การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนน ด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง

The Improvement of Origin-Destination Matching Method for Road Vehicles based on License Plate Recognition Camera in Real Environments

เกริก พวงนาค

Krerk Puangnak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2566

การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนน ด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง

The Improvement of Origin-Destination Matching Method for Road Vehicles based on License Plate Recognition Camera in Real Environments

เกริก พวงนาค

Krerk Puangnak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนนด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง
ชื่อ นามสกุล	เกริก พวงนาค
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์)

..... กรรมการและเลขานุการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ)
วันที่ 17 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2567

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนนด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง
ชื่อ นามสกุล เกริก พวงนาค
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง บนถนนเส้นทางหลักที่มีช่องทางเข้าจำนวน 4 ช่องทาง และช่องทางออกจำนวน 10 ช่องทาง ระยะทางรวม 14.7 กิโลเมตร ด้วยการติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนรถที่วิ่งผ่านไว้กับเสาไฟฟ้าส่องสว่างริมทาง ซึ่งในการทำสำรวจความต้องการในการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษด้วยการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนในปัจจุบันจะไม่สามารถจับคู่เส้นทางการเดินทางของรถที่วิ่งผ่านได้ทุกคัน เนื่องจากเทคโนโลยีการประมวลภาพเพื่อการรู้จำและจำแนกหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนรถภาษาไทยยังมีความคลาดเคลื่อนในหลายปัจจัย เช่น การอ่านตัวอักษรผิดพลาดจากสภาวะแสงสว่างหรือการบดบังตัวอักษร การอ่านตัวอักษรผิดพลาดจากสภาวะความคลาดเคลื่อนของรูปแบบอักษรที่ตรวจจับได้จากมุมกล้องหรือทิศทางและความเร็วของยานพาหนะ หรือการจับคู่ต้นทางปลายทางผิดพลาดจากการอ่านตัวอักษรผิดพลาดไม่เหมือนกัน เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำในขั้นตอนการจับคู่รายการรถวิ่งผ่านทางเข้าออกโดยตรง โดยบทความฉบับนี้แก้ปัญหาโดยการผสมผสานวิธีการปัจจุบัน เปรียบเทียบกับวิธีการจับคู่แบบทุกตัวอักษรและวิธีการจับคู่แบบ GED ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและดีที่สุดในปัจจุบัน ในท้ายที่สุดงานวิจัยนี้ จะแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพในการจับคู่เส้นทางการเดินทางที่มีอัตราความแม่นยำร้อยละ 98.95 ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการ GED ที่เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

คำสำคัญ : การจับคู่เส้นทาง, กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน

Thesis Title The Improvement of Origin-Destination Matching Method for Road Vehicles based on License Plate Recognition Camera in Real Environments
Author Krerk Puangnak
Degree Master of Engineering (Electrical Engineering)
Major Program Electrical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year 2023

ABSTRACT

This research presented an improvement in the method for matching travel routes of expressway users with license plate reading cameras in the real environment on the main road with 4 entrances and 10 exits, a total distance of 14.7 kilometers, by installing a camera to read the license plates of passing vehicles on the roadside lighting poles. In surveying travel needs of expressway users by reading license plates at present, it couldn't match the travel routes of every passing car because the image processing technology for recognizing and classifying Thai license plate numbers still had discrepancy for many factors; such as misreading of alphabets due to lighting conditions or obscuring the alphabets. Misreading of alphabets due to the resemblance of fonts detected by camera angle or directions, and vehicle's speed or mismatching of source and destination due to misreading of different alphabets directly affected the accuracy in the process of matching the list of cars passing through the entrance and the exit. This research solved the problem by combining the current method compared to all methods of matching alphabets and GED matching method. That was the most efficient and the best method at present. Ultimately, this research also showed that the proposed method was effective in matching travel routes with an accuracy rate of 98.95%. That gave the better result than the GED method, which claimed to be the best method at present.

Keywords : Origin-Destination Matching, License Plate Recognition Cameras

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเพื่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอน ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย เพื่อให้การเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์อย่างที่สุด

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่อำนวยการจราจรและกองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการร่วมสนับสนุนข้อมูลสำหรับการวิจัยและทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการ จนเป็นที่ลุล่วงและประสบผลสำเร็จดังผลงานวิจัยที่ปรากฏ

ขอขอบคุณพระคุณบิดา นายเกื้อกูล พวงนาค มารดา นางพรสวรรค์ พวงนาค และครอบครัวของผู้วิจัยที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และให้กำลังใจมาตลอดตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมาก ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดในที่นี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

เกริก พวงนาค

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 สมมติฐาน	2
1.5 กรอบแนวความคิด	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 นิยามศัพท์	3
1.8 คำสำคัญ	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทคโนโลยีระบุตัวตนของยานพาหนะที่มีในปัจจุบัน	4
2.2 การระบุตัวตนยานพาหนะด้วยวิธีการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ	9
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	13
3 วิธีดำเนินการ	20
3.1 การจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสาน (Hybrid Method)	20
3.2 การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีทุกตัวอักษร	21
3.3 การจับคู่โดยการชดเชยตัวอักษรและตารางความน่าจะเป็น	25
3.4 การจับคู่โดยระยะเวลาในการเดินทางเทียบรายการปกติ	30
4 ผลการทดลอง	33
4.1 นิยามและข้อกำหนด	33
4.2 วิธีการประเมินประสิทธิภาพ	39
4.3 ผลการทดลอง	39
4.4 การวิเคราะห์ผล	41
5 สรุปผล	42
5.1 สรุปผล	42
5.2 แนวทางการศึกษาและพัฒนาต่อ	43

สารบัญ

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์	47
ภาคผนวก ก-1 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (The 15th Electrical Engineering Network 2023)	48
ภาคผนวก ก-2 เอกสารตอบรับบทความ (Accept Letter) การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (The 15th Electrical Engineering Network 2023)	49
ภาคผนวก ก-3 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45 (The 45th Electrical Engineering Conference)	54
ภาคผนวก ก-4 เอกสารตอบรับบทความ (Accept Letter) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45 (The 45th Electrical Engineering Conference)	59
ประวัติการศึกษา	60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจับคู่ตัวอักษร	14
3.1	รถที่สามารถจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนได้จากกรณีตัวอักษรตรงกันทุกตัวอักษร	22
3.2	รถที่กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอ่านตัวอักษรคลาดเคลื่อนบางส่วน	26
3.3	รถที่ไม่สามารถจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนได้จากกรณีตัวอักษรตรงไม่ตรงกันหลายตัว	32
4.1	ข้อมูลรหัสแสดงตำแหน่งติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ	34
4.2	ข้อมูลรหัสหมวดจังหวัดที่ได้รับจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ	38
4.3	ตัวอย่างข้อมูลในการจับคู่ในขั้นตอน Exact Match	40
4.4	ตัวอย่างข้อมูลในการจับคู่ในขั้นตอน GED	40
4.5	ตัวอย่างข้อมูลในการจับคู่ในขั้นตอน Hybrid Method	41
4.6	ประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทาง	41

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบการระบุตัวตนยานพาหนะด้วยวิธี Two-Stream Siamese และ Siamese-Car	15
2.2	โครงสร้างการทำงานของ Multi-branch Network Based on Common Field of View	17
2.3	ขั้นตอนวิธีการทำงานของ two-stream Siamese Neural Network	18
3.1	ขั้นตอนการจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสานวิธีการ	21
3.2	ชุดคำสั่ง Python ในการดึงข้อมูลหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนจาก Database ของระบบ	24
3.3	ชุดคำสั่ง Python บันทึก CSV ในชื่อไฟล์ 'data_20240108.csv'	25
3.4	ชุดคำสั่ง Python ในการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนรถที่ตรงกันทุกตัวอักษร	25
3.5	ชุดคำสั่ง Python ในการปรับรูปแบบข้อมูลก่อนการนำไปใช้งาน	25
3.6	แผนภาพความเป็นไปได้ของตัวเลขและตัวอักษรภาษาไทยที่มีความคล้ายคลึงกัน	28
3.7	ตัวอักษรที่ระบบอ่านป้ายทะเบียนมักจะอ่านผิด	29
3.8	ขั้นตอนการทำงานการจับคู่โดยใช้เทคนิค Confuse Matrix	30
3.9	การจัดเรียงป้ายทะเบียนต้นทางและป้ายทะเบียนปลายทางสำหรับการจับคู่	31
3.10	วิธีการจับคู่ป้ายทะเบียนด้วยระยะเวลา	31
4.1	จำนวนหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ถูกจับคู่ด้วยวิธีการทดสอบ หน่วยแผ่นป้ายทะเบียน	41
4.2	อัตราความแม่นยำในการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียน หน่วยร้อยละ (%)	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเดินทางโดยทางพิเศษหรือทางยกระดับ เป็นการเดินทางเพื่อหลีกเลี่ยงความแออัดในพื้นที่ที่มีปริมาณการจราจรสูง ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะทางและเวลาในการเดินทางได้ แต่ในทางกลับกันการเดินทางดังกล่าวจะมีการคิดค่าบริการผ่านทางจากผู้ใช้บริการ ดังนั้นเพื่อให้การคิดค่าบริการผ่านทางดังกล่าวมีความเหมาะสม การกำหนดค่าผ่านทางนั้นต้องพิจารณาจากปริมาณจราจรและเส้นทางการเดินทางร่วมกับค่าผ่านทางที่จะกำหนดขึ้น ให้ได้อัตราส่วนที่มีความเหมาะสมต่อประชาชนและเพียงพอต่อการดำเนินธุรกิจของหน่วยงานต่อไปได้ การใช้ข้อมูลจากแผ่นป้ายทะเบียนรถที่อ่านด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน ที่ติดตั้งอยู่ที่ทางขึ้นและทางลงของทางพิเศษเพื่อนำมาสร้างข้อมูลปริมาณความต้องการในการเดินทางบนทางพิเศษต่อไป

ด้วยเทคโนโลยีกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนในปัจจุบันนั้น มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้นกว่าในอดีตมาก ทั้งด้วยเทคโนโลยีทางฮาร์ดแวร์ในด้านการรับสัญญาณภาพที่สามารถรับภาพได้ด้วยความละเอียดสูง ด้านการประมวลผลที่มีความเร็วและหน่วยความจำที่สูงขึ้น และทางซอฟต์แวร์ในด้านการคำนวณและแยกแยะที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงจากเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ที่เป็นที่นิยมและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เทคโนโลยีกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอาจจะเกิดปัญหาด้านความถูกต้องและความเที่ยงตรงในการอ่านแผ่นป้ายทะเบียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอน ส่งผลให้การจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนผิดพลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้ข้อมูลนี้เพื่อการวิเคราะห์พิจารณาค่าผ่านทางที่เหมาะสมต่อไป

งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาวิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนรถที่ถูกอ่านโดยกล้อง โดยใช้วิธีการสร้างตารางความคลึงของตัวอักษรที่อาจจะอ่านผิดพลาด เพื่อปรับปรุงความถูกต้องและความเที่ยงตรงของการอ่าน รวมถึงการวิเคราะห์ระยะเวลาการเดินทางที่เป็นไปได้ และนำมาประกอบการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียน ร่วมกับการทดสอบและประเมินผลวิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนที่ถูกติดตั้งจริงที่ตำแหน่งทางขึ้นและลงของทางพิเศษ ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะสามารถสร้างข้อมูลปริมาณความต้องการในการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษได้อย่างถูกต้องและแม่นยำได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาและพัฒนาวิธีการในการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนรถที่ได้จากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน บนตำแหน่งทางขึ้นลงทางพิเศษในสภาพแวดล้อมจริง ด้วยวิธีการแบบผสมผสาน

1.2.2 ศึกษาและกำหนดค่าน้ำหนักของตารางความคลึงของตัวอักษรที่อาจจะอ่านผิด ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริง สำหรับการปรับปรุงความถูกต้องของการอ่านแผ่นป้ายทะเบียน

1.2.3 ศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการลดความผิดพลาดในการจับคู่จากพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบการทำงาน เช่น ระยะเวลาการเดินทางที่เป็นไปได้มาประกอบการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียน เป็นต้น

1.2.4 ทดสอบและประเมินผลวิธีการที่พัฒนาด้วยข้อมูลจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนที่ถูกติดตั้งจริง ที่ตำแหน่งทางขึ้นและลงของทางพิเศษ เพื่อแสดงค่าความแม่นยำและเชื่อถือได้ประกอบกับผลลัพธ์ ให้ผู้ใช้ข้อมูลสามารถนำไปประเมินร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ในการกำหนดค่าผ่านทางได้

1.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนากับวิธีการที่ใช้ปัจจุบัน โดยอ้างอิงจากความถูกต้องในการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียน เพื่อแสดงให้เห็นแนวทางการพัฒนาต่อยอดและปรับปรุงวิธีการให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นต่อไป

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ดำเนินการศึกษาการทำงาน ผลลัพธ์ และความผิดพลาดในสถานการณ์ต่างๆ ของกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนที่ถูกติดตั้งในพื้นที่ทางขึ้นลง

1.3.2 ดำเนินการศึกษาวิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนเพื่อนำไปจัดทำตารางปริมาณความต้องการในการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษฯ พร้อมการวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของวิธีการต่างๆ

1.3.3 ดำเนินการออกแบบและพัฒนาวิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนรถประเทศไทยที่มีความถูกต้องและแม่นยำที่สูงกว่าวิธีการที่มีในปัจจุบันโดยใช้วิธีการแบบผสมผสาน

1.3.4 ดำเนินการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนรถประเทศไทย ที่เป็นที่รู้จักหรือเป็นที่นิยมในปัจจุบันกับวิธีการปรับปรุงวิธีนำเสนอ

1.4 สมมติฐาน

การปรับปรุงวิธีการระบุและระบุป้ายทะเบียนบนภาพหรือวิดีโอที่ถ่ายขึ้นโดยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน ในสภาวะแวดล้อมจริง สามารถปรับปรุงและเพิ่มความแม่นยำในการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนได้โดยการนำข้อมูลการเดินทางจริงที่เก็บรวบรวมมาทำตารางปรับแก้ตัวอักษรที่อาจอ่านผิดพลาด ร่วมกับการวิเคราะห์ระยะเวลาในการเดินทางที่เป็นไปได้ประกอบร่วมกัน

1.5 กรอบแนวความคิด

1.5.1 การจัดเตรียมข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียน: การจัดเตรียมข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียนต้องดำเนินการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนภาษาไทยที่ถูกติดตั้งในตำแหน่งทางขึ้นลงทั้งหมด ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ข้อมูลที่พร้อมนำเข้าสู่การประมวลผลและตรวจสอบที่มีข้อมูลพื้นฐานประกอบอย่างครบถ้วน เช่น ตำแหน่งการติดตั้งที่สามารถระบุได้ว่าเป็นทางขึ้นหรือลง หรือช่วงเวลาผ่านทาง เป็นต้น ต่อไป โดยต้องพิจารณาถึงแหล่งจัดเก็บที่ต้องมีปริมาณพื้นที่ที่เพียงพอและการเข้าถึงเพื่อการเรียกใช้งานที่มีความรวดเร็ว

1.5.2 การวิเคราะห์วิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียน: การวิเคราะห์วิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนจะต้องดำเนินการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่ถูกนำเสนอพร้อมข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัดและความเหมาะสมในการนำมาปรับใช้ เพื่อให้เห็นถึงแนวทางและวิธีการที่ถูกนำมาใช้กับทะเบียนรถต่างประเทศต่างและทะเบียนรถประเทศไทย

1.5.3 การพัฒนาและปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทาง: การพัฒนาและปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางจะดำเนินการพิจารณาเลือกวิธีการที่มีในปัจจุบันมาทำงานแบบผสมผสานร่วมกันในทุกรูปแบบที่สามารถจะนำมาผสมผสานกันได้ พร้อมกับสมมุติฐานในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวมถึงการนำตัวแปรหรือพารามิเตอร์อื่นๆ ร่วมประมวลผล เพื่อให้การจับคู่เส้นทางเป็นไปได้ด้วยประสิทธิภาพสูงที่สุดในสภาวะแวดล้อมจริง

1.5.4 การทดสอบและประยุกต์ใช้ในสภาวะแวดล้อมจริง: การทดสอบและประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงในสภาวะแวดล้อมจริงจะเป็นการทดสอบโดยใช้ข้อมูลจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนจริงที่อาจจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ร่วมกับการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่วิธีการประมวลผล โดยใช้ข้อมูลที่ตรวจทานและแก้ไขโดยเจ้าหน้าที่ของหน่วยงาน เพื่อให้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการได้อย่างแม่นยำ

การศึกษาในแนวความคิดดังกล่าวจะช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจและปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน ให้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงในสภาวะแวดล้อมจริง นำไปใช้ประกอบการประเมินและวิเคราะห์ค่าผ่านทางได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 วิธีการที่นำเสนอสามารถสร้างข้อมูลปริมาณการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษในแต่ละคู่เส้นทางขึ้นลงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.6.2 หน่วยงานหรือผู้ให้บริการทางพิเศษสามารถนำข้อมูลการเดินทางดังกล่าวไปใช้งานวิเคราะห์และกำหนดอัตราค่าผ่านทางได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 การจับคู่เส้นทาง (Origin-Destination Matching) เป็นกระบวนการหาตำแหน่งต้นทาง (Origin) และปลายทาง (Destination) ในการเดินทางของรถหรือยานพาหนะที่สนใจ

1.7.2 กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน (License Plate Recognition Camera) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการอ่านหมายเลขและตัวอักษรบนแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบประมวลผลภาพและการรู้จำเพื่อตรวจสอบและจดจำตัวอักษร

1.8 คำสำคัญ

การจับคู่เส้นทางการเดินทาง (Origin-Destination Matching), กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน (License Plate Recognition Camera)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีระบุตัวตนของยานพาหนะที่มีในปัจจุบัน

การระบุตัวตนของยานพาหนะเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในหลายด้านของการบริหารจัดการระบบขนส่งและการบังคับใช้กฎหมาย, โดยเฉพาะในเมืองที่มีความหนาแน่นของการจราจรสูง ในปัจจุบัน, เทคโนโลยีระบุตัวตนของยานพาหนะมีความหลากหลายและได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการที่แตกต่างกันของผู้ใช้และสภาพแวดล้อมการใช้งาน ในบทนี้ จะทำการตรวจสอบและวิเคราะห์เทคโนโลยีหลัก 6 ระบบที่ถูกใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วยระบบอ่านแผ่นป้ายทะเบียน (ANPR), ระบบ RFID (Radio Frequency Identification), ระบบ Bluetooth และ Wi-Fi, ระบบ GPS และ Telematics, ระบบการระบุด้วยภาพ, และระบบ LiDAR และ Radar

ระบบอ่านแผ่นป้ายทะเบียน (ANPR) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับการใช้งานกว้างขวาง โดยใช้กล้องความละเอียดสูงในการจับภาพแผ่นป้ายทะเบียนของยานพาหนะที่ผ่านไปมา เทคโนโลยีนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบและติดตามรถที่เกี่ยวข้องกับอาชญากรรมหรือการฝ่าฝืนกฎจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาคือระบบ RFID ซึ่งใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารกับแท็กที่ติดอยู่กับยานพาหนะ ทำให้สามารถระบุตัวตนของยานพาหนะได้ทันทีเมื่อผ่านจุดตรวจ, ช่วยให้การจัดเก็บค่าผ่านทางและการจัดการพื้นที่จอดรถเป็นไปอย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยี Bluetooth และ Wi-Fi ซึ่งใช้ในการติดตามยานพาหนะผ่านสัญญาณจากอุปกรณ์ไร้สายภายในรถที่เปิดใช้งานการเชื่อมต่อ เทคโนโลยีนี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์การจราจรและวางแผนการเดินทาง

ในด้านของระบบ GPS และ Telematics นั้น เทคโนโลยีได้รับการพัฒนาให้ใช้สัญญาณดาวเทียมและการสื่อสารข้อมูลระยะไกลในการติดตามยานพาหนะและรวบรวมข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ เทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยให้ผู้ประกอบการขนส่งสามารถตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการระบุด้วยภาพถูกออกแบบมาเพื่อใช้กล้องและซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพในการวิเคราะห์และแยกแยะลักษณะเฉพาะของยานพาหนะ เช่น สี, ประเภท และเครื่องหมายเฉพาะ สุดท้ายนี้คือระบบ LiDAR และ Radar ที่ใช้คลื่นแสงและคลื่นวิทยุในการสร้างภาพ 3 มิติของสภาพแวดล้อมรอบยานพาหนะ ระบบเหล่านี้มีความสำคัญในการสนับสนุนการขับขี่อัตโนมัติและการติดตามยานพาหนะในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน

การทำความเข้าใจเทคโนโลยีเหล่านี้และวิธีการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้สามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน พร้อมกับการเผชิญกับความท้าทายด้านเทคนิคและความเป็นส่วนตัวที่เกิดขึ้นในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แต่ละระบบ แต่ละเทคโนโลยีมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้สามารถบูรณาการเข้ากับระบบการจัดการขนส่งและ

การบังคับใช้กฎหมายได้อย่างเหมาะสม ความท้าทายเหล่านี้ไม่เพียงแต่ท้าทายในด้านเทคนิคเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความจำเป็นในการรักษาความเป็นส่วนตัวและความไว้วางใจของประชาชนในการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ในสังคมด้วย

2.1.1 เทคโนโลยี License Plate Recognition

ระบบการรู้จำป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (Automatic Number Plate Recognition หรือ ANPR) มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในหลายๆ สาขา ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการบังคับใช้กฎหมาย การจัดการด้านการจราจร และการเก็บเงินค่าผ่านทางโดยอัตโนมัติ ระบบนี้ทำงานโดยการติดตั้งกล้องความละเอียดสูงในจุดต่างๆ ที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น บนทางด่วนหรือที่จอดรถ เพื่อบันทึกภาพของป้ายทะเบียนรถที่ผ่านมาภายในช่วงเวลาที่กำหนด กล้องเหล่านี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อสามารถทำงานได้ในเงื่อนไขแสงและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ภาพที่ได้รับจะถูกประมวลผลโดยซอฟต์แวร์เฉพาะทางซึ่งใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อแยกและตรวจจับป้ายทะเบียนอย่างแม่นยำ ขั้นตอนถัดไปคือการใช้เทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษรแบบออปติคัล (Optical Character Recognition หรือ OCR) เพื่อแปลงข้อมูลจากป้ายทะเบียนเป็นข้อมูลดิจิทัลที่สามารถนำไปเทียบเคียงกับฐานข้อมูลได้ ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการนี้จะถูกนำไปใช้ในการยืนยันตัวตนของยานพาหนะหรือในกรณีต่างๆ เช่น การชำระค่าผ่านทางหรือการตรวจสอบรถต้องสงสัย

ระบบ ANPR นำมาซึ่งประโยชน์หลายประการ เช่น การช่วยเหลือในการบังคับใช้กฎหมายโดยการติดตามรถต้องสงสัย, การบริหารจัดการจราจรในแบบเรียลไทม์ และการเก็บค่าผ่านทางโดยอัตโนมัติ ซึ่งส่งผลให้ลดเวลาหยุดรอชำระเงิน แต่ก็ยังมีความท้าทายอยู่ เช่น ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของภาพที่อาจเสียหายจากสภาพแสงที่ไม่เหมาะสมหรือในสภาพอากาศเลวร้าย มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มเติม เช่น การใช้ AI และ Deep Learning เพื่อช่วยปรับปรุงความแม่นยำของระบบในการรู้จำป้ายทะเบียน นอกจากนี้ยังมีการใช้การประมวลผลข้อมูลบนคลาวด์ซึ่งช่วยให้การเก็บข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น รองรับการตรวจสอบย้อนหลังและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับการรักษาความเป็นส่วนตัวของผู้ขับขี่เพื่อลดความเสี่ยงที่จะใช้ข้อมูลส่วนบุคคลอย่างไม่เหมาะสม

ด้วยความสำคัญที่เพิ่มขึ้นของระบบ ANPR ในสังคมปัจจุบัน ทั้งในด้านการบังคับใช้กฎหมายและการจัดการจราจร ระบบดังกล่าวจึงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความแม่นยำ สนับสนุนให้สามารถจัดการกับสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเที่ยงตรง

2.1.2 เทคโนโลยี RFID (EasyPass / M-Pass)

เทคโนโลยีการระบุคลื่นวิทยุ (RFID) กลายเป็นทางเลือกที่โดดเด่นในการระบุและจัดการยานพาหนะด้วยการสื่อสารไร้สาย ระบบ RFID มีการใช้งานผ่านแท็กที่ติดตั้งบนยานพาหนะซึ่งมีชิปไมโครฝังอยู่ในการ์ดหรือสติกเกอร์ แท็กเหล่านี้จะส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุไปยังเครื่องอ่านที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เพื่อจัดเก็บและจัดการข้อมูลยานพาหนะ ระบบนี้ช่วยให้สามารถระบุ

ยานพาหนะได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การเข้าออกจุดต่างๆ เช่น สถานที่เก็บค่าผ่านทางหรือพื้นที่จอดรถเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ การใช้งาน RFID ในการระบุยานพาหนะมีข้อดีหลายประการ การลดเวลาในการชำระเงินและลดความซับซ้อนในการจัดการทำให้ระบบนี้ได้รับความนิยมในหลายๆ อุตสาหกรรม นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เพื่อความปลอดภัยในการเข้าถึงพื้นที่ที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด เช่น ในสนามบินหรือสถานที่ราชการ อย่างไรก็ตาม ระบบ RFID ยังมีความท้าทายเฉพาะที่ต้องเผชิญ เช่น ปัญหาจากสิ่งกีดขวางที่อาจลดประสิทธิภาพในการรับสัญญาณ หรือการจำกัดของเครื่องอ่านที่อาจไม่สามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวนสัญญาณหรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ด้วยการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง, ระบบ RFID ได้เห็นการปรับปรุงทั้งในด้านขนาดของแท็ก ที่เล็กลงและมีความทนทานมากขึ้น เพื่อให้สามารถติดตั้งได้ง่ายและใช้งานได้กับยานพาหนะทุกรูปแบบ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเทคนิคในการป้องกันข้อมูลเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

