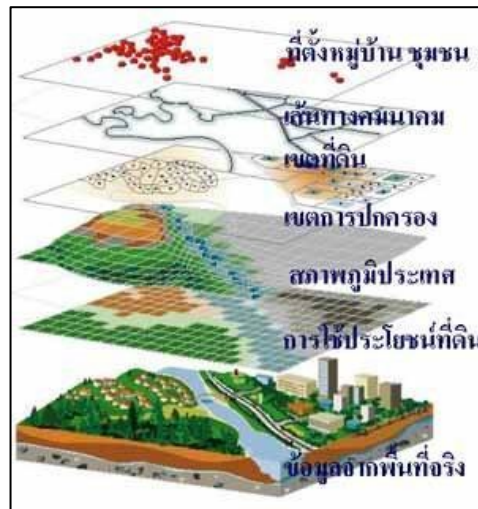
รูปที่ 3 การทำงานของ TRUN Server

จากการศึกษาเทคโนโลยี WebRTC ที่มีขีดความสามารถในการสื่อสารข้อมูลภาพและเสียงแบบเรียลไทม์ผ่าน Web Browser ที่รองรับ HTML5 รวมถึงมีสามารถในการแปลงไอพีแอดเดรสของเครือข่ายภายใน (Private IP) เป็นไอพีของเครือข่ายสาธารณะ (Public IP) ได้นั้น ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยี WebRTC มาประยุกต์ใช้สำหรับสื่อสารข้อมูลภาพร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

3.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) [6]

เป็นระบบที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูล และปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้ออกการวิเคราะห์ เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้ การรวบรวมข้อมูลจะถูกเก็บรวบรวมเป็นชั้นของข้อมูลเทียบกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ เช่น ชั้นข้อมูลของพื้นที่จริง ชั้นข้อมูลเขตการปกครอง ชั้นข้อมูลคมนาคม ชั้นข้อมูลที่ตั้งหมู่บ้านชุมชน เป็นต้น (ตามรูปที่ 4) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถเพิ่มชั้นข้อมูลเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่สำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยที่ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ [7] คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ประเภทบอกตำแหน่งเชิงสัมพัทธ์ (Relative Position) เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ไม่สามารถบอกตำแหน่งได้แน่ชัด แต่สามารถเทียบเคียงได้ โดยใช้ความสัมพันธ์ ได้แก่ ใกล้กับ ติดกับ ภายใน เป็นต้น และข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ประเภทบอกตำแหน่งสมบูรณ์ (Absolute Position) ที่ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถบอกตำแหน่งได้แน่ชัดโดยใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ เช่น ละติจูด ลองจิจูด

ในการประยุกต์ใช้ร่วมกับภารกิจทางทหารนั้น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นับได้ว่ามีความสำคัญในการช่วยบูรณาการข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ ให้อยู่ในรูปแบบแผนที่สถานการณ์ เพื่อดำเนินการวิธีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ตีความ และประเมินสถานการณ์ของฝ่ายตรงข้ามให้ชัดเจน และเป็นรูปธรรมมากขึ้น พร้อมเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับการประเมินสถานการณ์ เพื่อหาหนทางปฏิบัติของฝ่ายตรงข้ามได้ จากกรณีความไม่สงบในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ข่าวจะใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการบูรณาการข้อมูลความเคลื่อนไหวของแกนนำผู้ก่อความไม่สงบ ข้อมูลคร่าวเหือน เหตุการณ์ความรุนแรงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ และข่าวสารที่ได้รับจากหน่วยในพื้นที่ เพื่อประเมินสถานการณ์ รวมถึงใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปิดล้อมตรวจค้นพื้นที่ที่ใช้หลบซ่อนของผู้ก่อความไม่สงบอีกด้วย



รูปที่ 4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ [8]

4. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

4.1 กำหนดปัญหา

เนื่องจากสาเหตุที่กองทัพอากาศมีระบบตรวจจับข้อมูลภาพสำหรับงานทางยุทธวิธีจำนวนมาก แต่ยังไม่ได้นำมาบูรณาการใช้งานร่วมกันอย่างเป็นระบบในรูปแบบ COP อีกทั้งอุปกรณ์ตรวจจับภาพดังกล่าวยังได้รับไอพีแอดเดรสจากเครือข่ายที่แตกต่างกัน ทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์เกิดข้อขัดข้องไม่สามารถดำเนินการได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงดำเนินการผ่านการใช้เทคโนโลยี WebRTC ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้สามารถสนับสนุนการปฏิบัติการทางยุทธวิธี

4.2 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ปฏิบัติงานเพื่อพัฒนาระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพให้สอดคล้องกับความต้องการการปฏิบัติงานจริง สามารถดำเนินการโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติ และความต้องการของระบบบูรณาการฯ ดังนี้

4.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

- 1) ขั้นตอนเตรียมการ เป็นการประชุมเพื่อทำความเข้าใจการปฏิบัติการ และมอบหมายหน้าที่การปฏิบัติหน้าที่ รวมถึงตั้งค่าอุปกรณ์ด้านการสื่อสารข้อมูล
- 2) ขั้นตอนปฏิบัติการ เป็นขั้นตอนการปฏิบัติการตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายให้สำเร็จเรียบร้อย
- 3) ขั้นตอนสรุปผลการปฏิบัติงาน เป็นการประชุมเพื่อสรุปผลการปฏิบัติงาน รวมถึงจะให้โอกาสเจ้าหน้าที่ได้ทำการแจ้งข้อขัดข้อง และเสนอแนะเกี่ยวกับการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงการปฏิบัติในครั้งถัดไป

4.2.2 ความต้องการของระบบบูรณาการฯ

- 1) ผู้ปฏิบัติงานสามารถกำหนดอุปกรณ์สำหรับที่จะใช้ในการปฏิบัติการในแต่ละครั้งได้
- 2) ผู้บังคับบัญชาสามารถติดตามการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ได้อย่างต่อเนื่อง โดยการติดตามได้ทั้งภาพและตำแหน่งของเจ้าหน้าที่ในขณะปฏิบัติงาน
- 3) ระบบบูรณาการฯ จะต้องทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่งในการปฏิบัติการเพื่อใช้ในขั้นตอนการสรุปผลการปฏิบัติงาน

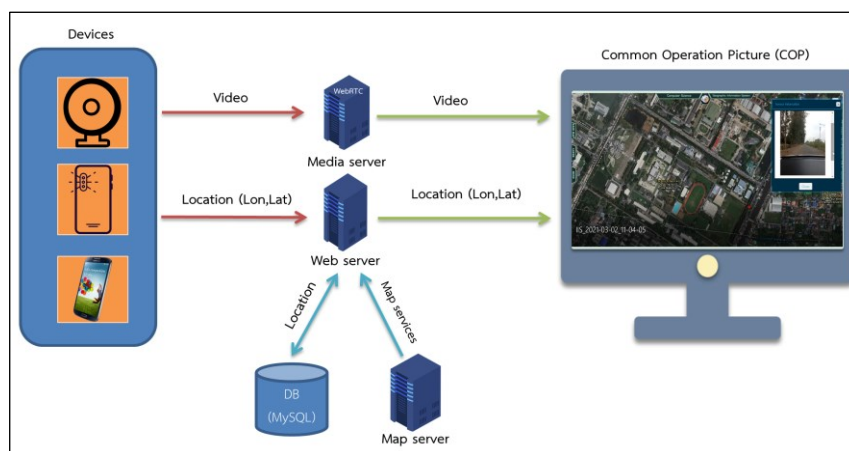
4.3 การออกแบบ

จากความต้องการของระบบบูรณาการฯ ในหัวข้อที่ผ่านมา คณะวิจัยได้ทำการออกแบบ โดยแบ่งมุมมองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.3.1 สถาปัตยกรรม การออกแบบในส่วนนี้ถือได้ว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากมีผลต่อความยากง่ายในการพัฒนา และความสะดวกต่อการใช้งาน รวมถึงการดูแลรักษาระบบบูรณาการฯ

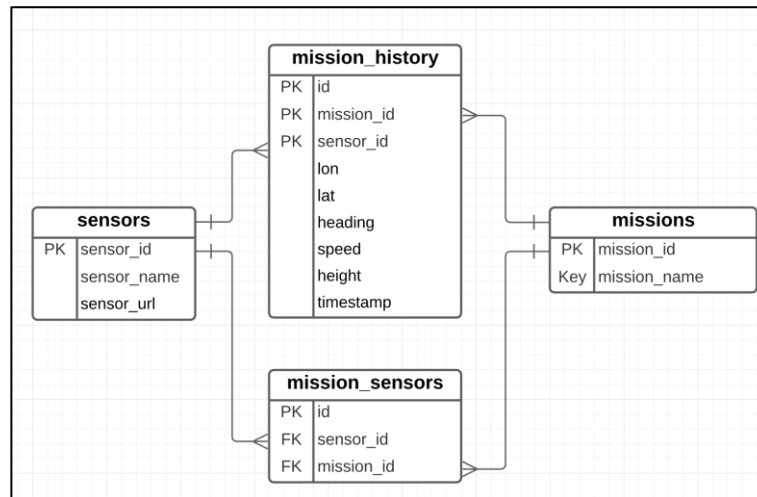
4.3.1.1 องค์ประกอบของระบบบูรณาการฯ (ตามรูปที่ 5) ประกอบด้วย

- 1) โปรแกรมและอุปกรณ์ภาคสนามที่ใช้เป็นระบบตรวจจับภาพ สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการใช้งาน IP Web Camera และกล้องโทรศัพท์พกพา
- 2) Media Server ใช้สำหรับสื่อสารข้อมูลภาพระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับภาพและโปรแกรมส่วนกลาง (Common Operation Picture)
- 3) Web Server ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการบริหารจัดการระบบบูรณาการฯ ในภาพรวม ได้แก่ เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่ (Map Server) รวมถึงการเชื่อมต่อโปรแกรมและอุปกรณ์ภาคสนามเพื่อเข้าถึงตำแหน่ง เป็นต้น
- 4) Database เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลหลักของระบบบูรณาการฯ
- 5) Map Server มีหน้าที่ให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบของ Map Services
- 6) โปรแกรมส่วนกลางสำหรับใช้บูรณาการภาพจากอุปกรณ์ตรวจจับ เป็นส่วนที่เจ้าหน้าที่ส่วนกลางและผู้บังคับบัญชาใช้งานเพื่อตั้งค่าเริ่มต้นให้กับแต่ละภารกิจ รวมถึงติดตามภาพรวมของสถานการณ์



รูปที่ 5 สถาปัตยกรรมของระบบบูรณาการฯ

4.3.1.2 ฐานข้อมูลของระบบบูรณาการฯ มีประโยชน์สำหรับให้ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการอุปกรณ์ตรวจจับภาพตามแต่ละภารกิจ รวมถึงสามารถเรียกดูประวัติการปฏิบัติการกิจได้ ซึ่งคณะวิจัยได้มีการออกแบบตารางเพื่อจัดเก็บข้อมูลของระบบบูรณาการฯ โดยประกอบด้วย 4 ตารางหลัก คือ ตารางข้อมูลอุปกรณ์การตรวจจับ (Sensors) ตารางข้อมูลภารกิจ (Missions) ตารางจัดการข้อมูลอุปกรณ์ตรวจจับตามภารกิจ (Mission_Sensors) และตารางข้อมูลประวัติการปฏิบัติการกิจ (Mission_History) (ตามรูปที่ 6)

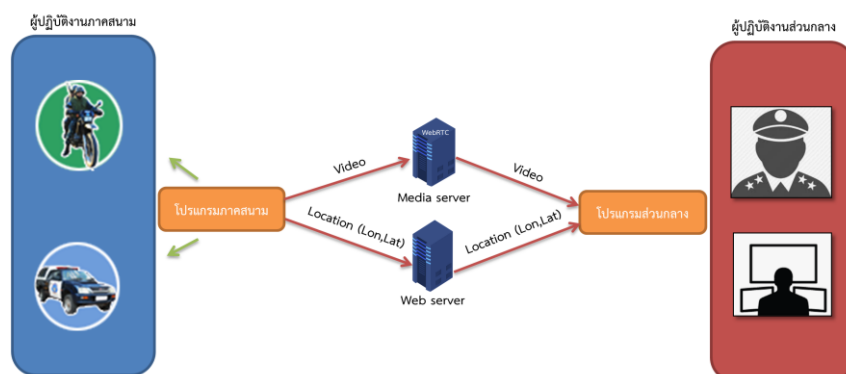


รูปที่ 6 ฐานข้อมูลของระบบ

4.3.2 หลักการทำงานของระบบบูรณาการฯ (รูปที่ 7) สรุปได้ดังนี้

1) อุปกรณ์ภาคสนาม (Devices) จะส่งข้อมูลภาพมายัง Media Server ผ่านโปรแกรมภาคสนามที่ใช้เทคโนโลยี WebRTC และในขณะเดียวกันก็ส่งข้อมูลตำแหน่งมายัง Web Server ผ่าน Application Program Interface (API) เพื่อทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ลงฐานข้อมูล

2) เจ้าหน้าที่ในศูนย์ปฏิบัติการจะใช้โปรแกรมส่วนกลางในการเรียกดูข้อมูลการปฏิบัติการกิจของเจ้าหน้าที่ภาคสนาม ซึ่งข้อมูลที่ได้จะประกอบด้วยภาพจาก Media Server ข้อมูลตำแหน่งล่าสุดของอุปกรณ์ภาคสนามจากฐานข้อมูลผ่าน API ดัดตั้งที่ Web Server และข้อมูลแผนที่จาก Map Server



รูปที่ 7 การติดต่อกับผู้ใช้งาน

4.4 การพัฒนาและทดสอบ

จากขั้นตอนการออกแบบระบบบูรณาการฯ คณะวิจัยเห็นว่าโปรแกรมจะต้องประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ โปรแกรมสำหรับเจ้าหน้าที่ภาคสนาม และโปรแกรมสำหรับผู้ปฏิบัติงานส่วนกลาง โดยจะต้องพัฒนาให้สอดคล้องกับขั้นตอนการปฏิบัติการกิจ รวมถึงมีความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน สำหรับหัวข้อนี้จะอธิบายแนวทางการพัฒนาระบบโดยสังเขป ดังนี้

4.4.1 การพัฒนาระบบโปรแกรมภาคสนาม มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งข้อมูลภาพ และตำแหน่งจากอุปกรณ์ของผู้ปฏิบัติงานภาคสนามไปยัง Media Server โดยใช้เทคโนโลยี WebRTC ซึ่งโปรแกรมในส่วนนี้จะพัฒนาด้วยภาษา Javascript, MediaDevices Interface [9], RTCPeerConnection Interface [10] และใช้ STUN Server [11] ที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย สำหรับการส่งข้อมูลตำแหน่งไปจัดเก็บยังฐานข้อมูลจะใช้ API ที่พัฒนาด้วยภาษา PHP ผ่าน POST Method ติดตั้งที่ Web Server ซึ่งข้อมูลที่ส่งจะประกอบด้วย พิกัด ทิศทาง ความเร็ว ความสูง และเวลา รายละเอียด ตามรูปที่ 8

```
$mission_id = $_POST["mission_id"];
$sensor_id = $_POST["sensor_id"];
$lon = $_POST["lon"];
$lat = $_POST["lat"];
$heading = $_POST["heading"];
$speed = $_POST["speed"];
$height = $_POST["height"];
$timestamp = $_POST["timestamp"];
$sql = "INSERT INTO mission_history(mission_id,sensor_id,lon,lat,heading,speed,height,timestamp)
VALUES($mission_id,$sensor_id,$lon,$lat,$heading,$speed,$height,$timestamp)";
mysql_query($sql)or die(["status":"0","message":"mysql_error().","sql":"$sql"]);
echo ["status":"1","message":"record sensor success"];
```

