Cee ce C g g hR E f h d g c i g c gf Hgc g c i T cf hceg c f T cf f g

3., 4 , 5

บทความนี้เสนอการประเมินความถูกต้องของพอยต์คลาวด์จากระบบทำแผนที่เคลื่อนที่สามชนิด โดยแบ่งการประเมินเป็นสองกลุ่ม: กลุ่มแรกคือการประเมินความถูกต้องเบื้องต้นซึ่งมีเพียงการประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดและความหนาแน่นบนจุดควบคุมภาคพื้นดินซึ่งมีค่าพิกัดอ้างอิงจากการรังวัดจลน์ในทันที กลุ่มที่สองคือการประเมินความถูกต้องเพิ่มเติมซึ่งประกอบไปด้วยการประเมินความถูกต้องของฟีเจอร์โดยเปรียบเทียบค่าพิกัดสัมพัทธ์กับระบบ MMS-I และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน พ.ร.บ.ควบคุมต่างๆ ฟีเจอร์ที่นำมาประเมิน ได้แก่ ป้ายจราจร ป้ายโฆษณา และเส้นประจราจร ประเมินความถูกต้องของตำแหน่งฟีเจอร์แบบสมบูรณ์ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความเหมือนของแนวของฟีเจอร์ เช่น แนวสายส่งไฟฟ้า แนวเส้นประจราจร โดยใช้ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D ระยะห่างแบบยูคลิเดียน ระยะห่างแบบเฮ้าส์ดอร์ฟและระยะห่างแบบเฟรเชต์ โดยมีระบบ MMS-I เป็นค่าหลักในการเปรียบเทียบพิกัดสัมพัทธ์ ผลการทดลองพบว่าพอยต์คลาวด์ที่ ”ความเร็วต่ำ”ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งและความหนาแน่นที่ดีกว่าพอยต์คลาวด์ที่ ”ความเร็วสูง” ทั้งนี้การประเมินในกลุ่มที่สองไม่เหมาะที่จะใช้เกณฑ์ทางตำแหน่งเดียวกับกลุ่มแรก แต่สามารถนำไปประยุกต์กับมาตรฐานหรือ พ.ร.บ. ควบคุมต่างๆ ได้ จุดประสงค์หลักของบทความนี้อยู่ที่การประยุกต์กับมาตรฐานความละเอียดถูกต้อง TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 สำหรับการสร้างแผนที่ความละเอียดสูงและสนับสนุนงานวิศวกรรมเมืองอัจฉริยะ

คำสำคัญ: ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ เลเซอร์สแกนเนอร์, พอยต์คลาวด์, ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง, ความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์

Cd ce

This article investigates the evaluation of point clouds from three Mobile Mapping Systems (MMS) by categorizing methods into two groups: 1) assessing general product quality (positional accuracy and point density) via comparison with Ground Control Points (GCP) measured by Real-Time Kinematics (RTK), and 2) applying feature assessments to evaluate the positional accuracy of road features (lane markings, traffic signs, billboards) against the HD Map standard, while considering compliance with relevant standards and regulations. Linear feature positioning accuracy is assessed using similarity comparisons of feature alignments based on point-wise coordinate differences and feature-to-feature distances (Hausdorff, Euclidean, and Fréchet). The study observed a potential negative correlation between vehicle speed and positional accuracy/point cloud density. The MMS-II system shows mapping capabilities comparable to the MMS-I system, but the MMS-III system exhibits abnormal behavior requiring further verification for mapping applications. The main purpose is the application of the TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 HD map standard to support smart city engineering.

Keywords Mobile Mapping System, Laser Scanner, Point cloud, Positional accuracy, Point cloud Density

30

การสำรวจทำแผนที่ฟีเจอร์บนผิวถนนและฟีเจอร์ปรากฏข้างทางมีวิวัฒนาการต่อเนื่องมาหลายช่วงยุคสมัยตั้งแต่การตั้งกล้องสำรวจซึ่งเก็บข้อมูลช้ามาก สัมผัสโดยตรง และเสี่ยงต่ออันตราย อีกทั้งข้อมูลอาจไม่สามารถบันทึกให้มีความละเอียดได้เนื่องจากข้อจำกัดของการทำงานสนามข้อมูลเพื่อใช้ประโยชน์ในงานประยุกต์ อีกทั้งต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายอย่างมาก ยิ่งไปกว่านั้นแล้วในปัจจุบัน กล้องสำรวจไม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการข้อมูลที่มากขึ้นเช่น การทำแผนที่สำหรับเมืองอัจฉริยะ การทำแผนที่ความละเอียดสูงหรือ High Definition Map (HD map) ซึ่ง

เป็นส่วนสำคัญของการบริหารจัดการเมืองสมัยใหม่ มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์อัตโนมัติ, อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง, บริการต่างที่ต้องพึ่งพาตำแหน่ง [1] ด้วยเหตุนี้ อุปกรณ์ที่เกิดขึ้นใหม่ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาอย่าง เช่น ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ติดตั้งเลเซอร์สแกนความละเอียดสูงมีความถี่เลเซอร์แสกน Pulse Repetition Frequency (PRF) 500 kHz ที่ส่งผลให้ฟีเจอร์ดังกล่าวปรากฏเป็นรูปร่างให้ตรวจจับได้ จึงมีบทบาทอย่างมากในการสำรวจทำแผนที่บนท้องถนนและข้างถนนเพราะสามารถตอบรับความต้องการที่กล่าวไว้ก่อนหน้า นอกจากนี้แล้วยังมีประโยชน์ในเรื่องของความปลอดภัยในการทำงานและไม่จำเป็นต้องปิดกั้นจราจรอีกด้วย แม้ว่าระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ได้มักจะมีกล้องรอบทิศ (360 panoramic camera) มาด้วยเสมอ ในงานวิจัยนี้ เป็นการประยุกต์การรังวัดที่ใช้พอยต์คลาวด์ (point cloud) เท่านั้น