ในท้ายที่สุด RFID พิสูจน์ให้เห็นถึงความสามารถในการจัดการการระบุยานพาหนะอย่างรวดเร็วและแม่นยำ ทำให้การควบคุมการเข้าถึงและการจัดการจราจรในพื้นที่ต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความรวดเร็วและความสะดวกในการเข้าออกพื้นที่ที่จำเป็น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมความปลอดภัยในระดับสูง

2.1.3 เทคโนโลยี Bluetooth

ระบบ Bluetooth และ Wi-Fi นับเป็นเทคโนโลยีหลักที่มีบทบาทสำคัญในการระบุตัวตนและติดตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ โดยทำงานผ่านการรับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายในยานพาหนะ เช่น สมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์ GPS ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สาย คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้สามารถติดตามและวิเคราะห์การเดินทางของยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้การจัดการข้อมูลการจราจรและการวางแผนเส้นทางมีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดยระบบนี้ทำงานโดยการตรวจจับสัญญาณที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ในยานพาหนะที่เปิดใช้งานการเชื่อมต่อไร้สาย สัญญาณเหล่านี้จะถูกบันทึกและประมวลผลโดยเซ็นเซอร์และเครื่องมือวิเคราะห์ที่ติดตั้งไว้ตามจุดต่างๆ ที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น บนทางหลวงหรือที่แยกสำคัญ ซึ่งจะช่วยรวบรวมข้อมูลการเดินทางของยานพาหนะอย่างละเอียด

ข้อดีของการใช้เทคโนโลยี Bluetooth และ Wi-Fi คือความสามารถในการรวบรวมข้อมูลขนาดใหญ่และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งทำให้สามารถประเมินสถานการณ์การจราจรและพัฒนาแนวทางในการจัดการเส้นทางได้อย่างทันท่วงที รวมถึงการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เพื่อรองรับความต้องการของสังคม ในทางกลับกันก็มีข้อจำกัดและความท้าทาย เช่น ปัญหาด้านความปลอดภัยและการรักษาความเป็นส่วนตัว โดยต้องการให้อุปกรณ์ในยานพาหนะเปิดใช้งานการเชื่อมต่อไร้สายตลอดเวลา และอาจมีปัญหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตามความเข้มข้นของสัญญาณ

ในทางกลับกัน นวัตกรรมล่าสุดในระบบ Bluetooth และ Wi-Fi ได้เริ่มนำเทคโนโลยี Machine Learning เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกสัญญาณที่ตรวจจับได้อย่าง

ละเอียดยิ่งขึ้น เพื่อระบุรูปแบบการเดินทางที่ซับซ้อน และมีการพัฒนาเทคนิคในการผสานข้อมูลจากหลายแหล่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำและเชื่อมโยงกับระบบระบุตัวตนอื่น ๆ สำหรับการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเทคโนโลยี Bluetooth และ Wi-Fi มีศักยภาพอย่างมากในการช่วยปรับปรุงการจัดการจราจรและการวางแผนเส้นทางในเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งจะช่วยให้การเดินทางของยานพาหนะสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น พร้อมทั้งเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมความปลอดภัยและการจัดการจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.4 เทคโนโลยี GPS และ Telematics

เทคโนโลยี GPS (Global Positioning System) และ Telematics สนับสนุนการติดตามและการจัดการยานพาหนะอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการเชื่อมโยงข้อมูลจากดาวเทียมกับการสื่อสารข้อมูลระยะไกล เทคโนโลยีเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งที่ชัดเจนของยานพาหนะได้ตลอดเวลา แต่ยังรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการขับขี่และสภาพของเครื่องยนต์ได้อีกด้วย โดยระบบ GPS ทำงานโดยอาศัยสัญญาณจากดาวเทียมหลายดวงในการกำหนดพิกัดตำแหน่งของยานพาหนะอย่างแม่นยำ โดยข้อมูลนี้จะถูกส่งต่อไปยังศูนย์ควบคุมหรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อให้สามารถติดตามตำแหน่งยานพาหนะได้ในทันทีและวิเคราะห์การเดินทางอย่างละเอียด

ในขณะที่ด้าน Telematics รวมเอาความสามารถของ GPS เข้ากับการสื่อสารข้อมูลระยะไกลเพื่อเก็บข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการขับขี่ เช่น พฤติกรรมการขับขี่, สภาพการทำงานของเครื่องยนต์, และประวัติการบำรุงรักษา อุปกรณ์ Telematics ที่ติดตั้งอยู่ในยานพาหนะจะส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังศูนย์ควบคุมซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเดินทางและส่งเสริมความปลอดภัย

ระบบเหล่านี้มีประโยชน์ในหลายแง่มุม เช่น ในธุรกิจขนส่งที่ต้องการการติดตามตำแหน่งยานพาหนะแบบเรียลไทม์เพื่อความแม่นยำในการจัดส่งและการวางแผนเส้นทาง นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถตรวจสอบและปรับปรุงพฤติกรรมการขับขี่ได้ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเช่นอัตราการเร่ง การเบรกกะทันหัน หรือการเข้าโค้งที่รุนแรง อย่างไรก็ตาม มีความท้าทายบางประการ เช่น ความถูกต้องของข้อมูลจาก GPS ที่อาจได้รับผลกระทบจากสิ่งกีดขวางหรือสัญญาณดาวเทียมที่อ่อนแอ รวมถึงความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวเมื่อมีการบันทึกข้อมูลการเดินทางและพฤติกรรมการขับขี่

แนวโน้มใหม่ในเทคโนโลยี GPS และ Telematics คือการใช้แอลกอริทึมขั้นสูงในการวิเคราะห์ข้อมูลที่สามารถทำนายแนวโน้มการเดินทางและพฤติกรรมการขับขี่ที่มีความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีการรวมข้อมูลจากหลายแหล่งเข้าด้วยกันเพื่อให้การวิเคราะห์มีความครอบคลุมมากขึ้น ช่วยให้การจัดการยานพาหนะและการวางแผนเส้นทางเป็นไปอย่างมีระบบและสอดคล้องกับแนวโน้มเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการขับขี่เท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการจัดการยานพาหนะให้เป็นไปในรูปแบบที่มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

2.1.5 เทคโนโลยี Image-Based Identification System

ระบบการระบุด้วยภาพ (Image-Based Identification System) เป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ใช้ประมวลผลภาพเพื่อระบุยานพาหนะและวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆ อาทิเช่น สี, รูปทรง, และเครื่องหมายเฉพาะของยานพาหนะนั้นๆ ผ่านการใช้กล้องความละเอียดสูงและซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ภาพอย่างละเอียด ระบบนี้เริ่มต้นการทำงานโดยการติดตั้งกล้องในจุดที่สำคัญ เช่น บนทางหลวงหรือที่จอดรถ ซึ่งจะจับภาพยานพาหนะที่ผ่านเข้ามา ภาพที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังซอฟต์แวร์เพื่อประมวลผล โดยซอฟต์แวร์จะวิเคราะห์และระบุลักษณะสำคัญ เช่น ป้ายทะเบียน, สี, ประเภท, และโลโก้ของยี่ห้อรถ ซึ่งสามารถใช้ในการจัดการการจราจรหรือในงานบังคับใช้กฎหมาย ซอฟต์แวร์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพขั้นสูงพร้อมการผสานรวมกับเทคโนโลยี Machine Learning และ Computer Vision เพื่อเรียนรู้และรู้จำลักษณะเฉพาะของยานพาหนะและทำการยืนยันตัวตนด้วยฐานข้อมูลยานพาหนะ การใช้งานระบบนี้ช่วยให้สามารถระบุยานพาหนะต้องสงสัยได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมบนยานพาหนะ

ประโยชน์ของระบบนี้มีหลายอย่าง เช่น การช่วยเหลือในการบังคับใช้กฎหมาย, การจัดการจราจร, การรวบรวมข้อมูลเพื่อสนับสนุนการวางแผนโครงการ, การจัดการที่จอดรถ, และการเรียกเก็บค่าผ่านทางโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม มีความท้าทายที่ต้องเผชิญ เช่น คุณภาพของภาพที่อาจได้รับผลกระทบจากสภาพแสงหรืออากาศที่แปรปรวน ส่งผลต่อความแม่นยำของการประมวลผล นอกจากนี้ ยังมีปัญหาการถูกปิดบังของป้ายทะเบียนหรือสัญลักษณ์อื่นๆ ซึ่งอาจใช้เป็นวิธีหลีกเลี่ยงการตรวจจับ

ทิศทางการพัฒนาล่าสุดของเทคโนโลยีนี้คือการใช้ Deep Learning เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุยานพาหนะในสภาพแสงที่แตกต่างกันและยานพาหนะที่ได้รับความเสียหาย และการรวมข้อมูลภาพเข้ากับระบบระบุตัวตนอื่นๆ เพื่อการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมมากขึ้น ระบบการระบุด้วยภาพจึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการบังคับใช้กฎหมายและการจัดการจราจรที่ทันสมัย ช่วยให้สามารถระบุตัวตนยานพาหนะได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

2.1.6 เทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging) และ Radar (Radio Detection and Ranging)

เทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging) และ Radar (Radio Detection and Ranging) มีบทบาทสำคัญในการประมวลผลและวิเคราะห์ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบการขับขี่อัตโนมัติและการควบคุมการจราจร ทั้งสองเทคโนโลยีนี้ใช้คลื่นแสงและคลื่นวิทยุในการตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางอย่างแม่นยำ ซึ่งช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติของสภาพแวดล้อมโดยรอบได้อย่างละเอียด LiDAR ใช้แสงเลเซอร์ส่งออกไปยังวัตถุและวัดเวลาที่แสงสะท้อนกลับมาเพื่อระบุระยะทาง ด้วยการหมุนรอบทิศทางและสแกนสภาพแวดล้อม, LiDAR สามารถสร้างภาพสามมิติที่ครบถ้วนของพื้นที่ที่สแกน ทำให้มีประโยชน์ในการติดตามยานพาหนะและสร้างแผนที่แม่นยำสำหรับระบบนำทางและการขับขี่อัตโนมัติ ความสามารถนี้ช่วยให้ LiDAR ตรวจจับและวิเคราะห์รายละเอียดเฉพาะของวัตถุที่ห่างไกลได้ดี เช่น รถยนต์, คนเดินถนน, และสิ่งกีดขวาง

ในขณะเดียวกัน, Radar ใช้คลื่นวิทยุในการตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางและความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ เทคโนโลยีนี้มีความสามารถในการทำงานท่ามกลางสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ในฝนหรือหมอก และสามารถประมวลผลข้อมูลจากพื้นที่กว้างโดยใช้พลังงานน้อย ทำให้ Radar เหมาะสมกับการตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

LiDAR แม้จะมีประสิทธิภาพสูงแต่ก็มีข้อจำกัดเช่นต้นทุนการผลิตที่สูงและปัญหาการทำงานในสภาพแสงจ้าหรือฝนหนัก ในทางตรงกันข้าม Radar อาจพบปัญหาในการแยกแยะวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือวัตถุที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน Radar และ LiDAR ยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การปรับปรุงซอฟต์แวร์และเซ็นเซอร์ให้สามารถแยกแยะวัตถุที่มีความซับซ้อนได้ดีขึ้น และการรวมเข้ากับระบบอื่นๆเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุและติดตาม การใช้งาน LiDAR และ Radar นำไปสู่การสร้างระบบขับขี่ที่ปลอดภัยและประหยัดพลังงานมากขึ้น รวมทั้งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนารถยนต์อัตโนมัติและการจัดการจราจรที่มีประสิทธิภาพในอนาคต

2.2 การระบุตัวตนยานพาหนะด้วยวิธีการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

การระบุตัวตนยานพาหนะด้วยวิธีการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ หรือ ANPR (Automatic Number Plate Recognition) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กล้องและซอฟต์แวร์ในการจับภาพและรู้จำแผ่นป้ายทะเบียนของยานพาหนะเพื่อบันทึกข้อมูลและตรวจสอบกับฐานข้อมูลในการบังคับใช้กฎหมายหรือการบริหารจัดการจราจร โดยเทคโนโลยีที่ใช้และหลักการทำงานของระบบ ANPR ประกอบด้วยกล้องที่มีความละเอียดสูง เซ็นเซอร์แสงอินฟราเรด และซอฟต์แวร์ที่สามารถตรวจจับแผ่นป้ายทะเบียนได้ในเวลาจริง กล้องจะถูกติดตั้งที่จุดที่ต้องการ เช่น ทางหลวง จุดผ่านเข้าออก หรือที่จอดรถ เพื่อจับภาพยานพาหนะที่ผ่านในแต่ละตำแหน่ง ภาพที่ถูกจับจะถูกส่งไปยังซอฟต์แวร์ประมวลผลซึ่งใช้เทคนิคการรู้จำอักขระแบบออปติคอล (Optical Character Recognition หรือ OCR) เพื่อแยกแยะอักษรและตัวเลขบนแผ่นป้ายทะเบียน ซอฟต์แวร์จะวิเคราะห์รูปแบบของแผ่นป้ายทะเบียนตามกฎระเบียบที่กำหนดในแต่ละประเทศ และทำการรู้จำข้อมูลเหล่านั้น เมื่อแผ่นป้ายถูกระบุแล้ว ระบบสามารถนำข้อมูลไปตรวจสอบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เพื่อยืนยันตัวตนของยานพาหนะหรือค้นหารถที่เกี่ยวข้องกับอาชญากรรม การฝ่าฝืนกฎจราจร หรือการละเมิดกฎเกี่ยวกับการจอดรถ

โดยจุดแข็งของเทคโนโลยี ANPR จะได้เปรียบในเรื่องของความรวดเร็ว ระบบสามารถตรวจจับและรู้จำแผ่นป้ายทะเบียนได้ในเวลาจริง ทำให้สามารถดำเนินการตามกฎหมายได้ทันที เช่น การติดตามรถที่มีหมายจับหรือการออกค่าปรับอัตโนมัติสำหรับการฝ่าฝืนกฎจราจร อีกทั้งในด้านความแม่นยำ เนื่องจากซอฟต์แวร์ OCR มีความแม่นยำสูงในการรู้จำอักษรและตัวเลขบนแผ่นป้าย ทำให้การระบุยานพาหนะเป็นไปได้อย่างแม่นยำ และความสามารถในการเก็บข้อมูล เพราะระบบสามารถเก็บข้อมูลการผ่านเข้าออกของยานพาหนะเพื่อการวิเคราะห์แนวโน้มการเดินทางหรือการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถ

แต่ข้อด้อยของเทคโนโลยี ANPR ก็ยังมีข้อจำกัดของสภาพแสง ทำให้ความสามารถในการเรียนรู้และจดจำแผ่นป้ายทะเบียน อาจลดลงในสภาพแสงที่ไม่ดี เช่น ในตอนกลางคืนหรือเมื่อมีแสงจ้า

อีกทั้งด้านความสกปรกหรือการบิดเบือนตัวอักษรบนแผ่นป้ายทะเบียน ซึ่งหากแผ่นป้ายทะเบียนถูกปกคลุมด้วยฝุ่น โคลน หรือบิดเบือนรูปทรงอาจทำให้การเรียนรู้และจดจำแผ่นป้ายทะเบียนไม่แม่นยำ หรือการหลีกเลี่ยงการตรวจจับ ที่ผู้กระทำผิดอาจปกปิดหรือพยายามดัดแปลงแผ่นป้ายเพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับ และข้อความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัว เพราะการเก็บข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียนจำนวนมากอาจก่อให้เกิดความกังวลเรื่องความเป็นส่วนตัวของผู้ขับขี่

เทคโนโลยี ANPR ได้รับความนิยมในการนำไปใช้กับการบังคับใช้กฎหมายและการจัดการจราจร เนื่องจากความแม่นยำและความสามารถในการเก็บข้อมูลที่มีประโยชน์ในการวางแผนและการจัดการในหลายด้าน

2.2.1 แผ่นป้ายทะเบียนรถประเทศไทย

แผ่นป้ายทะเบียนรถในประเทศไทยมีความสำคัญอย่างยิ่งในการระบุและควบคุมยานพาหนะที่ใช้บนถนน ป้ายทะเบียนรถถูกจัดการและออกแบบโดยกรมการขนส่งทางบก (กรมขนส่งทางบก) และเป็นเอกสารหลักฐานที่ยืนยันการจดทะเบียนของยานพาหนะที่ถูกต้องตามกฎหมาย ป้ายทะเบียนมีการจัดหมวดหมู่ตามวัตถุประสงค์ใช้งานของยานพาหนะ เช่น รถบรรทุก รถยนต์ส่วนบุคคล และรถสาธารณะ โดยมีการตั้งระเบียบเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของการใช้งานยานพาหนะและการบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องได้ กรมขนส่งทางบกมีหน้าที่ในการออกแบบและควบคุมการผลิตป้ายทะเบียน การออกป้ายทะเบียนใหม่จะดำเนินการเมื่อมีการจดทะเบียนยานพาหนะใหม่หรือการโอนกรรมสิทธิ์ นอกจากนี้ยังมีการควบคุมการใช้ป้ายทะเบียนอย่างเข้มงวดเพื่อป้องกันการปลอมแปลงและการใช้งานป้ายทะเบียนอย่างผิดกฎหมาย

ในบริบทของระบบการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ANPR), ป้ายทะเบียนมีบทบาทสำคัญในการบังคับใช้กฎหมายและการจัดการจราจร ป้ายทะเบียนช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามความเคลื่อนไหวของรถที่เกี่ยวข้องกับการกระทำผิดกฎหมายหรือการละเมิดกฎจราจรได้อย่างรวดเร็ว ปัญหาที่พบบ่อยในระบบ ANPR ได้แก่ สภาพแผ่นป้ายที่เสื่อมสภาพหรือถูกปกคลุมด้วยฝุ่นและโคลน รวมถึงการดัดแปลงหรือปลอมแปลงป้ายทะเบียนเพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับ ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อความแม่นยำของระบบในการระบุตัวตนของยานพาหนะ การพัฒนาและควบคุมการใช้ป้ายทะเบียนอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญเพื่อให้ป้ายทะเบียนทำหน้าที่เป็นสัญลักษณ์ที่เชื่อถือได้ในการระบุตัวตนของยานพาหนะ นอกจากนี้ยังรวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการระบุและตรวจจับป้ายทะเบียนอย่างแม่นยำ ซึ่งรวมถึงการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นป้ายทะเบียนเองและการพัฒนาระบบการตรวจจับที่สามารถรับมือกับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

ป้ายทะเบียนในประเทศไทยมีการออกแบบที่หลากหลายตามประเภทของยานพาหนะ ซึ่งรวมถึงแผ่นป้ายที่มีสีต่างๆ ตามประเภทการใช้งาน รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก รถโดยสาร และรถจักรยานยนต์ มีแผ่นป้ายสีและลวดลายที่แตกต่างกันเพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถระบุได้ง่ายว่ารถคันนั้นๆ มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานอย่างไร ตัวอย่างเช่น รถยนต์ส่วนบุคคลอาจมีป้ายสีขาว ในขณะที่รถบรรทุกอาจใช้ป้ายสีเหลือง การจัดกลุ่มแผ่นป้ายทะเบียนเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยให้กระทรวงขนส่งทางบกของไทยสามารถจัดการกับปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นและปัญหาการจราจรที่

เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพฯ ซึ่งระบบการจัดการและควบคุมป้ายทะเบียนมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดปัญหาการจราจรและการละเมิดกฎหมาย

อนาคตของป้ายทะเบียนในประเทศไทยอาจพบกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีเพิ่มเติม เช่น การใช้ป้ายทะเบียนอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ตามความจำเป็นหรือการนำร่องยานพาหนะโดยสารอัตโนมัติที่อาจไม่ต้องการป้ายทะเบียนแบบดั้งเดิม การพัฒนาเหล่านี้จะต้องพิจารณาถึงความต้องการด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล พร้อมทั้งส่งเสริมให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในระบบการขนส่งทางบกของประเทศ

2.2.2 เทคโนโลยีกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน

เทคโนโลยีกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน (Automatic Number Plate Recognition หรือ ANPR) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงและอำนวยความสะดวกในหลายด้านของการจัดการการจราจรและการบังคับใช้กฎหมายในประเทศไทย ด้วยการใช้กล้องความละเอียดสูงร่วมกับซอฟต์แวร์ประมวลผลขั้นสูง ระบบนี้ช่วยให้สามารถระบุป้ายทะเบียนรถได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งหมายถึงการใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้ในการติดตามยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับการกระทำผิดกฎหมาย การจัดเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ และการวิเคราะห์และจัดการจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2.1 การใช้งานหลักของเทคโนโลยี ANPR ในประเทศไทย

การบังคับใช้กฎหมาย: หน่วยงานตำรวจใช้ระบบ ANPR เพื่อตรวจจับและติดตามยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับการกระทำผิดกฎหมาย ไม่ว่าจะเป็นรถที่ถูกขโมยหรือรถที่เกี่ยวข้องกับการกระทำผิดอื่นๆ ระบบนี้ทำงานโดยการติดตั้งกล้อง ANPR ตามจุดตรวจสอบยานพาหนะและจุดตัดสำคัญทางจราจร โดยกล้องจะบันทึกภาพป้ายทะเบียนและเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลรถที่หายไปหรือรถที่มีการรายงานเกี่ยวข้องกับคดีอาญา

การจัดเก็บค่าผ่านทาง: ระบบ ANPR ถูกนำมาใช้เพื่อจัดเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติบนทางด่วนและมอเตอร์เวย์ ระบบทำงานโดยการจับภาพป้ายทะเบียนของยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาและประมวลผลข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณค่าผ่านทาง ซึ่งช่วยลดการจราจรที่หนาแน่นและปรับปรุงการไหลของการจราจรบนทางด่วน

การจัดการจราจร: ระบบ ANPR ช่วยให้หน่วยงานการจราจรสามารถวิเคราะห์การไหลของจราจรและปรับปรุงระบบสัญญาณไฟจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยในการตรวจสอบและจัดการกับยานพาหนะที่มีประวัติการฝ่าฝืนกฎจราจรหรือไม่ชำระภาษีประจำปี

การควบคุมการเข้าถึงพื้นที่: ในพื้นที่ที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น ท่าเรือ, สนามบิน, หรือพื้นที่สำนักงาน ระบบ ANPR ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมการเข้าถึง โดยเฉพาะยานพาหนะที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่สามารถเข้าถึงได้ ซึ่งช่วยเพิ่มระดับความปลอดภัยและป้องกันการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต

2.2.2.2 แนวโน้มการพัฒนาของระบบ ANPR ในอนาคต

การปรับปรุงเทคโนโลยีให้มีความสามารถในการอ่านป้ายทะเบียนจากหลายประเทศ: ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ระบบ ANPR จะสามารถจำแนกและอ่าน

ป้ายทะเบียนจากหลายประเทศได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ระบบสามารถใช้งานได้มากขึ้นในสถานที่ที่มีการเคลื่อนย้ายยานพาหนะระหว่างประเทศ การรวมกับเทคโนโลยีการตรวจจับอื่นๆ: เทคโนโลยี ANPR อาจถูกรวมเข้ากับระบบตรวจจับใบหน้าหรือระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อเพิ่มความแม่นยำและความสามารถในการตรวจจับยานพาหนะและผู้โดยสารในสถานการณ์ต่างๆ

การปรับใช้ด้วยระบบยานพาหนะไร้คนขับ: ในอนาคต ANPR อาจใช้งานร่วมกับยานพาหนะไร้คนขับเพื่อตรวจสอบและจัดการการเดินทางอย่างอัตโนมัติ นำไปสู่การจัดการจราจรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและการลดการฝ่าฝืนกฎจราจร เทคโนโลยี ANPR จึงไม่เพียงแต่ช่วยปรับปรุงการจัดการจราจรและความปลอดภัยทางถนนเท่านั้น แต่ยังนำไปสู่การพัฒนาระบบขนส่งและการจัดการยานพาหนะในอนาคตที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำยิ่งขึ้น

2.2.3 การเชื่อมต่อและผลลัพธ์ข้อมูล

การเชื่อมต่อและการประมวลผลข้อมูลของกล้อง ANPR กับซอฟต์แวร์มีบทบาทสำคัญในการระบุตัวตนยานพาหนะอย่างแม่นยำ โดยระบบนี้มีการผสมผสานระหว่างกล้องความละเอียดสูง ซอฟต์แวร์ OCR และฐานข้อมูลดิจิทัลเพื่อให้สามารถติดตามยานพาหนะในเวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่การเชื่อมต่อกล้อง ANPR กับซอฟต์แวร์นั้น จะถูกแบ่งขั้นตอนการทำงานหลักๆ เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

การเก็บภาพกล้อง ANPR จะถูกตั้งค่าให้ตรวจจับภาพแผ่นป้ายทะเบียนของยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในกรอบมุมมอง กล้องความละเอียดสูงจะจับภาพอย่างรวดเร็วแม้ในขณะที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และยังสามารถทำงานได้ในสภาพแสงที่หลากหลาย รวมถึงในเวลากลางคืน

การส่งภาพไปยังซอฟต์แวร์ ภาพที่จับได้จะถูกส่งไปยังซอฟต์แวร์ OCR ผ่านการเชื่อมต่อแบบไร้สายหรือสายเคเบิล ซอฟต์แวร์ OCR จะทำการประมวลผลและแปลงข้อมูลภาพถ่ายแผ่นป้ายเป็นข้อความที่อ่านได้โดยมนุษย์ (ตัวเลขและตัวอักษร)

