

การตรวจจับและจดจำโมเดลรถยนต์ด้วยข้อมูลเชิงจุดภาพ

Pixel-Based Car Model Detection and Recognition

อนุชา ตุงค์ขจรฐาน¹ และ กัสมา ลีวัน²

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี^{1,2}

E-mail: anucha_t@rmutt.ac.th¹, hitman1102@hotmail.com²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับและรู้จำโมเดลรถยนต์จากข้อความส่วนท้ายรถโดยใช้ข้อมูลเชิงจุดภาพ ซึ่งมีขั้นตอนหลักสำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การตรวจจับข้อความโมเดลรถยนต์ในภาพ และ 2) การรู้จำข้อความเพื่อระบุโมเดลรถยนต์ โดยในขั้นตอนที่แรกภาพส่วนท้ายรถจะถูกแปลงเป็นภาพขาวดำและระบุบริเวณที่คาดว่าเป็นข้อความโมเดลของรถยนต์ด้วยการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมวัตถุ (Bounding Box) ขณะที่ขั้นตอนที่สองค่าแม่นยำตรง (precision) และค่าเรียกคืน (recall) ถูกนำมาประยุกต์ใช้หาค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure) เพื่อบอกระดับความคล้ายคลึงกันของภาพสองภาพในการวัดประสิทธิภาพในการรู้จำของวิธีการที่นำเสนอ เราทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม Scale Invariant Feature Transform (SIFT) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจจับและรู้จำข้อความโมเดลได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม SIFT แบบมาตรฐาน เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์

Abstract

This article presents a car model detection and recognition approach based on the pixels by using tail texts from rear view images. The proposed approach includes two main steps: 1) car model detection step and 2) text recognition step in order to identify the car model. In the first step, the rear view image is converted into binary while specifying the expected area of the car model message by creating a bounding box. Accordingly, the precision and recall coefficients are applied to the overall performance (F-Measure) so as to indicate the similarity of two images. To measure the effectiveness of the proposed method, we compared the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm, which is a widely accepted and widely used method. According to the results, the proposed method can detect and recognize the model messages much more accurately and efficiently than the standard SIFT algorithm, previously used in car model tail text recognition.

1. บทนำ

งานวิจัยด้านการจดจำรถยนต์จากภาพถ่ายหรือภาพจากกล้องวงจรปิด ยังคงเป็นงานวิจัยที่ทำทนายและมีทำวิจัยอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน [1][2][3] เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านความปลอดภัยและด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ ตัวอย่างเช่นการก่ออาชญากรรมหรือการกระทำการที่ผิดกฎหมายในรูปแบบต่าง ๆ ทางผู้ร้ายได้นำรถยนต์มาใช้เป็นพาหนะในการก่ออาชญากรรมหรือการกระทำการที่ผิดกฎหมายเป็นจำนวนมาก ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นเจ้าหน้าที่จะทำการสืบสวนหารรถยนต์ต้องสงสัยของผู้กระทำความผิดจากกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งตามสถานที่ต่าง ๆ นับเป็นเรื่องยากและใช้เวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องตรวจสอบกับกล้องหลายร้อยตัวในเวลาเดียวกัน ดังนั้นการตรวจสอบแบบอัตโนมัติจะช่วยลดระยะเวลาและความยุ่งยากในการค้นหารรถยนต์ของผู้ร้าย อีกทั้งบ่อยครั้งที่คนร้ายใช้วิธีการสวมป้ายทะเบียนปลอมเพื่อใช้ในการก่อเหตุซึ่งไม่ตรงกับรุ่นของรถที่จดทะเบียนไว้กับกรมขนส่งทางบกดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้ไม่สามารถติดตามจับรถของคนร้ายตัวจริงได้ ทั้งนี้หากเราสามารถตรวจสอบรุ่น สีและยี่ห้อของรถยนต์และเปรียบเทียบกับข้อมูลจากป้ายทะเบียนรถยนต์ ก็จะทำให้ทราบว่ารอดคันใดต้องสงสัยที่อาจนำไปใช้ในการก่ออาชญากรรมได้ เพราะข้อมูลของรถที่ตรวจจับได้ไม่ตรงกับข้อมูลตามป้ายทะเบียนที่จดทะเบียนไว้ ซึ่งอาจป้องกันการก่ออาชญากรรมโดยใช้รถยนต์ได้อีกทางหนึ่ง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจจับและรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์จากข้อความทำยารถด้วยข้อมูลเชิงจุดภาพ (Pixel-Based) โดยมี