รูปที่ 8 API สำหรับการส่งข้อมูลตำแหน่งอุปกรณ์

4.4.2 การพัฒนาโปรแกรมบูรณาการสำหรับส่วนกลาง มีวัตถุประสงค์เพื่อบูรณาการข้อมูลภาพจากอุปกรณ์ของหน่วยสนามผ่าน Media Server โดยในส่วนนี้จะใช้เทคโนโลยี WebRTC เช่นเดียวกับโปรแกรมภาคสนาม ซึ่งใช้ภาษา Javascript ในการพัฒนา นอกจากการบูรณาการภาพแล้ว โปรแกรมในส่วนนี้ยังต้องพัฒนาส่วนติดต่อฐานข้อมูลสำหรับแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ภาคสนามให้อยู่บนพื้นฐานรูปแบบ COP และสามารถใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ซึ่งการเรียกข้อมูลตำแหน่งอุปกรณ์ภาคสนามจะใช้ API ภาษา PHP ในการเข้าถึงตำแหน่งล่าสุดของอุปกรณ์ภาคสนาม (ตามรูปที่ 9)

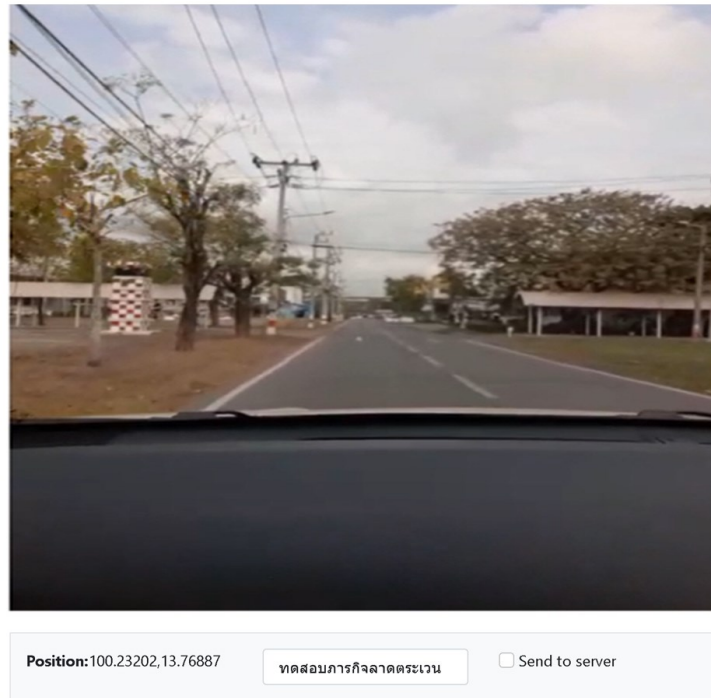
```

$sql = "SELECT mission_id,sensor_id,lon,lat,heading,speed,height,timestamp
        FROM mission_history sensor_id = ' sensor_id ' ORDER BY timestamp DESC LIMIT 0,1";
$count = 0;
$result = mysql_query($sql)or die(mysql_error());
$json_data = '[';
while($row = mysql_fetch_array($result)){
    $json_data = $json_data . '{';
    $json_data = $json_data . "id:". $count. ",";
    $json_data = $json_data . "mission_id:". $row["mission_id"]. ",";
    $json_data = $json_data . "sensor_id:". $row["sensor_id"]. ",";
    $json_data = $json_data . "lon:". $row["lon"]. ",";
    $json_data = $json_data . "lat:". $row["lat"]. ",";
    $json_data = $json_data . "heading:". $row["heading"]. ",";
    $json_data = $json_data . "speed:". $row["speed"]. ",";
    $json_data = $json_data . "height:". $row["height"]. ",";
    $json_data = $json_data . "timestamp:". $row["timestamp"]. ",";
    $json_data = $json_data . '},';
    $count++;
}
$json_data = trim($json_data,',' );
$json_data = $json_data . ']';
echo $json_data;

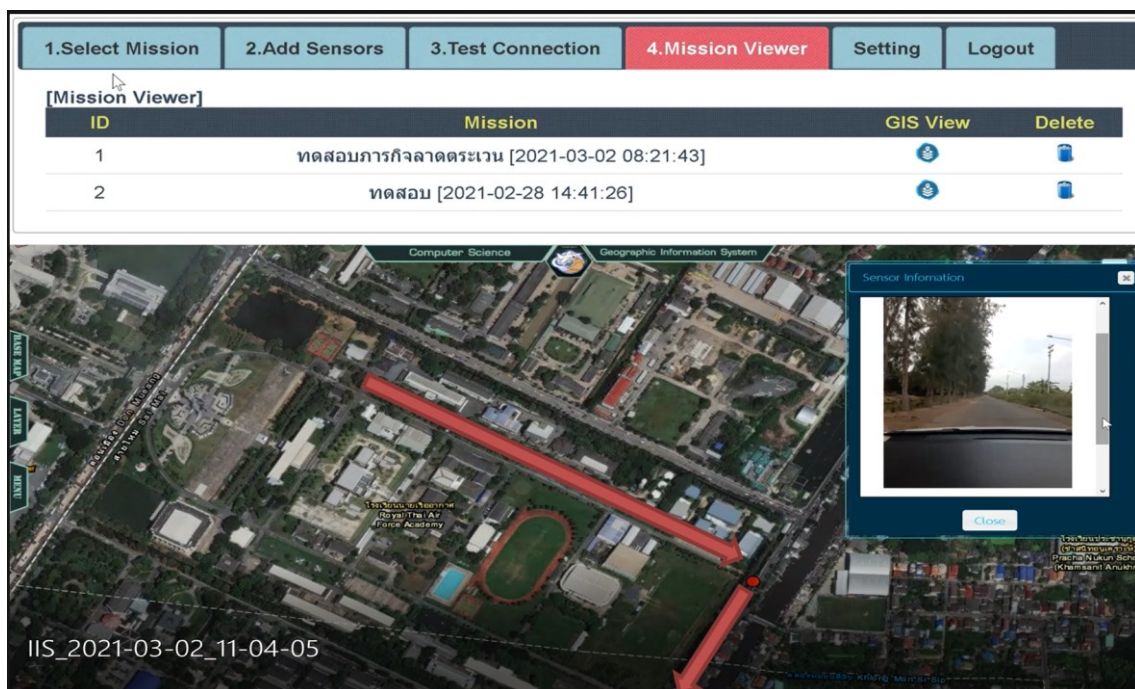
```

รูปที่ 9 API สำหรับเข้าถึงข้อมูลตำแหน่งอุปกรณ์ภาคสนาม

4.4.3 การทดสอบระบบบูรณาการฯ หลังจากที่ทำกรพัฒนาระบบเรียบร้อยแล้ว คณะวิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานระบบบูรณาการฯ โดยใช้พื้นที่โดยรอบโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และขับขียานพาหนะที่ใช้ความเร็วไม่เกิน 60 km./hr. ใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพจากโทรศัพท์พกพา (Samsung A7 2018) สำหรับทดลองโปรแกรมในส่วนของเจ้าหน้าที่ภาคสนาม (รูปที่ 10) และทดสอบโปรแกรมบูรณาการข้อมูลภาพของเจ้าหน้าที่ส่วนกลางผ่านเครือข่ายกองทัพอากาศ (รูปที่ 11) อีกทั้งคณะผู้วิจัยได้เลือกขนาดภาพสำหรับการทดสอบคือ 180p, 360p และ 720p ตามลำดับ รวมถึงได้เลือกใช้เฟรมเรทในการแสดงผลอยู่ที่ 30 FPS เนื่องจากเป็นเฟรมเรทในการแสดงผลมาตรฐานของโทรทัศน์ระบบ NTSC ที่ทำให้การเคลื่อนไหวที่ดูเป็นธรรมชาติ [12]



รูปที่ 10 โปรแกรมในส่วนของผู้ใช้ที่ภาคสนาม



รูปที่ 11 โปรแกรมในส่วนของผู้ใช้ที่ส่วนกลาง

4.5 การติดตั้งระบบ

ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี ได้ผ่านการทดสอบ และติดตั้งให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบฯ ผ่านเครือข่ายของกองทัพอากาศ ซึ่งได้ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Window Server 2012 และใช้ IIS เป็น Web Server รวมถึงจะต้องทำการติดตั้งและปรับแต่ง Web Server ให้สามารถใช้โปรโตคอล https ให้มีความสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ตรวจจับของเจ้าหน้าที่ภาคสนามได้

5. ผลการวิจัย

หลังจากได้ทำการทดลองระบบบูรณาการฯ จริง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานคือความเร็วของอินเทอร์เน็ต ซึ่งผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 1 โดยความเร็วที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่ค่าการแสดงผล 30 FPS คือ ความเร็วอินเทอร์เน็ต 0.1~0.5 Mbps จะมีความเหมาะสมกับการแสดงผลภาพขนาด 180p, ความเร็วอินเทอร์เน็ต 0.5~1.0 Mbps เหมาะสมกับขนาดภาพ 360p และความเร็วอินเทอร์เน็ต 1.0~2.0 Mbps สำหรับภาพขนาด 720p

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความเร็วอินเทอร์เน็ตกับขนาดภาพที่มีความเหมาะสมต่อการแสดงผลที่ 30 FPS

ลำดับที่	ขนาดของภาพ	ความเร็วที่เหมาะสม
1	180p	0.1~0.5 Mbps
2	360p	0.5~1.0 Mbps
3	720p	1.0~2.0 Mbps

6. สรุปผล

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคโนโลยี Web Real-Time Communication (WebRTC) เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการทางยุทธวิธี ให้สามารถเพิ่มศักยภาพระบบบัญชาการและควบคุมทางยุทธวิธี รวมถึงเพิ่มขีดความสามารถการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง ซึ่งขอบเขตงานวิจัยนี้มุ่งเน้นบูรณาการข้อมูลภาพจากกล้องโทรทัศน์พกพา และ ระบบ IP Web Camera และเมื่อทำการพัฒนาและทดสอบระบบเรียบร้อยแล้ว สรุปผลได้ว่าระบบบูรณาการฯ ดังกล่าวสามารถใช้งานได้ และมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานความเร็วอินเทอร์เน็ต 0.1~0.5 Mbps สำหรับขนาดภาพ 180p, ความเร็วอินเทอร์เน็ต 0.5~1.0 Mbps สำหรับขนาดภาพ 360p และความเร็วอินเทอร์เน็ต 1.0~2.0 Mbps สำหรับภาพขนาด 720p ซึ่งจากผลการทดลองคณะผู้วิจัยจึงขอเสนอให้ทดลองใช้ระบบบูรณาการฯ ร่วมกับการปฏิบัติการกิจภาคพื้นของหน่วยทางยุทธวิธีในกองทัพอากาศต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นใช้เพียงระบบตรวจจับภาพจากกล้อง IP Web Camera และจากโทรทัศน์พกพา ซึ่งเป็นระบบตรวจจับภาพทางภาคพื้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามการปฏิบัติการทางภาคพื้นในปัจจุบันมิได้มีเพียงแต่อุปกรณ์ตรวจจับทางภาคพื้นเท่านั้น แต่ยังมีอุปกรณ์ตรวจจับภาคอากาศ เช่น กล้องจากอากาศยานไร้คนขับ อีกด้วย ทำให้งานวิจัยนี้ยังไม่ครอบคลุมอุปกรณ์การตรวจจับที่สนับสนุนการปฏิบัติการทางภาคพื้นทั้งหมด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอเสนอให้พัฒนาต่อยอดร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับภาคอากาศ เพื่อความสมบูรณ์ในการปฏิบัติการกิจของกองทัพอากาศต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] พันเอก ชนบดี กรดจางูญ (2560).การอำนวยความสะดวกของศูนย์บัญชาการทางทหารในภาวะสงคราม.วิทยาลัยการทัพบก (เอกสารวิจัยส่วนบุคคล).
- [2] ปรีชา พินทุศรี, จิตติรัตน์ จันทรรดา, ยุทธเดช ช้อยแสง, ธนิกา กอสันประเสริฐ และ ดวงนภา บัวสันต์. (2562). การพัฒนาโปรแกรมสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการด้านทะเบียนทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม.วารสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน, 25(2): 79-91.
- [3] ภูวิช แก้วหาญ. (2561). WebRTC, Thailand. Retrived on February 15, 2021, from <http://www.callcentermaster.com/Technology/What-is-WebRTC.html>
- [4] Phankokkrud, M., Jaturawat, P., & Pongmanawut, P. (2016). A Real-time Face Recognition for Class Participation Enrollment System over WebRTC. In 8th International Conference on Digital Image Processing (100330), Chengdu, China.
- [5] Nguyen, C. (2020). WebRTC-The technology that powers Google Meet/Hangout, Facebook Messenger and Discord. Retrived on March 11, 2021, from <https://dev.to/calvinqc/webrtc-the-technology-that-powers-google-meet-hangout-facebook-messenger-and-discord-4j67>.
- [6] หนังสือเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ SPACE TECHNOLOGY AND GEO-INFORMATICS, สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย.
- [7] ศุภกานต์ แก้วเหลี่ยม และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง (2563).ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประยุกต์เพื่อการติดตามอากาศยานพาหนะและบุคคล กองทัพอากาศ.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ, 16(1) : 42-51.
- [8] สมบัติ อยู่เมือง. ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย.ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. Retrived on March 10, 2021, <http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html>.
- [9] MDN.(2021). MediaDevices. Retrived on February 10, 2021, from <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/MediaDevices>.
- [10] MDN.(2021). RTCPeerConnection. Retrived on February 10, 2021, from <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/RTCPeerConnection>.
- [11] Paul Gregoire.(2016).public stun list . Retrived on February 20, 2021, <https://gist.github.com/mondain/b0ec1cf5f60ae726202e>.
- [12] Peera Wongpanya. 5 เรื่องน่ารู้ของวิดีโอเฟรมเรท (fps). Retrived on February 28, 2021, <https://www.fotoinfo.online/5-เรื่องวิดีโอเฟรมเรท>.