การตรวจสอบข้อมูล ข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียนที่ได้จะถูกเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลยานพาหนะที่มีอยู่ ฐานข้อมูลเหล่านี้อาจมาจากหน่วยงานราชการ ผู้ให้บริการทางด่วน หรือฐานข้อมูลของหน่วยงานรักษาความปลอดภัย ซอฟต์แวร์จะทำการตรวจสอบเพื่อค้นหาการจับคู่กับข้อมูลที่มีในฐานข้อมูล เช่น หมายเลขทะเบียนรถที่ถูกขโมย หรือยานพาหนะที่มีประวัติการฝ่าฝืนกฎจราจร

โดยผลลัพธ์จากการเชื่อมต่อกล้อง ANPR กับซอฟต์แวร์ จะสามารถทำการแจ้งเตือนอัตโนมัติ เมื่อระบบตรวจพบหมายเลขทะเบียนที่ตรงกับยานพาหนะที่ต้องการติดตามหรือที่มีประวัติการละเมิดกฎจราจร ระบบสามารถแจ้งเตือนไปยังเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องผ่านอุปกรณ์สื่อสารเพื่อให้ดำเนินการได้ทันที ทั้งยังสามารถสร้างรายงานที่แสดงข้อมูลยานพาหนะที่ผ่านจุดตรวจสอบหรือกล้องวงจรปิด ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการจราจร การตรวจสอบการเข้าถึงสถานที่ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดการจราจร และการบูรณาการกับระบบอื่นด้วยผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากระบบ ANPR สามารถนำไปผสานเข้ากับระบบการจัดการจราจร ระบบควบคุมความปลอดภัย หรือระบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน

2.3 การทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยโดย Nattachai และ Sitapa (2017) นำเสนอบทความเกี่ยวกับเทคนิคการจับคู่สตริงแบบประมาณที่มีน้ำหนัก ซึ่งออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาความไม่แม่นยำในการจดจำป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (License Plate Recognition หรือ LPR) ในสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะในกรณีที่มีการอ่านตัวอักษรผิดพลาดเพียงไม่กี่ตัว เทคนิคการจับคู่สตริงแบบนี้ถูกพัฒนาเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการจดจำตัวอักษรและตัวเลข ทีมวิจัยประเมินเทคนิคการจับคู่สตริงแบบประมาณที่มีอยู่หลายวิธี เพื่อค้นหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจับคู่ป้ายทะเบียน จากนั้นได้นำเสนอเทคนิคใหม่ที่รวมจุดแข็งของระยะทางแก้ไขทั่วไป (General Edit Distance หรือ GED) และ 2-Grams เข้าด้วยกันโดยใช้สูตรที่มีน้ำหนัก ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคนี้สามารถปรับปรุงความแม่นยำและค่าเรียกคืน (recall) ในการจับคู่ป้ายทะเบียนได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้น การวิจัยยังได้นำเสนอการใช้ confusion matrix สำหรับอักษรไทยเพื่อปรับปรุงการจับคู่ตัวอักษรที่คล้ายกันและยากต่อการจดจำในระบบ LPR เทคนิคนี้ช่วยปรับปรุงระบบ LPR ให้ระบุตัวตนยานพาหนะได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้นในสภาพแวดล้อมจริง ไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบเท่านั้น แต่ยังช่วยลดอัตราความผิดพลาดในการจับคู่ให้ต่ำลงอย่างมีประสิทธิผล ดังตารางที่ 2.1 การวิจัยของ Nattachai และ Sitapa (2017) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงเทคโนโลยี LPR ซึ่งมีประโยชน์โดยตรงต่อการบังคับใช้กฎหมายและการบริหารจัดการจราจรในพื้นที่ที่มีความซับซ้อน เช่น เมืองใหญ่หรือพื้นที่ที่มีการใช้งานระบบควบคุมการเข้าถึงที่ต้องการความแม่นยำสูง

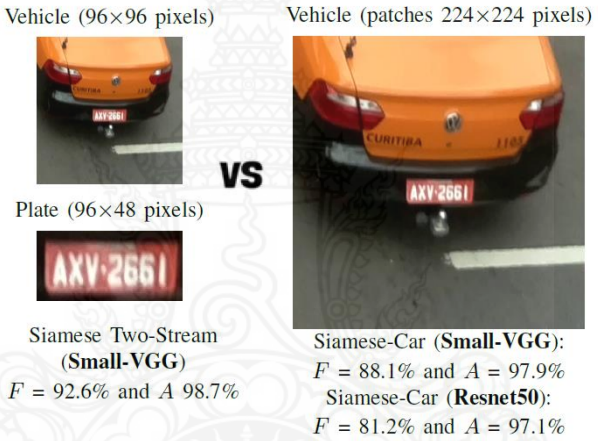
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจับคู่ตัวอักษร

Methods	Precision	Recall	F-measure
Edit Distance	0.9284	0.9047	0.9164
GED	0.9775	0.9186	0.9434
Damerau-Levenshtein	0.9586	0.9163	0.9370
Jaro	0.9553	0.8953	0.9244
Jaro Winkler	0.9551	0.8907	0.9218
Hamming	0.8325	0.7860	0.8086
1-Gram	0.8756	0.8186	0.8462
2-Grams	0.9730	0.9209	0.9462
3-Grams	0.9630	0.9070	0.9341
Our method	0.9850	0.9186	0.9507

Oliveira และคณะ (2019) นำเสนอบทความเกี่ยวกับการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ Two-Stream Siamese Neural Network สำหรับการระบุยานพาหนะซ้ำ (Vehicle Re-identification) โดยใช้กล้องที่มีมุมมองการมองเห็นไม่ซ้อนทับกัน ระบบนี้รวมคุณสมบัติของรูปทรง

ยานพาหนะและแผ่นป้ายทะเบียนเพื่อแก้ปัญหาการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดซึ่งเกิดจากความคล้ายคลึงกันของรูปแบบและรุ่นของยานพาหนะ

ในการทดลองบนวิดีโอที่มีความยาว 2 ชั่วโมง ซึ่งมียานพาหนะทั้งหมด 2,982 คันและใช้กล้องราคาประหยัด 2 ตัว ผลลัพธ์แสดงว่าเครือข่าย Two-Stream Siamese Neural Network ให้ค่า F-measure ที่ร้อยละ 92.6 และความแม่นยำที่ร้อยละ 98.7 ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งสูงกว่าเครือข่ายแบบ One-Stream แม้ว่าจะใช้คุณสมบัติภาพความละเอียดสูงกว่า ด้วยการผสมผสานคุณสมบัติของรูปทรงยานพาหนะและแผ่นป้ายทะเบียน เครือข่ายนี้สามารถระบุยานพาหนะได้อย่างแม่นยำและลดจำนวนการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบ Two-Stream Siamese Neural Network จึงพิสูจน์ได้ว่ามีประสิทธิภาพในการแยกแยะและระบุยานพาหนะซ้ำในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมการเข้าถึงและการจัดการจราจรที่ต้องการความแม่นยำสูง



ภาพที่ 2.1 การเปรียบเทียบการระบุตัวตนยานพาหนะด้วยวิธี Two-Stream Siamese และ Siamese-Car

Wang และคณะ (2019) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการระบุตัวตนยานพาหนะด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำคัญในระบบขนส่งอัจฉริยะที่มีความสำคัญต่อการสร้างเมืองอัจฉริยะ การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกทำให้การระบุตัวตนยานพาหนะมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ในบทความนี้ Wang และคณะสำรวจวิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการระบุตัวตนยานพาหนะ โดยแบ่งออกเป็น 5 แนวทางหลัก ดังนี้

Local Features: ใช้คุณสมบัติที่แตกต่างในแต่ละส่วนของยานพาหนะ เช่น รูปทรง, สี, และโลโก้ เพื่อจำแนกและระบุตัวตน

Representation Learning: ฝึกโมเดลให้รู้จักและแยกแยะยานพาหนะโดยการสร้างตัวแทนของคุณสมบัติที่สำคัญขึ้นมา

Metric Learning: สอนโมเดลให้เรียนรู้การวัดระยะห่างระหว่างยานพาหนะเพื่อหาความคล้ายคลึงระหว่างภาพที่จับได้

Unsupervised Learning: ใช้สำหรับข้อมูลที่ไม่มีป้ายกำกับโดยการใช้แบบจำลองการเรียนรู้ที่ไม่ต้องการข้อมูลฝึกที่ระบุแน่ชัด

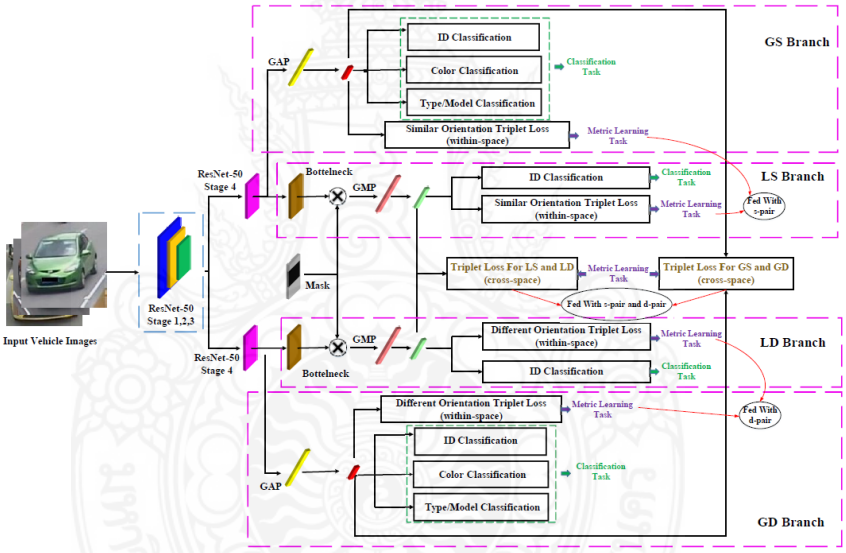
Attention Mechanism: ช่วยจับภาพส่วนที่สนใจของยานพาหนะเพื่อจับคู่ระบุตัวตนจากกล้องที่แตกต่างกัน

แม้ว่าการเรียนรู้เชิงลึกจะมีข้อจำกัดด้านความแปรปรวนของยานพาหนะ ขนาดของชุดข้อมูล และข้อมูลที่ไม่มีป้ายกำกับซึ่งทำให้การรวบรวมข้อมูลเป็นเรื่องยากและค่าใช้จ่ายสูง แต่วิธีการเหล่านี้ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น การใช้ Attention Mechanisms เพื่อระบุส่วนสำคัญของยานพาหนะ และการนำ Unsupervised Learning มาใช้ในการเรียนรู้โมเดลสำหรับข้อมูลที่ไม่มีป้ายกำกับ แนวทางเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มในอนาคตว่าประสิทธิภาพของการระบุตัวตนยานพาหนะด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกจะพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพและความแม่นยำในการระบุตัวตนยานพาหนะในระบบขนส่งอัจฉริยะ

งานวิจัยของ Hou และคณะ (2019) นำเสนอเทคนิคการเรียนรู้ลักษณะภาพลึกที่เรียกว่า Deep Quadruplet Appearance Learning (DQAL) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุยานพาหนะซ้ำในระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการแยกแยะยานพาหนะที่มีรูปร่างและสีคล้ายกันแต่มีป้ายทะเบียนต่างกัน แนวทาง DQAL ถูกสร้างขึ้นเพื่อเสริมสร้างการรับรู้และแยกแยะระหว่างยานพาหนะที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ผลลัพธ์จากการทดลองกับชุดข้อมูลยานพาหนะสาธารณะแสดงให้เห็นว่า DQAL มีความสามารถสูงกว่าวิธีการอื่นๆ ที่ใช้สำหรับการระบุยานพาหนะซ้ำ โดยช่วยสร้างความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างยานพาหนะที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้งาน DQAL ช่วยปรับปรุงการตัดสินใจและการประเมินในกรณีที่ยานพาหนะมีความคล้ายคลึงกันอย่างมาก ผลลัพธ์ที่ได้ดีกว่าวิธีการอื่นๆ ที่มีอยู่ ช่วยให้การระบุยานพาหนะซ้ำทำได้อย่างแม่นยำมากขึ้นในระบบขนส่งอัจฉริยะและสถานการณ์ที่ต้องการความถูกต้องสูง

Sosoo และคณะ (2019) นำเสนอผลงานวิจัยภายใต้โครงการของ National Science Foundation ที่พัฒนาการจดจำและจับคู่ป้ายทะเบียนโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) เป้าหมายของโครงการนี้คือการปรับปรุงระบบจราจรโดยเฉพาะด้านวิศวกรรมการจราจร ความท้าทายหลักของโครงการนี้มาจากความหลากหลายของรูปแบบป้ายทะเบียนในแต่ละรัฐของสหรัฐอเมริกาและปัญหาเรื่องความเป็นส่วนตัว ทางทีมวิจัยจึงใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การแบ่งส่วนตัวอักษร (Character Segmentation) และเครือข่ายประสาทเทียม เพื่อจัดการกับข้อบกพร่องที่เกิดจากเทคโนโลยีการจดจำป้ายทะเบียน ซึ่งมีขั้นตอนที่ใช้รวมถึง การแปลงภาพเป็นขาวดำ เพื่อช่วยให้การแบ่งส่วนตัวอักษรทำได้ง่ายขึ้น และการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) ทำให้ฐานข้อมูลที่ใช้ฝึกมีความหลากหลายและเพียงพอ โดยใช้วิธีการสุ่มหมุนภาพ การเพิ่มเสียงรบกวน และการปรับขนาดภาพ ด้วยการใช้วิธีการเหล่านี้ ฐานข้อมูลที่ใช้ในการฝึกเครือข่ายประสาทเทียมมีความหลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้โมเดลที่ได้สามารถจดจำตัวอักษรจากป้ายทะเบียนได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

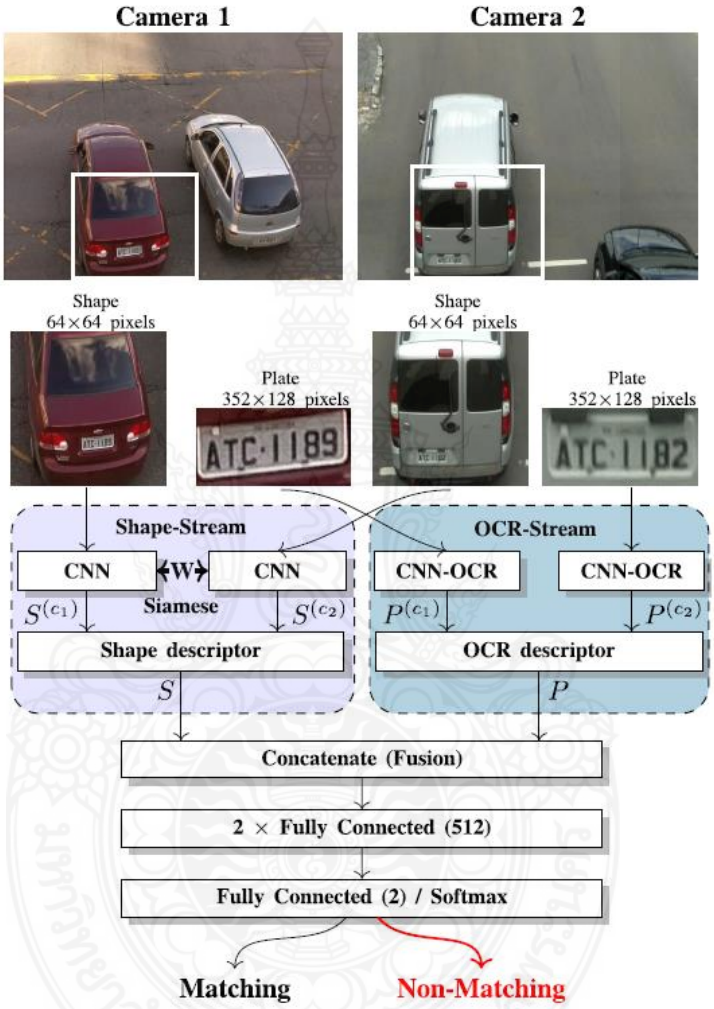
Sun และคณะ (2020) ได้นำเสนอวิธีการที่เรียกว่า multi-branch network based on common field of view (CFVMNet) เพื่อลดปัญหาในการจับคู่ป้ายทะเบียนของยานพาหนะคันเดียวกันที่ถ่ายจากกล้องหลายตัวในมุมมองที่แตกต่างกัน เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถระบุตัวตนยานพาหนะได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น โดยการประมวลผลคุณลักษณะของป้ายทะเบียนผ่านการประยุกต์ใช้ batch dropBlock network วิธี CFVMNet ได้รับการออกแบบมาเพื่อจัดการกับความท้าทายที่เกิดจากการถ่ายภาพป้ายทะเบียนในมุมที่แตกต่างกัน กล้องที่มีฟิลด์การมองเห็นไม่เหมือนกัน หรือการมีเงื่อนไขอื่น ๆ ที่อาจทำให้การระบุตัวตนเป็นไปได้ยาก การประมวลผลด้วย batch dropBlock network ช่วยลดผลกระทบจาก noise และลดความคล้ายคลึงกันระหว่างยานพาหนะที่ไม่ใช่คันเดียวกัน ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งผลการทดสอบกับชุดข้อมูล VeRi-776 และ VehicleID แสดงให้เห็นว่าวิธีการ CFVMNet มีประสิทธิภาพสูงในการระบุตัวตนยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจับคู่ป้ายทะเบียนจากกล้องหลายตัวหรือมุมที่เปลี่ยนแปลงไป วิธีการนี้ทำให้การจดจำและจับคู่ป้ายทะเบียนในระบบขนส่งอัจฉริยะสามารถทำได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างการทำงานของ Multi-branch Network Based on Common Field of View

Oliveira และคณะ (2021) พิจารณาถึงปัญหาในการระบุตัวตนยานพาหนะ โดยตระหนักว่าชุดข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันยังขาดปริมาณและความถูกต้องของข้อมูลรายละเอียด จึงนำเสนอชุดข้อมูลใหม่ชื่อว่า "Vehicle-Rear" ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้กับการระบุตัวตนยานพาหนะโดยใช้กล้องที่มีฟิลด์การมองเห็นไม่ซ้อนทับกัน นอกจากนี้ยังนำเสนอเครือข่ายประสาทเทียมสองสาย (Two-Stream Neural Network) ที่ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติที่ชัดเจนและคงทนที่สุดของยานพาหนะจากรูปลักษณ์และป้ายทะเบียน วัตถุประสงค์หลักของเครือข่ายนี้คือการแก้ปัญหาการแจ้งเตือนเท็จที่เกิดจากความคล้ายคลึงกันของการออกแบบหรือป้ายทะเบียนของยานพาหนะ ผลการทดลองแสดงว่าเครือข่ายสองสายนี้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสถาปัตยกรรม Convolutional Neural Network (CNN)

ดังภาพที่ 2.3 ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้คุณลักษณะเดียวหรือหลายคุณลักษณะในการระบุยานพาหนะ ชุดข้อมูล "Vehicle-Rear" และโมเดลที่ฝึกไว้ได้รับการเผยแพร่ให้เข้าถึงได้จากที่สาธารณะ เพื่อให้สามารถใช้งานและพัฒนาต่อยอดได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้จึงช่วยปรับปรุงความแม่นยำและประสิทธิภาพของการระบุตัวตนยานพาหนะ ลดจำนวนการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีการระบุตัวตนยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนวิธีการทำงานของ two-stream Siamese Neural Network

Xiong และคณะ (2021) ได้นำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการระบุยานพาหนะซ้ำ (Re-ID) ที่รวมการประมวลผลภาพและโมเดลการไหลของจราจร โดยเริ่มต้นจากการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network หรือ CNN) ในการตรวจจับยานพาหนะ การติดตาม และการรู้จำคุณสมบัติของยานพาหนะ คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น สี ประเภท ยี่ห้อ และคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการระบุยานพาหนะซ้ำถูกสกัดออกมาเพื่อสร้างเมทริกซ์ความคล้ายคลึงระหว่างยานพาหนะที่อยู่ด้านบนและด้านล่างสุดของโครงสร้างข้อมูล ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึง

ความแม่นยำปานกลางที่ประมาณร้อยละ 72.3 ในการระบุยานพาหนะซ้ำ เพื่อเพิ่มอัตราความแม่นยำในการระบุ Xiong และคณะจึงรวมข้อมูลภาพนิ่งกับโมเดลการตามรถ IDM (Intelligent Driver Model) ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รับความนิยม โดย IDM คาดการณ์หน้าต่างเวลาที่จะมาถึงของแต่ละยานพาหนะที่อยู่ด้านบน การผสมผสานเมทริกซ์ความคล้ายคลึงและเมทริกซ์กรองนี้ ช่วยให้กรอบการทำงาน Re-ID ใหม่สามารถปรับปรุงอัตราการจับคู่เป็นร้อยละ 95.7 นอกจากนี้ กรอบการทำงานที่เสนอสามารถระบุยานพาหนะที่อาจเปลี่ยนเลน แซงยานพาหนะอื่น หรือขับบนทางเบี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรอบการทำงานที่เสนอโดย Xiong และคณะนี้จึงแสดงให้เห็นถึงวิธีการที่ผสานทั้งการประมวลผลภาพและโมเดลการไหลของจราจร ซึ่งเป็นการนำเสนอแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการระบุยานพาหนะซ้ำในระบบขนส่งอัจฉริยะ

Liao และคณะ (2021) ได้เสนอวิธีการระบุยานพาหนะซ้ำ (Vehicle Re-Identification หรือ Re-ID) โดยใช้ลักษณะภาพในท้องถิ่นและข้อมูลเวลา พวกเขาเน้นการสกัดคุณลักษณะภาพที่แข็งแกร่งจากสองบริเวณที่สำคัญของยานพาหนะ ได้แก่ "หน้ารถ" และ "กระจกหน้ารถ" เพื่อให้ได้คุณลักษณะที่มีความชัดเจนและมีประสิทธิภาพในการระบุยานพาหนะ เทคนิคนี้ใช้เครือข่ายแบบคู่สาขา (Dual-Branch Network) ในการสกัดข้อมูลจากบริเวณเหล่านี้ ทำให้ได้ลักษณะภาพที่มีประสิทธิภาพสูงและความแม่นยำในการระบุยานพาหนะ นอกจากนี้ พวกเขายังออกแบบโมเดลค้นหาที่ใช้ข้อจำกัดด้านเวลาและพื้นที่ เพื่อช่วยในการวัดความคล้ายคลึงทั้งในแง่ของภาพและเวลาสำหรับยานพาหนะที่ต้องการเทียบกับคำถามที่ตั้งขึ้น การทดลองที่ใช้กับชุดข้อมูลยานพาหนะหลายชุดแสดงให้เห็นว่า การสกัดลักษณะภาพจากบริเวณท้องถิ่นทั้งสองประเภทนี้ร่วมกับโมเดลค้นหาที่ใช้ข้อจำกัดด้านเวลาและพื้นที่ มีประสิทธิภาพสูงในการช่วยปรับปรุงการระบุยานพาหนะซ้ำให้มีความแม่นยำและเสถียรมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ช่วยให้เทคโนโลยี Re-ID สามารถนำไปใช้ในระบบขนส่งอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการระบุตัวตนยานพาหนะที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันจากมุมมองที่แตกต่างกัน

Chumachenko และคณะ (2022) ได้พัฒนาวิธีการใหม่สำหรับการรู้จำรหัสประเทศจากภาพป้ายทะเบียนยานพาหนะ โดยใช้การตรวจจับตัวอักษรและการจัดกลุ่มข้อมูลหลังการประมวลผล นอกจากนี้ พวกเขายังได้เสนอเมตริก Edit Distance ที่ถูกน้ำหนัก ซึ่งสามารถใช้เพื่อทำนายประเทศต้นกำเนิดของป้ายทะเบียน แม้จะมีการตรวจจับที่ไม่สมบูรณ์ วิธีการนี้อาศัยการตรวจจับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงและการจัดกลุ่มตามหลัง โดยคำนึงถึงความมั่นใจในการตรวจจับ รวมถึงความสำคัญสัมพัทธ์ของการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรแต่ละตัว เมตริก Edit Distance ที่ถูกน้ำหนักนี้ช่วยให้ระบบสามารถประเมินและคำนวณความใกล้เคียงของตัวอักษรและตัวเลขที่ตรวจจับกับรหัสของประเทศต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ ผลจากการทดลองบนข้อมูลจริงแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอเป็นแนวทางที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีน้ำหนักเบาและทำงานได้โดยอิสระจากตัวตรวจจับวัตถุที่มีอยู่ สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ขอบข่าย (Edge Devices) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ทำให้การรู้จำรหัสประเทศจากภาพป้ายทะเบียนกลายเป็นกระบวนการที่ง่ายขึ้นและมีความ

แม่นยำสูงขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานในระบบขนส่งอัจฉริยะและการระบุยานพาหนะในระดับนานาชาติ

Shafi และคณะ (2022) ได้พัฒนาเทคนิคการจดจำและระบุป้ายทะเบียนรถที่มีความหลากหลายและไม่ได้เป็นมาตรฐาน โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างปากีสถาน ซึ่งการออกแบบป้ายทะเบียนอาจแตกต่างกันไปตามภูมิภาคและไม่มีมาตรฐานเดียวกัน ทีมวิจัยจึงใช้การจับคู่แบบรูปแบบประสาท (Neural Pattern Matching) เพื่อระบุตัวอักษรบนป้ายทะเบียนที่มีการออกแบบและรูปแบบที่แตกต่างกัน วิธีการนี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียมลึกที่มี 53 ชั้น ซึ่งพัฒนาจากแบบจำลองการตรวจจับวัตถุ YOLOv3 เพื่อให้สามารถเรียนรู้คุณลักษณะจากป้ายทะเบียนที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังมีการประมวลผลภาพล่วงหน้าเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลก่อนเข้าสู่เครือข่าย กระบวนการฝึกอบรมและการทดสอบของระบบนี้ช่วยให้สามารถตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียนด้วยความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 97.82 สำหรับการระบุป้ายทะเบียน และความแม่นยำร้อยละ 96 สำหรับการจดจำตัวอักษรที่ปรากฏบนป้ายทะเบียน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำเทคนิคนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การติดตามยานพาหนะ, การจัดเก็บค่าจอดรถ, การตรวจจับการขับขี่ด้วยความเร็วเกินขีดจำกัด, การลดอุบัติเหตุบนท้องถนน, และการระบุตัวตนของยานพาหนะที่ไม่ได้รับอนุญาต