ขั้นตอนหลักสำคัญได้แก่ 1) การตรวจจับข้อความทำยารถด้วยการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมวัตถุ (Bounding Box) และ 2) การรู้จำข้อความเพื่อระบุโมเดลรถยนต์ ซึ่งทั้งสองขั้นตอนจะใช้ข้อมูลเชิงจุดภาพซึ่งเป็นวิธีที่มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเมื่อใช้กับฐานข้อมูลภาพขนาดเล็กอย่างเช่นฐานข้อมูลภาพรถยนต์ ทั้งนี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการรู้จำโมเดลรถยนต์ ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม Scale Invariant Feature Transform (SIFT) [18] ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 1 การนำป้ายทะเบียนปลอมปิดทับซ้อนเพื่อปิดบังการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตำรวจ (ผู้จัดการออนไลน์: 10 เมษายน 2558)

2. บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการตรวจจับ (Detection) และการรู้จำ (Recognition) รถยนต์จากภาพถ่าย โดยทั่วไปการรู้จำวัตถุในภาพถ่ายนั้น จะใช้คุณลักษณะเฉพาะของภาพที่มองเห็นได้ (Feature) เช่น รูปร่าง พื้นผิว สี หรือวิธีผสมผสาน ด้วยการสกัด (Extraction) คุณลักษณะเด่นของภาพออกมาด้วยวิธีการต่าง ๆ ในการรู้จำวัตถุรถยนต์ในภาพถ่ายจากวิดีโอก็เช่นกันการจดจำรูปร่าง

หรือสีของรถยนต์ก็มักถูกนำมาใช้ในการตรวจจับหรือรู้จำรถยนต์ เช่น P. Viola และคณะ [4] นำเสนอวิธีการ Haar-Like Feature ซึ่งใช้การตรวจจับมุม (Conner Detector) ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพ ซึ่งภายหลัง Jaesik Choi [5] ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจจับรถยนต์บนถนนแบบเรียลไทม์ (Real-time) ทั้งนี้วิธีการ Haar-Like Feature ยังเป็นที่แพร่หลายถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับรถยนต์อีกมากมาย เช่น ใน [6][7][8] ส่วนอีกวิธีการหนึ่งคือ Edge Maps [9][10] ถูกนำเสนอโดย T.F. Cootes และ C.J. Taylor [9] ใช้วิธีการแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear representation) ของโครงสร้างเส้นขอบ (Edge Structure) ซึ่งสามารถใช้ในการปรับปรุงรูปแบบวิธีการจับคู่ของวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแทนที่จะใช้ความเข้มของเส้นขอบแต่ละเส้นเพียงอย่างเดียว วิธีการนี้ใช้การประเมินความสอดคล้องกันของแต่ละเส้นขอบบนสมการความน่าเชื่อถือ (Reliable) หรือความน่าจะเป็น (Probability) ส่วน C. Glaseby และ K. Mardia [10] นำเสนอวิธีการไล่ระดับนอร์มัลไลซ์แบบเชิงเส้น (Linearly Normalized Gradients) หลักการหนึ่งของวิธีการนี้คือทุกจุดภาพที่เป็นเส้นขอบจะถูกเซตให้เป็นศูนย์ นอกจากนี้ยังมีผู้วิจัยที่พยายามคิดค้นวิธีการใหม่ ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น Hajar E. [11] เสนอวิธีการจำแนกประเภทลำดับชั้น (hierarchical classifier) ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะกำหนดระดับชั้นของยานพาหนะในตอนแรกและจากนั้นจดจำรูปแบบโมเดลของรถยนต์ในกลุ่มเล็ก ๆ ซึ่งจะเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพโดยมุ่งเน้นที่บริเวณสนใจมากที่สุด ยิ่งไปกว่านั้น Noppakun B.