พอยต์คลาวด์มีความสำคัญอย่างมากในการสร้างแผนที่สามมิติ ก่อนที่จะถูกนำไปพัฒนาสู่แผนที่ความละเอียดสูง อีกทั้งพอยต์คลาวด์เป็นส่วนที่นิยมในการประเมินความถูกต้องมากที่สุดอันเพราะเป็นข้อสรุปของผลลัพธ์ทั้งหมด [2] แนวทางในการประเมินความถูกต้องถูกออกแบบไว้ในรูปแบบที่หลากหลายมากแต่ก็จะมีรูปแบบการประเมินความถูกต้องที่ทุกแนวทางใช้เนื่องจากแนวทางดังกล่าวเป็นพื้นฐานความถูกต้องของผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ โดยเฉพาะเรื่องของความถูกต้องพิกัดแบบสมบูรณ์บนจุดควบคุมภาคพื้นดิน อย่างงานวิจัยที่ต้องการประเมินความถูกต้องวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยใช้คุณภาพพอยต์คลาวด์เพื่อประเมินวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ [3] ทั้งนี้การประเมินความถูกต้องด้วยพอยต์คลาวด์นั้นถูกออกแบบให้รองรับความต้องการต่างๆของงานประยุกต์ จำเป็นต้องประเมินความถูกต้องพิกัดแบบสัมพัทธ์เพื่อดูขนาดและตำแหน่งจากสิ่งอ้างอิงในกรอบนั้น อีกทั้งความต้องการที่จะดูรายละเอียดของฟีเจอร์ (feature) อย่าง ป้ายจราจร ผิวถนน ป้ายโฆษณา เป็นต้น ก็เพิ่มสูงขึ้นจนทำให้มีหลายครั้งที่ต้องดูความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ [4]

แนวทางการประเมินความถูกต้องนั้นจึงถูกออกแบบไว้หลายแบบในช่วงที่ผ่านมาไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยแนวทางอย่างการประเมินความถูกต้องทั้งสามแบบที่ได้กล่าวไปตามมาตรฐานนั้น [1] , งานวิจัยแนวทางการประเมินความถูกต้องพอยต์คลาวด์โดยตรวจสอบพิกัดเบื้องต้นแล้วไปตรวจสอบทรัพย์สินกรมทางด้วยพอยต์คลาวด์ [5], งานวิจัยแนวทางการประเมินความถูกต้องพอยต์คลาวด์ที่ใช้จุดควบคุมหลายชนิดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในแบบต่างๆ [6], งานวิจัยแนวทางการประเมินความถูกต้องแบบสมบูรณ์อย่างเดียวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยโดยใช้มาตรฐาน National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) โดยตอบเป็นค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ [7] ฯลฯ

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องของพอยต์คลาวด์ที่ได้จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกน 3 ระบบ ในด้านค่าพิกัดและความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ รวมถึงความถูกต้องในการรังวัดฟีเจอร์ที่ปรากฏบนผิวถนนและข้างถนน เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการสร้างแผนที่ความละเอียดสูง (HD map) ตามเกณฑ์ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021

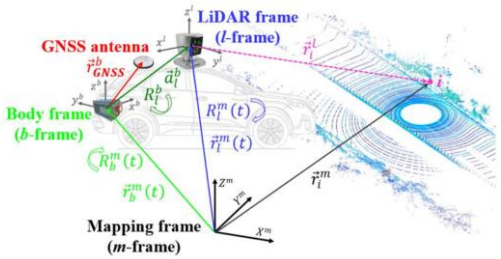
40 ,

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. เพื่อประเมินความถูกต้องค่าพิกัดและความหนาแน่นพอยต์คลาวด์จากระบบ MMS ทั้ง 3 ระบบ
2. เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของการตรวจจับฟีเจอร์บนผิวถนนและข้างถนน
3. เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของฟีเจอร์จากแต่ละระบบกับเกณฑ์มาตรฐานแผนที่ความละเอียดสูงและสนับสนุนงานวิศวกรรมเมืองอัจฉริยะ

50 ,

ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนที่มีลักษณะดังรูปที่ 1 นำมาทดสอบอาจจะได้รับผลกระทบจากสถานที่ทดลองจึงอาจส่งผลด้านลบต่อการสร้างแผนที่ได้ อีกทั้งรูปแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานจะส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ จึงอาจทำให้การตัดสินในรายงานนี้ไม่เป็นธรรม



3 เรขาคณิตของพิกัดวัตถุที่ได้จากวิถีระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ได้ [1]

ระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 ระบบ เรียกในที่นี้ว่าระบบ MMS-I, ระบบ MMS-II และระบบ MMS-III มีคุณลักษณะการออกแบบและติดตั้งแตกต่างกัน โดยเฉพาะความถี่ในการสแกนสูงสุดที่ทำได้ตั้งแต่ 640 kHz ไปจนถึง 2 MHz แต่ในการประยุกต์ใช้ทำแผนที่ของฟีเจอร์บนผิวถนนและฟีเจอร์ข้างถนน ในเบื้องต้นพบว่า หากระบบเลเซอร์ทำการกวาดด้วยความถี่ ค่า Pulse Repetition Frequency (PRF) มี 300 kHz เป็นต้นไป ผู้ใช้สามารถชี้ชัดฟีเจอร์ต่างๆได้ตามวัตถุประสงค์การทำแผนที่ เครื่องที่นำมาทดสอบนั้นจำเป็นต้องถูกศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์ในรูปแบบตารางที่ 1 ในงานวิจัยนี้ จึงกำหนดให้ทุกระบบปรับค่า Pulse Repetition Frequency (PRF) ให้เป็น 300 kHz ทั้งนี้เพื่อให้ผลลัพธ์จากการกวาดสามารถเปรียบเทียบสมรรถนะกันได้ นอกจากนี้การปรับเลเซอร์ให้มีความถี่น้อยลง มักจะทำให้ระยะวัดระยะได้ไกลมากขึ้น ผลการสะท้อนกลับบนเป้า

ได้ความหนาแน่นมากขึ้นอีกด้วย ตลอดจนแนวโน้มความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งรายจุดมักจะแม่นยำมากขึ้นด้วย

3 ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ชนิดเลเซอร์สแกนในงานวิจัยนี้

อุปกรณ์	รูปแบบการทำงาน		
	MMS-I	MMS-II	MMS-III
ความถี่เลเซอร์สแกนสูงสุด	1 MHz	2 MHz	640 kHz
ลักษณะของเลเซอร์สแกน	Dual laser	Single laser	Single laser
ค่าความแม่นยำ R-P-H ของ IMU	0.008°/0.020°	0.020°/0.090°	0.0029°/0.0102
รูปแบบของ IMU	FOGS	MEMS	MEMS
น้ำหนักของ IMU	0.750 kg	1.850 kg	0.070 kg
กำลังไฟของ IMU	42 Watt	0.1 Watt	0.8 Watt
ลักษณะของกล้อง	Spherical Camera	Spherical Camera	Spherical Camera
ความละเอียดกล้องรอบทิศ	30MP	30MP	30 MP
ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE ในการรังวัดตำแหน่ง PPK TightlyCoupled	0.02-0.05 m	0.01-0.02 m	0.02-0.04 m