Umair Sadiq และคณะ (2023) ได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่สตริงแบบประมาณ (Approximate String Matching, ASM) ที่มีประสิทธิภาพทั้งในแง่ของการจัดการข้อมูลและการใช้พื้นที่ โดยอัลกอริทึมนี้สามารถประหยัดพื้นที่เก็บข้อมูลได้อย่างมาก ในขณะที่ยังรักษาความซับซ้อนด้านเวลาของวิธีการดั้งเดิมที่ใช้การโปรแกรมแบบไดนามิก (Dynamic Programming) ไว้ได้ ในกระบวนการจับคู่สตริงนี้ อัลกอริทึมจะไม่ละเว้นการจับคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในข้อความที่กำหนด ทำให้มั่นใจว่าไม่พลาดตัวเลือกใดๆ ที่เหมาะสม วิธีนี้ปรับปรุงจากการใช้ตารางย้อนกลับที่สมบูรณ์มาเป็นการจัดเก็บเฉพาะการนับการดำเนินการแก้ไขที่เกิดขึ้นจริงเท่านั้น จึงลดพื้นที่ที่ต้องใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การทดลองที่ใช้ GPU ที่เปิดใช้งาน CUDA แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงนี้ทำให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพและความสามารถในการปรับขนาดที่เหนือกว่าอัลกอริทึมล่าสุดที่มีอยู่ในปัจจุบัน ส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการการประมวลผลข้อมูลที่มีความแม่นยำและความเร็วสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

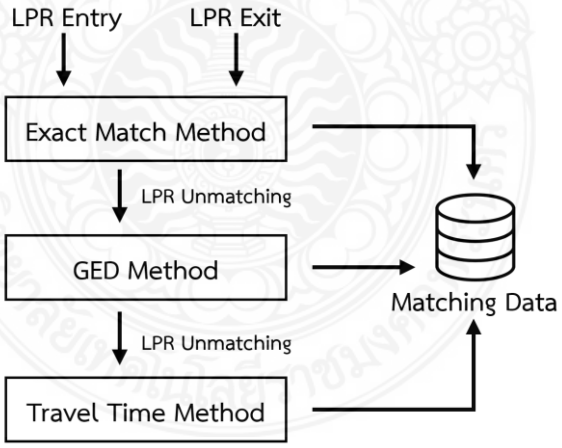
วิธีดำเนินการ

3.1 การจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสาน (Hybrid Method)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบกระบวนการจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสาน (Hybrid Method) โดยนำวิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันมาปรับใช้และปรับปรุงกระบวนการให้สามารถระบุตัวตนและติดตามยานพาหนะได้อย่างแม่นยำขึ้น ภายใต้เงื่อนไขที่มีการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของตัวอักษรที่อาจคลาดเคลื่อน ร่วมกับการใช้ระยะเวลาเดินทางและสถิติการเดินทางของรายการปกติที่สามารถจับคู่ได้ กระบวนการจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

ขั้นตอนการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีปกติ การจับคู่ในขั้นตอนนี้ใช้ระบบ ANPR เพื่อระบุหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนของยานพาหนะในกรณีที่ไม่มีปัญหาความคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดของตัวอักษร ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปตรวจสอบกับฐานข้อมูลและสถิติการเดินทางที่บันทึกไว้แล้วในระบบ เพื่อให้สามารถระบุตัวตนของยานพาหนะได้อย่างแม่นยำ

ขั้นตอนการจับคู่โดยการชดเชยตัวอักษรและตารางความน่าจะเป็น สำหรับกรณีที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดในการอ่านตัวอักษรของหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียน ระบบจะใช้วิธีการชดเชยตัวอักษรโดยเทียบกับตารางความน่าจะเป็นของอักขระที่มักถูกอ่านผิด เพื่อแก้ไขและจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่คาดว่าน่าจะเป็นไปได้มากที่สุด วิธีนี้จะเพิ่มโอกาสในการจับคู่ที่ถูกต้องสำหรับป้ายทะเบียนที่ถูกอ่านผิดเล็กน้อย



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสานวิธีการ

ขั้นตอนการจับคู่โดยใช้ระยะเวลาในการเดินทางเทียบกับรายการปกติ ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะมาใช้เทียบกับสถิติการเดินทางของรายการปกติ หากหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่จับคู่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้าอยู่ในกรอบเวลาที่ตรงกับสถิติการเดินทาง

ของรายการปกติ ก็จะช่วยยืนยันว่าเป็นยานพาหนะที่ถูกต้องตามหมายเลขนั้น ๆ ขั้นตอนนี้เป็นการยืนยันเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการระบุตัวตนยานพาหนะ

รูปแบบการทำงานของกระบวนการดังกล่าวช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตัวตนและติดตามเส้นทางการเดินทางของยานพาหนะ ลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากความคลาดเคลื่อนในการอ่านแผ่นป้ายทะเบียน และสนับสนุนการบริหารจัดการการจราจรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังภาพที่ 3.1

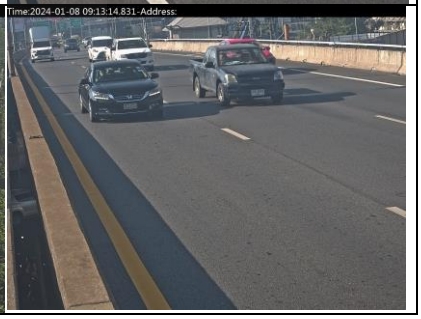
3.2 การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีทุกตัวอักษร (Exact Matching)

การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีทุกตัวอักษรเป็นการค้นหาและจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรงกันระหว่างข้อมูลทางเข้า (Entry) และข้อมูลทางออก (Exit) โดยใช้เงื่อนไขหลักสามข้อเพื่อให้มั่นใจได้ว่าหมายเลขที่จับคู่นั้นถูกต้องและตรงกันในทุกตัวอักษรดังตารางที่ 3.1 การตรงกันของทุกตัวอักษร หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนทุกตัวอักษรต้องตรงกันระหว่างข้อมูลทางเข้าและทางออก

ระยะเวลาในการเดินทาง ระยะเวลาในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นที่ตรวจสอบ (Entry Point) จนถึงจุดสิ้นสุดที่ตรวจสอบ (Exit Point) จะต้องอยู่ในช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่กำหนด ไม่ควรเกินกว่ากำหนดเพื่อความแม่นยำในการจับคู่

การจัดการหลายหมายเลขในเส้นทางเดียวกัน หากพบหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนมากกว่าหนึ่งหมายเลขในการเดินทางเดียวกัน ควรเลือกจับคู่กับตำแหน่งที่มีระยะเวลาเดินทางออกใกล้เคียงกับเวลาเดินทางเข้ามากที่สุด และหากระยะเวลาเดินทางเท่ากัน ควรจับคู่กับตำแหน่งที่มีระยะทางเดินทางใกล้ที่สุด กระบวนการนี้ช่วยให้การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และลดความเสี่ยงของการจับคู่ผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนหรือความไม่แน่นอนของข้อมูล

ตารางที่ 3.1 รถที่สามารถจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนได้จากกรณีตัวอักษรตรงกันทุกตัวอักษร

ข้อมูลจริง	ข้อมูลกล้อง	ต้นทาง	ปลายทาง
4ขถ2674	4ขถ2674		
บฉ4572	บฉ4572		

ตารางที่ 3.1 รถที่สามารถจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนได้จากกรณีตัวอักษรตรงกันทุกตัวอักษร (ต่อ)

ข้อมูลจริง	ข้อมูลกล้อง	ต้นทาง	ปลายทาง
วจ200	วจ200		
9กก8795	9กก8795		
9กท1295	9กท1295		
3กง2331	3กง2331		
1กญ6008	1กญ6008		

```python
import pandas as pd

# อ่านข้อมูลจากไฟล์ CSV
df = pd.read_csv('data_20240108.csv')

# สร้าง dictionary เพื่อเก็บข้อมูลคู่ O-D
pairs_dict = {}

# วนลูปผ่านแถวของ DataFrame
for index, row in df.iterrows():
    # ดึงข้อมูลจากแถว
    tb_plate = row['tb_plate']
    tb_datetime = row['tb_datetime']
    tb_lanenumber = row['tb_lanenumber']

    # หากหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนยังไม่อยู่ใน dictionary
    if tb_plate not in pairs_dict:
        pairs_dict[tb_plate] = {'tb_datetime_O': tb_datetime, 'tb_lanenumber_O': tb_l
    else:
        # ตรวจสอบว่าเวลาและหมายเลขเลนต่างกับรายการที่บันทึกอยู่แล้วหรือไม่
        if tb_datetime != pairs_dict[tb_plate]['tb_datetime_O'] and tb_lanenumber !=
            pairs_dict[tb_plate]['tb_datetime_D'] = tb_datetime
            pairs_dict[tb_plate]['tb_lanenumber_D'] = tb_lanenumber

# สร้าง DataFrame ใหม่จาก pairs_dict และสลับแถว/คอลัมน์เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่ต้องการ
new_df = pd.DataFrame(pairs_dict).T

# บันทึก DataFrame ใหม่ลงไฟล์ CSV
new_df.to_csv('data_20240108_OD.csv', index=False)
```

ภาพที่ 3.2 ชุดคำสั่ง Python ในการดึงข้อมูลหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนจาก Database ของระบบ

ขั้นตอนการทำงาน เริ่มจากเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลออกมาเก็บไว้ในรูปแบบไฟล์อย่างใดอย่างหนึ่งสำหรับงานนี้นำข้อมูลมาเก็บในไฟล์ CSV แล้วนำมาหาคู่ O-D โดยการเชื่อมโยงข้อมูลรถยนต์ที่มีเลขทะเบียน (tb_plate) เดียวกัน และเก็บข้อมูลเวลาและเลขเลนของการเข้าและการออกของรถยนต์นั้นใน dictionary pairs_dict หลังจากนั้นจะสร้าง DataFrame ใหม่จาก dictionary นี้และบันทึกเป็นไฟล์ CSV ใหม่เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ดังภาพที่ 3.2 มีขั้นตอนรายละเอียดการจับคู่ป้ายทะเบียนเพื่อหาคู่ O-D ดังต่อไปนี้

1. อ่านข้อมูลจากไฟล์ CSV เริ่มด้วยการอ่านข้อมูลจากไฟล์ CSV เข้าสู่ DataFrame โดยใช้ฟังก์ชัน pd.read_csv() จาก pandas library ดังภาพที่ 3.3

```python
import pandas as pd
df = pd.read_csv('data_20240108.csv')
```

ภาพที่ 3.3 ชุดคำสั่ง Python บันทึก CSV ในชื่อไฟล์ 'data_20240108.csv'

2. สร้าง dictionary เพื่อเก็บข้อมูลจับคู่ O-D สร้าง dictionary pairs_dict เพื่อใช้เก็บข้อมูลยานพาหนะที่ผ่านกล้องมากกว่าหนึ่งครั้ง จากนั้นใช้ลูป for index, row in df.iterrows() เพื่อวนลูปทุกแถวใน DataFrame และตรวจสอบข้อมูลที่มีอยู่ ตามโครงสร้างข้อมูลของข้อมูลแต่ละแถวจะประกอบด้วยเลขทะเบียน (tb_plate), เวลา (tb_datetime), และเลขเลน (tb_lanenumber) ที่บ่งบอกถึงการผ่านกล้อง และทำการตรวจสอบหมายเลขทะเบียน หากหมายเลขทะเบียนนั้นยังไม่เคยบันทึกใน dictionary pairs_dict จะทำการเพิ่มข้อมูลยานพาหนะนี้เข้าไป และทำการจับคู่ O-D หากหมายเลขทะเบียนที่มีอยู่แล้วถูกบันทึกเข้ามาอีกครั้ง จะตรวจสอบว่าเวลาและเลขเลนต่างกับข้อมูลที่บันทึกไว้หรือไม่ หากต่างจะถือเป็นการเดินทางกลับ (destination) และทำการเพิ่มข้อมูลนี้ลงใน dictionary ดังภาพที่ 3.4

```python
pairs_dict = {}
for index, row in df.iterrows():
    plate = row['tb_plate']
    timestamp = row['tb_datetime']
    lane_number = row['tb_lanenumber']

    if plate not in pairs_dict:
        pairs_dict[plate] = {'entry_time': timestamp, 'entry_lane': lane_number}
    else:
        pairs_dict[plate]['exit_time'] = timestamp
        pairs_dict[plate]['exit_lane'] = lane_number
```

ภาพที่ 3.4 ชุดคำสั่ง Python ในการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนรถที่ตรงกันทุกตัวอักษร

3.สร้าง DataFrame ใหม่หลังจากที่รวบรวมข้อมูลใน dictionary แล้ว สร้าง DataFrame ใหม่ new_df จาก pairs_dict โดยใช้ pd.DataFrame(pairs_dict).T เพื่อแปลงให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ ดังภาพที่ 3.5

```python
new_df = pd.DataFrame(pairs_dict).T
```

ภาพที่ 3.5 ชุดคำสั่ง Python ในการปรับรูปแบบข้อมูลก่อนการนำไปใช้งาน

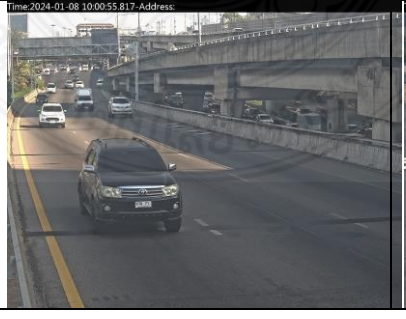
4.บันทึก DataFrame เป็นไฟล์ CSV จากข้อมูลที่ได้ DataFrame ใหม่ที่มีข้อมูล O-D พร้อมแล้ว ทำการบันทึกลงไฟล์ CSV ใหม่ด้วยฟังก์ชัน to_csv() โดยที่ 'data_20240108_OD.csv' เป็นชื่อไฟล์ CSV ที่ต้องการบันทึก และ index=False คือการไม่บันทึก index ของ DataFrame ลงในไฟล์ สำหรับการจัดทำสรุปต้นทางและปลายทางในการเดินทางของรถคันนั้น ๆ

ด้วยกระบวนการเหล่านี้ จะสามารถจับคู่ข้อมูลยานพาหนะในการเดินทางไปและกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมให้ใช้งานในงานวิเคราะห์ต่อไป

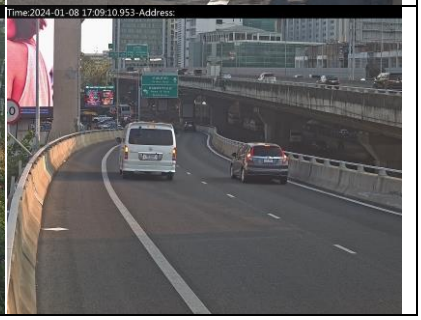
3.3 การจับคู่โดยการชดเชยตัวอักษรและตารางความน่าจะเป็น

หลังจากการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีรูปแบบตรงกันทุกตัวอักษรในขั้นตอนแรกแล้ว จะต้องตรวจสอบหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีความใกล้เคียงกัน โดยใช้ตารางความเป็นไปได้ (Probability Character Matrix) เพื่อจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยแต่ยังคงมีความใกล้เคียงกันในระดับที่ยอมรับได้ การสร้างและการวิเคราะห์ Confusion Matrix ช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการจับคู่ป้ายทะเบียน และวิเคราะห์ว่าตัวอักษรหรือหมายเลขใดที่มีโอกาสถูกอ่านผิดบ่อยที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยในการพัฒนาระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติให้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รถที่กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอ่านตัวอักษรคลาดเคลื่อนบางส่วน

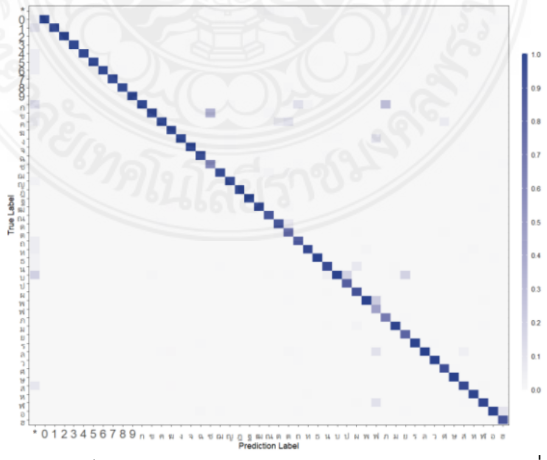
ข้อมูลจริง	ข้อมูลกล้อง	ต้นทาง	ปลายทาง
1ขฉ59	1ชฉ59		
9กน71	9ภน71		

ตารางที่ 3.2 รถที่กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอ่านตัวอักษรคลาดเคลื่อนบางส่วน (ต่อ)

ข้อมูลจริง	ข้อมูลกล้อง	ต้นทาง	ปลายทาง
มฎ4840	ฆฎ4840		
1ขน8113	1ชน8113		
1ฒส4961	1ฒศ4961		
2ฒฉ3991	2ฒฉ3994		
8กม658	8ภม658		

3.3.1 ตารางความเป็นไปได้ (Probability Character Matrix)

ตารางความเป็นไปได้ (Probability Character Matrix) ใช้แสดงโอกาสที่ตัวอักษรหรือหมายเลขจะถูกตรวจจับผิดและแทนด้วยตัวอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน ตารางนี้สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ระบบอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ALPR) บันทึกไว้ โดยจะเทียบผลการอ่านป้ายทะเบียนจริงกับผลที่ระบบทำนายออกมาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างตารางประกอบด้วยแถวและคอลัมน์ที่แสดงตัวอักษรและหมายเลขทั้งหมดที่ใช้ในแผ่นป้ายทะเบียน แต่ละเซลล์ภายในตารางจะแสดงค่าความน่าจะเป็น ซึ่งแสดงโอกาสที่ตัวอักษรจากแถวหนึ่งจะถูกอ่านผิดเป็นตัวอักษรในคอลัมน์ที่เกี่ยวข้อง ค่าความน่าจะเป็นนี้มีตั้งแต่ 0 (โอกาสเป็นไปไม่ได้เลย) ไปจนถึง 1 (โอกาสสูงสุด) ข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และระบุได้ว่าตัวอักษรใดมีโอกาสที่จะถูกตรวจจับผิดบ่อยที่สุด เนื่องจากความคล้ายกันในลักษณะรูปร่างหรือการบิดเบือนจากปัจจัยแวดล้อม เช่น สภาพแสงหรือความเร็วของยานพาหนะ การใช้ตารางนี้ช่วยระบุความเป็นไปได้ที่ตัวอักษรหรือหมายเลขใดจะถูกอ่านผิด จึงเป็นแนวทางในการชดเชยข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย แต่ยังคงมีความใกล้เคียงกับหมายเลขที่ถูกต้อง การใช้ตารางนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบและจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น ลดความคลาดเคลื่อนในการระบุตัวตนของยานพาหนะ ทำให้ระบบ ALPR มีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น โดยจะทำการกำหนดเงื่อนไขการจับคู่ที่ยอมรับได้ ด้วยหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรวจสอบต้องมีจำนวนตัวอักษรที่เท่ากัน และต้องตรวจสอบระยะเวลาในการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางที่ระบุ เพื่อให้แน่ใจว่าป้ายทะเบียนที่มีความคลาดเคลื่อนนั้นอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการจับคู่ ซึ่งในขั้นตอนทำการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียน จะนำหมายเลขที่ได้รับการอ่านจากกล้องตรวจจับมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับหมายเลขที่ตรวจพบจากตารางความเป็นไปได้ เพื่อจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีความใกล้เคียงกันโดยพิจารณาว่าตัวอักษรใดมีโอกาสถูกอ่านผิดและแทนด้วยตัวอักษรอื่น และมีการยืนยันการจับคู่ว่าหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนใดมีความคลาดเคลื่อนและสามารถจับคู่ได้ตามตารางความเป็นไปได้แล้ว ให้ใช้ระยะเวลาในการเดินทางเป็นตัวกรองขั้นสุดท้ายเพื่อยืนยันการจับคู่ว่ายานพาหนะนี้คือคันเดียวกัน ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แผนภาพความเป็นไปได้ของตัวเลขและตัวอักษรภาษาไทยที่มีความคล้ายคลึงกัน

3.3.2 การสร้างและวิเคราะห์ Confuse Matrix

การสร้างและการวิเคราะห์ Confusion Matrix สำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทยเป็นกระบวนการที่คล้ายคลึงกับการทำงานกับป้ายทะเบียนภาษาอังกฤษหรือภาษาอื่น ๆ แต่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากลักษณะของตัวอักษรภาษาไทยที่มีความหลากหลายและมีรูปทรงที่คล้ายกันมากหลายตัว ตัวอย่างเช่น "พ" กับ "ฟ" หรือ "บ" กับ "ป" ดังภาพที่ 3.7 ซึ่งสามารถนำไปสู่ความผิดพลาดในการจำแนกประเภทได้ง่าย นี่คือขั้นตอนในการสร้างและวิเคราะห์ Confusion Matrix สำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทย

1. การเตรียมข้อมูลประกอบด้วยการรวบรวมชุดข้อมูลป้ายทะเบียนภาษาไทยที่มีทั้งข้อมูลจริง (ground truth) และข้อมูลที่ระบบอ่านออกมา (predicted data) จากกล้องหรือระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ รวมทั้งต้องมีการทำความสะอาดข้อมูลและการจัดรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

2. การสร้าง Confusion Matrix โดยจะทำการสร้างตารางที่แถวแทนตัวอักษรจริง (True Labels) และคอลัมน์แทนตัวอักษรที่ระบบทำนาย (Predicted Labels) ซึ่งแต่ละเซลในตารางจะมีค่าเป็นจำนวนครั้งที่ตัวอักษรนั้นถูกทำนายไปยังตัวอักษรอื่น

3. การกรอกข้อมูลลงใน Confusion Matrix โดยการเพิ่มข้อมูลลงในตารางโดยนับจำนวนครั้งที่แต่ละตัวอักษรถูกทำนายว่าเป็นตัวอักษรอื่นๆ และจำนวนครั้งที่ถูกทำนายอย่างถูกต้อง

4. การวิเคราะห์ Confusion Matrix จากตารางเพื่อหาตัวอักษรที่มีอัตราการถูกทำนายผิดสูง ซึ่งจะช่วยให้เห็นถึงตัวอักษรที่ต้องการการปรับปรุงและการฝึกอบรมเพิ่มเติมให้กับระบบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบโดยการคำนวณค่าความแม่นยำ (accuracy), ความไว (recall), และความจำเพาะ (precision) ตามตารางที่ได้

5. การนำข้อมูลไปปรับปรุงระบบ ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงอัลกอริธึมและการฝึกฝนระบบอ่านป้ายทะเบียน เพื่อลดจำนวนความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำในการอ่านป้ายทะเบียนภาษาไทยในอนาคต

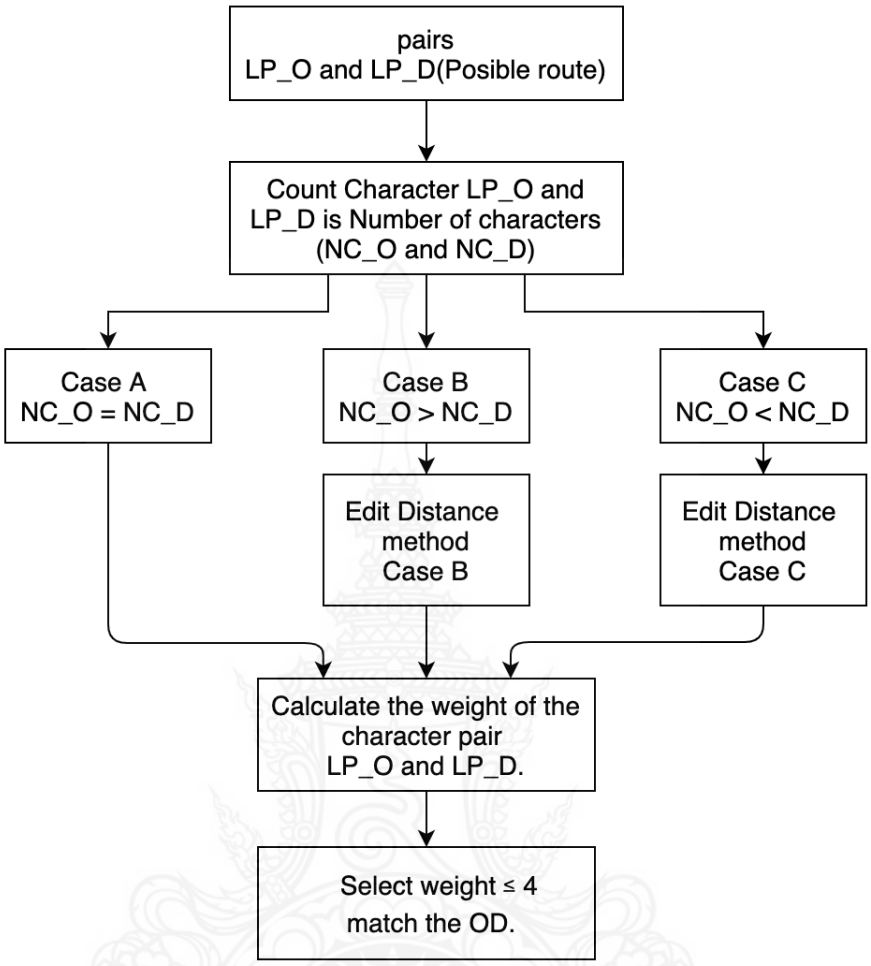
การสร้างและวิเคราะห์ Confusion Matrix นับเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการจดจำอัตโนมัติ เพื่อให้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำที่ดีขึ้นในการใช้งานจริง