หลักฐานการมีส่วนร่วม

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ

ก. ชื่อผลงาน ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี

ข. สถานะผู้ขอในผลงาน

- ☐ ผู้ประพันธ์อันดับแรก (First Author)
☐ ผู้มีส่วนสำคัญทางปัญญา (Essentially Intellectual Contributor)
☒ ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author)

ค. ประเภทของผลงาน

กลุ่มที่ ๑ ☒ งานวิจัย

กลุ่มที่ ๒ ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่น

- | | |
|--|--|
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่ออุตสาหกรรม | ☐ กรณีศึกษา |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนและการเรียนรู้ | ☐ งานแปล |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนานโยบายสาธารณะ | ☐ สิทธิบัตร |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | ☐ ซอฟต์แวร์ |
| ☐ พจนานุกรม สารานุกรม นามานุกรม และงานวิชาการในลักษณะเดียวกัน | |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านสุนทรียะ ศิลปะ | ☐ ผลงานนวัตกรรม |
| ☐ ผลงานรับใช้ท้องถิ่นและสังคม | |

กลุ่มที่ ๓ ☐ ตำรา

☐ หนังสือ

☐ บทความทางวิชาการ

รายละเอียดของการมีส่วนร่วม

ผู้ขอกำหนดตำแหน่งต้องกรอรายละเอียดให้ครบถ้วน (เนื่องจากไม่มีการแบ่งส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ ดังนั้น บทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบตามที่ผู้ขอระบุจะมีผลต่อการพิจารณาผลงานทางวิชาการ และต้องแนบเอกสารหลักฐานเพื่อประกอบการพิจารณา)

รายละเอียดการมีส่วนร่วม	บทบาทและหน้าที่ความรับผิดชอบ
ก. ความคิดริเริ่มและสมมติฐาน	น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตั้งสมมุติฐานงานวิจัย
ข. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria	น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง รับผิดชอบควบคุมการปฏิบัติในทุกขั้นตอน และ น.อ. สุเมธ สุทธารักษ์ เป็นผู้ตรวจสอบและให้คำปรึกษา
ค. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล	น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นหัวหน้าทีมที่ดำเนินการรวบรวมข้อมูล และความต้องการระบบ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูล
ง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม	น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้นำเสนอแนวทางและผลการวิจัย โดยมี น.อ. สุเมธ สุทธารักษ์ เป็นผู้ให้คำปรึกษา
จ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น	น.อ. สุเมธ สุทธารักษ์ ดำเนินการร่างบทความวิจัย และ น.อ. ศศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้อง และแก้ไข
ฉ. การให้การสนับสนุน specimens, logistics, ทุนวิจัย (โปรดระบุแหล่งทุน เงินทุน และปีที่ได้รับ) เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์	เป็นงานวิจัยที่สนับสนุนยุทธศาสตร์ ทอ. มิติการใช้กำลังทางอากาศ และได้รับประมาณ จากงบวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบยุทธการ ปี ๖๔
ช. อื่น ๆ	

ลงชื่อ.....
(น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง)

ผู้ขอกำหนดตำแหน่ง
ลงชื่อ.....
(น.อ. สุเมธ สุทธารักษ์)

ผู้ประพันธ์อันดับแรก
ลงชื่อ.....
(น.อ. ภูมิพัฒน์ ๑๐๐๓๖)

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

หลักฐานการใช้ประโยชน์ / การอ้างอิง



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สนข.ขว.ทอ.(กปข.โทร.๒-๐๘๘๗)

ที่ (ต่อ สนข.ขว.ทอ.เลขรับ ๒๙๙๔/๖๖) วันที่ ๓ ก.ค.๖๖

เรื่อง ขอใช้ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการบริหารจัดการทางยุทธวิธี

เรียน จก.ขว.ทอ.

เพื่อพิจารณาอนุมัติตามข้อ ๓

พล.อ.ต. 

ผอ.สนข.ขว.ทอ.

อนุมัติตามข้อ ๓

พล.อ.ท. 

จก.ขว.ทอ.

M ก.ค.๖๖



บันทึกข้อความ

สำนักข่าวกรอง ขว.ทอ
เลขรับ ๖๘๔๔
วันที่ ๖๔ มิ.ย. ๖๖
เวลา ๐๘.๐๗

ส่วนราชการ กปข.สนข.ขว.ทอ.(ผ.๑ โทร.๒-๐๘๘๘๓)

ที่ กท ๐๖๐๕.๔(๔.๒)/ ๖๘๗

วันที่ ๖๗ มิ.ย.๖๖

เรื่อง ขอให้ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี
เรียน ผอ.สนข.ขว.ทอ.

๑. ตามที่ กปข.สนข.ขว.ทอ.มีหน้าที่ดำเนินการด้านการปฏิบัติการข่าว การต่อต้านการข่าวกรองในมาตรการเชิงรุก การข่าวกรองเพื่อความมั่นคง การสืบสวนกรณีการละเมิดการรักษาความปลอดภัย และการสืบสวนพิเศษ นั้น

๒. กปข.๑ มีข้อมูลนำเรียน ดังนี้

๒.๑ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กวคค.กกศ.ร.ร.นกก.ได้รับอนุมัติให้ดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง ระบบบูรณาการอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการปฏิบัติการทางยุทธวิธี มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Web Real-Time Communication (WebRTC) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการบูรณาการข้อมูลภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือ และระบบ IP Web Camera ให้อยู่บนพื้นฐานการทำงานรูปแบบ Common Operation Picture (COP) เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการทางภาคพื้น รวมถึงเพิ่มขีดความสามารถการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง โดยระบบดังกล่าวจะแสดงผลผ่าน Web Browser แบบ Real Time ในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวผ่านกล้องที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องมือต่าง ๆ พร้อมแสดงข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่ และระบุตำแหน่งของอุปกรณ์บนชั้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้ ซึ่งการแสดงผลดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการต่อต้านการข่าวกรองทั้งในเชิงรุกและเชิงรับได้ในหลายรูปแบบ เช่น การติดตามสะกดรอยเป้าหมาย การลาดตระเวนรอบที่ตั้ง และการจัดทำข้อมูลป้องกันฐานบิน ซึ่งโครงการวิจัย ๑ ได้รับการยอมรับและตีพิมพ์เผยแพร่ลงในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ ปีที่ ๑๘ ฉบับที่ ๑ มกราคม ถึง มิถุนายน ๒๕๖๕ หน้า ๒๖ - ๓๗ ตามแนบ

๒.๒ กปข.๑ ได้ประสาน ภาควิชาคอมพิวเตอร์ ๑ แล้ว สามารถใช้ระบบฯ ได้ โดยไม่ต้องเสนอหนังสือถึง รร.นกก. เนื่องจากเป็นผลงานวิจัยฯ ที่พร้อมให้บริการกับ นขต.ทอ.ทั้งภายในและภายนอก ระบบเครือข่ายของ ทอ. อีกทั้งระบบดังกล่าวสอดคล้องกับภารกิจด้านการต่อต้านการข่าวกรองในมาตรการเชิงรุก ของ กปข.๑ ที่จะต้องบูรณาการข้อมูลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชา

๓. กปข.๑ พิจารณาแล้ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานด้านการต่อต้านการข่าวกรองในมาตรการเชิงรุก จึงเห็นสมควรขอให้ระบบฯ ตามข้อ ๒.๑ และเสนอความต้องการเพิ่มเติมให้กับทีมงานวิจัยสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

น.อ.

ผอ.กปข.สนข.ขว.ทอ.

ผลงานวิชาการลำดับที่ ๔

ประเภท : งานวิจัย

รูปแบบ : บทความวิจัย

เรื่อง

An Experimental Comparison of SES, DES, TES, ARIMA, and LSTM Algorithms
for Short Time Series Prediction

วารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ



ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ROYAL THAI NAVAL ACADEMY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม – ธันวาคม 2565
VOL.5 NO.1 JANUARY – DECEMBER 2022



ISSN : 2586-971x (Print)

ISSN : 2730-1389 (Online)

Available online at www.rtna.ac.th

สารบัญ

1

การวิเคราะห์ปริมาณดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกัน
ในยาเม็ดโดยแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส

(Simultaneous Analysis of Tramadol Hydrochloride and
Paracetamol in Tablets by Capillary Electrophoresis)

สมศักดิ์ ศิริไชย

ขจัดภัย ทิพย์พ่อง

11

การสร้างตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้กับ
ประภาคาร/กระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

(Inventing Solar Energy Rotating Lantern for Lighthouses
and Light Beacons of Hydrographic Department, Royal Thai Navy)

พันธุ์นาถ นาคบุปผา

सानนท์ รักหนู

อัศนัย ไทรบุญจันทร์

บุญญฤทธิ์ สุขเมือง

30

การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ
(Design and Efficiency Evaluation of Single Plane Balancing Laboratory)

ฤทธิรงค์ อริยธนพล

วินัย เศรษฐโชตินันท์

วัฒนา น้อยทอง

ปิจิราวุธ เวียงจันทา

44

An Experimental Comparison of SES, DES, TES, ARIMA, and LSTM
Algorithms for Short Time Series Prediction

ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง

ชญญาวัจน์ สกิตภัทรสมบัติ

61

ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของเครื่องอบแสงยูวีที่พัฒนาโดย
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(Development of UV Chamber for Antibacterial Activity by the Faculty
of Engineering, Ubon Ratchathani University)

ปาริชาติ พุ่มขจร

นฤมล คณะวงศ์

จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์

ผดุง กิจแสวง

พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ

An Experimental Comparison of SES, DES, TES, ARIMA, and LSTM Algorithms for Short Time Series Prediction

ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง¹ และ ชัญญาวัจน์ สติธภัทรสมบัติ²

Phummipat Daungklang¹ and Chanyawat Sathidbhattarasombad²

Received : January 21, 2022

Revised : March 22, 2022

Accepted : March 23, 2022

Abstract

A time series is a sequence of observations which are collected over a period: Hours, days, months, or years. There has been an assumption that the dependence of successive observations in time series is probable to exist. By means of time series analysis, this dependence is examined to discover a pattern utilised to prepare a prediction, and the prediction is one of various common objectives which can be achieved using time series analysis. Fortunately, time series analysis has been a topic of interest among academics for many decades and quite different algorithms or models for the prediction task have already been at our disposal. These algorithms are either well-established statistical ones or based on approaches of machine learning. In this paper, an experimental comparison of five different algorithms (simple exponential smoothing (SES), double exponential smoothing (DES), triple exponential smoothing (TES), autoregressive integrated moving average (ARIMA), and long short-term memory (LSTM)) was carried out using 10 examples of short time series to examine the performance of the selected algorithms over the task of

¹ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: phummipat_d@rtaf.mi.th

²ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: chanyawat_s@rtaf.mi.th

time series prediction. The experimental results suggest that TES and seasonal ARIMA are the most appropriate to be used for time series with clear trend and seasonality. However, LSTM is the most appropriate to be used for time series without trend and seasonality.

Keywords: Short Time Series Analysis, Exponential Smoothing, ARIMA, LSTM

1. Introduction

There have already been plenty of different definitions of time series. We simply state that a time series as a sequence of observations which are taken sequentially in time [1]. In our life, many sets of data appear as time series: a country's unemployment rate, the prices of a cryptocurrency, a city's electricity consumption, the number of the world's population, and so on. The observations can be made, for instance, daily, weekly, quarterly, monthly, or yearly, depending on a proposed frequency of data collection. Examples of time series exist in several different fields such as economics, finance, industry, meteorology, health, and so on. There has been assumed that a time series is affected by four main components of which a time series is supposed to consist, and which can be extracted from the observed data, namely *trend*, *cyclical*, *seasonal* and *irregular* components [2].

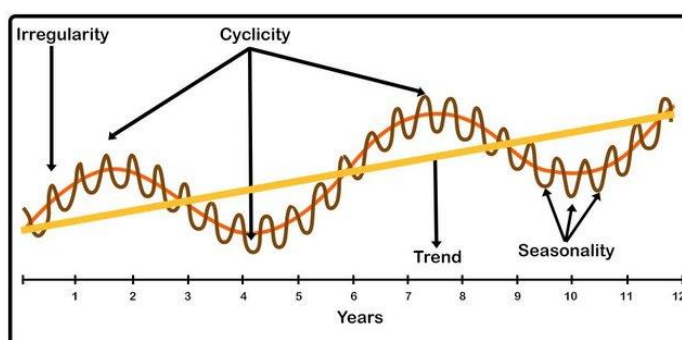


Figure 1 Illustration of Main Time Series Components [3].

A time series is called a short time series if it consists of only a few numbers of observations. Dealing with short time series can have benefits in practice because tasks or applications in the real life, in which short time series possibly exist, can be found in various disciplines, for instance, biomedicine (e.g. analysing gene expression over a short time period), economics (e.g. retail of collection at a clothing store) etc. [4, 5].

One of the purposes of “understanding time series more” is to find out from a time series whether any “pattern” is discovered which can be utilised to prepare a prediction or forecast. This can be achieved by *time series analysis*. Fortunately, time series analysis has been a topic of interest among academics for many decades and quite different algorithms for the prediction task have already been at our disposal. These algorithms are either well-established statistical ones or based on approaches of machine learning.

This paper proposes an experimental comparison of traditional statistical time series prediction algorithms and LSTM algorithm for 10 short time series each of which consists of 120 observations (100 for training and 20 for prediction evaluation). For the comparison, we will use the mean absolute percentage error (MAPE) as prediction evaluation metric.

2. Related Work

To analyse time series, many mathematical algorithms are applied. In many publications, statistical methods are also used among these methods. Besides, it is also noted that statistical methods can be exploited for short- and medium-term prediction problems. Thus, several time series prediction models were developed from statistical methods, such as autoregressive integrated moving average models (ARIMA) [7, 8], exponential smoothing algorithms [4, 9], etc.

Moreover, many new time series analysis approaches have been developed using machine learning algorithms to build a time series prediction model. Machine learning algorithms such as support vector machines (SVM) [10], and deep learning algorithms such as long short-term memories (LSTM) [11] have gained popularities with their applications in many fields and been used in many domains, and time series prediction has of course been among these domains.

3. The Methods of Research

3.1 The Data

All the time series using for our work were acquired from [12]. Each time series was made a short time series, that is, it was edited, such that only 120 observations were contained in the series. Each time series was divided into a training set and an evaluation set. The training set was used for training (fitting) the model. And the evaluation set was used for testing the model for prediction accuracy. The training set consisted of the first 100 observations, while the last 20 observations constituted the evaluation set.

3.2 The Algorithms (Models) of Interest

3.2.1 Autoregressive Integrated Moving Average Model

Two submodels are involved in ARIMA models, namely *autoregressive* (AR) models and *moving average* (MA) models. AR models use past p observation values to predict the future value of a variable which is modelled as a linear combination of these past p values. Besides, a random error at a period t (white noise) ε_t is involved in this linear combination, too [2, 13]. Mathematically, an AR model of order p , denoted by AR(p), models the current value at a period t , denoted by y_t , as

$$y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i},$$

where $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ are the past p values and all ϕ_i are the weight parameters which are to be estimated from the data. The term of autoregressive indicates that it is a regression of the variable against itself [13].