จากตารางที่ 1 พบว่าระบบ MMS-I มีคุณภาพอุปกรณ์ที่สูงที่สุดในสามระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ หากต้องการให้งานมีคุณภาพมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ การเลือก MMS-I ย่อมเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ระบบ MMS-III เป็นแบบที่มีราคาที่ถูกที่สุดเนื่องจากอุปกรณ์คุณภาพน้อยที่สุดและเป็นรูปแบบที่ไม่ได้เป็นอุปกรณ์ติดตั้งรวมกันที่จุดเดียว ติดตั้งและจะต้องจำเป็นวัดสอบอย่างมากเนื่องจากต้องระวังค่าความคลาดเคลื่อนของแขนเชื่อมของแต่ละอุปกรณ์ แต่ถ้ามีผู้ชำนาญในการติดตั้ง ก็สามารถทำแผนที่ในคุณภาพที่ดีเพียงพอด้วยทุนทรัพย์ที่น้อยที่สุดในกลุ่ม ส่วนระบบ MMS-II เป็นรูปร่างโดยทั่วไปที่คล้ายกันกับระบบ MMS-I แต่เลเซอร์สแกนเนอร์ที่มีหนึ่งหัวกับไอเอ็มยูที่แย่กว่า ระบบ MMS-II เป็นทางเลือกที่อยู่ตรงกลางของปัจจัย อย่าง ราคาและคุณภาพ

60

ในงานวิจัยนี้มีความพยายามที่จะกำหนดความเร็วรถสำรวจให้สอดคล้องกับความต้องการในการสำรวจจริง แต่อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติพบว่า อาจไม่สามารถควบคุมได้ทั้งหมดตามสภาพการจราจรในพื้นที่ทดสอบจริง ความเร็วที่ออกแบบสำหรับการใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เป็นดังนี้

ความเร็วที่ออกแบบในตารางที่ 2 ทำไปเพื่อให้เหมาะกับสถานการณ์ในรูปแบบที่แตกต่างๆสำหรับงานประยุกต์นั้นๆ โดยการวิเคราะห์ในส่วนความเร็วเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพของพอยต์คลาวด์โดยตรง[1]

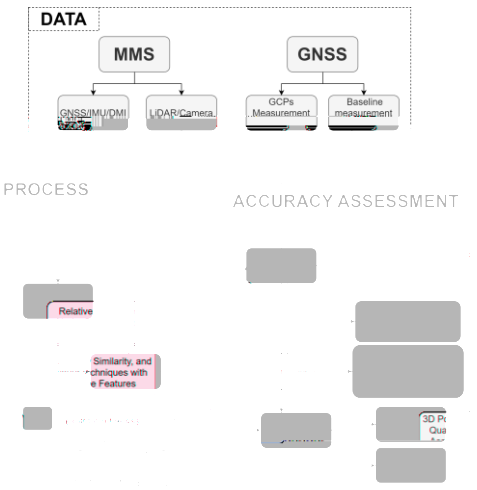
4 ความเร็วที่ออกแบบสำหรับการใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่

ความเร็ว (km/hr)	สมมุติฐานงานประยุกต์
30 “ความเร็วต่ำ”	บริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุอย่างเช่น อุโมงค์ ถนนที่มีผู้สัญจรทั้งยานยนต์และเดินเท้า อีกทั้งต้องการความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์จำนวนมาก
60 “ความเร็วสูง”	บริเวณที่ไม่ค่อยมีสิ่งกีดขว้าง ปลอดภัยต่อการทำงาน อย่างเช่น ถนนชนบท อีกทั้งไม่ได้ต้องความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ที่สูง

ในงานวิจัยนี้ข้อมูลค่าพิกัดพอต์คลาวด์ในโครงสร้าง ASPRS LAS Specification 1.4 ที่ได้จากระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ได้ทั้งสามระบบนั้นอยู่ในรูปแบบการฉายแผนที่ UTM โซน 47 อ้างอิงบนพื้นหลักฐานทางราบ WGS84 เรียกชื่อตามรหัสสากล EPSG : 32647 ส่วนการอ้างอิงทางดิ่งมักจะอ้างอิงความสูงเหนือทรงรีหรือในทางงานวิศวกรรมมักจะอ้างอิงความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยในงานวิจัยนี้แบบจำลองยีออยด์ Thai Geoid Model 2017 (TGM2017) ทั้งนี้การประมวลผลจีเอ็นเอสเอสใช้สถานีฐานโครงการที่จัดตั้งโดยประมวลผลเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสจากสถานีอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวร SBKK เพื่อให้มีสถานีฐานไว้อ้างอิงค่าพิกัดและลดผลกระทบจากความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอส

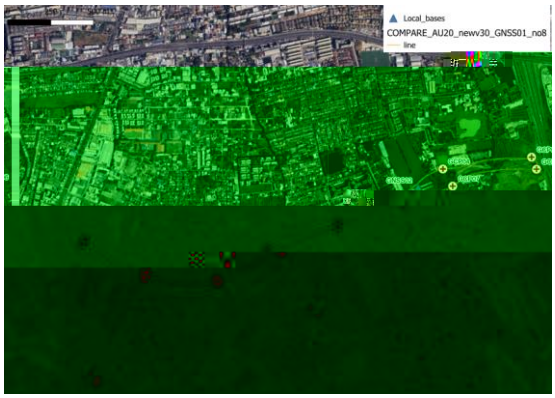
70

ในงานวิจัยมีการดำเนินการแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลักคือ การประเมินความถูกต้องเบื้องต้นซึ่งเป็นกลุ่มที่นิยมในการประเมินความถูกต้องในหลายแนวทาง กลุ่มที่สองคือกลุ่มประเมินความถูกต้องเพิ่มเติมซึ่งออกแบบตามความต้องการของงานนั้นๆซึ่งอาจจะเป็นการทดสอบสมมติฐานของการตั้งค่าบางอย่างที่ส่งผลต่อคุณภาพของพอยต์คลาวด์การประเมินคุณภาพฟีเจอร์นั้น เป็นต้น โดยกลุ่มที่สองใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดในที่นี้ซึ่งก็คือการเก็บข้อมูลจากระบบทำแผนที่เคลื่อนที่วิ่งด้วย “ความเร็วต่ำ” เท่านั้น โดยแสดงออกเป็นแผนผังในรูปที่ 2



4 แผนภาพการทดลองแบบสรุปรวม

พื้นที่ทดลองอยู่ที่ปลายถนนประเสริฐมนูกิจไปถึงสุดถนนบรรจบถนนวงแหวนตะวันออกซึ่งมีความยาวเป็น 3.3 กิโลเมตร (รถวิ่งไป 6.6 กิโลเมตร) ในพื้นที่แขวงรามอินทรา เขตคันนายาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันศุกร์ที่ 21 มิ.ย. พ.ศ. 2568 เวลา 8.00-12.00 น. ดังรูปที่ 3