ภ ก ช ข ฟ พ

ภาพที่ 3.7 ตัวอักษรที่ระบบอ่านป้ายทะเบียนมักจะอ่านผิด

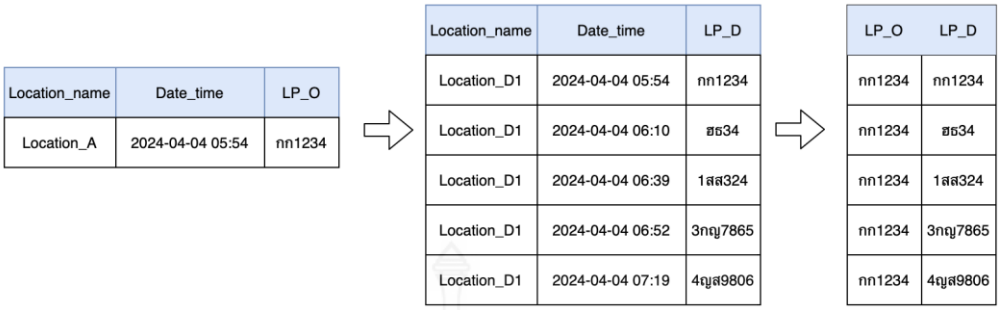
3.3.3 การทำงานการจับคู่โดยใช้เทคนิค Confuse Matrix

เริ่มจากเรียกข้อมูลป้ายทะเบียนต้นทาง (Origin) และป้ายทะเบียนปลายทาง (Distination) ของเส้นทางที่เป็นไปได้ (Posible route) นำมาสร้างตารางแบบกระจายกล่าวคือป้ายทะเบียนต้นทางหนึ่งป้ายทะเบียนสามารถจับคู่กับป้ายทะเบียนปลายทางที่เหลือของเส้นทางที่เป็นไปได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานการจับคู่โดยใช้เทคนิค Confuse Matrix

ในขั้นตอนต่อมาจะเป็นการนับจำนวนอักขระของป้ายทะเบียนทั้งป้ายทะเบียนต้นทางและนับจำนวนอักขระป้ายทะเบียนปลายทางเก็บไว้ในตัวแปร NC_O และ NC_D เมื่อนับจำนวนอักขระของป้ายทะเบียนทั้งต้นทางและปลายทางแล้วขั้นตอนต่อมาทำการเพิ่มอักขระให้มีจำนวนเท่ากันโดยมีเงื่อนไขคือในกรณีที่ A (case a) ถ้าอักขระต้นทางและอักขระป้ายทะเบียนปลายทางมีจำนวนเท่ากันไม่จำเป็นต้องเพิ่มอักขระให้เท่ากันใน case b อักขระของป้ายทะเบียนต้นทางมีจำนวนมากกว่าป้ายทะเบียนจำนวนปลายทางให้ทำการเพิ่มอักขระให้เท่ากันหรือเรียกว่า edit Edit Distance Method Case B ในกรณีที่สามหรือ case c อักขระป้ายทะเบียนต้นทางมีจำนวนน้อยกว่าอักขระป้ายทะเบียนปลายทางให้ทำการใช้ วิธีการเช่นเดียวกันก็คือ edit Edit Distance Method Case C เมื่อสร้างให้จำนวนอักขระมีจำนวนเท่ากันแล้วทั้งต้นทางและปลายทางจะทำการ คำนวณหาน้ำหนัก (Weight) ของคู่อักขระนั้นโดยให้จับคู่กันในทุกๆ อักขระจะได้เป็นค่าน้ำหนัก ในขั้นตอนต่อมาจะรวมค่าน้ำหนักทั้งหมดและเลือกค่าน้ำหนักที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับสี่เพื่อเป็นคู่ OD ที่ถูกต้องดังภาพที่ 3.9



Location_name	Date_time	LP_O
Location_A	2024-04-04 05:54	กก1234

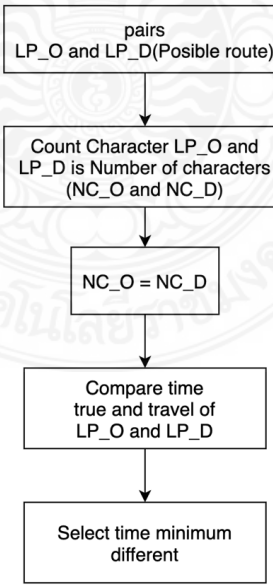
Location_name	Date_time	LP_D
Location_D1	2024-04-04 05:54	กก1234
Location_D1	2024-04-04 06:10	ฮธ34
Location_D1	2024-04-04 06:39	1สส324
Location_D1	2024-04-04 06:52	3กญ7865
Location_D1	2024-04-04 07:19	4ญส9806

LP_O	LP_D
กก1234	กก1234
กก1234	ฮธ34
กก1234	1สส324
กก1234	3กญ7865
กก1234	4ญส9806

ภาพที่ 3.9 การจัดเรียงป้ายทะเบียนต้นทางและป้ายทะเบียนปลายทางสำหรับการจับคู่

3.4 การจับคู่โดยระยะเวลาในการเดินทางเทียบรายการปกติ

เมื่อการจับคู่ป้ายทะเบียนจุดต้นทางและป้ายทะเบียนจุดปลายทางด้วยเทคนิคก่อนหน้านี้ได้เป็นที่เรียบร้อยแล้วอาจจะยังมีป้ายทะเบียนที่ยังเหลือจากเทคนิคทั้งสองดังในตารางที่ 3.3 ในส่วนของวิธีที่สามนี้คือการจับคู่ป้ายทะเบียนต้นทางกับป้ายทะเบียนที่ด่านปลายทางด้วยระยะเวลา โดยมีแนวคิดที่ว่าป้ายทะเบียนที่จะจับคู่นั้น จะต้องมีจำนวนอักขระป้ายทะเบียนเท่ากันเสียก่อน แล้วจึงนำป้ายทะเบียนจุดต้นทางและป้ายทะเบียนปลายทางนำมาหาเวลาเดินทางโดยเทียบกับระยะเวลาเดินทางเฉลี่ยของระยะทางจากด่านต้นทางไปยังด่านปลายทางของคู่ O-D นั้น หากป้ายทะเบียนใดมีระยะเวลาการเดินทางจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางโดยใช้เวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาการเดินทางเฉลี่ยจริงสันนิษฐานได้ว่าป้ายทะเบียนทั้งสองนั้นคือรถคันเดียวกันจากภาพที่ 3.10 เริ่มต้นด้วยการนำไปทะเบียนจับคู่ด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้ ขั้นตอนต่อมาคือการนับจำนวนอักขระของป้ายทะเบียนไว้ในตัวแปร NC_O และ NC_D แล้วทำการตรวจสอบว่าตัวแปร NC_O และ NC_D มีจำนวนอักขระเท่ากันหรือไม่จึงนำมาเปรียบเทียบเวลาการเดินทางจริงและ เวลาการเดินทางเฉลี่ยของคู่นั้นเลือกคู่ O-D ที่มีระยะเวลาการเดินทางต่างจากเวลาจริงน้อยที่สุดมาเป็นเลือกคู่ O-D ในผลสุดท้าย



ภาพที่ 3.10 วิธีการจับคู่ป้ายทะเบียนด้วยระยะเวลา

ตารางที่ 3.3 รถที่ไม่สามารถจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนได้จากกรณีตัวอักษรตรงไม่ตรงกันหลายตัว

ข้อมูลจริง	ข้อมูลกล้อง	ต้นทาง	ปลายทาง
ฒศ845	มค845		
9กพ8821	9ภฟ8824		
1ขค1592	4ชศ4592		
6กต7789	6ภด7189		
บ1931	ป4981		

ตารางที่ 3.3 รถที่ไม่สามารถจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนไจากกรณีตัวอักษรตรงไม่ตรงกันหลายตัว (ต่อ)

ข้อมูลจริง	ข้อมูลกล้อง	ต้นทาง	ปลายทาง
ผบ6190	ฝป6490		

โดยสรุปคือรายการหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ไม่สามารถจับคู่เส้นทางการเดินทางตาม 2 ขั้นตอนแรกที่กล่าวถึงได้ จะถูกพิจารณาตรวจสอบและจับคู่โดยการตรวจสอบความน่าจะเป็นตามลำดับเวลา ร่วมกับการเปรียบเทียบจำนวนตัวอักษรของหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่จะต้องมีจำนวนตัวอักษรเท่ากันเท่านั้น โดยจะพิจารณาตั้งแต่รายการแรกที่คงเหลือตั้งแต่ทางเข้าเริ่มต้นของเส้นทางกับทางออกทุกจุด เพื่อตรวจสอบกับระยะเวลาในการเดินทางของรายการปกติในช่วงเวลานั้นๆ เพื่อตรวจหาคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีระยะเวลาใกล้เคียงมากที่สุดและมีเงื่อนไขที่กำหนด โดยวิธีการต่อไปนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อพยายามจับคู่ป้ายทะเบียนเหล่านั้นตามลำดับเวลาและจำนวนตัวอักษรที่เท่ากัน

3.4.1 การตรวจสอบตามลำดับเวลาและตัวอักษรที่เท่ากัน

ระบบจะเริ่มด้วยการตรวจสอบรายการที่เหลือที่ไม่สามารถจับคู่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าตามเส้นทางการเดินทาง โดยพิจารณาหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีจำนวนตัวอักษรเท่ากันเท่านั้น ซึ่งจะต้องตรวจสอบกับการเข้าและออกของทุกจุดในเส้นทางนั้นๆ

3.4.2 การตรวจสอบระยะเวลาการเดินทาง

ระบบจะวิเคราะห์ระยะเวลาในการเดินทางของแต่ละรายการแผ่นป้ายทะเบียนที่คงเหลือตั้งแต่ทางเข้าจนถึงทางออกของเส้นทาง เพื่อพิจารณาว่าระยะเวลาใดที่ใกล้เคียงกับระยะเวลาในการเดินทางปกติของรายการนั้นๆ

3.4.3 การเปรียบเทียบและการจับคู่

ระบบจะเปรียบเทียบระยะเวลาเดินทางและจำนวนตัวอักษรของหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนเพื่อหาคู่ที่มีระยะเวลาใกล้เคียงที่สุด หากหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนมีระยะเวลาเดินทางและจำนวนตัวอักษรตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด จะถือว่าเป็นการจับคู่ที่ถูกต้อง

3.4.4 การประเมินผล

ผลลัพธ์จากการจับคู่จะถูกตรวจสอบและประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญหรือผ่านการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อยืนยันว่าการจับคู่มีความน่าเชื่อถือและเป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ

วิธีการนี้ช่วยให้สามารถตรวจจับและจับคู่ป้ายทะเบียนที่มีข้อมูลไม่ชัดเจนหรือคลาดเคลื่อนได้ดียิ่งขึ้น โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลเวลาและจำนวนตัวอักษรอย่างมีประสิทธิภาพ การจับคู่ดังกล่าวจึงเพิ่มความแม่นยำและความเชื่อถือได้ของระบบการจับคู่ป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 นิยามและข้อกำหนด

ในขั้นตอนการทดลองงานวิจัยจะกำหนดรูปแบบและวิธีการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลองโดยใช้ข้อมูลในสถานการณ์จริงตามหัวข้อเงื่อนไขและข้อกำหนดการทดลอง พร้อมกับการกำหนดวิธีการคำนวณค่าความแม่นยำที่ได้จากการประเมินวิธีการตามหัวข้อการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งจะมีผลการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดและวิธีการตรวจสอบความถูกต้อง ดังหัวข้อผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ทั้งนี้ เพื่อให้การทดลองมีรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน และสามารถทวนสอบกระบวนการเพื่อการวิจัยต่อเนื่องในอนาคตได้ งานวิจัยนี้กำหนดให้มีข้อมูลสำหรับการทดลองดังนี้ ข้อมูลในการทดสอบ จะใช้ข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียนรถที่วิ่งผ่านจุดตรวจวัดในสถานการณ์จริง ด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ บนคุณสมบัติตัวรับภาพแบบ GS-CMOS ความละเอียดภาพ 4096 x 2820 จุดสี (Pixels) ความเร็ว 50 ภาพต่อวินาที (FPS: Frame Rate per Second) เมื่อวันที่ 9 ก.พ. 2565 เวลา 00:00 – 23:59 น. ณ ตำแหน่ง ต้นทางหรือทางเข้า จำนวน 4 ช่องทางและตำแหน่งปลายทางหรือทางออก จำนวน 10 ช่องทาง เป็นระยะทางในการเดินทาง 14.7 กิโลเมตร บนถนนที่ควบคุมความเร็วตามกฎหมายที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีรถวิ่งผ่านเข้าและออกเส้นทางการทดสอบรวมจำนวน 81,174 คัน โดยข้อมูลประกอบการทดสอบจะประกอบไปด้วย หมายเลขประจำรายการ หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียน และรหัสหมวดจังหวัดที่กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอ่านได้จริงรูปแบบภาษาไทย ดังแสดงในตารางที่ 2, ช่วงเวลาที่วิ่งผ่าน, ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 1 และหมายเลขประจำตัวของรายการที่เป็นคู่ที่ถูกต้องสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการ ทั้งนี้หมายเลขประจำตัวของรายการที่เป็นคู่ที่ถูกต้องถูกดำเนินการตรวจสอบโดยบุคคล ด้วยการบันทึกรถที่วิ่งผ่านกล้องวีดีโอแบบรายคันตลอดระยะเวลาการทดสอบ โดยมีรายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรหัสแสดงตำแหน่งติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

รหัสตำแหน่ง	ละติจูด	ลองติจูด	ชื่อและรายละเอียดจุดติดตั้ง
FES-N-02	13.7646029	100.5485051	ด่านดินแดง
FES-N-03	13.7205545	100.5530766	ด่านพระรามสี่ที่ 1
FES-N-04	13.7492326	100.5499062	ด่านเพชรบุรี
FES-N-05	13.7087625	100.5491645	ด่านเลียบแม่น้ำ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรหัสแสดงตำแหน่งติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ต่อ)

รหัสตำแหน่ง	ละติจูด	ลองติจูด	ชื่อและรายละเอียดจุดติดตั้ง
FES-N-06	13.7117582	100.5658454	ด่านท่าเรือ 2
FES-N-07A	13.6787916	100.6035529	ด่านบางนา ช่องทางซ้าย
FES-N-07B	13.6787916	100.6035529	ด่านบางนา ช่องทางขวา
FES-N-08	13.6945563	100.5965954	ด่านสุขุมวิท 62
FES-N-09	13.6984968	100.5911437	ด่านอาจณรงค์ 3
FES-N-10	13.71191837	100.5621607	ด่านท่าเรือ 1
FES-N-11	13.7124562	100.5752958	ด่านอาจณรงค์
FES-N-12	13.7241285	100.552278	ด่านพระรามที่ 4- 2
FES-N-13	13.743671	100.55011	ด่านสุขุมวิท
FES-N-14	13.6935304	100.5297148	ด่านสาธุประดิษฐ์ 2
FES-N-15	13.67514259	100.482409	ด่านดาวคะนอง
FES-N-16	13.67108896	100.5066595	ด่านสุขสวัสดิ์
FES-N-17	13.697174	100.5358567	ด่านสาธุประดิษฐ์ 1
FES-N-18	13.6852823	100.602301	ด่านบางจาก
FES-X-01	13.7484462	100.5499817	ทางลงเพลินจิตรฝั่ง เหนือ
FES-X-02	13.7245065	100.5526318	ทางลงถนนพระราม4 (มาจากด่านเพชรบุรี)
FES-X-03	13.71243152	100.5621722	ทางลงท่าเรือ (ทางออก 10)
FES-X-04	13.7064894	100.5480233	ทางลงถนนพระราม3 (ทางออก 20)
FES-X-05	13.71276173	100.5762007	ทางลงถนนอาจณรงค์ (ทางออก 12)
FES-X-06	13.69374918	100.5985537	ทางลงถนนสุขุมวิท (ทางออก 15)
FES-X-07	13.6778876	100.6041541	ทางลงถนนสุขุมวิท พระโขนง (ทางออก 17A)
FES-X-08	13.70207465	100.5904441	ทางลงสุขุมวิท 50
FES-X-09	13.7115918	100.5668732	ทางลงท่าเรือ (ทางออก 11)
FES-X-10	13.7186079	100.553242	ทางลงถนนพระราม 4
FES-X-11	13.7439994	100.5501176	ทางลงถนนเพชรบุรี (ทางออก 4A 4B)
FES-X-12	13.764377	100.548211	ทางลงถนนวิภาวดี รังสิต (ทางออก 1)
FES-X-13	13.69692267	100.5384208	ทางลงถนนสาธุประดิษฐ์ (ทางออก 22)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรหัสแสดงตำแหน่งติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ต่อ)

รหัสตำแหน่ง	ละติจูด	ลองติจูด	ชื่อและรายละเอียดจุดติดตั้ง
FES-X-14	13.67294306	100.5104897	ทางลง ถนนสุขสวัสดิ์ ขาออก
FES-X-15	13.67855594	100.477526	ทางลง ถนนดาวคะนอง ขาออก
FES-X-16	13.69311499	100.5275998	ทางลงถนนสาธุประดิษฐ์ 2 (ถ.จันทร์ นางลิ้นจี่)
FES-X-17	13.6875882	100.6018768	จุดพักรถเฉลิมมหานคร
FES-X-18	13.6716651	100.6063061	ทางลงสมุทรปราการ
RAE-X-01	13.88995	100.655058	ทางลงถนนสุขาภิบาล 5 (ทางออก 23)
RAE-X-02	13.857218	100.642308	ทางลงถนน รามอินทรา มีนบุรี (ทางออก 19A)
RAE-X-03	13.852276	100.641095	ทางลงถนนรามอินทรา หลักสี่(ทางออก 19B)
RAE-X-04	13.797708	100.613994	ทางลงถนนลาดพร้าว (บางกะปิ ทางออก 12)
RAE-X-05	13.761396	100.597746	ทางลงถนนพระราม9 เอกมัย (ทางออก 8)
RAE-X-06	13.742553	100.605461	ทางลงถนนพัฒนาการ (คลองตัน)
RAE-X-07	13.710581	100.59807	ทางลง สุขุมวิท 50 ถ.ริมทางรถไฟ (ทางออก 1)
RAE-X-08	13.735275	100.604011	ทางลงถนน พัฒนาการ คลองตัน (ทางออก 4)
RAE-X-09	13.754883	100.595987	ทางลงถนนพระราม 9 CCB3 (ทางออก 6)
RAE-X-10	13.770205	100.604535	ทางลงถนนลาดพร้าว โชคชัย4 (ทางออก 9)
RAE-X-11	13.816955	100.62333	ทางลงถนนเกษตร-นวมินทร์ (ทางออก 14)
RAE-X-12	13.84198169	100.6351715	ทางลงถนนรามอินทรา หลักสี่ (ทางออก 17)
RAE-X-13	13.88208762	100.648418	ทางลงถนน สุขาภิบาล 5 (ทางออก 22)
RAE-X-14	13.897421	100.683064	ทางลงถนน จตุโชติ (ทางออก26)
RAE-X-15	13.897421	100.683064	ทางลง ถนนกาญจนาภิเษก
SES-N-01	13.69025498	100.5234548	ด่านพระรามที่ 3
SES-N-02	13.693567	100.5308682	ด่านสาธุประดิษฐ์ 3
SES-N-03	13.7095479	100.518892	ด่านจันทน์
SES-N-04	13.727469	100.517248	ด่านสุรวงศ์ ทางเชื่อม (ขาออก)
SES-N-19	13.7164128	100.5202357	ด่านสาทร
SES-X-01	13.701046	100.519132	ทางลงถนนจันทน์ (ขาเข้า)
SES-X-02	13.7087435	100.5188303	ทางลงถนนสาทร (ขาเข้า)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรหัสแสดงตำแหน่งติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ต่อ)

รหัสตำแหน่ง	ละติจูด	ลองติจูด	ชื่อและรายละเอียดจุดติดตั้ง
SES-X-17	13.725311	100.517736	ทางลง ถ.สีลม (ขาออก)
SES-X-18	13.71358	100.520254	ทางลง ถนนจันทน์ (สาทร) (ขาออก)
SES-X-19	13.6960884	100.5242857	ทางลงถนนสาธุประดิษฐ์
SES-X-27	13.69139116	100.5253348	ทางแยกก่อนออกบางโคล่ (บางโคล่/พระราม9)
FES-I-01	13.756629	100.546758	ทางเชื่อมศรีรัช-เฉลิมมหานคร มุ่งหน้าเพชรบุรี
FES-I-02	13.756827	100.54637	ทางเชื่อมศรีรัช-เฉลิมมหานคร มุ่งหน้าดินแดง
FES-I-04	13.760761	100.546453	ทางเชื่อมเฉลิมมหานคร-ศรีรัช (ด่านดินแดง)
FES-I-05	13.756425	100.544825	ทางเชื่อมเฉลิมมหานคร-ศรีรัช (เพชรบุรี)
SES-I-02	13.7509075	100.5959517	ทางเชื่อมฉลองรัช-ศรีรัช (ศรีนครินทร์)
SES-I-03	13.7527824	100.5886538	ทางเชื่อมฉลองรัช-ศรีรัช (ซันยอง)
SES-I-06	13.753618	100.596923	ทางเชื่อมศรีรัช-ฉลองรัช (รามอินทรา)
SES-I-07_1	13.752704	100.59576	ทางเชื่อมศรีรัช-ฉลองรัช (บางนา)
SES-I-07_2	13.752704	100.59576	ทางเชื่อมศรีรัช-ฉลองรัช (บางนา)
SES-I-09	13.72990027	100.517559	กม.4+500A (ก่อนลงสีลม)
SES-I-10-1	13.73212	100.51751	กม 4+800B (ก่อนลงพระราม 4)
SES-I-10-2	13.731913	100.517489	กม 4+800B (ก่อนลงพระราม 4)
FES-I-03	13.672653	100.609005	ทางเชื่อมบรูพาวิถี-เฉลิมมหานคร (4+500I)
FES-I-06	13.672909	100.608193	ทางเชื่อมเฉลิมมหานคร-บูรพาวิถี (4+300O)
SES-I-01	13.69448257	100.5322888	ทางเชื่อมเฉลิมมหานคร พระราม 9 แจ้งวัฒนะ
SES-I-04	13.694429	100.525349	ทางเชื่อมเฉลิมฯ-ศรีรัช (ทางแยกเข้าด่วนขั้น 2)
SES-I-05	13.69157233	100.5255451	ทางเชื่อมศรีรัช-เฉลิมฯ (ดาวคะนอง)
SES-I-08	13.6945092	100.5259816	ทางเชื่อมเฉลิมมหานคร (ท่าเรือ-บางนา)

ข้อมูลรหัสแสดงตำแหน่งติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่แสดงนี้ จะต้องถูกจับคู่กับข้อมูลที่ได้รับจากกล้องอ่านอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติก่อนเริ่มกระบวนการจับคู่ เพื่อให้ทราบตำแหน่งที่ตั้งเพื่อใช้ประกอบการสร้างเส้นทาง ทั้งนี้ ข้อมูลรายชื่อและตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ที่แสดงไว้ทั้งหมดนี้ จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบเพียงบางส่วนตามเส้นทางที่สุ่มทดสอบ โดยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนสำหรับการทดสอบนี้ จะมีจำนวนทั้งหมด 80 กล้อง และถูกนำมาใช้งานจำนวน 14 กล้อง ดังประกอบไปด้วย กล้องขาเข้า 4 กล้อง และกล้องขาออก 10 กล้อง รวมการเดินทางได้ 1 เส้นทางแบบ 1 ทิศทาง ทั้งนี้ข้อมูลที่นำเสนอใน

ตารางจะประกอบไปด้วย รหัสตำแหน่ง เป็นข้อมูลตัวอักษร แสดงรหัสประจำตำแหน่งติดตั้ง โดยจะถูกกำหนดไว้ตอนติดตั้งกล้องเพื่อใช้เรียกหรืออ้างอิงในชุดตัวอักษรสั้น, ข้อมูลละติจูดและลองติจูด เป็นข้อมูลตัวเลขแบบมีทศนิยม ซึ่งทำหน้าที่แสดงตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS: Global Positioning System) ของอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งตามมาตรฐานสากล และชื่อและรายละเอียดจุดติดตั้ง เป็นข้อมูลชุดข้อความภาษาไทย ทำหน้าที่แสดงชื่อตำแหน่งของกล้องที่ถูกติดตั้งไว้ สำหรับการอ้างถึงตำแหน่งที่ตั้งในรูปแบบชื่อเรียก ซึ่งการจัดทำรหัสแทนตำแหน่งการติดตั้งนี้ จะเป็นการช่วยลดประมาณข้อมูลในการสื่อสารลงให้อยู่ในรูปแบบชุดตัวอักษรสั้น และทำให้กล้องส่งข้อมูลในรูปแบบรหัสภาษาอังกฤษได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลรหัสหมวดจังหวัดที่ได้รับจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

ลำดับ	ชื่อจังหวัด	รหัส
1	กรุงเทพมหานคร	BKK
2	สมุทรปราการ	SPK
3	นนทบุรี	NBI
4	ปทุมธานี	PTE
5	พระนครศรีอยุธยา	AYA
6	อ่างทอง	ATG
7	ลพบุรี	LRI
8	สิงห์บุรี	SBR
9	ชัยนาท	CNT
10	สระบุรี	SRI
11	ชลบุรี	CBI
12	ระยอง	RYG
13	จันทบุรี	CTI
14	ตราด	TRT
15	ฉะเชิงเทรา	CCO
16	ปราจีนบุรี	PRI
17	นครนายก	NYK
18	สระแก้ว	SKW
19	นครราชสีมา	NMA
20	บุรีรัมย์	BRM
21	สุรินทร์	SRN
22	ศรีสะเกษ	SSK
23	อุบลราชธานี	UBN
24	ยโสธร	YST