[12] ยังได้นำเสนอการรู้จำโมเดลรถยนต์กับภาพถ่ายตอนกลางคืนอีกด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้การตรวจจับข้อความส่วนท้ายรถยนต์เพื่อระบุรุ่นของรถยนต์แต่ละคันซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยนำวิธีการตรวจจับข้อความในภาพซึ่งเป็นหัวข้องานวิจัยที่ยังมีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบ OCR (Optical Character Recognition) ระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ และระบบอ่านป้ายบอกทางอัตโนมัติ เป็นต้น มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีนักวิจัยจำนวนมากที่เสนอวิธีการต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ Sezer Karaoglu [13] นำเสนอการตรวจจับข้อความในรูปภาพแบบราสเตอร์ (Raster Image) ซึ่งใช้ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นร่วมกับบริบท (Context) ของภาพ และทดสอบประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอกับฐานข้อมูลที่แตกต่างกันได้แก่ CDAR 2003 PASCAL VOC 2011 และ IMET ซึ่งเป็นฐานข้อมูลภาพมาตรฐาน ส่วน Satadal Saha และคณะ [14] ได้นำเสนอการรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition : ALPR) โดยมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือ 1) ค้นหาบริเวณที่คาดว่าจะแผ่นป้ายทะเบียนในภาพรถยนต์ 2) แยกตัวอักษรออกจากแผ่นป้ายทะเบียน และ 3) กระบวนการรู้จำตัวอักษร โดยใช้หลักการของการสร้างแม่แบบตัวอักษร (Template Creation) นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอื่นอีกหลายท่านที่ทำงานวิจัยในด้านนี้ เช่น [15][16][17] และ [18] ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ตามงานวิจัยที่อ้างอิงท้ายบทความนี้

3. นำเสนอการรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์จากข้อมูลเชิงจุดภาพ

บทนี้จะนำเสนอขั้นตอนกระบวนการตรวจจับและรู้จำข้อความของโมเดลรถยนต์จากข้อความส่วนท้ายรถ ในขั้นตอนแรกการตรวจจับข้อความโมเดลรถยนต์นั้นจะใช้วิธีการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมวัตถุเพื่อระบุบริเวณที่น่าจะเป็นข้อความของโมเดลรถยนต์ จากนั้นข้อความที่สนใจซึ่งอยู่ในเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมวัตถุจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนการรู้จำข้อความโมเดลของรถยนต์โดยใช้ข้อมูลเชิงจุดภาพ โดยขั้นตอนต่าง ๆ ทั้งหมดแสดง ดังต่อไปนี้

3.1 การแปลงภาพระดับเทา

เพื่อลดปริมาณข้อมูลในการประมวลผล ขั้นตอนแรกคือการปรับภาพจากภาพสีจริง (True Color) ให้เหลือเพียงภาพที่มีระดับสีเพียง 8 ระดับ ตั้งแต่ขาวจนถึงดำนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการเพื่อคำนวณหาค่าสีเทา และนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดจุดภาพเดิม สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$G' = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

เมื่อ G' หมายถึงค่าระดับสีเทา ส่วน RGB คือค่าระดับของสี แดง เขียว และน้ำเงิน ตามลำดับ ภาพผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3

3.2 การแปลงภาพขาว-ดำ

เพื่อปรับภาพให้เหมาะสมก่อนขั้นตอนการทำ Closing และ Opening ภาพระดับเทาจะถูกแปลงให้เป็นภาพขาว-ดำ ที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเท่านั้น หมายความว่า มีเพียง 2 สถานะ คือ 0 และ 1 ถ้าจุดภาพใดมีค่าเป็น 0 หมายความว่าจุดภาพนั้นคือสีดำ จุดภาพใดมีค่าเป็น 1 หมายความว่าจุดภาพนั้นคือสีขาว โดยจะต้องกำหนดค่าความเข้มที่ต้องการอ้างอิง

หรือ ค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) ซึ่งกำหนดได้เอง หรือใช้อัลกอริทึมในการหาค่า ตัวอย่างภาพผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4