5 พื้นที่ทดลองและตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน

การคัดเลือกพื้นที่ดังรูปที่ 3 และช่วงเวลาดังกล่าวเป็นเพราะว่าเป็นช่วงที่มีการสัญจรน้อย ไม่มีรถอื่นมารบกวนและไม่ไฟจราจรมาบังคับให้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่หยุด การหยุดรถส่งผลทางลบต่อไอเอ็มยูอย่างมากจนต้องเริ่มต้นใหม่ อีกทั้งเป็นพื้นที่เหมาะรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอส

การประเมินความถูกต้องค่าพิกัดและความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ จากระบบการทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่นั้นสามารถทำได้โดยรังวัดบนจุดควบคุมภาคพื้นดินจากพอยต์คลาวด์ที่ได้จากเลเซอร์สแกน

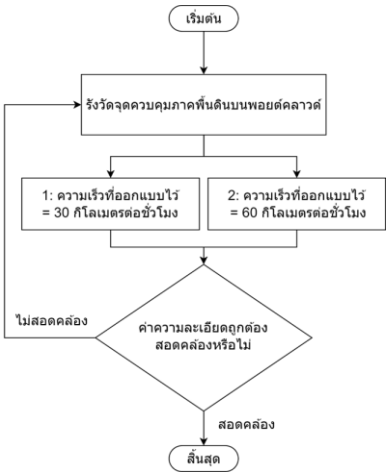
การวิเคราะห์ค่าพิกัดนั้นสามารถคำนึงออกเป็นค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ในตารางที่ 3

5 ค่าสถิติที่ใช้ประเมินความละเอียดถูกต้อง

ค่าสถิติ	สูตร
Root Mean Square Error horizontal: RMSE2D	$\sqrt{\frac{\sum(\hat{x}-\bar{x})^2+\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{N}}$
Root Mean Square Error 3D space: RMSE3D	$\sqrt{\frac{\sum(\hat{x}-\bar{x})^2+\sum(\hat{y}-\bar{y})^2+\sum(\hat{z}-\bar{z})^2}{N}}$

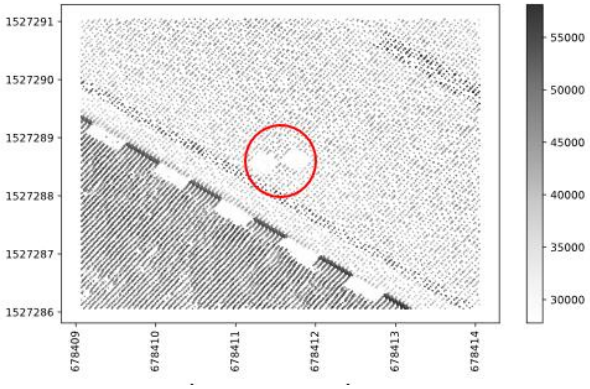
จากตารางที่ 3 ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และ RMSE3Dใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของพอยต์คลาวด์ในหลายมาตรฐานโดยเฉพาะ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021

แนวทางการปฏิบัติเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดนั้นเป็นไปตามแผนภาพในรูปที่ 4



6 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ในส่วนของการประเมินความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ กำหนดให้รังวัดบนพื้นที่ขนาด 5 เมตร x 5 เมตรและมีตำแหน่งศูนย์กลางบนจุดควบคุมภาคพื้นดินดังรูปที่ 5 คำนวณค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ทั้งหมดเพื่อเป็นตัวแทนด้านคุณภาพของพอยต์คลาวด์ อีกทั้งมีการวางตำแหน่งจุดควบคุมพอยต์คลาวด์ไว้ตามรูปที่ 3



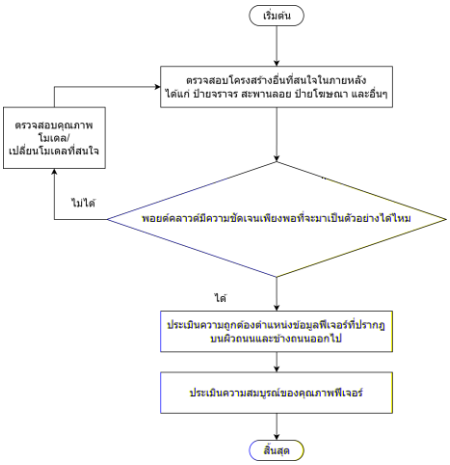
7 การตรวจสอบความหนาแน่นพอยต์คลาวด์

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งข้อมูลฟีเจอร์ที่ปรากฏบนผิวถนนและข้างถนนออกไปฟีเจอร์กลุ่มนี้มีมาตรฐานการก่อสร้างหรือกฎหมายรองรับ มีการศึกษาป้ายจราจรและสัญลักษณ์จราจรจะมีคู่มือและมาตรฐานเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางโดยสำนักงานนโยบายและแผนการขนและจราจร (สนข.), กระทรวงคมนาคม อีกทั้งป้ายโฆษณาที่มีพรบ. ควบคุมอาคารคุมครองอยู่ เพื่อดูความต้องการในการจะทำแผนที่หรือรังวัดเพื่อสนับสนุนงานบำรุงรักาหรือการตรวจสอบบังคับใช้ตามกฎหมาย

ในลักษณะการตรวจสอบบังคับใช้จะเป็นการประเมินความถูกต้องเป็นแบบสัมพัทธ์ได้แก่ การรังวัดขนาด การรังวัดระยะห่าง การอ้างอิงระบบ

พิกัดนั้นไม่จำเป็นต้องใช้งาน เนื่องจากกำหนดจุดอ้างอิงที่ใกล้เคียงแล้ววัดออกไปก็อาจสามารถได้ข้อมูลเพียงพอแล้ว

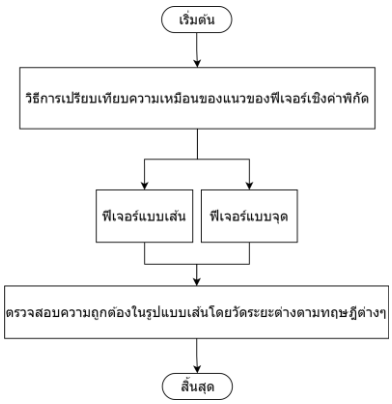
แนวทางปฏิบัติเพื่อการประเมินความถูกต้องของตำแหน่งฟีเจอร์นั้นสามารถถูกออกแบบให้เป็นดังแผนภาพในรูปที่ 6



8 การตรวจสอบฟีเจอร์ต่างๆจากพอยต์คลาวด์

การประเมินความถูกต้องนี้จัดทำไปเพื่อนำเสนอวิธีการรังวัดแนวฟีเจอร์ที่มีลักษณะแบบเส้นซึ่งใช้ตามเส้นทางที่ตรงและโค้ง แนวฟีเจอร์ที่ถูกประเมินได้แก่ แนวสายส่งไฟฟ้า แนวเส้นประจราจร