ลำดับ	ชื่อจังหวัด	รหัส
40	ลำปาง	LPG
41	อุตรดิตถ์	UTT
42	แพร่	PRE
43	น่าน	NAN
44	พะเยา	PYO
45	เชียงราย	CRI
46	แม่ฮ่องสอน	MSN
47	นครสวรรค์	NSN
48	อุทัยธานี	UTI
49	กำแพงเพชร	KPT
50	ตาก	TAK
51	สุโขทัย	STI
52	พิษณุโลก	PLK
53	พิจิตร	PCT
54	เพชรบูรณ์	PNB
55	ราชบุรี	RBR
56	กาญจนบุรี	KRI
57	สุพรรณบุรี	SPB
58	นครปฐม	NPT
59	สมุทรสาคร	SKN
60	สมุทรสงคราม	SKM
61	เพชรบุรี	PBI
62	ประจวบคีรีขันธ์	PKN
63	นครศรีธรรมราช	NST

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลรหัสหมวดจังหวัดที่ได้รับจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อจังหวัด	รหัส
25	ชัยภูมิ	CPM
26	อำนาจเจริญ	ACR
27	หนองบัวลำภู	NBP
28	ขอนแก่น	KKN
29	อุดรธานี	UDN
30	เลย	LEI
31	หนองคาย	NKI
32	มหาสารคาม	MKM
33	ร้อยเอ็ด	RET
34	กาฬสินธุ์	KSN
35	สกลนคร	SNK
36	นครพนม	NPM
37	มุกดาหาร	MDH
38	เชียงใหม่	CMI
39	ลำพูน	LPN

ลำดับ	ชื่อจังหวัด	รหัส
64	กระบี่	KBI
65	พังงา	PNA
66	ภูเก็ต	PKT
67	สุราษฎร์ธานี	SNI
68	ระนอง	RNG
69	ชุมพร	CPN
70	สงขลา	SKA
71	สตูล	STN
72	ตรัง	TRG
73	พัทลุง	PLG
74	ปัตตานี	PTN
75	ยะลา	YLA
76	นราธิวาส	NWT
77	บึงกาฬ	BKN
78	เบตง	BTG

สำหรับข้อมูลหมวดจังหวัดของแผ่นป้ายทะเบียนรถที่สามารถอ่านได้จากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัตินั้น จะถูกรายงานออกมาในรูปแบบรหัสด้วยอักษรภาษาอังกฤษจำนวน 3 ตัวอักษร ที่สามารถแปลความหมายเป็นชื่อจังหวัดภาษาไทยได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เพื่อให้การส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบสามารถดำเนินการได้โดยง่ายในรูปแบบรหัสอักษรที่มีจำนวนคงตัวและสั้นกระชับต่อการทำงาน ซึ่งในด้านการประยุกต์ใช้งานในด้านจราจร หมวดจังหวัดภาษาไทยสามารถนำไปใช้งานด้านการยืนยันความถูกต้องในการตัวตนได้ โดยข้อมูลที่แสดงจะประกอบไปด้วย ชื่อจังหวัด ที่แสดงถึงชื่อจังหวัดของหมวดจังหวัดบนแผ่นป้ายทะเบียนจริง ในปัจจุบันมีการกำหนดไว้ทั้งหมด 78 จังหวัด และ รหัส เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษจำนวน 3 ตัวแบบคงที่ เพื่อเป็นรหัสที่ใช้แทนชื่อจังหวัดภาษาไทย ทำให้ลดขนาดของข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดของแผ่นป้ายทะเบียนรถได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการปรับเปลี่ยนหมวดจังหวัดหรือชื่อจังหวัดภาษาไทยในอนาคตได้อย่างยืดหยุ่น

ในส่วนกระบวนการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนด้วยวิธี Hybrid Method กำหนดให้ตรวจสอบระยะเวลาเดินทางที่ความเร็วเฉลี่ย 60 Km/h เป็นระยะเวลาเดินทางที่ช้าที่สุดที่เป็นไปได้ และเดินทางที่ความเร็วเฉลี่ย 90 Km/h เป็นระยะเวลาเดินทางที่เร็วที่สุดที่เป็นไปได้ เพื่อเป็นขอบเขตพิจารณาระยะเวลาในการเดินทาง พร้อมทั้งใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง สำหรับการพิจารณาหาค่าความต่างของระยะเวลาในการเดินทางต่อไป

4.2 วิธีการประเมินประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางจากหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนจากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่มีการนำเสนอและใช้งานอยู่ในปัจจุบัน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$Acc = \frac{N_c \, x \, 100}{N_a} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ ACC คือ อัตราความแม่นยำของวิธีการในการจับคู่เส้นทางการเดินทางโดยมีหน่วยเป็นร้อยละ (%), Nc คือ จำนวนรายการแผ่นป้ายทะเบียนรถที่ถูกจับคู่ได้อย่างถูกต้องโดยวิธีการที่ทดสอบ มีหน่วยเป็นแผ่นป้ายทะเบียน และ Na คือ จำนวนรายการคู่ของแผ่นป้ายทะเบียนทั้งหมดมีหน่วยเป็นแผ่นป้ายทะเบียน

4.3 ผลการทดลอง

ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดในการทดลองจะสามารถดำเนินการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3, ตารางที่ 4.4, ตารางที่ 4.5 ตามลำดับ โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแบบผสมผสานที่บทความวิจัยนี้นำเสนอ กับวิธีการที่ดีที่สุดในงานวิจัยปัจจุบัน

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลในการจับคู่ในขั้นตอน Exact Match

วันที่	เวลา	ตำแหน่ง	ทะเบียน	วันที่	เวลา	ตำแหน่ง	ทะเบียน
9 ก.พ. 65	11.12	FES-N-05	4ขถ2674	9 ก.พ. 65	11.40	FES-X-01	4ขถ2674
9 ก.พ. 65	08.01	FES-N-05	บฉ4572	9 ก.พ. 65	08.29	FES-X-12	บฉ4572
9 ก.พ. 65	08.25	FES-N-05	วจ200	9 ก.พ. 65	08.29	FES-X-06	วจ200
9 ก.พ. 65	11.16	FES-N-12	9กก8795	9 ก.พ. 65	11.33	FES-X-12	9กก8795
9 ก.พ. 65	18.52	FES-N-02	9กท1295	9 ก.พ. 65	19.10	FES-X-04	9กท1295

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลในการจับคู่ในขั้นตอน GED

วันที่	เวลา	ตำแหน่ง	ทะเบียน	วันที่	เวลา	ตำแหน่ง	ทะเบียน
9 ก.พ. 65	14.14	FES-N-02	1ขฉ59	9 ก.พ. 65	14.16	FES-X-01	1ชฉ59
9 ก.พ. 65	10.08	FES-N-02	9กน71	9 ก.พ. 65	10.29	FES-X-04	9ภน71
9 ก.พ. 65	08.23	FES-N-02	มฎ4840	9 ก.พ. 65	08.59	FES-X-04	ฆฎ4840
9 ก.พ. 65	11.40	FES-N-05	1ขน8113	9 ก.พ. 65	11.52	FES-X-09	1ชน8113
9 ก.พ. 65	14.22	FES-N-10	1ฒส4961	9 ก.พ. 65	14.47	FES-X-12	1ฒศ4961

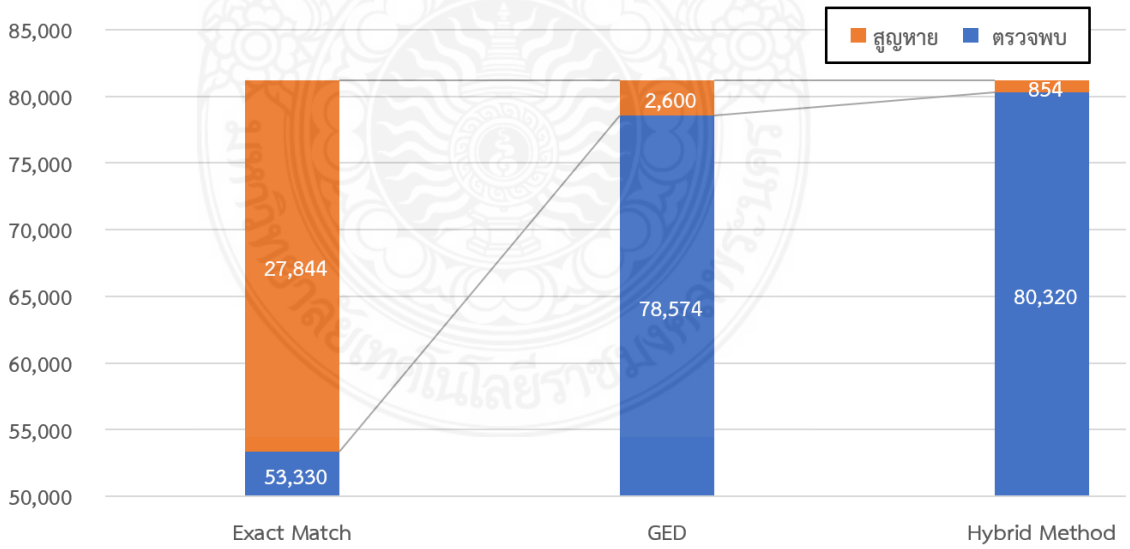
ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลในการจับคู่ในขั้นตอน Hybrid Method

วันที่	เวลา	ตำแหน่ง	ทะเบียน	วันที่	เวลา	ตำแหน่ง	ทะเบียน
9 ก.พ. 65	13.29	FES-N-09	ฒศ845	9 ก.พ. 65	13.52	FES-X-14	มค845
9 ก.พ. 65	14.41	FES-N-09	9กพ8821	9 ก.พ. 65	15.08	FES-X-14	9ภฟ8824
9 ก.พ. 65	09.21	FES-N-12	1ขค1592	9 ก.พ. 65	09.54	FES-X-13	4ชศ4592
9 ก.พ. 65	10.56	FES-N-12	6กต7789	9 ก.พ. 65	11.14	FES-X-13	6ภด7189
9 ก.พ. 65	11.39	FES-N-12	บ1931	9 ก.พ. 65	11.54	FES-X-04	ป4981

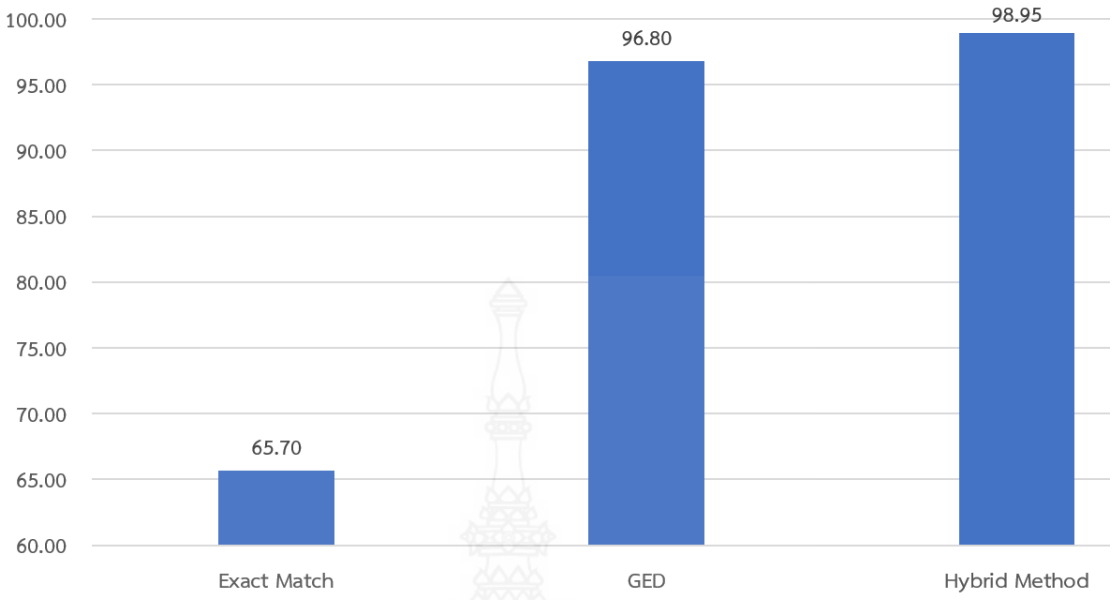
ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทาง

ลำดับ	วิธีการ	แผ่นป้ายที่จับคู่ได้ (คัน)	เพิ่มขึ้น (คัน)	ความแม่นยำ (ร้อยละ)
1	Exact Match	53,330	-	65.70
2	GED	78,574	25,244	96.80
3	Hybrid Method	80,320	1,746	98.95

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบผสมผสานที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีอัตราความแม่นยำมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 98.95 โดยวิธีการ GED และ Exact Match จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า โดยมีอัตราความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 96.80 และร้อยละ 65.70 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 จำนวนหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ถูกจับคู่ด้วยวิธีการทดสอบ หน่วยแผ่นป้ายทะเบียน



ภาพที่ 4.2 อัตราความแม่นยำในการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียน หน่วยร้อยละ (%)

4.4 การวิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่นำเสนอจะเป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ถูกอ่านมาไม่ถูกต้อง ที่อาจจะเกิดจากการประมวลผลที่ผิดพลาด หรือคราบสิ่งสกปรกที่บดบังหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนทำให้กระบวนการไม่สามารถจำแนกแยกแยะได้ ในขั้นตอนที่ 1 ดำเนินการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนโดยวิธีการทั่วไปหรือวิธีการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรงกันเท่านั้น (Exact Match) สามารถจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนได้ 53,330 แผ่นป้ายทะเบียน เท่ากับร้อยละ 65.70 และไม่สามารถจับคู่ได้สำเร็จ 27,844 คัน เนื่องจากความใกล้เคียงของตัวอักษรที่อาจจะเกิดการอ่านผิดพลาดได้ในสภาวะแวดล้อมจริง เช่น ‘ข’ กับ ‘ช’ ที่มีความคล้ายคลึงกันเป็นต้น ต่อมาแผ่นป้ายทะเบียนที่ไม่สามารถจับคู่ได้จะนำเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 โดยวิธีการ GED ซึ่งสามารถจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนได้เพิ่มขึ้น 25,244 แผ่นป้ายทะเบียน ทำให้หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่สามารถจับคู่ได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 78,574 แผ่นป้ายทะเบียน เท่ากับร้อยละ 96.80 ซึ่งจะทำให้คงเหลือหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ไม่สามารถจับคู่ได้ 2,600 แผ่นป้ายทะเบียน ในท้ายที่สุดหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่เหลือจะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 โดยวิธีการ Hybrid Method ด้วยการตรวจสอบระยะเวลาในการเดินทาง ซึ่งเป็นวิธีการที่จะจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนโดยไม่นำหมายเลขทะเบียนที่มีความผิดพลาดจำนวนมากปะปนอยู่มาพิจารณา ทำให้สามารถจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่จับคู่ไม่ได้เพิ่มขึ้น 1,746 แผ่นป้ายทะเบียน ให้หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่สามารถจับคู่ได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 80,320 แผ่นป้ายทะเบียน เท่ากับร้อยละ 98.95 ซึ่งสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนได้ดีกว่าวิธีการทั่วไปที่มีในปัจจุบันได้ดังภาพที่ 4.2

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผล

การจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนทางพิเศษของกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนในสภาวะแวดล้อมจริงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นกระบวนการสำคัญในเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการติดตามและวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทาง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการการบริหารจัดการจราจร โดยเทคนิคที่นำเสนอใช้วิธีการแบบผสมผสานที่รวม เทคนิคการจับคู่ด้วยหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรงกัน (Exact Match), การจับคู่ด้วยตารางความน่าจะเป็น (GED) และการจับคู่แบบผสมผสาน เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของตัวอักษรด้วยการปรับความน่าจะเป็นของตัวอักษร และตรวจสอบเวลาการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทาง โดยประเมินความถูกต้องของวิธีการด้วยข้อมูลป้ายทะเบียนรถจากสถานการณ์จริง จากกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ALPR) บนถนนที่มีความเร็วควบคุม 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2565 ช่วงเวลา 00:00 - 23:59 น. ซึ่งจะมีหมายเลขป้ายทะเบียนที่วิ่งผ่านเข้าและออกทางเข้าทางออกทั้งหมดจำนวน 81,173 คัน

ทั้งนี้ในการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการ แสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบผสมผสานที่นำเสนอมีอัตราความแม่นยำสูงสุดที่ร้อยละ 98.95 ขณะที่วิธีการจับคู่ด้วยตารางความน่าจะเป็น (GED) มีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 96.8 และเทคนิคการจับคู่ด้วยหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรงกัน (Exact Match) มีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 65.7 ตามลำดับ ซึ่งตามผลการทดสอบจะสามารถสรุปได้ว่าวิธีการแบบผสมผสานที่งานวิจัยนี้นำเสนอ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจับคู่เส้นทางการเดินทางได้ดีกว่าวิธีการแบบเดี่ยวที่ถูกใช้งานโดยทั่วไปที่นำมาเปรียบเทียบ ในท้ายที่สุดนี้การพัฒนากระบวนการผสมผสานที่ช่วยลดข้อผิดพลาดในการจับคู่เส้นทางการเดินทางด้วยป้ายทะเบียน สามารถช่วยสนับสนุนให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้รับข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงการวางแผนและจัดการจราจร รวมถึงการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษ และสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคการประมวลผลข้อมูลอื่น ๆ เพื่อประเมินแนวโน้มการเดินทางของยานพาหนะในอนาคตได้ต่อไป

5.2 แนวทางการวิจัยต่อ

1. การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่ โดยการรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์อื่น ๆ เช่น กล้อง CCTV หรือข้อมูล GPS เพื่อเสริมสร้างความแม่นยำในการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะในบริบทที่หลากหลายมากขึ้น

2. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อปรับปรุงความสามารถในการประมวลผลภาพและการจับคู่ป้ายทะเบียนในสถานการณ์ที่ซับซ้อน เช่น ป้ายทะเบียนที่สกปรกหรือถูกบดบังบางส่วน

3. การวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้เส้นทาง ในลักษณะรวมข้อมูลจากป้ายทะเบียนกับข้อมูลการขนส่งและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเดินทางและแนวโน้มของผู้ใช้เส้นทาง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการจราจรที่ดีขึ้น

4. การประยุกต์ใช้ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ด้วยการทดสอบและประยุกต์ใช้วิธีการจับคู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่าง เช่น เมืองใหญ่ ชนบท หรือสภาพถนนที่มีช่องจราจรหลายช่อง เพื่อตรวจสอบความสามารถในการปรับพารามิเตอร์ของระบบ

5. การเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลแบบเรียลไทม์ โดยการพัฒนาวิธีการจับคู่แบบเรียลไทม์เพื่อนำไปใช้ในระบบจราจรอัจฉริยะ (ITS) ที่ต้องการความแม่นยำและรวดเร็วสำหรับการตรวจสอบและควบคุมการจราจรอย่างทันท่วงที

6. การปรับปรุงมาตรฐานการประมวลผลข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากระบบกล้องอ่านหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนอัตโนมัติเป็นข้อมูลที่สามารถระบุตัวตนได้ตาม พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 โดยวิธีการจัดการข้อมูลให้มีความปลอดภัยสูงสุดเพื่อให้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] จิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง. ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล. เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร. สโรช บุญศิริพันธ์. กร พวงนาค. และ จุฑาทิพย์ อาจหาญ. “การประมาณสัดส่วนปริมาณจราจรจุดเริ่มต้น-จุดปลายทางบนทางพิเศษ ด้วยข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ.” **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27.** เชียงราย. ประเทศไทย : TRL27-1 – TRL27-9.

[2] Hou. J., Zeng. H., Zhu. J., Hou. J., Chen. J., and Ma. K. "Deep Quadruplet Appearance Learning for Vehicle Re-Identification." **IEEE Transactions on Vehicular Technology.** 68. 9 (September) : 8512 – 8522.

[3] Kateryna, C., Alexandros, I. and Moncef, G. 2022. "Weighted Edit Distance for Country Code Recognition in License Plates." **30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)**, Belgrade, Serbia : 1111 - 1115.

[4] Liao. K., Huang. S., and Yuan. J. 2021. "Integrating Local Visual Representation and Feature Information for Vehicle Re-identification." **International Conference on Frontiers of Electronics, Information and Computation Technologies.** 144 : 1 - 6.

[5] Oliveira. I., Fonseca. K., and Minetto. R. 2019. "A Two-Stream Siamese Neural Network for Vehicle Re-Identification by Using Non-Overlapping Cameras." **IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**. Taipei, Taiwan : 22-25.

[6] Oliveira. I., Laroca. R., Menotti. D., Fonseca. K., and Minetto. R. 2021. "Vehicle-Rear: A New Dataset to Explore Feature Fusion for Vehicle Identification Using Convolutional Neural Networks." **IEEE Access.** 9 : 101065 – 101077.

[7] Sadiq, M.U. and Yousaf, M. 2023. “Space-efficient Computation of Parallel Approximate String Matching.” **The Journal of Supercomputing.** 79. 8 (May) : 9093 – 9126.

[8] Shafi, I., Hussain, I., Ahmad, J., Kim. P., Choi. G, Ashraf. I., and Din. S. 2022. “License Plate Identification and Recognition in a Non-Standard Environment using Neural Pattern Matching.” **Complex Intell. Syst.** 8 : 3627 – 3639.

[9] Sun. Z., Nie. X., Xi. X., and Yin. Y. 2020. "CFVMNet: A Multi-branch Network for Vehicle Re-identification Based on Common Field of View." **Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia.** Seattle. WA. USA : 3523 - 3531.

[10] Turkyılmaz. I., and Kaçan. K. 2019. "License Plate Recognition System Using Artificial Neural Networks." **Etri Journal**. 39. 2 (August) : 163 – 172.

[11] Wang. H., Hou. J., and Chen. N. 2019. "A Survey of Vehicle Re-Identification Based on Deep Learning." **IEEE Access.** 7 : 172443 - 172469.

[12] Watcharapinchai. N., and Rujikietgumjorn. S., 2017. "Approximate License Plate String Matching for Vehicle Re-Identification." **14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)**. Lecce. Italy. 1 - 6.

[13] Xiong. Z., Li. M., Ma. Y., and Wu. X., 2021. "Vehicle Re-Identification with Image Processing and Car-Following Model Using Multiple Surveillance Cameras from Urban Arterials." **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.** 22. 12 : 7619 - 7630.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. เกริก พวงนาค, ณัฐพงศ์ พันธุนะ, และ กร พวงนาค. (2566). การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนนด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (น. 297-300). นครพนม.
2. ณัฐพงศ์ พันธุนะ, เกริก พวงนาค, และ กร พวงนาค. (2565). การทดสอบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการนำกระบวนการซื้อขายพลังงานมาใช้งานกับข้อมูลกรณีศึกษาตัวอย่างในการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงในประเทศไทย. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45 (น. 238-241). นครนายก.

ภาพ ก-1 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (The 15th Electrical Engineering Network 2023)

ภาพ ก-2 เอกสารตอบรับบทความ (Accepted Letter) การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (The 15th Electrical Engineering Network 2023)

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

20 มีนาคม 2566

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความ EENET2023

เรียน krerk

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (The 15th Conference of Electrical Engineering Network : EENET 2023) ที่จัดโดย คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ในหัวข้อเรื่อง

The Improvement of Origin-Destination Matching Method for Road Vehicles based on License Plate Recognition Camera in Real Environments

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่าบทความดังกล่าวได้ **"ผ่านการพิจารณา"** โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอแบบปากเปล่า (Oral Presentation) ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 (EENET 2023) แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา)
ประธานกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET 2023
คณบดีคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

สำนักงานคณบดีคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
โทรศัพท์ 042-771-391 โทรสาร 042-772-392

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15
15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)

การปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะบนถนนด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง

The Improvement of Origin-Destination Matching Method for Road Vehicles based on License Plate Recognition Camera in Real Environments

เกริก พวงนาค[1], ณัฐพงศ์ พันธุนะ[2] และ กร พวงนาค[3]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพ 10800 E-mail: insidez@msn.com
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพ 10800 E-mail: nattapong.p@rmutp.ac.th
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพ 10800 E-mail: korn.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง บนถนนเส้นทางหลักที่มีช่องทางเข้าจำนวน 4 ช่องทาง และช่องทางออกจำนวน 10 ช่องทาง ระยะทางรวม 14.7 กิโลเมตร ด้วยการติดตั้งกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนรถที่วิ่งผ่านไว้กับเสาไฟฟ้าส่องสว่างริมทาง ซึ่งในการทำสำรวจความต้องการในการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษด้วยการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนในปัจจุบัน จะไม่สามารถจับคู่เส้นทางการเดินทางของรถที่วิ่งผ่านได้ทุกคัน เนื่องจากเทคโนโลยีการประมวลภาพเพื่อการรู้จำและจำแนกหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียรถภาษาไทยยังมีความคลาดเคลื่อนในหลายปัจจัย เช่น การอ่านตัวอักษรผิดพลาดจากสภาวะแสงสว่างหรือการบดบังตัวอักษร การอ่านตัวอักษรผิดพลาดจากสภาวะความคล้ายคลึงของรูปแบบอักษรที่ตรวจจับได้จากมุมกล้องหรือทิศทางและความเร็วของยานพาหนะ หรือการจับคู่ต้นทางปลายทางผิดพลาดจากการอ่านตัวอักษรผิดพลาดไม่เหมือนกัน เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำในขั้นตอนการจับคู่รายการรถวิ่งผ่านทางเข้าออกโดยตรง โดยบทความฉบับนี้แก้ปัญหาโดยการผสมผสานวิธีการปัจจุบัน เปรียบเทียบกับวิธีการจับคู่แบบทุกตัวอักษรและวิธีการจับคู่แบบ GED ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและดีที่สุดในปัจจุบัน ในท้ายที่สุดบทความฉบับนี้ จะแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพในการจับคู่เส้นทางการเดินทางที่มีอัตราความแม่นยำ 98.95% ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการ GED ที่เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

คำสำคัญ: การจับคู่เส้นทาง, กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียน

Abstract

This paper presents an improvement on the method for matching travel routes of expressway users with license plate reading cameras in the real environment. On the main road with 4 entrances and 10 exits, a total distance of 14.7 kilometers, by installing a camera to read the license plates of passing vehicles on the roadside lighting poles. In surveying travel needs of expressway users by reading license plates at present, it is not possible to match the travel routes of every passing car. Because the image processing technology for recognizing and classifying Thai license plate numbers still has discrepancies in many factors, such as misreading letters due to lighting conditions or obscuring letters. Character reading error due to similarity of fonts detected by camera angle or vehicle direction and speed or mismatching the source and destination due to wrong reading of the characters are not the same, etc. which directly affects the accuracy in the process of matching the entry of cars passing through the entrance. This paper solves the problem by hybrid methods comparison with exact match method and GED method which is currently the most efficient and best method. Therefore, this paper shows that the proposed method is effective in mapping travel routes with an accuracy rate of 98.95%, with better results than the GED method that the most current.