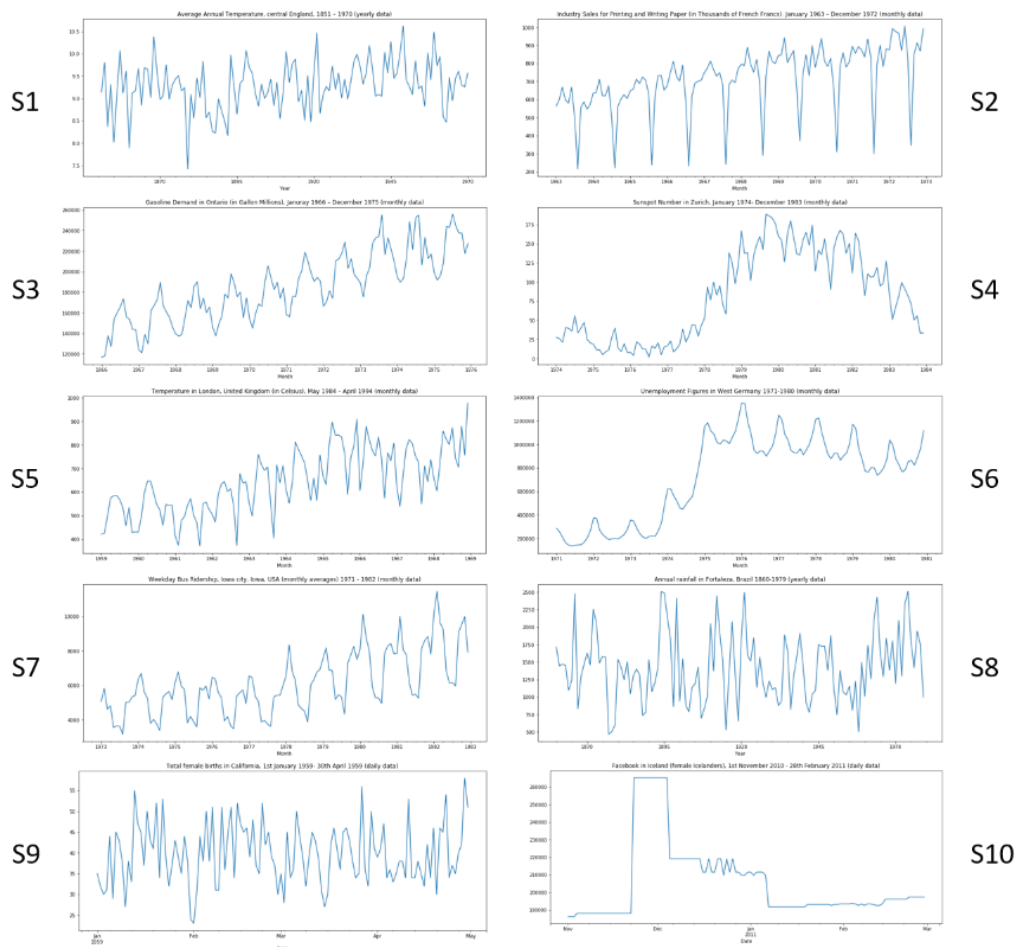


Figure 2 Plots of the Examined Time Series.

where $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ are the past p values and all ϕ_i are the weight parameters which are to be estimated from the data. The term of autoregressive indicates that it is a regression of the variable against itself [13].

While AR(p) models apply past values to predict the future value of a variable, moving MA models use the past q prediction errors. An MA model of order q , denoted by MA(q) models the current value at a period t , denoted by y_t , with the white noise ε_t as

$$y_t = \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q -\theta_j \varepsilon_{t-j},$$

where $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ are the past q prediction errors and all $-\theta_j$ are the weight parameters which are to be estimated from the data.

Combining an AR(p) model, an MA(q) model, and the notion of *differencing* which is the progress which makes non-stationary time series stationary (we say that a time series is stationary if its probabilistic properties, such as mean, variance, autocorrelation, etc., do not change over time), by calculating the differences of consecutive observation values [13], we have an ARIMA model with differencing order d , denoted by ARIMA(p,d,q), mathematically written as

$$y_t^d = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i}^d + \sum_{j=1}^q -\theta_j \varepsilon_{t-j}.$$

To determine the differencing order d , there is a most used statistical method at our disposal called the *augmented Dickey Fuller* (ADF) test which tests whether a time series is stationary or not [14]. Basically, the ADF test is a statistical significance test which involves a hypothesis testing (“reject/accept the null hypothesis”) with a computed test statistic and p-value. The null hypothesis of the ADF test is that there is no stationarity in the given time series. If the p-value of the test is below the significance level α (most commonly $\alpha = 0.05$), then the null hypothesis is rejected, and it can be inferred that the given time series has already been stationary, that is, $d = 0$. In this case, no differencing is required.

Unfortunately, the major disadvantage of ARIMA (from now on, we call it *normal* ARIMA) is that it cannot deal with time series which obviously show seasonality. Thus, there is an extension of ARIMA model to overcome this problem. A *seasonal* ARIMA model includes seasonal terms in the normal ARIMA models, mathematically denoted by ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_m, where P, D, and Q are the autoregression, differencing, and moving average order of seasonal part. Moreover, m is the number of observations per year [13].

For instance, if a given time series presents data which are recorded quarterly, then we obtain $m = 4$. For this reason, one should be careful about selecting the appropriate variant for any given time series with significant seasonality.

Additionally, one must verify whether a fitted ARIMA model is a proper one by reviewing the residual error values which are produced during the model training: those values should be normally distributed, and they should not correlate with each other. But normality of the residuals is a useful, but not necessary property to be satisfied by ARIMA models [13]. The task of verifying the normality of the residual values can be achieved by the *Jarque-Bera* test [15] which is also a statistical test. In this test, the null hypothesis assumes presence of the normality. As for finding out autocorrelation in the residuals, the *Ljung-Box* test [16] is a suitable tool for it. The null hypothesis for this test assumes absence of the autocorrelation. Moreover, the number of lags to for the Ljung-Box test must be specified. A suggestion of selecting the number is $\min(10, T/5)$ for non-seasonal time series and $\min(2m, T/5)$ for seasonal time series, where T is the size of time series [17].

3.2.2 Simple Exponential Smoothing Model

Simple exponential smoothing (SES) is the simplest exponential smoothing model which is suitable to be applied for the predictions of time series which show neither trend nor seasonality [13]. Let s_t denote the *smoothed* or *fitted* value and y_t the actual value at time t . For $t=1$, we set $s_t = y_t$ [6]. For $t = 2, \dots, T$, we have

$$s_t = \alpha \sum_{i=1}^{t-1} (1 - \alpha)^{i-1} y_{t-i} + (1 - \alpha)^{t-1} s_1,$$

where α is the *smoothing parameter* between 0 and 1 which can be thought of as weight attached to the actual observation value. The predicted future value $\hat{y}_t$ of SES models is s_t , that is, all predicted values take the last smoothed value at time t [13]. As for the value of α , we will use an optimisation tool to optimise and find the best value.

3.2.3 Double Exponential Smoothing Model

Double exponential smoothing (DES) is the extended version of SES. DES models can make predictions of time series data which consist of trends. The idea is to apply SES twice on the initial time series on the assumption that a twice application of SES to a smoothed time series may result in better prediction values. For DES models, there is another parameter, alongside the smoothing parameter α , to be calculated which is called the *trend parameter* β , a number between 0 and 1. If β is small, the trend is assumed to

change very slowly over time. If β is large, the trend shows the more rapid change [18].

In DES models, there are two equations each of which computes, like in SES models, the smoothed value s_t , and the trend b_t at time t . For $t=1$, we set $s_t = y_t$ and $b_t = y_2 - y_1$ [6], where y_t is again the actual value. For $t = 2, \dots, T$, we compute s_t and b_t as in the following equations:

$$s_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}) \text{ and}$$

$$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}.$$

Finally, the equation for the predicted value thereby can be written as

$$\hat{y}_t = s_t + hb_t.$$

Again, we will use an optimisation tool to optimise and find the best values for both α and β .

3.2.4 Triple Exponential Smoothing Model

Triple exponential smoothing (TES) is the extended version of DES. TES models have been applied to time series which exhibit not only trend, but also *seasonality*, or in other words, cyclical patterns. The idea, again, is simply that the simple exponential smoothing method is applied thrice to the initial time series to make the prediction more accurate. There are two model variations to this method the application of which depends on the nature of the seasonal pattern. That is, the *additive* model and the *multiplicative* model. The additive model is more likely to be utilised when the amplitude of the seasonal pattern appears relatively constant in time, while the multiplicative model is more likely to be preferred when the amplitude of the seasonal pattern is proportional to the level of the time series [6, 13].

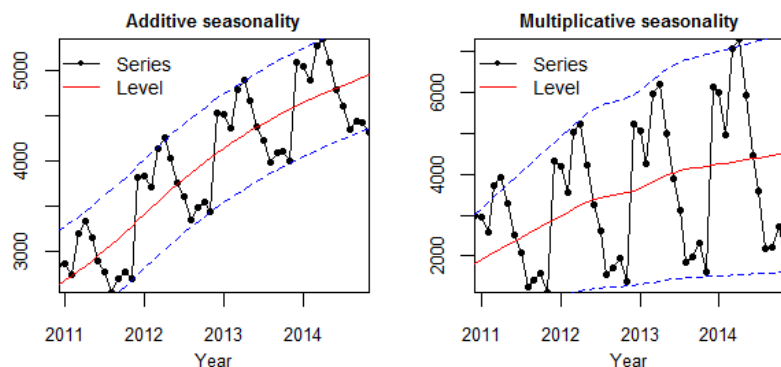


Figure 3 Additive vs. Multiplicative Seasonality [19].

Recall that we now have two exponential smoothing parameters, namely the smoothing parameter α and the trend parameter β . In TES models, a parameter for the seasonality of time series is additionally required. Hence, the seasonal parameter is defined and denoted by γ which ranges from 0 to 1. For the exact mathematical formulations, we would like to refer to such as [13] because it is quite complex, and the computations will take place using a Python program.

3.2.5 Long Short-Term Memory Network

Long short-term memory network (LSTM) is a special type of recurrent neural network (RNN). A long short-term memory network has a structure which consists of several *gated cells*. In the cells, information which is available can be stored and written. It can be read from these cells, too. The cells decide what to store, and when to allow reads, writes and erasures, by means of gates which open and close [20]. The *cell state* conveys information from past and gathering them for the present one. And information can simply go along the cell state without being changed. *Gates* are a way to optionally let information pass through or discarded. There are three gates available in a LSTM network which help control the cell state: (1) The *forget gate* decides whether the previous cell state should be forgotten, (2) the *input gate* chooses which new information needs to be stored in the cell state, and (3) the output gate generates the output which will be based on the cell state. For the exact mathematical formulations, we would like to refer to such as [19] because it is quite complex, and the computations will take place using a Python program.

3.3 Measures of Prediction Accuracy

Prediction errors play a major role in the evaluation of the models. Roughly speaking, the less the errors, the more accurate the prediction. In practice, it is important to make an appropriate choice of a measure of accuracy assessment. The mean absolute percentage error (MAPE) is recommended for its application in most publications, though it is not suitable to be used in some circumstances. For instance, MAPE is unsuitable for intermittent demand data because of the prohibited use of zero and negative actual values [21]. MAPE is defined as

$$MAPE = \frac{1}{n} \left| \sum_{t=1}^T \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|,$$

where y_t is the actual value and $\hat{y}_t$ is the predicted value at time $t = 1, \dots, T$. We will use MAPE as the accuracy metric.

4. Results

The experiment of each model was carried out on an Intel(R) Core(TM) i7-7500 CPU processor with 2.7 GHz and a usable memory of 16 GB. Each model was written in Python. All the selected models were trained with the training set (the first 100 observations of each series) and the parameters of each model were determined using the data.

4.1 Building the Models

4.1.1 SES, DES, and TES

We used *statsmodels* [22] to build all exponential smoothing models. *statsmodels* is a Python framework which provides classes and functions for the estimation of many different statistical models, as well as for conducting statistical tests, and statistical data exploration.

For each training set, the smoothing parameter α , the trend parameter β , and the seasonal parameter γ were optimised using *hyperopt* [23]. *hyperopt* is a Python library for parameter optimising over search spaces with real-valued, discrete, and conditional dimensions. Regarding a normal optimisation procedure with *hyperopt*, a search space for each training set was defined to find the best values of the parameters by which the error during the model training was as low as possible. As stated earlier, α , β , and γ are in the range of 0 and 1. Therefore, these three parameters were searched for a real number between 0 and 1 (certainly, 0 and 1 are excluded). One of both currently implemented search algorithm of *hyperopt* which was used for our task is called *tree of Parzen estimator* (TPE). This algorithm is one of Bayesian optimisation algorithms for hyperparameters [23]. Then, the search space and the objective function returning the MAPE from the training set were passed in the minimising function to find the optimised smoothing parameter(s) which produced the least MAPE during the training. Table 1 shows the optimised values of the parameters which are rounded down to values in 8 decimal places, to be more easily presented.

Table 1. Overview of Exponential Smoothing's Parameters, ARIMA's Parameters, and LSTM's hyperparameters (e. = epochs; b.s. = batch size; n. = neurons).

ID	SES	DES		TES			ARIMA		LSTM		
	α	α	β	α	β	γ	(p, d, q)	$(P, D, Q)_m$	e.	b.s.	n.
S1	0.0626919	0.0003931	0.0000251	0.0438373	0.027798	0.0005197	(0, 0, 2)	-	100	1	2
S2	0.1030444	0.0004552	0.0001189	0.1672903	0.0003656	0.0002881	(0, 1, 1)	$(0, 1, 1)_{12}$	200	1	5
S3	0.9731978	0.9982267	0.0000353	0.0706603	0.0001303	0.0004144	(2, 1, 0)	$(1, 0, 0)_{12}$	50	3	2
S4	0.6367266	0.3175668	0.0331696	0.1927638	0.1918442	0.0004193	(0, 1, 1)	-	200	1	5
S5	0.1616712	0.2794364	0.0000388	0.7176836	0.0016582	0.0001114	(2, 1, 2)	-	200	4	3
S6	0.9999949	0.9995951	0.9992066	0.981844	0.9542871	0.0181524	(1, 1, 2)	-	100	1	2
S7	0.9986229	0.9999252	0.000008	0.4451375	0.0000836	0.0013893	(1, 1, 1)	$(0, 1, 1)_{12}$	200	5	1
S8	0.0000161	0.5098825	0.0000364	0.3080804	0.0002687	0.0000672	(1, 0, 0)	-	50	3	4
S9	0.2241311	0.0017878	0.0006171	0.0191358	0.0005383	0.0007275	(0, 0, 0)	-	100	4	5
S10	0.9999955	0.9987753	0.0023751	0.9169906	0.0010011	0.0011748	(0, 1, 0)	-	50	1	1

4.1.2 Normal and Seasonal ARIMA

In addition to the ADF test, one can use the Hyndman-Khandakar algorithm [13] to build the ARIMA models. Fortunately, there is another Python library called *pmdarima* [24] which uses *statsmodels* as its backend and hence contains several useful statistical functions including the function which can automatically build and fit the best ARIMA model, whether normal or seasonal, to a univariate time series based a provided information criterion and the necessary parameters given. With significance level α set to 0.05, we performed the ADF test on each training to see beforehand on which training set differencing was necessary, as presented in table 2.

Now, the results of the ADF test suggested that the time series S1, S8, and S9 are already stationary. Thus, the model of those three time series should be in form of ARIMA(p,0,q) Moreover, one can obviously see that there is significant seasonality in the time series S2, S3, and S7. Hence, the seasonal parameters for ARIMA were reasonably to be determined, too.