Sousa, et al. [8] ได้กล่าวไว้ว่าวิธีการเปรียบเทียบความเหมือนของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะคือการคำนวณระยะห่างตัวแทน โดยมีทฤษฎีที่บรรยายได้ 3 แบบ ได้แก่ วิธีเฮ้าส์ดอร์ฟ (Hausdorff distance) และวิธียูคลิเดียน (Euclidean distance) เพื่อตรวจสอบว่ามีการซ้อนทับกันหรือไม่ ในส่วนระยะห่างแบบเฟรเชต์ (Fréchet distance) มีความคล้ายคลึงกับระยะห่างแบบเฮ้าส์ดอร์ฟและนิยมใช้ในการเปรียบเทียบแบบนี้ จึงนำมาทดสอบด้วย ทั้งนี้ระยะห่างในแต่ละแบบนั้นจะเหมาะสมกับเหตุการณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถทำออกเป็นแผนภาพดังรูปที่ 7



9 การตรวจสอบความความถูกต้องของฟีเจอร์ด้วยข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ผ่านพอยต์คลาวด์

80

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำมาตรฐานความละเอียดถูกต้องสำหรับการประยุกต์ทำแผนที่ความละเอียดสูงมาร่วมพิจารณา โดยมาตรฐานนี้มีไว้เพื่อให้สามารถสร้างแผนที่ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงพอไปประยุกต์เป็นแผนที่ความละเอียดสูง (HD Map) สำหรับการประยุกต์ในการนำหนของยานยนต์อัตโนมัติ โดยรายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

6 มาตรฐานความละเอียดถูกต้อง TAICS TR-0016(E) V1.0:2021

เงื่อนไข	จำนวน	หน่วย
ความถูกต้องเชิงตำแหน่งสมบูรณ์ทางราบ	< 20	เมตร
ความถูกต้องเชิงตำแหน่งสมบูรณ์สามมิติ	< 30	เมตร
ความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ (ระดับสองขึ้นไป)	> 400	จุดต่อตารางเมตร

ป้ายจราจรถูกประเมินตามมาตรฐานต่อไปนี้ตามตารางที่ 5 ซึ่งโดยจะมีการวิเคราะห์ออกเป็นด้านความสูงและด้านขนาดซึ่งเป็นด้านที่สำคัญต่อการตรวจสอบความสมบูรณ์ของป้ายจราจร

7 มาตรฐานป้ายจราจรจากสำนักงานนโยบายและแผนการขนและจราจร

ความสูง	>= 1.50 เมตร
ขนาด	>= 0.75 × 2.00 เมตร

ความถูกต้องของป้ายโฆษณาจะถูกประเมินตามพรบ. ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 6 ซึ่งให้ความสำคัญไปที่ความยาว ขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพิจารณาความถูกต้องตามพรบ. ควบคุมอาคาร

8 เงื่อนไขป้ายโฆษณาตามพรบ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522

ความยาว	<= 32 เมตร
ขนาดหน้าตัดพื้นที่โฆษณาที่กฎหมายเข้าควบคุม	>= 5000 ตารางเซนติเมตร
ความสูง	[10,30] เมตร

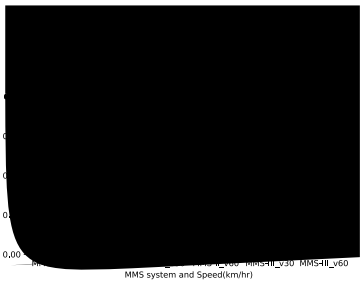
มาตรฐานเส้นจราจรจะถูกระบุไว้เป็นตารางที่ 7 ซึ่งจะแสดงถึงเงื่อนไขที่เส้นจราจรควรจะเป็นโดยมีเรื่องของความกว้าง ความยาวและระยะห่างระหว่างเส้นประสองเส้น

: มาตรฐานเส้นประจราจรจากคู่มือและมาตรฐานเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางโดย สนข.. กระทรวงคมนาคม

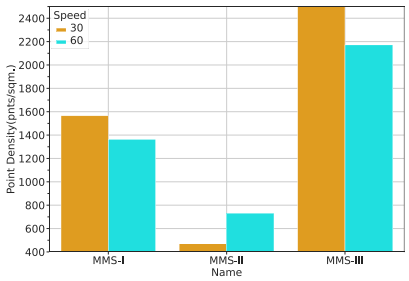
ความกว้าง	[0.20,0.40] เมตร
ความยาว	2 เมตร
ระยะการเว้นช่อง	4 เมตร

90

จากการประเมินความถูกต้องค่าพิกัดและความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์ที่มาจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนโดยมีความเร็วที่ออกแบบแตกต่างกัน



: การเปรียบเทียบความถูกต้องค่าพิกัด



การเปรียบเทียบความถูกต้องของความหนาแน่นพอยต์คลาวด์

ในรูปที่ 7 และรูปที่ 9 มีกำหนดการแสดงผล อ้างอิงตามเกณฑ์ชั้นงานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ให้แกนตั้งมีค่าระยะห่างสูงสุดเป็น 30 เซนติเมตรซึ่งอยู่ในเงื่อนไขค่าความละเอียดถูกต้องตำแหน่งสามมิติและความหนาแน่นพอยต์คลาวด์อยู่ในช่วง [400,2500] จุดต่อตารางเมตร

ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก อีกทั้งความเร็วที่ออกแบบไว้ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงส่งผลให้พอยต์คลาวด์มีค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และ RMSE3D ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ที่ความเร็วที่ออกแบบไว้ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงให้ค่าความหนาแน่นพอยต์คลาวด์มากกว่า

จากข้อมูลที่ได้รูปที่ 8 และรูปที่ 9 สามารถประยุกต์ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ

สรุปการผ่านเกณฑ์ชั้นงานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 สำหรับข้อมูลวิ่งรถด้วยความเร็วที่ออกแบบไว้ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เงื่อนไข	รูปแบบการทำงาน		
	MMS-I	MMS-II	MMS-III
ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D < 20 cm	☑	☑	☐
ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D < 30 cm	☑	☑	☑
ความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ > 400 จุดต่อตารางเมตร	☑	☑	☑

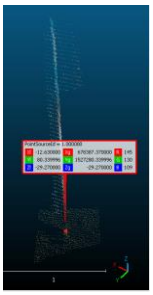
32 สรุปการผ่านเกณฑ์ชั้นงานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 สำหรับข้อมูลวิ่งรถด้วยความเร็วที่ออกแบบไว้ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เงื่อนไข	รูปแบบการทำงาน		
	MMS-I	MMS-II	MMS-III
ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D < 20 cm	☑	☑	☐
ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D < 30 cm	☑	☑	☐
ความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ > 400 จุดต่อตารางเมตร	☑	☑	☑