Keywords: Origin-Destination Matching, License Plate Recognition Camera

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)

1. บทนำ

ในปัจจุบันการวางแผนเพื่อการบริหารจัดการจราจรที่มีประสิทธิภาพต้องการข้อมูลเส้นทางการเดินทางประกอบการพิจารณาและวางแผนการอำนวยการจราจรล่วงหน้า ด้วยเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดและการประมวลผลภาพมีการพัฒนาการอย่างก้าวกระโดด ทำให้กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับในด้านความแม่นยำในท้องตลาดอย่างมากมาย และได้ถูกนำมาใช้งานในการระบุตัวตนรถด้วยหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่อ่านได้ เพื่อนำไปจับคู่ตำแหน่งการเข้าและออกจากช่องทาง ทั้งนี้แม้ว่าเทคโนโลยีการประมวลผลภาพจะมีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดแล้วก็ตาม ข้อมูลอักษรและหมายเลขที่กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอ่านได้ก็ยังมีความผิดพลาดอยู่ ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องเชื่อถือได้ในการนำไปใช้งานวางแผนต่อไป

เพื่อให้การจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด นักวิจัยในหลายประเทศมีการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เริ่มต้นจากปี ค.ศ.2017 โดย Nattachai และ Sitapa [1] นำเสนอวิธีการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนภาษาไทยด้วยวิธีการ GED ร่วมกับ Weighted Approximate String Matching และได้ผลลัพธ์ดีที่สุด ต่อมาปี ค.ศ. 2019 โดย Oliveira และคณะ [2] นำเสนอการจับคู่การเดินทางโดยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของภาพรูปร่างรอยและแผ่นป้ายทะเบียนด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในขณะที่ปี ค.ศ.2021 โดย Sosoo และคณะ [3] นำเสนอการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนจากข้อมูลตัวอักษรด้วย Fuzzy Learning ซึ่งเป็นตัวอย่างแนวคิดในการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนที่มีให้ค่าน้ำหนักคะแนนในการพิจารณาจับคู่ เมื่อปี ค.ศ. 2022 Shafi และคณะ [4] นำเสนออ่านแผ่นป้ายทะเบียนของประเทศปากีสถานด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกที่สามารถให้ผลลัพธ์ในการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนรถได้อย่างแม่นยำ ขณะที่ Chumachenko และคณะ [5] นำเสนอการแยกแยะประเทศของแผ่นป้ายทะเบียนโดยใช้เทคนิค ED (Edit Distance) ซึ่งมีสัดส่วนความถูกต้องเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาพแผ่นป้ายทะเบียน และในปีเดียวกัน จิรวัฒน์และคณะ [6] นำเสนอการการประมาณสัดส่วนปริมาณจราจรจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางบนทางพิเศษสำหรับแผ่นป้ายทะเบียนรถภาษาไทย ด้วยการเปรียบเทียบวิธีการ GED (Generalized Edit Distance) และวิธีการจับคู่แบบทุกตัวอักษร (Exact Match) ซึ่งผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการ GED เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

2. กระบวนการจับคู่เส้นทางการเดินทางในปัจจุบัน

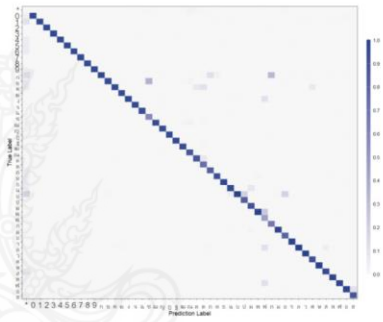
การจับคู่เส้นทางการเดินทางสำหรับแผ่นป้ายทะเบียนรถภาษาไทยในปัจจุบันนั้น ตามงานวิจัยในปัจจุบันจะสามารถสรุปได้ว่ามี 2 วิธีการ ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ประกอบไปด้วย วิธีการจับคู่แบบทุกตัวอักษร และวิธีการจับคู่แบบ GED โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 เทคนิคการจับคู่แบบทุกตัวอักษร

เทคนิคการจับคู่แบบทุกตัวอักษรเป็นการจับคู่โดยกำหนดให้แผ่นป้ายทะเบียนที่สามารถจับคู่ได้ต้องเป็นแผ่นป้ายทะเบียนที่มีตัวอักษรตรงกันทุกตัว ทั้งนี้ในงานวิจัยที่ผ่านมาจะมีการกำหนดเงื่อนไขทางเวลาในการเดินทางที่สอดคล้องหรือใกล้เคียงต่อระยะทางที่สามารถเป็นไปได้จริงประกอบการพิจารณา

2.2 เทคนิคการจับคู่แบบ GED

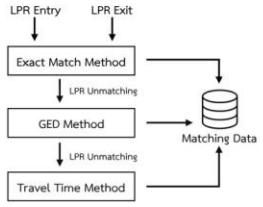
เทคนิคการจับคู่แบบ GED เป็นการจับคู่โดยการพิจารณาแบบค่าความน่าจะเป็นของคู่อักษร (Cost) จากตารางความน่าจะเป็นของอักษรภาษาไทยและตัวเลข ดังแสดงในรูปที่ 1 ร่วมกับเทคนิคการแทนที่ แทรกและลดทอนตัวอักษร เพื่อเลือกกรณีที่มีค่าน้อยที่สุดในการนำอักษรและตัวเลขนั้นมาพิจารณาเลือกจับคู่แผ่นป้ายทะเบียน [1] [6]



รูปที่ 1 ความเป็นไปได้ของตัวเลขและตัวอักษรภาษาไทย [6]

3. การจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสาน (Hybrid Method)

งานวิจัยนี้ดำเนินการออกแบบกระบวนการจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสานวิธีการที่มีในปัจจุบัน พร้อมปรับปรุงเงื่อนไขให้มีการตรวจสอบและปรับปรุงอักษรที่มีโอกาสคลาดเคลื่อนและผิดพลาดร่วมกับระยะเวลาในการเดินทางร่วมกับสถิติการเดินทางของรายการปกติที่สามารถจับคู่ได้ โดยจะประกอบไปด้วย ขั้นตอนการจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีปกติ, ขั้นตอนการจับคู่โดยการชดเชยตัวอักษรและตารางความน่าจะเป็น และขั้นตอนการจับคู่โดยระยะเวลาในการเดินทางเทียบรายการปกติ โดยมีรูปแบบการทำงานดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการจับคู่เส้นทางการเดินทางแบบผสมผสานวิธีการ

3.1 การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีทุกตัวอักษร

การจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนกรณีทุกตัวอักษรเป็นการค้นหาหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรงกันระหว่างทางเข้าและทางออก โดยประกอบไปด้วย 3 เงื่อนไข คือ หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนทุกตัวอักษรต้องตรงกัน และระยะเวลาในการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางที่ตรวจสอบต้องมีระยะเวลาเดินทางเฉลี่ยไม่เกินกว่าที่กำหนด

กรณีตรวจพบหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนในการเดินทางเดียวกันมากกว่า 1 หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียน กำหนดให้กระบวนการเลือกจับคู่กับตำแหน่งที่มีระยะเวลาเดินทางออกใกล้เคียงเวลาเดินทางเข้ามากที่สุด กรณีระยะเวลาการเดินทางเท่ากันให้เลือกจับคู่กับตำแหน่งการเดินทางที่ใกล้ที่สุด

3.2 การจับคู่โดยการชดเชยตัวอักษรและตารางความน่าจะเป็น

หลังจากการจับคู่แผ่นป้ายทะเบียนรถที่มีรูปแบบที่ตรงกันทุกตัวอักษรแล้วเสร็จในขั้นตอนแรก วิธีการจะต้องตรวจสอบหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีความใกล้เคียงจากตารางความเป็นไปได้ (Probability Character Matrix) เพื่อจับคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีความใกล้เคียงในระดับที่กำหนด โดยแผ่นป้ายทะเบียนที่ตรวจสอบต้องมีจำนวนตัวอักษรที่เท่ากัน และระยะเวลาในการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางที่ตรวจสอบต้องมีระยะเวลาเดินทางเฉลี่ยไม่เกินกว่าที่กำหนด

3.3 การจับคู่โดยระยะเวลาในการเดินทางเทียบรายการปกติ

รายการหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่ไม่สามารถจับคู่เส้นทางการเดินทางตาม 2 ขั้นตอนแรกที่กล่าวถึงได้ จะถูกพิจารณาตรวจสอบและจับคู่โดยการตรวจสอบความน่าจะเป็นตามลำดับเวลา ร่วมกับการเปรียบเทียบจำนวนตัวอักษรของหมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่จะต้องมีจำนวนตัวอักษรเท่ากันเท่านั้น โดยจะพิจารณาตั้งแต่รายการแรกที่คงเหลือตั้งแต่ทางเข้าเริ่มต้นของเส้นทางกับทางออกทุกจุด เพื่อตรวจสอบกับระยะเวลาในการเดินทางของรายการปกติในช่วงเวลานั้นๆ เพื่อตรวจหาคู่หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่มีระยะเวลาใกล้เคียงมากที่สุดและมีเงื่อนไขที่กำหนด

4. ผลการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองผู้วิจัยจะดำเนินการกำหนดรูปแบบและวิธีการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลองโดยใช้ข้อมูลในสถานการณ์จริงตามหัวข้อเงื่อนไขและข้อกำหนดการทดลอง พร้อมกับการกำหนดวิธีการคำนวนค่าความแม่นยำที่ได้จากการประเมินวิธีการตามหัวข้อการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งจะมีผลการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดและวิธีการตรวจสอบความถูกต้อง ดังหัวข้อผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

4.1 เงื่อนไขและข้อกำหนดการทดลอง

สำหรับการทดลองจะเป็นการทดสอบด้วยข้อมูลแผ่นป้ายทะเบียนรถในสถานการณ์จริง ในวันที่ 9 ก.พ. 2565 เวลา 00:00 – 23:59 น. ณ ตำแหน่ง ต้นทางหรือทางเข้า จำนวน 4 ช่องทางและตำแหน่งปลายทางหรือทางออก จำนวน 10 ช่องทาง เป็นระยะทางในการเดินทาง 14.7 กิโลเมตร บนถนนที่ควบคุมความเร็วตามกฎหมายที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีรถวิ่งผ่านเข้าและออกเส้นทางการทดสอบรวมจำนวน 81,173 คัน โดยข้อประกอบการทดสอบจะประกอบไปด้วย หมายเลขประจำรายการ หมายเลขแผ่นป้ายทะเบียนที่กล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนอ่านได้จริงรูปแบบภาษาไทย ช่วงเวลาที่วิ่งผ่าน ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้อง ทิศทางการเดินทางเข้าหรือออก และหมายเลขประจำตัวของรายการที่เป็นคู่ที่ถูกต้องสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการ ทั้งนี้หมายเลขประจำตัวของรายการที่เป็นคู่ที่ถูกต้องถูกดำเนินการตรวจสอบโดยบุคคล

4.2 การประเมินประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทาง

การประเมินประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางที่นำเสนอและที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถคำนวนได้ดังสมการที่ 1

$$Acc = \frac{N_c \, x \, 100}{N_a} \qquad (1)$$

โดยกำหนดให้ Acc คือ อัตราความแม่นยำของวิธีการในการจับคู่เส้นทางการเดินทางโดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์, N_c คือ จำนวนรายการแผ่นป้ายทะเบียนรถที่ถูกจับคู่ได้อย่างถูกต้องโดยวิธีการที่ทดสอบ และ N_a คือ จำนวนรายการคู่ของแผ่นป้ายทะเบียนทั้งหมด

4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดในการทดลองจะสามารถดำเนินการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางได้ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแบบผสมผสานที่บทความวิจัยนี้นำเสนอ กับวิธีการที่ดีที่สุดในงานวิจัยปัจจุบัน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทาง

ลำดับ	วิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทาง	*Acc* (%)
1	วิธีการแบบ GED	96.80
2	วิธีการแบบ Exact Match	65.70
3	วิธีการแบบ Hybrid Method	98.95

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบผสมผสานที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีอัตราความแม่นยำมากที่สุด เท่ากับ 98.95% โดยวิธีการ GED และ Exact Match จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า โดยมีอัตราความแม่นยำเท่ากับ 96.80% และ 65.70% ตามลำดับ

5. สรุป

บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงวิธีการจับคู่เส้นทางการเดินทางของผู้ใช้บริการทางพิเศษด้วยกล้องอ่านแผ่นป้ายทะเบียนบนสภาวะแวดล้อมจริง ด้วยวิธีการแบบผสมผสาน เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำกับวิธีการ GED และ Exact Match โดยจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ที่อัตราความแม่นยำเท่ากับ 0.9895 ทั้งนี้วิธีการแบบผสมผสานที่นำเสนอจะใช้ทุกวิธีการที่เปรียบเทียบด้วยเงื่อนไขที่มีข้อกำหนดในระดับที่ให้ผลลัพธ์ความแม่นยำสูงที่สุด มาลำดับการทำงานตามลำดับและเสริมกระบวนการตรวจสอบด้วยช่วงเวลาในการเดินทางในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนได้รับการจับคู่ให้ครบถ้วนมากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการให้การสนับสนุนในด้านองค์ความรู้และห้องปฏิบัติการในศึกษาวิจัยแก่คณะผู้จัดทำบทความวิจัย ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] N. Watcharapinchai and S. Rujikietgumjorn, "Approximate license plate string matching for vehicle re-identification," 14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), Lecce, Italy, 2017, pp. 1-6.

[2] I. Oliveira, K. Fonseca and R. Minetto, " A Two-Stream Siamese Neural Network for Vehicle Re-Identification by Using Non-Overlapping Cameras," in IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Sept. 22-25, 2019, Taipei, Taiwan.

[3] I. Türkyılmaz and K. Kaçan, "License Plate Recognition System Using Artificial Neural Networks," in Etri Journal, vol. 39, no. 2, pp. 163-172, Aug 3, 2019, doi: 10.4218/etrij.17.0115.0766.

[4] Shafi, I., Hussain, I., Ahmad, J. et al. License plate identification and recognition in a non-standard environment using neural pattern matching. Complex Intell. Syst. 8, 3627–3639 (2022).

[5] K. Chumachenko, A. Iosifidis and M. Gabbouj, "Weighted Edit Distance for Country Code Recognition in License Plates," 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Belgrade, Serbia, 2022, pp. 1111-1115.

[6] จิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง, ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร, สโรช บุญศิริพันธ์, กร พวงนาค, และ จุฑาทิพย์ อาจหาญ, "การประมาณสัดส่วนปริมาณจราจรจุดเริ่มต้น-จุดปลายทางบนทางพิเศษ ด้วยข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ", NCCE27, ปี 27, ฉบับที่ 1, TRL27-1, ก.ย. 2022.

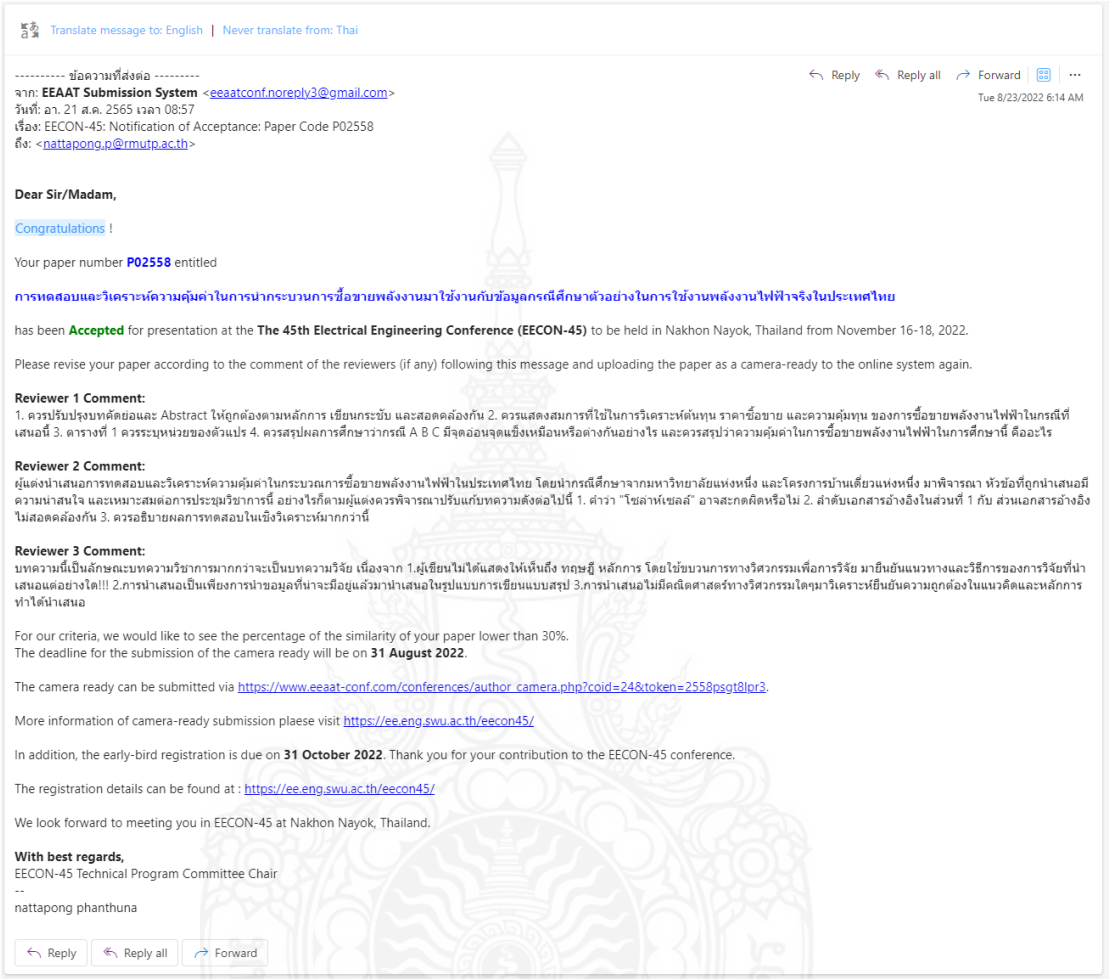
นายเกริก พวงนาค กำลังศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ทรานส์เคฟ จำกัด ทำงานวิจัยในด้านระบบจราจรอัจฉริยะ (ITS: Intelligent Transport System) และการสำรวจการเดินทาง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กร พวงนาค จบการศึกษาวิศวกรรมคุมฑีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองอธิการบดีฝ่ายพัฒนาดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยในด้านระบบจราจรอัจฉริยะ (ITS), การประมวลผลภาพแผ่นป้ายทะเบียน และการตรวจสอบรายได้ (Revenue Audit)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ จบการศึกษาวิศวกรรมคุมฑีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยในด้านการประมวลผลสัญญาณภาพ และเทคโนโลยีเครื่องมือวัด

ภาพ ก-3 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45 (The 45th Electrical Engineering Conference)

ภาพ ก-4 เอกสารตอบรับบทความ (Accepted Letter) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45 (The 45th Electrical Engineering Conference)



Translate message to: English | Never translate from: Thai

---------- ข้อความที่ส่งต่อ ---------
จาก: **EEAAT Submission System** <eeaatconf.noreply3@gmail.com>
วันที่: อา. 21 ส.ค. 2565 เวลา 08:57
เรื่อง: EECON-45: Notification of Acceptance: Paper Code P02558
ถึง: <nattapong.p@rmutp.ac.th>

Reply | Reply all | Forward
Tue 8/23/2022 6:14 AM

Dear Sir/Madam,

Congratulations !

Your paper number **P02558** entitled

การทดสอบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการนำกระบวนการซื้อขายพลังงานมาใช้งานกับข้อมูลกรณีศึกษาตัวอย่างในการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจริงในประเทศไทย

has been **Accepted** for presentation at the **The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)** to be held in Nakhon Nayok, Thailand from November 16-18, 2022.

Please revise your paper according to the comment of the reviewers (if any) following this message and uploading the paper as a camera-ready to the online system again.

Reviewer 1 Comment:
1. ควรปรับปรุงบทคัดย่อและ Abstract ให้ถูกต้องตามหลักการ เขียนกระชับ และสอดคล้องกัน 2. ควรแสดงสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุน ราคาซื้อขาย และความคุ้มทุน ของการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่เสนอนี้ 3. ตารางที่ 1 ควรระบุหน่วยของตัวแปร 4. ควรสรุปผลการศึกษาว่ากรณี A B C มีจุดอ่อนจุดแข็งเหมือนหรือต่างกันอย่างไร และควรสรุปว่าความคุ้มค่าในการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในการศึกษานี้ คืออะไร

Reviewer 2 Comment:
ผู้แต่งนำเสนอการทดสอบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในกระบวณการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย โดยนำกรณีศึกษาจากมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง และโครงการบ้านเดี่ยวแห่งหนึ่ง มาพิจารณา หัวข้อที่ถูกนำเสนอมีความน่าสนใจ และเหมาะสมต่อการประชุมวิชาการนี้ อย่างไรก็ตามผู้แต่งควรพิจารณาปรับแก้บทความดังต่อไปนี้ 1. คำว่า "โซล่าห์เซลล์" อาจสะกดผิดหรือไม่ 2. คำตับเอกสารอ้างอิงในส่วนที่ 1 กับ ส่วนเอกสารอ้างอิงไม่สอดคล้องกัน 3. ควรอธิบายผลการทดสอบในเชิงวิเคราะห์มากกว่านี้

Reviewer 3 Comment:
บทความนี้เป็นลักษณะบทความวิชาการมากกว่าจะเป็นบทความวิจัย เนื่องจาก 1.ผู้เขียนไม่ได้แสดงให้เห็นถึง ทฤษฎี หลักการ โดยใช้ขบวนการทางวิศวกรรมเพื่อการวิจัย มายืนยันแนวทางและวิธีการของการวิจัยที่นำเสนอแต่อย่างใด!!! 2.การนำเสนอเป็นเพียงการนำขอมูลที่นำจะมีอยู่แล้วมานำเสนอในรูปแบบการเขียนแบบสรุป 3.การนำเสนอไม่มีคณิตศาสตร์ทางวิศวกรรมใดๆมาวิเคราะห์ยืนยันความถูกต้องในแนวคิดและหลักการทำได้นำเสนอ

For our criteria, we would like to see the percentage of the similarity of your paper lower than 30%.
The deadline for the submission of the camera ready will be on **31 August 2022**.

The camera ready can be submitted via https://www.eeaat-conf.com/conferences/author_camera.php?coid=24&token=2558psgt8lpr3.

More information of camera-ready submission plaese visit https://ee.eng.swu.ac.th/eecon45/

In addition, the early-bird registration is due on **31 October 2022**. Thank you for your contribution to the EECON-45 conference.

The registration details can be found at : https://ee.eng.swu.ac.th/eecon45/

We look forward to meeting you in EECON-45 at Nakhon Nayok, Thailand.

With best regards,
EECON-45 Technical Program Committee Chair
--
nattapong phanthuna

Reply | Reply all | Forward

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45
The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)
วันที่ 16-18 พฤศจิกายน 2565 ณ ภูสักธาร รีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

การทดสอบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการนำกระบวนการซื้อขายพลังงานมาใช้งานกับข้อมูลกรณีศึกษาตัวอย่างในการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจริงในประเทศไทย

Cost-effectiveness testing and analysis of energy trading process implementation with sample case studies in real electric power applications in Thailand.