We also conducted for each fitted ARIMA model both the Jarque-Bera test and the Ljung-Box test to compute the p-value of each test, again with significant level α set to 0.05. For the latter, the number of lags was determined, as described in 3.2.1. The results of both tests are presented in table 3. We can see that all training sets passed the Ljung-Box test, that is, there is no correlation among the residuals. As for the Jarque-Bara test, nevertheless, the null hypothesis of present normality among the residuals in S3, S7,

and S10 was rejected, that is, their residuals were statistically not normally distributed. But it has been already pointed out in 3.2.1 that normality of the residuals is just a useful, but not necessary property.

Table 2. List of Each Training Set's p-Value Obtained from The ADF Test.

ID	Periodicity	p-value	Less than α ?	Differencing needed?
S1	yearly	7.39×10^{-6}	Yes	No
S2	monthly	0.32	No	Yes
S3	monthly	1.0	No	Yes
S4	monthly	0.84	No	Yes
S5	monthly	0.74	No	Yes
S6	monthly	0.1	No	Yes
S7	monthly	0.98	No	Yes
S8	yearly	2.69×10^{-11}	Yes	No
S9	daily	8.87×10^{-15}	Yes	No
S10	daily	0.27	No	Yes

Table 3. Results of The Ljung-Box and The Jarque-Bara Test.

ID	Ljung-Box test				Jarque-Bara test		
	Lags	p-value (at max. lag)	Less than α ?	No correlation?	p-value	Less than α ?	Normality present?
S1	10	0.87	No	Yes	0.34	No	Yes
S2	20	0.66	No	Yes	0.56	No	Yes
S3	20	0.22	No	Yes	1.56×10^{-5}	Yes	No
S4	10	0.45	No	Yes	0.07	No	Yes
S5	10	0.74	No	Yes	0.19	No	Yes
S6	10	0.14	No	Yes	0.88	No	Yes
S7	20	0.67	No	Yes	1.04×10^{-17}	Yes	No
S8	10	0.73	No	Yes	0.19	No	Yes
S9	10	0.98	No	Yes	0.44	No	Yes
S10	10	0.99	No	Yes	0.0	Yes	No

4.1.3 LSTM

All LSTM models were built using mainly two Python libraries, that is, *TensorFlow* [25] and *Keras* [26]. Both are the two well established Python libraries most used for deep machine learning. Generally, to build a deep machine learning model using *TensorFlow* and *Keras*, one should consider selecting the best values for hyperparameters, such as number of *epochs*, *batch size*, and *neurons* in the hidden layer. One epoch means one forward pass and one backward pass of all the training examples and batch size is the number of training examples in one forward/backward pass. Of each time series, to find out the optimal number of epochs, batch size, and neurons, we again used *hyperopt* for this task. With the same procedure as in the case of exponential smoothing algorithms, for each time series, a search space was defined to find the best values of these hyperparameters. Due to the performance of the computer on which the experiments were performed, the number of epochs was determined between 50 and 200, the number of batch size between 1 and 5, and the number of neurons between 10 and 100. Moreover, all the numbers must be integer numbers because, for instance, there cannot 47.11 neurons exist in practice.

As for LSTM, the last 20 observations in the training set would be used for the test to avoid underfit and overfit problems. Hence, in contrast to the other training sets, the training set for LSTM would contain 80 observations. Table 1 shows the optimised hyperparameters for LSTM models of all time series.

4.2 Training and Evaluation

After the models were trained with the training set and the MAPEs were calculated, as illustrated in table 4. We see that DES was the best model for S1; TES for S2, S3, S5, S6, and S7; And LSTM for S4, S8, S9, and S10. We then used these best models to make a prediction of the last 20 observations in the evaluation set for each respective series. To see how good the best model for each training set made predictions, the results of the prediction evaluations in MAPE are provided in table 5.

Table 4. Overview of the MAPEs Calculated During Training.

ID	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)					
	SES	DES	TES	ARIMA	LSTM	
					Training set	Test set
S1	4.61%	4.6%	5.67%	4.89%	5.31%	4.97%
S2	22.28%	20.39%	4.15%	5.65%	25.76%	26.27%

Table 4. Overview of the MAPEs Calculated During Training. (Continued)

S3	6.89%	6.9%	3.07%	3.86%	7.53%	7.14%
S4	37.89%	40.72%	46.22%	50.81%	25.8%	23.54%
S5	12.8%	12.77%	7.14%	24.02%	10.81%	11.03%
S6	9.04%	7.7%	4.75%	12.26%	6.03%	5.98%
S7	13.06%	13.15%	4.13%	5.71%	12.1%	12.65%
S8	51.73%	34.79%	31.58%	35.41%	21.77%	22.09%
S9	16.05%	62.31%	16.25%	15.9%	15.98%	15.74%
S10	1.01%	1.05%	2.46%	1.88%	0.65%	0.67%

5. Conclusions

In this paper, an experimental comparison of five models on time series prediction was carried out. The results in table 4 have revealed that TES performed best in five time series, LSTM in four time series, and DES was the best performing models in one time series. Thereafter, using the evaluation set, each model was evaluated on prediction performance which was measured as MAPE presented in table 5.

There are totally three time series which show their increasing trend and seasonality much significantly, namely time series S2, S3, and S7. Time series S5 shows its increasing trend and cyclic pattern, but both components here are not as obvious as in the three mentioned earlier. From table 4, we realise that in S2, S3, S5, S6, and S7, TES clearly outperformed the other models. In the time series with significant trend and seasonality, i.e., in S2, S3, and S7, one can clearly see that TES and seasonal ARIMA were able to achieve the similarly small MAPEs. Besides, the MAPEs which were produced by TES in the evaluation using those three time series were also considerably low.

Table 5. Overview of Prediction Performance Measurement with MAPE Using The Evaluation Sets.

ID	Best Model in Training	MAPE
S1	DES	4.63%
S2	TES	4.67%
S3	TES	3.72%
S4	LSTM	23.25%
S5	TES	7.26%

Table 5. Overview of Prediction Performance Measurement with MAPE Using The Evaluation Sets. (Continued)

S6	TES	14.42%
S7	TES	8.23%
S8	LSTM	22.17%
S9	LSTM	15.32%
S10	LSTM	0.44%

The remaining time series, namely S1, S4, S6, S8, S9, and S10, present neither clear trend nor obvious seasonality. The values of observations in each of these time series vary recognisably. Time series S4 and S6 remarkably show both increasing and decreasing trend over a period of interest. As displayed in table 4, of these six time series, LSTM outperformed the other models in four time series (S4, S8, S9, and S10). In S1, DES was surprisingly slightly better than the other models.

Consider first the time series with clear trend and seasonality. From table 4, with TES and seasonal ARIMA, each of the MAPEs was surprisingly less than 10%. In comparison, the MAPEs produced by SES, DES, and LSTM were relatively greater. It is strongly arguable that both TES and seasonal ARIMA are much more suitable models for data with clear trend and seasonality.

Consider now the time series without trend and seasonality. The MAPEs were produced by TES and DES were relatively high, which supports the suggestion over the feature of the models mentioned earlier. In S4 which shows indistinct trend and seasonality, the MAPEs produced by DES and TES were high. We argue that this can be due to that DES and TES are more likely to be used for times series with distinct trend (increasing or decreasing) and seasonality. Nevertheless, DES was the best model for S1, although the trend is visually not present in it.

To summarise, from our obtained results in table 4: TES and seasonal ARIMA are the most appropriate to be used for time series with clear trend and seasonality. LSTM is the most appropriate to be used for time series without trend and seasonality. It is quite surprising that LSTM could achieve prediction task in time series analysis well. In future work, it would be intriguing, as for LSTM, to perform such an analysis on a more powerful graphics processing unit (GPU); this would eventually increase the number of epochs, batch size, and neurons and hopefully improve the performance, too.

6. Acknowledgement

We would like to express our thanks to the journal's editors and the reviewers of this paper for their helpful and thoughtful advice some of which could certainly be used for an extension of this work in the future.

References

- [1] Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2008.
- [2] Adhikari R, Agrawal RK. An Introductory Study on Time series Modeling and Forecasting [Internet]. New York: Cornell University; 2013. [updated 2013 Feb 26; cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1302.6613>
- [3] Pant A, Rajput RS. Time Series Analysis of Gold Price Using R. In: Digitalization in Commerce & Its Impact on Economy. [Uttar Pradesh]: Social Research Foundation; 2019. p. 15–24.
- [4] Kirshners A, Borisov A. A Comparative Analysis of Short Time Series Processing Methods. Scientific Journal of RTU [Internet]. 2012 [cited 2022 Feb 26];15(1):65–69. Available from: <https://itms-journals.rtu.lv/article/viewFile/v10313-012-0009-4/2677>
- [5] Tarsitano A. Classification Of Short Time Series [Internet]. Ponte Pietro Bucci: Universita della Calabria; 2009. [updated 2009; cited 2022 Feb 26]. Available from: http://www.ecostat.unical.it/repec/workingpapers/WP05_2009.pdf
- [6] Montgomery DC, Jennings CL, Kulahci M. Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2015.
- [7] Berninger J. Forecasting the Time Series of Apple Inc.'s Stock Price [master's thesis]. [Los Angeles]: University of California; 2018.
- [8] Devi BU, Sundar D, Alli P. An Effective Time Series Analysis for Stock Trend Prediction Using ARIMA Model for Nifty Midcap-50. International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process [Internet]. 2013 Jan [cited 2022 Feb 27];3(1):65–78. Available from: <https://aircconline.com/ijdkp/V3N1/3113ijdkp06.pdf>
- [9] Booranawong T, Booranawong A. Simple and Double Exponential Smoothing Methods with Designed Input Data for Forecasting. Suranaree Journal of Science and Technology [Internet]. 2016 Jan-Mar [cited 2022 Feb 28];23(1):301–310. Available from: https://www.researchgate.net/publication/322355629_SIMPLE_AND_DOUBLE_EXPO_NENTIAL_SMOOTHING_METHODS_WITH_DESIGNED_INPUT_DATA_FOR_FORECASTING_A_S_EASONAL_TIME_SERIES_IN_AN_APPLICATION_FOR_LIME_PRICES_IN_THAILAND

- [10] Kim K-J. Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing* [Internet]. 2003 Sep [cited 2022 Feb 28];55(1-2):307–319. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231203003722>
- [11] Siami-Namini S, Tavakoli N, Namin AS. A Comparison of ARIMA and LSTM in Forecasting Time Series. In: 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications. Orlando: PublisherInstitute of Electrical and Electronics Engineers; 2018. p. 1394–1401.
- [12] Hyndman R, Yang Y. tsdl: Time Series Data Library v0.1.0 [Internet]. [Clayton]: Monash University; 2018 [updated 2018; cited 2022 Feb 28]. Available from: <https://pkg.yangzhuo.ranyang/tsdl/>.
- [13] Hyndman RJ, Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 2nd ed. Heathmont, Vic.: OTexts; 2018.
- [14] Prabhakaran S. Augmented Dickey Fuller Test (ADF Test) – Must Read Guide [Internet]. [updated 2019 Nov 2; cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://www.machinelearningplus.com/time-series/augmented-dickey-fuller-test/>.
- [15] Jarque CM, Bera AK. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*. 1980;6(3):255–259.
- [16] Ljung GM, Box GEP. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*. 1978 Aug;65(2):297–303.
- [17] Hyndman RJ. Thoughts on the Ljung-Box test [Internet]. [Clayton]: [Monash University]; 2014 [updated 2014 Jan 24; cited 2022 Mar 19]. Available from: <https://robjhyndman.com/hindsight/ljung-box-test/>.
- [18] Nau R. Moving average and exponential smoothing models [Internet]. [North Carolina]: [Duke University]; 2019 [updated 2020 Aug 18; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://people.duke.edu/~rnau/411avg.htm#HoltLES>
- [19] Kourentzes N. Additive and multiplicative seasonality – can you identify them correctly? [Internet]. Lancashire: Lancaster University; 2014 [updated 2014 Nov; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://kourentzes.com/forecasting/2014/11/09/additive-and-multiplicative-seasonality/>.
- [20] Goyal A. Data Science: Long Short Term Memory (LSTM) RNN [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2018 Mar- [cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://datasciencebasicsblog.wordpress.com/2018/03/11/long-short-term-memorylstm-rnn/>.

-
- [21] Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*. 2006 Oct-Dec;22(4):679–688.
- [22] statsmodels [Internet]. [place unknown]: statsmodels-developers; c2009-19 [updated 2020 Feb 08; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://www.statsmodels.org/stable/index.html>
- [23] Hyperopt: Distributed Hyperparameter Optimization [Internet]. [place unknown]: GitHub, Inc.; 2022 [updated 2021 Nov 29; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://github.com/hyperopt/hyperopt>
- [24] pmdarima: ARIMA estimators for Python [Internet]. [place unknown]: Taylor G Smith; c2017-22 [updated 2017 Sep 3; cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://alkaline-ml.com/pmdarima/index.html>
- [25] TensorFlow [Internet]. [place unknown]: GitHub, Inc.; 2022 [updated 2021 Nov 29; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://www.tensorflow.org/>.
- [26] Keras [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2022 [updated 2021 Nov 29; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://keras.io/>.