ตามข้อมูลในตารางที่ 9 และตารางที่ 10 การนำเกณฑ์ชั้นงานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 มาประยุกต์ใช้จะพบว่ามีระบบ MMS-III ไม่ผ่านเกณฑ์เพียงรูปแบบเดียว แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานให้ผ่านเกณฑ์ก็เพียงพอแล้ว เนื่องจากในปัจจุบันมีตัวเลือกอุปกรณ์มากมายหลายแบบซึ่งให้คุณภาพที่แตกต่างกัน อีกทั้งการสำรวจทำแผนที่บนท้องถนนถูกจำกัดด้วยเวลาและทุนทรัพย์ นอกจากแล้วนี้ยังมีข้อจำกัดด้านสถานที่ ความเชี่ยวชาญและอื่นๆ ดังนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆเหล่านี้เพื่อให้บรรลุเกณฑ์ชั้นงานที่วางไว้

7.2.1 ป้ายจราจร

ตัวอย่างป้ายจราจรที่คัดเลือกมา 1 ป้ายที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องได้แสดงไว้ดังรูปที่ 10 เนื่องจากความต้องการที่จะนำไปวิเคราะห์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐาน TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ลงในตารางที่ 11 และประเมินรูปร่างลักษณะตามคู่มือและมาตรฐานเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางโดยสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.), กระทรวงคมนาคมลงในตารางที่ 12 อีกทั้งทดสอบสมมุติฐานบางอย่างเพื่อเป็นการนำเสนอวิธีการประยุกต์อื่นๆ



ก) พอยต์คลาวด์ของป้ายจราจร



ข) รูปป้ายจราจร

32 ตัวอย่างป้ายจราจร

ระยะห่างของป้ายจราจรมีค่าพิกัดอ้างอิงมาจากระบบ MMS-I แล้วให้ระบบ MMS-II และระบบ MMS-III มาเปรียบเทียบกับระบบ MMS-I ดังตารางที่ 11

33 สรุปค่าระยะห่างของป้ายจราจร

ประเภท	รูปแบบการทำงาน			หน่วย
	MMS-I	MMS-II	MMS-III	
ตำแหน่งของฐานทางราบ	0.000	0.062	0.291	เมตร
ตำแหน่งป้ายทางราบ	0.000	0.143	0.252	เมตร
ตำแหน่งของฐานสามมิติ	0.000	0.070	0.293	เมตร
ตำแหน่งป้ายสามมิติ	0.000	0.147	0.254	เมตร

จากตารางที่ 11 ค่าที่ได้จากระบบ MMS-II ที่มีค่าระยะห่างทางราบ 0.062, 0.070 เมตร ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร และ 0.143, 0.147 เมตร ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 จึงถือว่าป้ายจราจรจากระบบ MMS-II จึงผ่านเกณฑ์ชั้นงานดังกล่าว ป้ายยจราจรนี้สามารถใช้ในงานแผนที่ความละเอียดสูงได้ การวิเคราะห์นี้ถือเป็นตัวอย่างในการประเมินตำแหน่งสัมพัทธ์ที่ดำเนินการในการประเมินความถูกต้องเพิ่มเติม

จากตารางที่ 11 ค่าระยะห่างทางราบของป้ายจราจรจาก MMS-II มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ 20 เซนติเมตรและระยะห่างสามมิติน้อยกว่า 30 เซนติเมตรจึงถือว่าผ่านเกณฑ์ แต่ค่างระยะห่างของระบบ MMS-III ไม่ผ่านเกณฑ์เพราะว่าระยะห่างทางราบเกินที่กำหนด แต่ในความเป็นจริง ในการประยุกต์ในงานดูแลฟีเจอร์นั้นไม่ได้ต้องให้ทางราบถูกต้องในระดับเซนติเมตร แต่อาจสูงถึงระดับเมตร

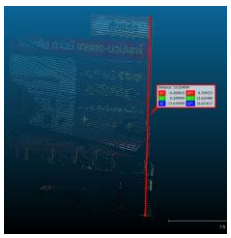
34 สรุปผลการประเมินป้ายจราจร

เงื่อนไข	รูปแบบการทำงาน			หน่วย
	MMS-I	MMS-II	MMS-III	
ความสูง	1.83	1.82	1.67	เมตร
ขนาด	0.56 x 0.99	ไม่สามารถรังวัดได้	0.56 x 0.99	เมตร

จากข้อมูลในตารางที่ 12 พบว่ามีเพียงระบบ MMS-II ที่การสแกนมีความผิดปกติที่ป้ายนี้ รูปร่างบิดงอไม่สามารถวัดขนาดได้ แต่ป้ายจราจรที่มีอยู่ในระบบ MMS-I ระบบ MMS-II และระบบ MMS-III ไม่ผ่านเงื่อนไขด้านขนาดของมาตรฐานป้ายจราจรดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามนี้เป็นเพียงการนำเสนอการประยุกต์ในการรังวัดป้ายจราจรให้เข้ากับมาตราฐานนี้เพื่อเป็นหลักฐานวิทยาศาสตร์ ส่วนในเรื่องของป้ายจราจรนี้ทำตามมาตราฐานใด ๆ นั้น จำเป็นต้องศึกษาต่อไป

7.2.2 ป้ายโฆษณา

ป้ายโฆษณาจำนวนหนึ่งป้ายเท่านั้นที่คัดมาเป็นตัวอย่างซึ่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 11 ข้อสรุปที่แสดงออกเป็นดังตารางที่ 13 ซึ่งทำตามเกณฑ์ชั้นงาน TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ในเรื่องของตำแหน่ง และตารางที่ 14 ซึ่งมาจากการรังวัดรูปร่างเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในพรบ. ควบคุมอาคารที่กำหนดความยาว ความสูงและขนาดพื้นที่หน้าตัดของป้ายโฆษณา ที่จะต้องถูกเข้าควบคุมโดยหน่วยงานรัฐ



ก) พอยต์คลาวด์ของป้ายโฆษณา



ข) รูปป้ายโฆษณา

33 ตัวอย่างป้ายโฆษณา

ระยะห่างของป้ายโฆษณาระหว่างสามเครื่องมือถูกบันทึกดังตารางที่ 13 โดยอ้างอิงระบบ MMS-I และให้ที่เหลือมาเปรียบเทียบ

35 สรุปค่าระยะห่างของป้ายโฆษณา

ประเภท	รูปแบบการทำงาน			หน่วย
	MMS-I	MMS-II	MMS-III	
ตำแหน่งป้ายทางราบ	0.000	0.684	0.834	เมตร
ตำแหน่งป้ายสามมิติ	0.000	0.738	0.943	เมตร

ในกรณีนี้ ตำแหน่งสัมพัทธ์ของป้ายโฆษณาในระบบ MMS-II และระบบ MMS-III ไม่ผ่านมาตรฐานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ซึ่งเป็นผลมาจากการรังวัดที่ไม่ดีเพียงพอโดยเฉพาะรังวัดไม่ตรงจุดเดียวกัน