ณัฐพงศ์ พันธุนะ[1] เกริก พวงมาค[2] และกร พวงมาค[3]

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร [1]nattapong.p@rmutp.ac.th, [2]krerk-p@rmutp.ac.th,
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร korn.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการจัดเก็บและให้บริการค่าๆ ไฟฟ้าแบบอัตราค่าไฟฟ้าแบบคงที่ โดยการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าภูมิภาค ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีโซล่าเซลล์ระดับครัวเรือนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นและในทางวิศวกรรมการผลิตสามารถผลิตแผงโซล่าเซลล์และอุปกรณ์ควบคุมให้มีราคาที่ลดลงได้อย่างต่อเนื่องจนเป็นที่ยอมรับในตลาดผู้บริโภค ด้วยลักษณะแนวโน้มที่มีการนำมาใช้งานในภาคครัวเรือนจนสามารถทำงานในรูปแบบผู้ใช้พลังงานและผู้ผลิตพลังงานได้ด้วยตัวเองจนสามารถกล่าวได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่กำลังจะเกิดขึ้นกับทุกครัวเรือนในอนาคตอันใกล้ในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงดำเนินการทบทวนรูปแบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าระหว่างครัวเรือนในโครงข่ายเดียวกันในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นตัวอย่างในการนำเสนอความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการนำแนวคิดการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าตามการดำเนินธุรกิจในต่างประเทศมาปรับใช้ ให้มีความเหมาะสมได้นั้น พลังงานได้ด้วยตัวเองจนสามารถกล่าวได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่กำลังจะเกิดขึ้นกับทุกครัวเรือนในอนาคตอันใกล้ในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงดำเนินการทบทวนรูปแบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าระหว่างครัวเรือนในโครงข่ายเดียวกันในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นตัวอย่างในการนำเสนอความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการนำแนวคิดการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าตามการดำเนินธุรกิจในต่างประเทศมาปรับใช้ ให้มีความเหมาะสมได้นั้น ต้องมีกรณีศึกษาจากข้อมูลปริมาณการผลิตและการใช้งานในพื้นที่ทดสอบจริง ประกอบการทดสอบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบสัญญาและแบบการเสนอราคา ในรูปแบบ 3 สถานการณ์ ประกอบไปด้วย สถานการณ์ซื้อขายแบบคงที่ สถานการณ์ซื้อขายโดยระบบอัตโนมัติ และสถานการณ์ซื้อขายโดยไม่มีความเข้าใจ เพื่อทำการวิเคราะห์หาความเหมาะสมและคุ้มค่าในมิติต่างๆ เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจกำหนดทิศทางและแนวทางการพัฒนาธุรกิจพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยต่อไป

คำสำคัญ: ผู้ซื้อและขายพลังงานไฟฟ้า, การซื้อขายพลังงาน

Abstract

Currently, Thailand has a storage and service fee. Fixed rate electricity by the Metropolitan Electricity Authority and the Provincial Electricity Authority At the same time, household solar cell technology has continued to develop both in terms of electrical engineering technology that makes production rates more efficient, and in manufacturing engineering it can produce solar panels and control devices. To have a price that can be reduced continuously until it is accepted in the consumer market, With the trend that is being used in the household sector to be able to work in the form of energy consumers and energy producers by themselves, it can be said that it is a technology that is going to happen to every household in the future.

This research is therefore to review various forms of electricity trading between households in the same network. To be an example to present the feasibility and worthiness of applying the concept of electricity trading according to foreign business operations. to be appropriate There must be a case study based on production volume and usage data in the real test site implementation allows for testing of contract and quote power trading in three scenarios, including fixed trading. Automated trading situations and incomprehensible trading situations. to analyze the suitability and cost-effectiveness in various dimensions It is the information for decision-making on the direction appropriate There must be a case study based on production volume and usage data in the real test site implementation allows for testing of contract and quote power trading in three scenarios, including fixed trading. Automated trading situations and incomprehensible trading situations. to analyze the suitability and cost-effectiveness in various dimensions It is the information for decision-making on the direction and guidelines for the development of the electric power business in Thailand.

Keywords: Prosumer, Energy Trading

1. บทนำ

ด้วยเทคโนโลยีโซล่าเซลล์ในปัจจุบัน มีการพัฒนาทั้งในด้านประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และราคาการผลิตที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้อัตราการเติบโตของการเป็นผู้ซื้อที่สามารถผลิตจำหน่ายได้ (Prosumer) เกิดขึ้นในภาคครัวเรือนในประเทศไทยอย่างรวดเร็วอย่างก้าวกระโดด ทั้งนี้การสนับสนุนให้เกิดการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในระดับภาคครัวเรือนได้นั้น ต้องอาศัยการขับเคลื่อนจากหน่วยงานภาครัฐที่เป็นผู้ให้บริการจัดทำระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในการให้บริการขึ้นมา ดังนั้นการวิจัยเพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในการลงทุนที่จะก่อให้เกิดความคุ้มในการลงทุนพัฒนาระบบดังกล่าว จึงเป็นกรอบแนวคิดสำคัญที่จะช่วยชี้นำให้เห็นถึงความจำเป็นและความเหมาะสมในการวางกรอบวิสัยทัศน์องค์กรตามแนวทางการพัฒนาตลาดการซื้อขายพลังงานในต่างประเทศต่อไป

ทั้งนี้ในหลายประเทศได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบการให้บริการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าสำหรับภาคครัวเรือนมาอย่างต่อเนื่อง ดังข้อมูลงานวิจัย ปี 2013 ของ S. Chen และคณะ [1] นำเสนอการจำลองการใช้งานตลาดการซื้อขายพลังงาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทดลองใช้งานโครงสร้างระบบต้นแบบ (Framework) สำหรับการนำไปพัฒนาใช้งานจริงต่อในอนาคต ในปีถัดมา I. S. Bayram และคณะ [2] ดำเนินการสำรวจเพื่อหาความต้องการของผู้ใช้งานการซื้อขายพลังงานเพื่อสร้างโครงสร้างระบบต้นแบบ (Framework) ที่มีมาตฐาน ต่อมาในปี 2015 โดย N. Yaagoubi และคณะ [3] นำเสนอผลการวิจัยในมุมมองของผู้ใช้งานเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของผู้ขายและผู้ซื้อ ทั้งแบบ สัญญา (Contact) และแบบประมูล (Auction) หลังจากนั้นในปี 2017 โดย M. N. Akter และคณะ [4] นำเสนอการเปรียบเทียบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบ ผู้ใช้สู่ผู้ใช้ และอีกวิธีคือการนำเข้าสู่ตลาดการซื้อขายพลังงาน และในปีเดียวกัน C. Long และคณะ [5] ได้นำเสนอการทดลองให้ผู้ใช้กับผู้ใช้สามารถตั้งราคาความต้องการส่วนตัวและนำมาจับคู่ (Matching) หาความต้องการของผู้ซื้อและผู้ขายให้สามารถจับคู่การซื้อขายได้ตรงความต้องการมากที่สุด ต่อมาในปี S. Aggarwal [6] ได้มีการวิจัยการพิจารณาการซื้อขายพลังงานโดยการนำข้อมูลหลายๆ ส่วนมาประกอบกันเพื่อหาผลลัพท์ การคำนวณภาษี ด้วยวิธีการที่ต่างๆ กันเพื่อให้ได้ประโยชน์อย่างสูงที่สุด และในปี2022 โดย J. T. Lee และคณะ [7] มีการนำเสนอแนวทางการซื้อขายพลังงานแบบ P2P (Peer-to-Peer) ซึ่งเป็นวิธีการแบบใหม่ ซึ่งเป็นการพัฒนาการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่อยู่บนพื้นฐานการซื้อขายแบบสัญญาและแบบประมูลต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการสรุปรูปแบบและขั้นตอนการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่มีการวิจัยและใช้งานจริงในตลาดการซื้อขายพลังงานในต่างประเทศมาจำลองกรณีการทดสอบเพื่อแสดงให้เห็นผลลัพธ์เชิงความคุ้มค่าที่สามารถเกิดขึ้นได้ในการพัฒนาระบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาคครัวเรือนในประเทศไทยต่อไป

2. รูปแบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า

ในการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาและในสถานการณ์ตลาดซื้อขายพลังงานไฟฟ้าทั่วโลกในปัจจุบันจะพบว่ามีรูปแบบในการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบพื้นฐาน 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1 รูปแบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบสัญญา (Contract)

ในการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบสัญญา จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ผู้ขายจะต้องประกาศปริมาณ ราคาและช่วงเวลาในการขายเข้าสู่ระบบอย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้ซื้อเลือกพิจารณาจับคู่ทำสัญญาการซื้อขายตามความต้องการได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในด้านการออกแบบระบบในการให้บริการในหลายประเทศ จะอนุญาตให้ผู้ซื้อและผู้ขายทำสัญญาในช่วงเวลาเดียวกันได้มากกว่า 1 สัญญา

2.2 รูปแบบการซื้อขายพลังงานแบบเสนอราคา (Auction)

ในการการซื้อขายพลังงานแบบเสนอราคา จะกำหนดให้ผู้ซื้อและผู้ขายต่างระบุความต้องการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า ในแต่ละช่วงเวลาก่อนการใช้พลังงานล่วงหน้า 1 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลา 1 ชั่วโมงก่อนเวลาการซื้อขายนั้นๆ ระบบจะปิดการซื้อขายในห้วงเวลาดังกล่าว เพื่อทำการจับคู่การซื้อขาย (Matching) โดยระบบจะจับคู่ผู้ซื้อที่ให้ราคาสูงสุดคู่กับผู้ขายที่ให้ราคาต่ำสุด และเรียงตามลำดับไปเรื่อย ๆ เพื่อทำการ Crossing ราคา คือ หาจุดตัดราคาที่เหมาะสมสำหรับผู้ซื้อและผู้ขาย

ในกรณีที่ระบบไม่สามารถจับคู่ผู้ซื้อและผู้ขายได้ เนื่องจากราคาซื้อที่ต่ำมากและราคาขายที่สูงมากเกินกลไกตลาด จะทำให้ไม่เกิดการ Crossing ราคา นั่นคือจะไม่เกิดการซื้อขายขึ้น ดังนั้นผู้ซื้อจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากผู้ให้บริการจำหน่ายไฟฟ้าหลักตามเงื่อนไขการจำหน่ายแบบอัตราคงที่เช่นเดิมเท่านั้น

3. การจัดการการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า (Balancing Mechanism)

จากการศึกษาทบทวนการซื้อขายตลาดพลังงานในต่างประเทศที่ถูกกล่าวถึงในรายงานที่ผ่านมาจะแสดงให้เห็นกระบวนการและเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ต้องมีการกำหนดสมมุติฐานและนิยามบทบาทและวิธีการไว้อย่างชัดเจน เพื่อให้กระบวนการจัดการการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวมีกระบวนการที่แม่นยำ ถูกต้อง และเชื่อถือได้ ทั้งในทางการประเมินค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าธรรมเนียมและสภาพวะของระบบโครงข่าย ซึ่งจะสามารถลำดับขั้นตอนการพิจารณาและจัดการได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการกำหนดรูปแบบและขอบเขตการจำลองสถานการณ์

ขั้นตอนแรกในการจัดการหรือจำลองสถานการณ์การซื้อขายพลังงานไฟฟ้า ผู้ที่มีหน้าที่กำกับดูแลต้องกำหนดเงื่อนไขหรือกรอบการให้บริการอย่างชัดเจน เพื่อทำให้องค์ประกอบพื้นฐานในการกำหนดคุณลักษณะและการควบคุมขั้นตอนสามารถดำเนินการได้ตามเงื่อนไขและวัตถุประสงค์ ดังประกอบไปด้วย

1) การกำหนดรูปแบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า: กำหนดให้มีการซื้อขายแบบสัญญา (Contract) และการซื้อขายแบบเสนอราคา (Auction) โดยผู้เสนอซื้อ (Bids) และเสนอขาย (Offers) สามารถเลือกทำสัญญาทั้งสองรูปแบบได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน มากกว่าหนึ่งสัญญาโดยไม่มีข้อจำกัด

2) การกำหนดกลไกและกระบวนการ: กำหนดให้การขายแบบสัญญา (Contract) เริ่มต้นจากผู้ขายประกาศขายเป็นผู้กำหนดปริมาณและช่วงเวลาในการขาย ส่วนผู้ซื้อต้องพิจารณาเลือกจากสัญญาขายที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อทำการจับคู่และตกลงซื้อขาย ซึ่งการซื้อขายดังกล่าวจะเป็นไปตามข้อตกลงในสัญญา ส่วนการขายแบบประมูล (Auction) กำหนดให้ผู้ซื้อและผู้ขายดำเนินการเสนอซื้อและเสนอขายได้ตามความพึงพอใจ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45
The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)
วันที่ 16-18 พฤศจิกายน 2565 ณ ภูสักธาร รีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

3.2 ขั้นตอนการนิยามหน้าที่และข้อกำหนดของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในระบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า ประกอบไปด้วย ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าหรือผู้ซื้อ ผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือผู้ขาย ระบบบริหารจัดการ และผู้ดูแลระบบหรือผู้มีอำนาจกำกับดูแล มีหน้าที่ดูแลและสนับสนุนการให้ระบบสามารถดำเนินไปได้

3.3 ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการซื้อขาย

การกำหนดเงื่อนไขการซื้อขาย ประกอบไปด้วยการกำหนดกรอบทางเวลา ซึ่งในการซื้อขายแบบสัญญา (Contract) หลังจากที่ผู้ขายประกาศกรอบเวลา ปริมาณ และราคาขายออกไป ผู้ซื้อจะสามารถทำสัญญาและซื้อขายกันตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนด ในกรณีที่สัญญานั้นได้ผ่านช่วงเวลาเริ่มต้นสัญญาไปแล้ว แต่ยังไม่มีผู้ซื้อทำสัญญาซื้อ ผู้ซื้อที่มีความประสงค์ซื้อในภายหลังสามารถทำสัญญาและเริ่มให้สัญญามีผลได้ทันที ณ เวลายืนยันการทำสัญญา และสัญญาดังกล่าวจะยังคงสิ้นสุดข้อตกลง ณ เวลาสิ้นสุดเดิม ส่วนการซื้อขายแบบประมูล (Auction) จะประกอบไปด้วย 3 ช่วงเวลา ดังนี้ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงเวลาระบบเปิดให้ทำการเสนอราคาซื้อขายล่วงหน้า (Trading Period) โดยในช่วงเวลานี้ในงานศึกษาและวิจัยนี้กำหนดให้สามารถเสนอล่วงหน้าได้ไม่จำกัดกรอบเวลาอนาคตแต่จะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จภายใน 1 ชั่วโมงก่อนเวลาในการแลกเปลี่ยนพลังงานตามการซื้อขายจริง ช่วงที่ 2 เป็นช่วงเวลาที่ระบบดำเนินการจัดการจับคู่การซื้อขาย (Auction Closes) ตามเงื่อนไขและตรวจสอบสภาวะ โครงข่ายการให้บริการก่อนการแลกเปลี่ยนพลังงานจริง เพื่อแจ้งผลลัพธ์การตรวจสอบและสัญญาการซื้อขายที่ได้รับการยืนยัน ช่วงที่ 3 เป็นช่วงเวลาที่ผู้ซื้อผู้ขายทำการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าจริง หรือเรียกว่าช่วงเวลาแลกเปลี่ยนพลังงาน (Energy Exchange Starts) ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาที่ต้องตรวจสอบอัตราการใช้งานและผลิตจริงเพื่อใช้ในการประเมินค่าบริการและค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ต่อไป

3.4 ขั้นตอนการจัดการมูลค่าการซื้อขาย

เมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาที่ระบบดำเนินการจัดการจับคู่การซื้อขาย (Auction Closes) ในแต่ละครั้ง ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นทุก 15 นาที ตามเงื่อนไขความถี่ของการปรับปรุงข้อมูลจากระบบที่สรุปปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์ โดยระบบจะทำการปิดการรับการเสนอราคาซื้อขายในช่วงเวลาดังกล่าว พร้อมนำส่งข้อมูลราคาและปริมาณของการเสนอซื้อขายเข้าสู่กระบวนการจัดการมูลค่าการซื้อขาย

ในกรณีการซื้อขายแบบสัญญาระบบสามารถดำเนินการสิ้นสุดสุดการคำนวนและส่งผลสรุปการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ทันที ทั้งในถ้าการเสนอซื้อขายดังกล่าวเป็นการซื้อขายแบบเสนอราคา (Auction) การซื้อขายดังกล่าวต้องผ่านกระบวนการคิดเพื่อการจับคู่และเสนอราคาอย่างเหมาะสมตามเงื่อนไข โดยในการเสนอราคาตามการศึกษานี้เป็นการพิจารณาคำนวนมูลค่าและ จับคู่ด้วยหลักการแบบราคาที่เป็นธรรม (Marginal Prices) การจัดสรรปริมาณพลังงานจากการซื้อขาย

3.5 ขั้นตอนการบริหารจัดการความสมดุลของการผลิตและใช้พลังงาน

การบริการจัดการความสมดุลเป็นการพิจารณาการบริหารจัดการความสมดุลระดับโครงข่ายในเชิงกายภาพ โดยในขั้นตอนดังกล่าวจะไม่มีการนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนการซื้อขาย และประเมินมูลค่าค่าธรรมเนียมที่เกิดขึ้น

3.6 ขั้นตอนการคำนวณค่าไฟฟ้าและค่าธรรมเนียม

ในการบริหารจัดการค่าไฟฟ้าและค่าธรรมเนียมตามแนวทางการศึกษาทบทวนจะพบว่า ผู้ให้บริการสามารถดำเนินการจัดเก็บค่าธรรมเนียมจากการให้บริการและซื้อขายพลังงานไฟฟ้าผ่านระบบบริหารจัดการได้ดังประกอบไปด้วยค่าใช้จ่าย 3 กลุ่ม กลุ่มค่าบริการ/ค่าธรรมเนียมการซื้อ เป็นการกำหนดค่าใช้ไฟฟ้าและค่าธรรมเนียมของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าหรือผู้ซื้อ กลุ่มค่าบริการ/ค่าธรรมเนียมการขาย เป็นการกำหนดรายได้ค่าปรับและค่าธรรมเนียมของผู้ผลิตไฟฟ้าหรือผู้ขาย และกลุ่มค่าบริการ/ค่าธรรมเนียมอื่นๆ เป็นการกำหนดรายได้รัฐหรือค่าธรรมเนียมผู้ให้บริการ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้ให้บริการและมีหน้าที่กำกับดูแลจะพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนต่อไปในอนาคตได้

4. การทดลอง (Experiment)

4.1 พื้นที่ทดสอบและเงื่อนไขการทดสอบ

การทดสอบสถานการณ์ตลาดไฟฟ้าในพื้นที่จริง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามสถานการณ์และสภาวะแวดล้อมจริงอย่างถูกต้องครบถ้วน ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสถานการณ์ตลาดไฟฟ้าทั้งการผลิตและใช้กระแสไฟฟ้ารวมทั้งการซื้อขายพลังงาน โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบจาก 2 พื้นที่ ดังนี้

พื้นที่ทำการทดสอบที่ 1 เป็นมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งที่มีการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในโครงข่าย จำนวน 3 อาคาร ประกอบไปด้วย อาคารที่ 1 มีกำลังการผลิต 15 kWh, อาคารที่ 2 มีกำลังการผลิต 50 kWh และอาคารที่ 3 มีกำลังการผลิต 5 kWh

พื้นที่ทำการทดสอบที่ 2 เป็นโครงการบ้านเดี่ยว โดยโครงการทำการติดโซล่าเซลล์ให้บ้านทุกหลังที่ขนาดกำลังการผลิตปริมาณ 2.0 kWh โดยมีบ้านในโครงการทั้งหมดจำนวน 218 หลัง ส่วนที่นำมาทดสอบการซื้อและการขายจะเป็นบ้านตัวแทนในโครงการ จำนวน 14 หลัง โดยทั้ง 14 หลังเป็นทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย (Prosumer)

4.2 สถานการณ์การทดสอบ

การทดสอบสถานการณ์ตลาดไฟฟ้าในพื้นที่จริง ของพื้นที่ทำการทดสอบที่ 1 และ 2 ได้จัดให้มีการทดสอบสถานการณ์การซื้อขายพลังงานไฟฟ้าเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1) การสร้างรายการซื้อขายแบบคงที่ เสมือนว่าผู้ใช้บริการไม่ค่อยมีเวลาเข้าทำรายการ คือการซื้อขายที่เกิดจากการที่ผู้ซื้อและผู้ขายทำรายการแบบเดียวเป็นระยะเวลานาน ไม่มีการปรับเปลี่ยนตามพฤติกรรมการผลิตและการใช้งานจริง

2) การสร้างรายการซื้อขายโดยระบบอัตโนมัติ รายการซื้อขายจะใกล้เคียงการใช้และการผลิตจริง คือ การซื้อขายที่เกิดจากการที่ให้ระบบเป็นผู้คำนวณรายการซื้อขายให้ เพียงแค่ผู้ซื้อผู้ขายตั้งค่าเริ่มต้น ระบบจะคำนวณจากพฤติกรรมการใช้และการผลิตพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง

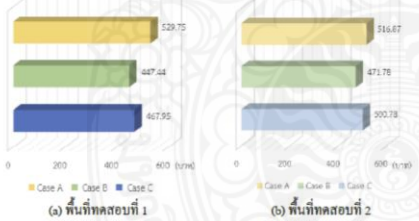
3) การสร้างรายการซื้อขายโดยไม่มีความเข้าใจ รายการซื้อขายไม่เหมาะสมต่อความต้องการจริง คือการซื้อขายที่เกิดจากการที่ผู้ซื้อและผู้ขายทำรายการแบบไม่มีความเข้าใจในพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าหรือกำลังการผลิตของตนเอง ทำให้ทำรายการซื้อขายไม่สอดคล้องกับความจริง

4.3 ผลการทดสอบ

ในการทดสอบข้อมูลการใช้งานและผลิตจริง ระยะเวลา 6 เดือน กับสถานการณ์ทดสอบ 3 รูปแบบ สามารถแสดงให้เห็นถึงค่าธรรมเนียม ค่าปรับ และค่าบริการที่เกิดขึ้นสำหรับผู้ให้บริการระบบการซื้อขายพลังงานดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสถานการณ์ของการคำนวนค่าไฟฟ้าตามรูปแบบการศึกษาวิจัยที่นำเสนอจะเห็นได้ว่า พื้นที่การทดสอบที่ 1 และ 2 สถานการณ์การซื้อขายแบบคงที่ (A) ผู้ให้บริการระบบ METP จะได้รายรับมากที่สุด รองลงมาจะเป็นสถานการณ์การซื้อขายโดยไม่มีความเข้าใจ (C) และที่ได้รายรับน้อยที่สุดจะเป็น สถานการณ์ซื้อขายโดยระบบอัตโนมัติ (B) ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การประเมินรายได้จากการทดสอบข้อมูลจริง

พื้นที่	Case	Fee ผลิต	Fee ใช้	Fine ผลิต	Fine ใช้	ค่าบริการไฟฟ้า	รวม
1	A	48.58	23.71	74.15	4.12	379.19	529.75
	B	41.43	15.38	72.92	3.42	314.29	447.44
	C	50.01	23.42	73.52	3.45	317.55	467.95
2	A	43.72	40.90	3.37	4.61	424.27	516.87
	B	39.41	37.05	3.05	4.22	388.05	471.78
	C	40.36	38.15	3.41	4.50	414.36	500.78



(a) พื้นที่ทดสอบที่ 1 (b) พื้นที่ทดสอบที่ 2

รูปที่ 1 ผลการทดสอบประเมินรายได้ที่ได้จากข้อมูลการใช้งานในพื้นที่จริง

5. สรุปผล (Conclusion)

บทความฉบับนี้นำเสนอกรอบแนวคิด เงื่อนไขและขั้นตอนในการพัฒนากระบวนการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในภาคครัวเรือน ในลักษณะการซื้อขาย 2 รูปแบบ ประกอบด้วย แบบสัญญา (Contract) และแบบประมูล (Auction) ตามมาตรฐานและการให้บริการจริงและข้อมูลอ้างอิงงานวิจัยในหลายประเทศ บนข้อมูลการใช้งานจริงของพื้นที่ทดสอบ 2 พื้นที่ ในรูปแบบที่แตกต่างกัน กับสถานการณ์การสร้างรายการซื้อขาย 3 รูปแบบ ประกอบไปด้วย แบบคงที่ แบบข้อมูลสถิติย้อนหลัง และแบบไม่มีความเข้าใจ เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ในมุมมองความคุมค่าหรือรายได้สำหรับผู้ให้บริการที่แตกต่างกันตามการซื้อขายบนข้อมูลจริงที่เชื่อถือได้ ซึ่งจากผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่า กระบวนการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบภาคครัวเรือนดังกล่าวสามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ให้บริการได้ ด้วยจำนวนมูลค่าที่แตกต่างกันตามพฤติกรรมผู้ใช้งานและสร้างรายการซื้อขาย ซึ่งจะเป็นกรอบแนวคิดต้นแบบในการสนับสนุนการกำหนดนโยบายองค์กรได้ในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Jonathan T. Lee, Rodrigo Henriquez-Auba, Bala Kameshwar Poolla, Duncan S. Callaway, " *Pricing and Energy Trading in Peer-to-Peer Zero Marginal-Cost Microgrids," in IEEE Transactions on Smart Grid Volume: 13, Issue: 1, January 2022.*

[2] Shubhani Aggarwal, Neeraj Kumar, Sudeep Tanwar, Mamoun Alazab, " *A Survey on Energy Trading in the Smart Grid: Taxonomy, Research Challenges and Solutions," in IEEE Access Volume: 9*, 2021.

[3] M. N. Akter, M. A. Mahmud, M. E. Haque, Amanullah M. T. Oo *"Comparative analysis of energy trading priorities based on open transactive energy markets in residential microgrids," in 2017 Australasian Universities Power Engineering Conference*

[4] Chao Long, Jianzhong Wu, Chenghua Zhang, Lee Thomas, Meng Cheng, Nick Jenkins, *"Peer-to-peer energy trading in a community microgrid," in 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*

[5] I. Safak Bayram, Muhammad Z. Shakir, Mohamed Abdallah, Khalid Qaraqe, *"A survey on energy trading in smart grid," in 2014 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*

[6] Naouar Yaagoubi, Hussein T. Mouftah, *"Energy Trading In the smart grid: A game theoretic approach," in 2015 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering*

[7] Shengbo Chen, Ness B. Shroff, Prasun Sinha, *" Energy trading in the smart grid: From end-user's perspective," in 2013 Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล เกริก พวงนาค
วัน เดือน ปีเกิด 30 พฤษภาคม 2530
ภูมิลำเนา กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม	2558
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2566

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน
ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม
บริษัท ทรานส์เดฟ จำกัด
1999/29 ซอย ลาดพร้าว 94 (ปัญจมิตร) แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพ 10310