หลักฐานการมีส่วนร่วม

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ

ก. ชื่อผลงาน An Experimental Comparison of SES, DES, TES, ARIMA, and LSTM Algorithms for Short Time Series Prediction

ข. สถานะผู้ขอในผลงาน

- ☒ ผู้ประพันธ์อันดับแรก (First Author)
☐ ผู้มีส่วนสำคัญทางปัญญา (Essentially Intellectual Contributor)
☐ ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author)

ค. ประเภทของผลงาน

กลุ่มที่ ๑ ☒ งานวิจัย

กลุ่มที่ ๒ ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่น

- | | |
|--|--|
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่ออุตสาหกรรม | ☐ กรณีศึกษา |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนและการเรียนรู้ | ☐ งานแปล |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนานโยบายสาธารณะ | ☐ สิทธิบัตร |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | ☐ ซอฟต์แวร์ |
| ☐ พจนานุกรม สารานุกรม นามานุกรม และงานวิชาการในลักษณะเดียวกัน | |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านสุนทรียะ ศิลปะ | ☐ ผลงานนวัตกรรม |
| ☐ ผลงานรับใช้ท้องถิ่นและสังคม | |

กลุ่มที่ ๓ ☐ ตำรา

☐ หนังสือ

☐ บทความทางวิชาการ

รายละเอียดของการมีส่วนร่วม

ผู้ขอกำหนดตำแหน่งต้องกรอรายละเอียดให้ครบถ้วน (เนื่องจากการไม่มีการแบ่งส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ ดังนั้น บทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบตามที่ผู้ขอระบุจะมีผลต่อการพิจารณาผลงานทางวิชาการ และต้องแนบเอกสารหลักฐานเพื่อประกอบการพิจารณา)

รายละเอียดการมีส่วนร่วม	บทบาทและหน้าที่ความรับผิดชอบ
ก. ความคิดริเริ่มและสมมติฐาน	ร.อ.ชัยญาวัจน์ฯ เป็นผู้ตั้งสมมุติฐานงานวิจัย
ข. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria	ร.อ.ชัยญาวัจน์ฯ สถิติภัทรสมบัติ รับผิดชอบควบคุมการปฏิบัติในทุกขั้นตอน, น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง ให้คำแนะนำปรึกษาในการดำเนินการทดลอง
ค. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ฯ รวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย, ร.อ.ชัยญาวัจน์ฯ วิเคราะห์ข้อมูล และแปลผล
ง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม	ร.อ.ชัยญาวัจน์ฯ สถิติภัทรสมบัติ รับผิดชอบการสรุปผลการวิจัย, น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้อง และนำเสนอแนวทางการพัฒนาต่อยอด
จ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น	ร.อ.ชัยญาวัจน์ฯ สถิติภัทรสมบัติ เป็นผู้ร่างบทความวิจัย และ น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องบทความวิจัย
ฉ. การให้การสนับสนุน specimens, logistics, ทุนวิจัย (โปรดระบุแหล่งทุน เงินทุน และปีที่ได้รับ) เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์	ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือการประมวลผลข้อมูลจากห้องปฏิบัติการภาควิชาคอมพิวเตอร์ รร.นนท.
ช. อื่น ๆ	

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง)

ผู้ขอกำหนดตำแหน่ง

ลงชื่อ.....
(..... ร.อ. ชัยญาวัจน์)

ผู้ประพันธ์อันดับแรก

ลงชื่อ.....
(..... ร.อ. ชัยญาวัจน์ สถิติภัทรสมบัติ)

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

ผลงานวิชาการลำดับที่ ๕

ประเภท : งานวิจัย

รูปแบบ : บทความวิจัย

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์

การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาวีเรืออากาศ

NKRFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 ก.ค. - ธ.ค. 65

Contents

บทความวิจัย

- การศึกษาเทคโนโลยีการรู้จำตัวบุคคลด้วยเสียงเพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มการยืนยันตัวบุคคล
ด้วยเทคโนโลยีชีวมิติที่มีความมั่นคงปลอดภัย สำหรับกองทัพอากาศไทย
พายัพ ศิรินาม และ ประสงค์ ปราณีตพลกรัง 1-15
- การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร
ปภิกร อันซีน, ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ประสาทร วังคำช้าง 16-25
- การจัดกลุ่มหน่วยประมวลผลแบบเอ็กทรา-จีซีเอส เพื่อการสื่อสารแบบเพอร์ซันนัลไลซ์
อล-ทู-อล บนเครือข่ายการเชื่อมต่อไฮเปอร์คิวบ์แบบชั้น
นันทิพัฒน์ พิศุทธากร และ เฉลิมขวัญ ศิริพันธุ์ 26-39
- การเตรียมและสมบัติด้านแรงดัดของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก
โดยมีอีพ็อกซีเรซินเป็นเนื้อสาร
ณัฐพล เกษางาม และ วรุต ธรรมวิชัย 40-56
- การพัฒนาและประเมินสถาปัตยกรรมกระบวนการสำหรับออกแบบชุดอักษรภูมิปัญญา
และอัตลักษณ์ไทยใน 4 ภูมิภาคด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
บุญชม สุดจิตต์, ธนา สุขวารี และ ประสงค์ ปราณีตพลกรัง 57-72
- การสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า
ชุดเดชะ มั่นคงธรรม และ ชนินา หมอยาคี 73-82
- การพยากรณ์ยอดขาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาธุรกิจค้าปลีก
นิศาชล ภูมิพงศ์ไทย และ สราวุธ ลักษณะโต 83-98
- การบริหารจัดการคาร์บอนเครดิตในโซ่อุปทานโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ชนินา หมอยาคี, ธิดิ จิรวชิรากร, ชลิตา ตริยานิช และ ปัญญารักษ์ โกศลวัฒน์ 99-111



การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร

A Comparative Study of Classifiers for Analyzing Agricultural Land Use

¹ปัทกร อันชื่น, ^{2*}ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ³ประสาทร วงษ์คำซ้าง^{1,3}สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช²กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Received : June 10, 2022

Revised : October 19, 2022

Accepted : December 20, 2022

¹Patikorn Anchuen, ^{2*}Phummipat Daungklang and ³Prasatporn Wongkamchang^{1,3}The Graduate School, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy²Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

Patikorn_an@rtaf.mi.th, *Phummipat_d@rtaf.mi.th, Prasatporn_w@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photographic) เพื่อลดภาระเจ้าหน้าที่ในการสำรวจพื้นที่ทำเกษตรแบบผสมผสาน ขั้นตอนวิธีที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทางด้านการระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ Maximum Likelihood (ML) Support Vector Machine (SVM) และ Random Forest (RF) ถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกประเภทพืชพรรณทางการเกษตร ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศในช่วงคลื่นแสงสีแดง (Red band) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR band) จะถูกบันทึกจากกล้องถ่ายภาพชนิดพิเศษที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนวิธี RF มีความแม่นยำมากที่สุดถึง 93 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ภาพถ่ายทางอากาศ, อากาศยานไร้คนขับ, ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ, การใช้ประโยชน์ที่ดิน

Abstract

This paper focuses on a comparative study of the accuracy of classifiers for aerial photographic land use to reduce staff burden in surveying areas of integrated agriculture. The widest algorithms are used for object classification in the field of geographic information systems consisting of Maximum Likelihood (ML), Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF). These algorithms are benchmarked for the classification of agricultural land. An aerial photograph is captured by cameras mounted on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to record the Red band image and near-infrared (NIR) image to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). As a result, the RF algorithm is the most accurate, equal to 93 percent.

Keywords: Aerial photographic, UAV, NDVI, Land use

1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณที่ความเหมาะสมกับการทำเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางด้านการเกษตรเพื่อเป็นอาหารและสร้างรายได้ในครัวเรือน ตลอดทั้งต้องออกไปสู่ภาคการผลิต เพื่อส่งออกสินค้าทางการเกษตรในการสร้างรายได้ให้กับประเทศ [1] จากอดีตจนถึงปัจจุบันพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมเพาะปลูกอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ข้าว ยางพารา อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น โดยมีจุดเริ่มต้นจากวิถีเกษตรเพื่อปากท้องไปสู่วิถีเกษตรแบบยั่งยืนควบคู่ไปกับการพัฒนาการทำเกษตรกรรม [2] ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัยนำไปสู่ชีวิตความเป็นอยู่ของคนในสังคมที่ดีขึ้น ในขณะที่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและการพัฒนานวัตกรรมทางด้านการเกษตรนำไปสู่ยุคเกษตรสมัยใหม่ที่จะช่วยยกระดับเกษตรกรให้มีรายได้เพิ่มขึ้น [3] ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศสามารถนำมาใช้เพื่อช่วยจัดการพื้นที่ในการเพาะปลูก เพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิต ด้วยการปรับกลยุทธ์จากการวิเคราะห์พื้นที่ให้สอดคล้องกับการเพาะปลูก ทั้งทรัพยากรที่มี และระยะเวลาที่เหมาะสม นอกจากนี้เทคโนโลยีทางด้านเซ็นเซอร์การตรวจวัดที่ถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับกลยุทธ์การปลูกพืชให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมได้ [4] นอกจากนี้การมาถึงของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้รองรับการเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในปริมาณมหาศาล ทำให้สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตรวจวัดจากอุปกรณ์ Internet of Thing ได้เป็นอย่างดี และยิ่งไปกว่านั้นเครือข่ายยังรองรับการให้บริการเพื่อควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล ซึ่งก่อให้เกิดการยกระดับการทำการเกษตร ไปสู่การเกษตรอัจฉริยะหรือ Smart Agriculture บนพื้นฐานที่สามารถรองรับได้บนเครือข่ายไร้สายยุคใหม่ [5]

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการเกษตรก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดการผลผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ และสามารถรักษาคุณภาพผลผลิตให้เป็นมาตรฐาน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีสารสนเทศและภาพถ่ายทางอากาศเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่สำคัญที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อช่วยขับเคลื่อนภาคการเกษตรของประเทศ การศึกษาและพัฒนานวัตกรรมเพื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านการพยากรณ์ผลผลิต การจัดการการเพาะปลูก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการได้มาซึ่งภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียมมีต้นทุนสูง และมีข้อจำกัดในการใช้งาน จึงส่งผลให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อช่วยลดต้นทุนอีกทั้งมีความคล่องตัวสูงในการบันทึกภาพและวิดีโอ [6]

อากาศยานไร้คนขับถูกนำมาใช้งานทางด้านการเกษตรอย่างแพร่หลาย การใช้งานเพื่อบันทึกภาพจากมุมสูงในการสำรวจพื้นที่ทำการเกษตรเป็นหนึ่งในการประยุกต์ใช้งานของระบบภาพถ่ายทางอากาศ โดยข้อมูลที่ได้อาจถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิต นอกจากนี้ยังมีการนำอากาศยานไร้คนขับไปใช้ในการหว่านเมล็ดพันธุ์ หว่านปุ๋ย และพ่นยาฆ่าแมลง ซึ่งนับว่าได้ก้าวเข้าสู่การเป็นเกษตรสมัยใหม่อย่างเต็มตัว [7] ในประเทศไทยอากาศยานไร้คนขับมีบทบาทมากยิ่งขึ้นในการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านการเกษตรกรรมแบบแม่นยำ เพื่อลดข้อจำกัดของพืชบางประเภทที่มีความสูงรวมไปถึงการให้ปุ๋ยผ่านทางปากใบกับพืชบางประเภทได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านทางราก ทำให้ประหยัดเวลา และลดการใช้แรงงานคน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนในการทำการเกษตรเพียงอย่างเดียวจะใช้แรงงานมากกว่า ในขณะที่การใช้อากาศยานไร้คนขับจะใช้แรงงานคนในการควบคุมและดำเนินการเพียง 1-2 คนเท่านั้น ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการทำการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8]

การเกษตรแบบผสมผสานเป็นหนึ่งในวิธีการทำเกษตรที่ได้รับความนิยมในยุคปัจจุบันซึ่งช่วยแบ่งพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ก่อให้เกิดความมั่นคง มีอยู่ มีกิน และมีใช้ การใช้พื้นที่ในการทำเกษตรที่สมดุลจะทำให้สามารถสร้างผลผลิตที่คึกคักนำไปสู่ความยั่งยืนได้ ในการจัดสรรพื้นที่ทำการเกษตรแบบผสมผสานจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ทั้งสภาพแวดล้อม ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ น้ำ ดิน ซึ่งต้องใช้ข้อมูลสารสนเทศจากหลายแหล่ง ก่อให้เกิดข้อจำกัดในการได้รับข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เป็นหนึ่งตัวบ่งชี้

ที่ถูกคำนวณได้จากข้อมูลภาพในช่วงคลื่นแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพื่อเป็นตัวบ่งบอกความสมบูรณ์ของพืชพรรณ และใช้เป็นตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณในด้านต่าง ๆ ในปัจจุบันการทราบถึงข้อมูล NDVI เชิงพื้นที่ที่สามารถดำเนินการ ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์กล้องถ่ายภาพกับอากาศยานไร้คนขับเพื่อบินสำรวจแทนการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม ทำให้มีความสะดวก รวดเร็ว และมีต้นทุนต่ำ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพื้นที่ [9] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ให้ความสนใจกับการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของ NDVI มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมระบบ สารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมในการนำมา ประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านการพยากรณ์ผลผลิตแปลงข้าวได้เป็นอย่างดี ช่วยให้สามารถวางแผน เพื่อจัดสรรที่ดินในการ เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ [10] นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพ NDVI ยังถูกนำไปใช้จำแนกข้อมูลเชิงวัตถุ ในการวิเคราะห์ข้อมูลแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับการเพาะปลูกและพิจารณาพร้อมกับค่าดัชนีอื่น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในการทำแผนที่ [11] ความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้น โดยใช้ค่า NDVI นอกจากนี้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนยังสามารถคำนวณได้จาก NDVI ซึ่งช่วยให้ประหยัดงบประมาณและค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ เจ้าหน้าที่ในการสำรวจ [12] อย่างไรก็ตามการทำเกษตรแบบผสมผสานจำเป็นต้องได้รับการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกอย่างเหมาะสม ดังนั้นการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางด้านการเกษตรด้วยตัวจำแนกข้อมูลที่มีความแม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำ ข้อมูลไปใช้ในการจัดสรรพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรจาก ข้อมูลภาพ NDVI ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์และจัดสรรที่ดินโดยใช้โปรแกรม ทางด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ จากการศึกษาขั้นตอนวิธี Maximum Likelihood (ML) Support Vector Machine (SVM) และ Random Forest (RF) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายบนพื้นฐานในการวิเคราะห์เชิงวัตถุ ขั้นตอนวิธีเหล่านี้ ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาขั้นตอนวิธีที่ดีที่สุดในการเลือกใช้งาน ซึ่งช่วยลดภาระเจ้าหน้าที่และงบประมาณในการสำรวจ พื้นที่ทำการเกษตร

2. ขอบเขตงานวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการจำแนกประเภทของพืชเศรษฐกิจด้วย NDVI และเปรียบเทียบความแม่นยำของขั้นตอนวิธีของ ML SVM และ RF สำหรับการจำแนกพืชพรรณทางการเกษตร

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

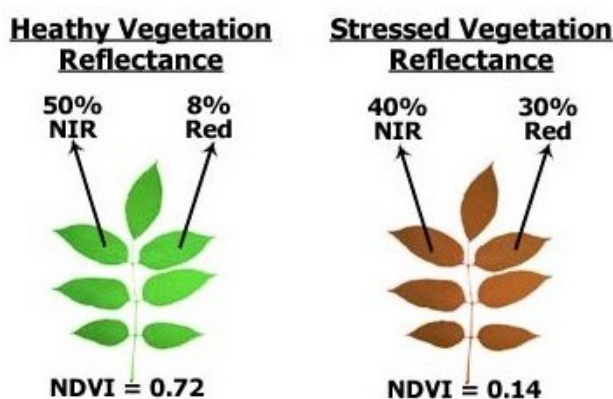
3.1 ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ

ดัชนีพืชพรรณเป็นค่าที่บ่งบอกการสะท้อนคลื่นแสงที่ตกกระทบกับสิ่งที่ปกคลุมพืชพรรณในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ตามช่วงเวลา ด้วยใบพืชจะดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่แสงสีแดง และคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ค่าดัชนีพืชพรรณ ของพืชแต่ละชนิด มีความแตกต่างกันตามความอุดมสมบูรณ์และสีของใบที่มีการดูดซับ การสะท้อนพลังงานคลื่นที่แตกต่างกัน โดยที่ค่า NDVI สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

กำหนดให้	NDVI	คือ ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ
	NIR	คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
	Red	คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของค่า NDVI อยู่ในช่วงระหว่าง -1.00 ถึง 1.00 โดยสามารถตีความระดับพืชพรรณจากค่าที่วัดได้ในแต่ละพื้นที่ เช่น ค่า NDVI ที่อยู่ระหว่าง -1.00 ถึง 0.29 จะถูกตีความว่าเป็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมน้อยหรือเป็นแหล่งน้ำ ช่วงค่า 0.30 ถึง 0.59 เป็นพื้นที่ที่มีพืชพรรณที่หนาแน่นน้อย และช่วงค่า 0.60 ถึง 1.00 เป็นพื้นที่ที่มีพืชพรรณหนาแน่นมาก อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ พิจารณช่วงที่มีค่า NDVI มากกว่า 0 ถูกบ่งชี้ได้ว่าบริเวณพื้นที่นั้น เป็นพื้นดินซึ่งอาจจะมีพืชพรรณปกคลุมอยู่ ในการใช้ NDVI เพื่อจำแนกพืชพรรณ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดความอุดมสมบูรณ์ของพืชได้ด้วยการที่พืชที่มีใบเขียวที่มีความแข็งแรงสมบูรณ์จะให้ค่า NDVI ที่สูงกว่าพืชที่มีความสมบูรณ์น้อยกว่า ดังแสดงตามรูปที่ 1