36 สรุปผลการประเมินป้ายโฆษณา

เงื่อนไข	รูปแบบการทำงาน			หน่วย
	MMS-I	MMS-II	MMS-III	
ความยาว	11.18	11.34	11.19	เมตร
ความสูง	> 9.76	13.62	13.47	เมตร
ขนาดพื้นที่หน้าตัด	976604	973617	936812	ตารางเซนติเมตร

เป็นป้ายนี้ที่ ข ก้ 4 ป

ว่ามีส่วนที่ตัดกัน ระยะห่างแบบเฟรเชต์เป็นเพียงค่าทางเลือกที่น่าสนใจและมีเงื่อนไขคล้ายระยะห่างแบบเฮ้าส์ดอร์ฟ แต่อย่างไรก็ ในกรณีนี้ที่เส้นไม่ค่อยผาดกัน ระยะห่างแบบเฮ้าส์ดอร์ฟได้เปรียบกว่าระยะห่างแบบเฟรเชต์

39 สรุปผลการรังวัดตำแหน่งแนวเสาสายส่งไฟฟ้า

ระยะห่างตามทฤษฎี	รูปแบบการทำงาน			หน่วย
	MMS-I	MMS-II	MMS-III	
ยูคลิเดียน	0.000	0.000	0.000	เมตร
เฮ้าส์ดอร์ฟ	0.000	0.225	0.288	เมตร
เฟรเชต์	0.000	0.301	0.313	เมตร

นอกจากนี้ สามารถใช้รูปแบบดังเดิมที่วัดระยะห่างระหว่างพิกัดจุดต่อจุดแล้วใช้เกณฑ์ชั้นงาน TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ในตารางที่ 18 โดยอ้างอิงค่าพิกัดระบบ MMS-I

3: เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างพิกัดจุดต่อจุดของแนวสายส่งไฟฟ้า

MODEL	hor_mean	hor_std	hor_max	RMSE2D
MMS-I	0.000	0.000	0.000	0.000
MMS-II	0.045	0.043	0.222	0.061
MMS-III	0.072	0.061	0.288	0.094

ตารางที่ 18 พบว่าค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D ของระบบ MMS-II และระบบ MMS-III ไม่เกิน 20 เซนติเมตรตามเกณฑ์ชั้นงาน TAICS TR-0016(E) v1.0:2021

7.3.2 แนวเส้นประจราจร

รูปที่ 15 ได้แสดงแนวเส้นประจราจรามีทั้งหมด 157 เส้นโดยจุดที่อ้างอิงนั้นจะอยู่บนจุดศูนย์กลางของเส้นประจราจรเหล่านั้นที่มีลักษณะดังรูปที่ 16



37 ตำแหน่งแนวเส้นประจราจร



ก) พอบต์คลาวด์ของเส้นประจราจร



ข) รูปเส้นประจราจร

38 ก) พอยต์คลาวด์ของเส้นประจราจร ข) รูปเส้นประจราจร

แนวเส้นประจราจรเป็นหนึ่งในตัวอย่างที่ดีในการคำนวณวิธีการเปรียบเทียบความเหมือนของฟีเจอร์เนื่องจากวางตัวตามเส้นทางและใช้พิกัดค่าเฉลี่ยของแต่ละเส้นประมาณสร้างเป็นแนวฟีเจอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบโดยอ้างอิงค่าพิกัดที่ได้จากระบบ MMS-I

3 สรุปผลการรังวัดตำแหน่งแนวเส้นประจราจร

ระยะห่างตามทฤษฎี	รูปแบบการทำงาน			หน่วย
	MMS-I	MMS-II	MMS-III	
ยูคลิเดียน	0.000	0.000	0.000	เมตร
เฮ้าส์ดอร์ฟ	0.000	0.111	0.244	เมตร
เฟรเชต์	0.000	3.996	3.565	เมตร

ค่ารังวัดเหล่านี้ในตารางที่ 19 บ่งบอกถึงความสามารถที่ระบบ MMS-II เข้าเกณฑ์ชั้นงานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ที่ระยะห่าง 20 เซนติเมตรทางราบ อีกทั้งระยะห่างแบบเฟรเชต์ให้ค่าที่อยู่ในระดับเป็นเมตร โดยที่เกิดจากความไม่เหมาะสมของลักษณะฟีเจอร์ที่นำมาคำนวณระยะห่างแบบเฟรเชต์กับแนวเส้นประจราจรดังกล่าว

นอกจากนี้ มีตารางหนึ่งซึ่งแสดงการเปรียบค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดต่อจุดและอ้างอิงค่าพิกัดไปยังระบบ MMS-I เช่นเดิม

42 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างพิกัดจุดต่อจุดของแนวเส้นประจราจร

MODEL	hor_mean	hor_std	hor_max	RMSE2D
MMS-I	0.000	0.000	0.000	0.000
MMS-II	0.037	0.024	0.111	0.044
MMS-III	0.062	0.040	0.231	0.074

จากตารางที่ 20 พบว่าค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D ทั้งระบบ MMS-II และระบบ MMS-III ผ่านเกณฑ์ชั้นงานของ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ที่กำหนดว่าระยะห่างทางราบไม่เกิน 20 เซนติเมตร

จากผลลัพธ์ที่ผ่าน แสดงให้เห็นว่าระบบ MMS-II ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในทุกตัวชี้วัด ทั้งค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE และความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ แม้ใช้กล้องและไอเอ็มยู ที่คุณภาพรองกว่าระบบ MMS-I แต่ออกแบบการติดตั้งได้เหมาะสม ส่วนระบบ MMS-III ไม่ผ่านเกณฑ์ชั้นงานในหลายกรณี เนื่องจากมีปัญหาในการตั้งค่าอย่าง PRF ที่สามารถปรับลดลงเพื่อให้ความถูกต้องทางตำแหน่งดีขึ้นได้โดยแลกกับความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ที่มีมากเพียงพออยู่แล้ว ขาดความชำนาญอุปกรณ์ กับขาดความชำนาญในทำงานด้วยระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนด

: 0 ,

การประเมินพอยต์คลาวด์ออกเป็นสองกลุ่มหลักคือกลุ่มการประเมินความถูกต้องเบื้องต้นซึ่งมีเพียงการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ที่สามารถสรุปผลการรังวัดบนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ได้จากระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ชนิดเลเซอร์สแกนเปรียบเทียบกับการรังวัดจลนในทันทีแล้วเปรียบเทียบตามเกณฑ์ชั้นงาน TR-0016(E) V1.0:2021 เมื่อมีทรัพยการจำกัดในเรื่องของเวลาและงบประมาณ การคำนึงถึงทางเลือกที่เหมาะสมในการใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ จากข้อมูลใน ตารางที่ 9 และตารางที่ 10 สามารถสังเกตได้ว่าระบบ MMS-II