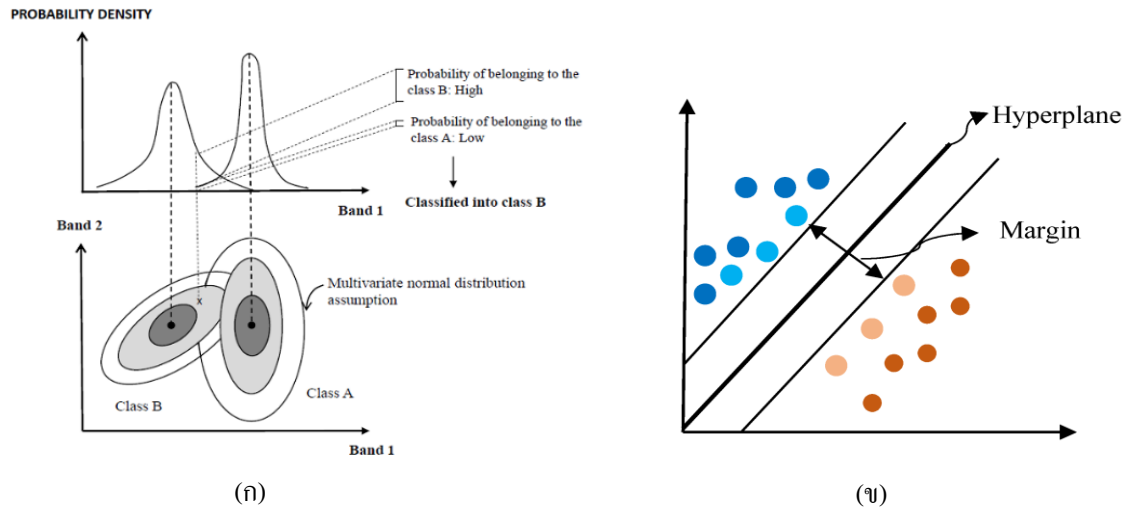
รูปที่ 1 ค่า NDVI ของพืชพรรณที่มีความสมบูรณ์แตกต่างกัน [13]

ทั้งนี้ พืชพรรณที่ปกคลุมดินมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงเวลา โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกตามช่วงเวลาทั้งในระหว่างการเติบโตไปจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต มีการส่งผลกระทบต่อค่า NDVI ที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงไม่สามารถที่จะใช้เพียงช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งสำหรับการพิจารณา NDVI แต่จะขึ้นอยู่ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลภาพถ่าย อย่างไรก็ตามการปลูกพืชเศรษฐกิจสำหรับการเกษตรแบบผสมผสาน โดยพืชที่ปกคลุมดินแต่ละชนิด เช่น ข้าว ยางพารา อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้นส่วนใหญ่มีการสะท้อนและดูดซับพลังงานคลื่นแสงสีแดง และคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่แตกต่างกัน จึงทำให้สามารถนำภาพถ่ายทางอากาศมาวิเคราะห์ภาพ NDVI เพื่อจำแนกพืชพรรณ

3.2 การแบ่งส่วนรูปภาพ

ในการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่จำเป็นต้องมีข้อมูลอ้างอิง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศไร้คนขับ ในขณะที่เดียวกันการเก็บข้อมูลภาคสนามจะทำการสุ่มเก็บในแต่ละจุด เพื่อใช้ในการอ้างอิงเปรียบเทียบความถูกต้องในเวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถกำหนดพื้นที่ตัวอย่างได้จากข้อมูลที่ต้องการสำรวจ โดยมีประเภทของพืชพรรณที่ปกคลุมดินจากการสะท้อนเชิงสเปกตรัมที่แตกต่างกัน จะถูกนำมาใช้จำแนกการใช้ที่ดินผ่านขั้นตอนวิธีการในการจำแนกข้อมูลประเภทต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการใช้ขั้นตอนวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธีบนพื้นฐานในการวิเคราะห์เชิงวัตถุ เพื่อค้นหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางด้านการเกษตรโดยประกอบด้วย Maximum Likelihood (ML) Support Vector Machines (SVM) และ Random Forest (RF) (ดังรูปที่ 2) อย่างไรก็ตามข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ นั้น การที่จะนำไปใช้เรียนรู้เพื่อสร้างตัวจำแนกจากขั้นตอนวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธี จำเป็นต้องมีกระบวนการแบ่งส่วนรูปภาพ เพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ตัวอย่างในการใช้เรียนรู้ (Training Sample) โดยผ่านวิธีการ Mean Shift

การแบ่งส่วนรูปภาพด้วยวิธีการ Mean Shift เป็นการจัดกลุ่มที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานความหนาแน่นด้วยการประมาณการแบบ Kernel Density Estimation (KDE) สำหรับหาตัวแทนกลุ่มของข้อมูล ด้วยเทคนิคนี้ใช้ Moving Window เพื่อคำนวณค่าพิกเซลเฉลี่ย (Average Pixel) ในการกำหนดพิกเซลที่ควรอยู่ร่วมกับแต่ละส่วนภาพ



รูปที่ 2 ตัวอย่างการจำแนกกลุ่มของจุดภาพด้วยวิธี ML SVM และ RF

(ก) ตัวอย่างการจำแนกกลุ่มของจุดภาพด้วย Maximum Likelihood (ML) [14]

(ข) ตัวอย่างการจำแนกข้อมูลด้วย Support Vector Machines (SVM) [15]

(ค) ตัวอย่างการจำแนกข้อมูลด้วย Random Forest (RF) [16]

3.3 การจำแนกประเภทข้อมูล

การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นการแบ่งจุดภาพที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันออกเป็นกลุ่มเพื่อแยกวัตถุในภาพที่มีความแตกต่างออกจากกัน โดยอาศัยหลักการทางสถิติช่วยพิจารณาพร้อมกับการเรียนรู้ของเครื่อง ในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ สามารถแบ่งการจำแนกประเภทข้อมูลได้ 2 รูปแบบ คือ การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล และการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับควบคู่กับข้อมูลภาคสนามเพื่อใช้อ้างอิง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนวิธีในการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล แต่ด้วยข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมีปริมาณที่จำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงพิจารณาใช้ขั้นตอนวิธีที่ได้รับความนิยม และสามารถสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วย 3 ขั้นตอนวิธี ซึ่งอธิบายได้ ดังนี้

Maximum Likelihood เป็นตัวจำแนกที่อาศัยพารามิเตอร์ทางสถิติ (Parametric Statistical) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งในงานวิจัยจะพิจารณาจากค่า NDVI ของแต่ละจุดภาพด้วยค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน สำหรับเป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่มทุกจุดภาพ ซึ่งอาศัยหลักการของความน่าจะเป็นเพื่อพิจารณาว่าหากจุดภาพอยู่ในคลาสที่มีความถี่ของความน่าจะเป็นมากที่สุดจะถูกประเมินให้เป็นคลาสนั้น ดังที่แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 (ก)

Support Vector Machine เป็นการจำแนกข้อมูลแบบปราศจากพารามิเตอร์ทางสถิติ (Non-Parametric Statistical) ซึ่งจะอาศัยข้อมูลเพื่อสร้าง Hyperplane สำหรับช่วยจำแนกข้อมูล โดยมี Kernel Function ในการสร้างขีดจำกัดในการตัดสินใจระหว่างการจำแนกจุดภาพในแต่ละคลาส ดังที่แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 (ข) จากตัวอย่างการใช้ Linear Kernel เพื่อจำแนกข้อมูลที่อยู่ระหว่าง Hyperplane ที่ถูกสร้างขึ้น โดยข้อมูลที่ถูกจำแนกจะมีระยะห่างของ Margin เพื่อกำหนดขีดจำกัดในการตัดสินใจ

Random Forest เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลที่ได้รับคามนิยมกันอย่างแพร่หลายในหมู่นักวิจัยซึ่งมีความต้องการชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ไม่มาก เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่น เช่น ML โดยมีการรวมกลุ่มของ Decision Tree เพื่อแก้ไขจุดอ่อนของของขั้นตอนวิธีเดิมให้มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลมากยิ่งขึ้น การตัดสินใจในการจำแนกข้อมูลจะถูกดำเนินการจากผลลัพธ์ของคลาสที่มากที่สุด โครงสร้างของ RF สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 (ค)

3.4 การประเมินประสิทธิภาพตัวจำแนก

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวจำแนก ซึ่งเป็นการประเมินความสามารถของขั้นตอนวิธีแต่ละแบบหลังผ่านกระบวนการเรียนรู้ด้วยตัวชุดข้อมูลทดสอบ จำเป็นต้องพิจารณา Confusion Matrix ซึ่งมีค่าที่สำคัญ ประกอบด้วย True Positive (TP) คือ การทำนายความถูกต้องตามค่าที่คาดหวัง False Positive (FP) คือ การทำนายที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากข้อมูลจริงไม่อยู่ในคลาสแต่ผลการทำนายตัดสินใจว่าอยู่ในคลาส True Negative (TN) คือ ผลการทำนายถูกต้องแต่ไม่อยู่ในคลาส และ False Negative (FN) คือ ผลการทำนายไม่ถูกต้องและไม่อยู่ในคลาส อย่างไรก็ตามตัวชี้วัดที่สามารถบอกความเที่ยงตรงในการทำนายผลของโมเดลได้ คือ การนำเอา TP รวมกับ TN หาคด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งจะเรียกว่าค่าความแม่นยำ (Accuracy) ดังที่แสดงในสมการที่ (2)

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 ข้อมูล และเครื่องมือ

งานวิจัยนี้ดำเนินการบนพื้นฐานของการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศควบคู่กับการเก็บข้อมูลภาคพื้น เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร กองบันทึกภาพและกล้องอินฟราเรดใกล้ถูกนำไปติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ เพื่อบันทึกภาพถ่ายในช่วงคลื่นแสงสีแดง (Red band) และภาพถ่ายในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR band) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งภาพดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณ NDVI เพื่อใช้ในการจำแนกพืชพรรณด้วยขนาดพิกเซลที่เท่ากันทั้งสองภาพ นอกจากนี้การถ่ายภาพทางอากาศจำเป็นต้องมีการกำหนดช่วงความสูง ช่วงเวลาในการถ่ายภาพ ตลอดจนสภาพอากาศที่เหมาะสม เพื่อให้มีค่าคุณลักษณะเชิงคลื่นของภาพที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำภาพถ่ายทางอากาศไปใช้งาน อย่างไรก็ตามการดำเนินการจำแนกพืชพรรณแต่ละชนิดจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอ้างอิงภาคพื้น และขั้นตอนวิธีในการจำแนกที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมจะถูกดำเนินการด้วยการใช้ซอฟต์แวร์ทางด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS



รูปที่ 3 ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR band)
และในช่วงคลื่นแสงสีแดง (Red band)

(ก) ภาพ NIR จากอากาศยานไร้คนขับ

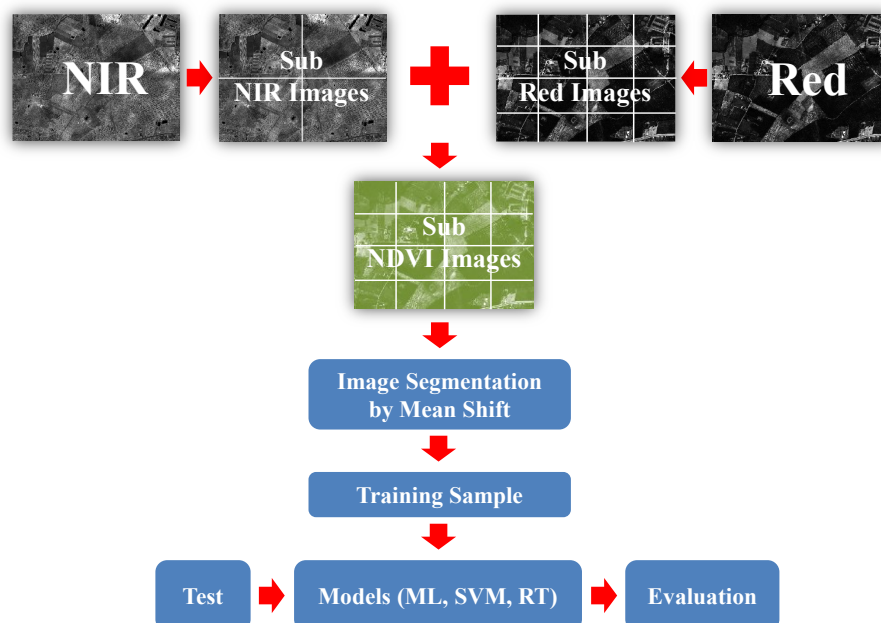
(ข) ภาพ Red จากอากาศยานไร้คนขับ

4.2 รายละเอียดพื้นที่การศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการถ่ายภาพทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับถูกกำหนดให้ใช้พื้นที่ในการสำรวจ 100 ตารางกิโลเมตรในพื้นที่ศึกษาโดยมีการกำหนดความสูง ช่วงเวลาในการถ่ายภาพที่เหมาะสมควบคู่ไปกับการสำรวจภาคพื้น เพื่อเก็บข้อมูลพืชพรรณชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการอ้างอิง อย่างไรก็ตามการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับไม่สามารถรองรับการระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ จึงไม่สามารถปรับคุณลักษณะเชิงคลื่นของภาพให้มีความต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากพิกัดในการถ่ายภาพตำแหน่งของอากาศยานไร้คนขับ และตำแหน่งดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งยากต่อการชดเชยแสง ส่งผลให้ภาพที่ได้มีความเข้มและความสว่างของแสงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการ Image Splitting เพื่อแบ่งภาพที่มีคุณลักษณะเชิงคลื่นที่คล้ายกันก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ เพื่อสร้างตัวจำแนกในแต่ละขั้นตอนวิธี โดยมีการพิจารณาภาพเพื่อ Splitting ออกเป็นภาพย่อย ๆ จำนวนมาก ซึ่งแต่ละภาพจะมีขนาดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเชิงคลื่น โดยคุณลักษณะเชิงคลื่นที่คล้ายกันจะถูกพิจารณาให้เป็นภาพย่อยเดียวกัน

4.3 การดำเนินงานวิจัย

กระบวนการสร้างระบบตีความภาพถ่ายทางอากาศในงานวิจัยนี้ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 4 ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกถ่ายได้จากอากาศยานไร้คนขับจะถูกนำมาแบ่งภาพแล้วคำนวณค่า NDVI เพื่อนำไปแบ่งส่วนรูปภาพด้วยวิธีการ Mean Shift สำหรับเข้าสู่ขั้นตอนการจัดทำ Training Sample สำหรับใช้ในการสร้างตัวจำแนก จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างตัวจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อทำการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ ML SVM และ RF โดยการเปรียบเทียบจากความแม่นยำในการทำนาย เพื่อค้นหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4 กระบวนการสร้างระบบตีความภาพถ่ายทางอากาศเพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร

5. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีการเก็บข้อมูลพืชเศรษฐกิจ 3 ชนิดได้แก่ อ้อย ขางพารา และมันสำปะหลัง โดยข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมจากอากาศยานไร้คนขับจะถูกดำเนินการผ่านกระบวนการที่ได้ออกแบบด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS เพื่อดำเนินการในงานวิจัย ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึง Confusion Matrix ของแต่ละขั้นตอนวิธีซึ่งให้ประสิทธิภาพในการจำแนกแตกต่างกันโดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 สำหรับผลลัพธ์ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรด้วยขั้นตอนวิธี ML SVM และ RF ตามลำดับ

การตรวจสอบความแม่นยำของตัวจำแนกด้วยการใช้ชุดข้อมูลส่วนที่มีคำตอบแต่ไม่ผ่านขั้นตอนการเรียนรู้ จำนวน 500 ชุด ซึ่งเป็นจำนวนที่มีความเหมาะสมต่อการประมวลผลและมีการกระจายคลาสของข้อมูลพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดอย่างเหมาะสมเพื่อให้ข้อมูลไม่เอนเอียงไปยังคลาสใดคลาสหนึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกการให้ Accuracy ของ ML SVM และ RF เท่ากับ 81 80 และ 93 เปอร์เซนต์ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของ RF ที่ให้ค่าความแม่นยำมากกว่า ML และ SVM ในการจำแนกพืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิด อย่างไรก็ตาม ML เป็นขั้นตอนวิธีแบบ Parametric Statistical ซึ่งต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนก หากข้อมูลในการจำแนกคลาสมีความใกล้เคียงกันมากจะส่งผลต่อประสิทธิภาพถึงวิธีดังกล่าวที่ด้อยลง สำหรับ SVM เป็นวิธีการแบบ Non-Parametric Statistical ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับ Kernel Function ที่เป็นเกณฑ์ ในขณะที่วิธีการ RF เป็นการรวมกลุ่มของวิธีการ Decision Tree เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการเรียนรู้จำนวนมากแต่ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้มีจำนวนจำกัด ตลอดทั้งค่าคุณลักษณะที่ใช้เพียง NDVI ซึ่งมีการดำเนินการผ่านกระบวนการ Image Segmentation ด้วยวิธีการ Mean Shift เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างตัวจำแนกทั้ง 3 ขั้นตอนวิธี โดยพบว่า ความแม่นยำโดยรวมในแต่ละขั้นตอนวิธีมีค่า 80 เปอร์เซนต์ขึ้นไป ทั้ง 3 ขั้นตอนวิธี สามารถที่จะจำแนกอ้อยได้ถูกต้องทั้งหมด แต่มีความแม่นยำในการจำแนกมันสำปะหลังต่ำ ในขณะที่ขั้นตอน SVM สามารถจำแนกขางพาราได้ดีกว่าขั้นตอนวิธีทั้งสอง อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้งานเพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรอาจมีคลาสที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก ตลอดทั้งขั้นตอนวิธีทั้ง 3 มีคุณลักษณะความต้องการข้อมูลแตกต่างกัน ดังนั้นในการนำไปใช้งาน ควรมีการฝึกฝนตัวจำแนก เพื่อค้นหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมก่อนการนำไปใช้งานสำหรับแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 1 ความแม่นยำของการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Maximum Likelihood

cMatrix	อ้อย	ยางพารา	มันสำปะหลัง	Total	U_Accuracy (%)
อ้อย	310	0	0	310	100
ยางพารา	15	93	6	114	82
มันสำปะหลัง	70	3	3	76	4
Total	395	96	9	500	-
P_Accuracy (%)	78	97	33	-	81

ตารางที่ 2 ความแม่นยำของการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Support Vector Machine

cMatrix	อ้อย	ยางพารา	มันสำปะหลัง	Total	U_Accuracy (%)
อ้อย	302	0	0	302	100
ยางพารา	23	95	11	129	74
มันสำปะหลัง	66	0	3	69	4
Total	391	95	14	500	-
P_Accuracy (%)	77	100	21	-	80

ตารางที่ 3 ความแม่นยำของการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Random Forest

cMatrix	อ้อย	ยางพารา	มันสำปะหลัง	Total	U_Accuracy (%)
อ้อย	371	0	0	371	100
ยางพารา	11	90	6	107	84
มันสำปะหลัง	19	0	3	22	14
Total	401	90	9	500	-
P_Accuracy (%)	93	100	33	-	93

6. สรุป

การศึกษาเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรจากข้อมูลภาพถ่าย NDVI ที่ประกอบด้วย ML SVM และ RF ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่มีการใช้งานทางด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์อย่างแพร่หลาย บนพื้นฐานในการวิเคราะห์เชิงวัตถุ พบว่า ขั้นตอนวิธี RF มีความแม่นยำในการจำแนกวัตถุ 93 เปอร์เซ็นต์ จากการจำแนกพืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิด บนพื้นฐานของชุดข้อมูลของงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนก เพื่อเลือกใช้ขั้นตอนวิธีที่มีความเหมาะสมในแต่ละครั้ง โดยงานวิจัยนี้ช่วยลดภาระในการสำรวจพื้นที่ของเจ้าหน้าที่ และช่วยวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ขั้นตอนวิธีในงานวิจัยยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการพิจารณาพืชพรรณอื่น ๆ ที่มีคุณลักษณะของ NDVI ที่แตกต่างกันได้อีกด้วย

7. ข้อเสนอแนะ

เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จำเป็นที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลอื่น ๆ เช่น ดัชนีสถานะพืชพรรณ (VCI) ดัชนีสถานะความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ (VHI) และดัชนีสถานะอุณหภูมิ (TCI) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างตัวจำแนกจะก่อให้เกิดการบริหารจัดการได้อย่างตรงจุด

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). (2564). พืชเศรษฐกิจสินค้าสร้างรายได้ในครัวเรือนและประเทศ สืบค้น 2 สิงหาคม 2564, จาก https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=40
- [2] กิตติศักดิ์ ทองมีทิพย์. (2564). พัฒนาการเกษตรกรรมของประเทศไทย: ในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต. วารสารพัฒนศาสตร์ วิทยาลัยพัฒนศาสตร์ ป๋วย อึ๊งภากรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 4(1): 132-162.
- [3] สนิษฐา คุรุทเมือง แสนเสริม และคณะ. (2564). การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของเกษตรกร. วารสารเกษตร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 3(1): 31-44.
- [4] จิตติพงษ์ บุญบาและคณะ. (2560). ต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อการเกษตร. ในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการระดับชาติ UTCC Academic Day ครั้งที่ 2 (1945-1955). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- [5] Ming Li and Buwajian Abula. (2020). Evaluation of Economic Utility of Smart Agriculture Based on 5G Network and Wireless Sensors. Retrieved on July 15, 2021, from <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103485>
- [6] รัฐพล พรหมมาศ. (2564). การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนบินในการจัดการด้านปัญหาสิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาปัญหากัญชาไฟป่าและมลพิษทางอากาศจังหวัดเชียงใหม่. วารสารศิลปศาสตร์และอุตสาหกรรมบริการ, 4(2): 123-132.
- [7] The Thai Chamber of Commerce and Board of Trade of Thailand. (2018). Drones for agriculture is coming to create new options in the age of agriculture 4.0. Retrieved on July 8, 2021, from <https://thaichamber.org/public/upload/file/document/1103171509698871.pdf>
- [8] ฐานเศรษฐกิจ มัลติมีเดีย. (2560). โดรนเพื่อการเกษตรทางเลือกใหม่ในยุคเกษตร 4.0. สืบค้น 2 กันยายน 2564, จาก <https://www.thansettakij.com/content/business/216961>
- [9] ชัญญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง. (2564). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นายเรืออากาศ, 17(1): 60-70.
- [10] พงศ์ หลวงมูล และ ฉาวร อ่อนประไพ. (2564). การประมาณผลผลิตข้าวด้วยค่าดัชนีพืชพรรณโดยใช้ข้อมูลภาพแบบหลายช่วงคลื่นจากอากาศยานไร้คนขับ. วารสารเกษตร, 37(2): 193-205.
- [11] ภาติยะ พัฒนาศักดิ์. (2562). การทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยการจำแนกข้อมูลเชิงวัตถุจากภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต. วารสารวิชาการเพื่อพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่, 1(2), 83-90.
- [12] ขวัญชัย ชัยอุดม และคณะ. (2558). รูปแบบความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณของป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(1): 27-35.
- [13] Chaipat ncm. (2019). Vegetation Change Detection. Medium, Retrieved on July 8, 2021, from <https://medium.com/geo-datascience/vegetation-change-detection-517ab0a582f6>
- [14] Alzate, B. E. (2011). Imágenes espaciales de la superficie terrestre. Procesamiento digital, análisis y extracción de información temática. Notas de clase. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [15] Chen, Y., Ma, L., Yu, D., Feng, K., Wang, X. and Song, J. (2022). Improving Leaf Area Index Retrieval Using Multi-Sensor Images and Stacking Learning in Subtropical Forests of China. *MDPI journals*. 14(1): 148.
- [16] Hernández-Blanco, A., Herrera-Flores, B., Tomás, D. and Navarro-Colorado, B. (2019). A systematic review of deep learning approaches to educational data mining. *Hindawi journal*. volume 2019, article ID 9316123.

หลักฐานการมีส่วนร่วม

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ

ก. ชื่อผลงาน การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน
ทางการเกษตร

ข. สถานะผู้ขอในผลงาน

- ☐ ผู้ประพันธ์อันดับแรก (First Author)
☐ ผู้มีส่วนสำคัญทางปัญญา (Essentially Intellectual Contributor)
☒ ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author)

ค. ประเภทของผลงาน

กลุ่มที่ ๑ ☒ งานวิจัย

กลุ่มที่ ๒ ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่น

- | | |
|--|--|
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่ออุตสาหกรรม | ☐ กรณีศึกษา |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนและการเรียนรู้ | ☐ งานแปล |
| ☐ ผลงานวิชาการเพื่อพัฒนานโยบายสาธารณะ | ☐ ลิขสิทธิ์ |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | ☐ ซอฟต์แวร์ |
| ☐ พจนานุกรม สารานุกรม นามานุกรม และงานวิชาการในลักษณะเดียวกัน | |
| ☐ ผลงานสร้างสรรค์ด้านสุนทรียะ ศิลปะ | ☐ ผลงานนวัตกรรม |
| ☐ ผลงานรับใช้ท้องถิ่นและสังคม | |

กลุ่มที่ ๓ ☐ ตำรา

☐ หนังสือ

☐ บทความทางวิชาการ

รายละเอียดของการมีส่วนร่วม

ผู้ขอกำหนดตำแหน่งต้องกรอรายละเอียดให้ครบถ้วน (เนื่องจากไม่มีการแบ่งส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ ดังนั้น บทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบตามที่ผู้ขอระบุจะมีผลต่อการพิจารณาผลงานทางวิชาการ และต้องแนบเอกสารหลักฐานเพื่อประกอบการพิจารณา)

รายละเอียดการมีส่วนร่วม	บทบาทและหน้าที่ความรับผิดชอบ
ก. ความคิดริเริ่มและสมมติฐาน	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตั้งสมมุติฐานงานวิจัย
ข. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง ออกแบบการวิจัย และพัฒนาระบบ ร.ท.ปธิกร อันซีน ทำการทดลองและตรวจสอบความถูกต้อง และ น.อ. ศ.ดร.ประสาทพร วงษ์คำข้าง ให้คำปรึกษาการดำเนินงาน
ค. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล	น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง รวบรวมข้อมูล และความต้องการระบบ ร.ท.ปธิกร อันซีน ทำการการวิเคราะห์ข้อมูล
ง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม	ร.ท.ปธิกร อันซีน เป็นผู้นำเสนอแนวทางและผลการวิจัย โดยมี น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ให้คำปรึกษา
จ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น	ร.ท.ปธิกร อันซีน เป็นผู้ดำเนินการร่างบทความวิจัย, น.อ. ศ.ดร.ประสาทพร วงษ์คำข้าง และ น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้อง
ฉ. การให้การสนับสนุน specimens, logistics, ทุนวิจัย (โปรดระบุแหล่งทุน เงินทุน และปีที่ได้รับ) เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์	กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ให้การสนับสนุนข้อมูลเพื่อทำการวิจัย อีกทั้ง กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ยังเป็นหน่วยใช้งานวิจัย
ช. อื่น ๆ	

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง))

ผู้ขอกำหนดตำแหน่ง

ลงชื่อ.....
(..... ร.ท. ปธิกร อันซีน))

ผู้ประพันธ์อันดับแรก

ลงชื่อ.....
(..... ศ.ดร. น.ส.ราชนา นนธ์จำน))

ผู้มีส่วนสำคัญทางปัญญา

ลงชื่อ.....
(..... น.อ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง))

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

หลักฐานการใช้ประโยชน์ / การอ้างอิง



โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	
เลขรับ	๙๓๙๐
วันที่	๙ ธ.ค. ๖๖
เวลา	๑๑.๐๖

ที่ กษ ๐๘๓๗/๑๐๔๕

กรมพัฒนาที่ดิน
ถนนพหลโยธิน กทม. ๑๐๙๐๐

๒๗ กรกฎาคม ๒๕๖๖

เรื่อง เรียนเชิญ น.อ.ศศ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นวิทยากรบรรยายพิเศษ

เรียน ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

ด้วยกลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ได้รับผิดชอบโครงการการจัดทำข้อมูลและวางแผนพัฒนาพื้นที่เสี่ยงภัย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัย

ในการนี้ กลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน เห็นว่า น.อ.ศศ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นผู้มีความรู้และเชี่ยวชาญ ด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล เป็นอย่างยิ่ง

เพื่อเป็นการเพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ให้เจ้าหน้าที่กลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร จึงใคร่ขอเรียนเชิญ น.อ.ศศ. ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง เป็นวิทยากรบรรยายพิเศษ ระหว่างวันศุกร์ที่ 25 สิงหาคม 2566 ถึง วันศุกร์ที่ 1 กันยายน ๒๕๖๖ ณ กลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นายเชษฐารักษ์ จันทร์แปลง)

ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

กทพ.บก.จร.นนท.	
เลขที่	๓๖๓
วันที่	๑๐ ธ.ค. ๖๖
เวลา	๑๑.๐๖

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน
กลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร
โทร. ๑๓๐๑
โทรสาร. ๐๒-๕๗๙๓๕๐๔

กทพ.
๙๓๙๐
๙ ธ.ค. ๖๖

ขอเชิญ
๑๐ ธ.ค. ๖๖
๑๑.๐๖

อบรมเชิงปฏิบัติการการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ Landuse Toolbar

๒ มีนาคม ๒๕๖๕ ณ กรมพัฒนาที่ดิน เขตบางเขน กรุงเทพฯ