เหมาะสมกับการทำงานในสภาพแวดล้อมเช่นนี้มากที่สุด ลำดับรองลงมาคือระบบ MMS-I ลำดับท้ายที่สุดคือระบบ MMS-III หากต้องการประหยัดเวลาในการติดตั้งและวัดสอบอุปกรณ์ในรูปแบบต่างๆ ควรใช้ระบบ MMS-I และระบบ MMS-II หากมีงบประมาณที่จำกัดมาก ระบบ MMS-III เป็นทางเลือกที่ดีพอสำหรับการทำงานซึ่งอาจต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งใช้เวลาติดตั้งและวัดสอบนานกว่าระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่อื่นๆ นอกจากนี้หากต้องการความหนาแน่นพอยต์คลาวด์ที่สูงขึ้นและสามารถรังวัดได้ดีใกล้เคียงกับระบบ MMS-II ควรใช้ระบบ MMS-I ซึ่งใช้งบประมาณสูงสุดในกลุ่มแต่สามารถรังวัดฟีเจอร์ต่างๆที่ประยุกต์กับแผนที่ความละเอียดสูงได้ดีกว่าระบบ MMS-II

ต่อมา กลุ่มการประเมินความถูกต้องเพิ่มเติมประกอบไปด้วยการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งข้อมูลฟีเจอร์ที่ปรากฏบนผิวถนนและข้างถนนออกไปโดยเปรียบเทียบกับระบบ MMS-I ที่มีอุปกรณ์คุณภาพสูงสุด ในข้อมูลตามตารางที่ 11 ตารางที่ 13 และตารางที่ 15 พบว่าระบบ MMS-II วัดตำแหน่งฟีเจอร์ได้ใกล้เคียงกับระบบ MMS-I โดยส่วนมากและป้ายโฆษณาเป็นฟีเจอร์ที่รังวัดได้ยากที่สุดเนื่องจากหาจุดตัดที่เหมือนกันในทุกพอยต์คลาวด์ไม่ได้ นอกจากนี้ ตามข้อมูลใน ตารางที่ 12 ตารางที่ 14 และตารางที่ 16 พบว่าค่ารังวัดในเส้นประจราจรและค่ารังวัดในป้ายจราจรที่ไม่เข้าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากองค์กรท้องถิ่นอาจจะไม่ได้ปฏิบัติตามข้อตกลงของกระทรวง จำเป็นต้องมีเกณฑ์ขององค์กรท้องถิ่นมาเปรียบเทียบ

อีกทั้ง กลุ่มการประเมินเพิ่มเติมมีการประเมินความถูกต้องของตำแหน่งฟีเจอร์ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความเหมือนของแนวของฟีเจอร์โดยเปรียบเทียบกับระบบ MMS-I จากข้อมูลในตารางที่ 17 ตารางที่ 18 ตารางที่ 19 และตารางที่ 20 พบว่าแนวฟีเจอร์ที่แตกต่างกันก็จะให้ผลลัพธ์ไปในทางที่ต่างกัน การเลือกใช้เกณฑ์ระยะห่างต้องเลือกตามฟีเจอร์ อีกทั้งระบบ MMS-II มีโอกาสที่ผ่านเกณฑ์ระยะห่างในรูปแบบอื่นกว่าระบบ MMS-III

0

การกำหนดความสูงควรใช้เป็นความสูงประเภทเดียวกันเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ การสร้างไฟล์พอยต์คลาวด์ต้องมีความเข้มสัญญาณและเวลาจีพีเอสซึ่งต้องบอกวิธีการแปลงเป็นเวลาสากล กำหนดค่า PRF ตามความเหมาะสมของแต่ละระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เพื่อให้บรรลุเงื่อนไขของมาตรฐานต่างๆ หากต้องการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินนั้นซ้ำควรคำนึงถึงปัจจัยที่ทำให้จุดควบคุมภาคพื้นดินใช้งานไม่ได้อย่าง การสัญจรของรถยนต์ซ้ำบนสี การมีสิ่งบดบังจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ควรมีไฟล์ระบุการตั้งค่าจุดควบคุมภาคพื้นดินกับจุดตรวจสอบ (Check Point : CP) หากมีการปรับเปลี่ยนก่อนประมวลผล ทั้งนี้ควรกำหนดให้เป็นจุดตรวจสอบทั้งหมดไปก่อนเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ แต่หากจะปรับแต่งก็ควรปรับให้ตรงกันก่อนเปรียบเทียบเพราะผลกระทบจากการกระทำนี้ส่งผลต่อการทดลองโดยตรง ทั้งนี้ควรมีฟีเจอร์ที่ใช้เป็นจุดตรวจสอบเพื่อให้การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งเข้ากับฟีเจอร์ในพื้นที่มากขึ้น

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คณะทำงานจากหน่วยงานสามแห่งนี้ที่ให้ความรู้และข้อมูลสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งที่ปรึกษาและกรรมการนอกที่คอยให้คำชี้แนะ

[1] K. Chiang , "Creation and Verification of High-Definition Point Cloud Maps for Autonomous Vehicle Navigation," pp. 1-1, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3435344.

[2] A. Dreier, J. Janßen, H. Kuhlmann, and L. Klingbeil, "Quality Analysis of Direct Georeferencing in Aspects of Absolute Accuracy and Precision for a UAV-Based Laser Scanning System," , vol. 13, no. 18 doi: 10.3390/rs13183564.

[3] ชนะชล ไพจิตรประภาภรณ์, "การตรวจสอบวิถีของยานพาหนะจากระบบการทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ด้วยการ ประมวลผลข้อมูลจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ภายหลัง," 2021.

[4] M. Elhashash, H. Albanwan, and R. Qin, "A review of mobile mapping systems: From sensors to applications," vol. 22, no. 11, p. 4262, 2022.

[5] Y. Ahn, R. Munjy, and Z. Li, "Traffic Sign Extraction from Mobile LiDAR Point Cloud," Mineta Transportation Institute, 2024.

[6] S. D. Johnson, J. S. Bethel, C. Supunyachotsakul, and S. Peterson, "Laser mobile mapping standards and applications in transportation," Purdue University. Joint Transportation Research Program, 2015.

[7] สรศักดิ์ ชัยทวี, "การประเมินความถูกต้องกลุ่มของจุดพิกัดสามมิติจากระบบการทำแผนที่แบบเคลื่อนที่," vol. 34, no. 111, 2021.

[8] R. S. D. Sousa, A. Boukerche, and A. A. Loureiro, "Vehicle trajectory similarity: Models, methods, and applications," vol. 53, no. 5, pp. 1-32, 2020.