3.3 การกำจัดสิ่งรบกวนของภาพด้วยวิธีการ Closing และ Opening

ขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมภาพก่อนการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมวัตถุ (Bounding Box) โดยใช้วิธีการ Closing และ Opening โดย Opening คือกำจัดรายละเอียดขนาดเล็กหรือสิ่งรบกวนของภาพด้วยการทำ Opening จะทำให้จุดภาพของภาพขาวดำถูกเปิดกว้างมากขึ้นดังรูปที่ 6 โดยวิธีการของ Opening คือการทำ Erosion ก่อน จากนั้นจึงทำ Dilation ดังสมการที่ 2 เมื่อ B เป็น Structuring Element

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2)$$

ในขณะที่ Closing ทำในวิธีตรงข้ามกับ Opening กล่าวคือจะเป็นการทำให้ภาพมีการเชื่อมต่อกันมากขึ้นและการทำ Closing จะทำให้จุดภาพของภาพจะถูกปิดเชื่อมต่อกันมากขึ้นดังรูปที่ 9 วิธีการทำ Closing คือการทำ Dilation ก่อนจึงทำ Erosion ดังสมการที่ 3 เมื่อ B เป็น Structuring Element ภาพผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 5

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (3)$$

3.4 กระบวนการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมสำหรับปิดล้อมรอบวัตถุ (Bounding Box)

คือการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมสำหรับปิดล้อมรอบบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) โดยในที่นี้คือข้อความโมเดลรถยนต์จากภาพมุมมองท้ายรถ โดยขั้นตอนแรกจะทำการสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมรอบ

ทุกบริเวณจุดภาพที่มีสีขาวจากนั้นจึงคัดกรองให้เหลือเฉพาะบริเวณที่น่าจะเป็นข้อความโมเดลของรถยนต์ โดยใช้คุณสมบัติพื้นฐานอย่างง่ายได้แก่ขนาดพื้นที่และอัตราส่วนระหว่างของความยาวและความกว้าง ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่แล้วข้อความโมเดลรถยนต์จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้อัตราส่วนความยาวต้องมากกว่า 2 เท่าของความกว้าง ซึ่งเส้นสี่เหลี่ยมนี้จะช่วยในการคำนวณจุดศูนย์กลาง พื้นที่ ความยาว ความกว้าง จุดพิกัด ของบริเวณหรือวัตถุในภาพที่สนใจ เพื่อตัดภาพที่คาดว่าจะเป็ข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ และนำเข้าสู่กระบวนการรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์ต่อไป ตัวอย่างผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 7

3.5 การรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์

จากผลลัพธ์ในข้อ 3.4 เราจะได้ภาพที่คาดว่าจะเป็ข้อความโมเดลรถยนต์ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ภาพที่มีความน่าจะเป็นมากที่สุดไม่เกิน 10 ภาพเมื่อผ่านการกรองขั้นตอนสุดท้าย เพื่อลดปริมาณข้อมูลในการประมวลผลในการเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูล ขั้นตอนนี้เป็นการนำภาพสอบถาม(Query Image) มาเปรียบเทียบกับภาพที่อยู่ในฐานข้อมูล หาจำนวนจุดภาพที่ทับซ้อนกันเพื่อระดับความคล้ายคลึงกันของภาพทั้งสอง ด้วยการประยุกต์ใช้ค่า precision และ recall โดย recall คือ อัตราส่วนของจำนวนจุดภาพที่เกี่ยวข้องและถูกดึงออกมากับจำนวนจุดภาพที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ส่วน precision คือ อัตราส่วนของจำนวนจุดภาพที่เกี่ยวข้องและถูกดึงออกมากับจำนวนจุดภาพที่ถูกดึงออกมาทั้งหมด รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้จาก [17] จากนั้นจึงคำนวณหาค่า F-Measure เพื่อหาระดับความคล้ายคลึงกันของภาพ

สอบถามและภาพในฐานข้อมูล ดังแสดงในสมการที่ 4 - 6



รูปที่ 2 ภาพต้นฉบับ



รูปที่ 3 แปลงภาพให้เป็นสีเทา



รูปที่ 4 แปลงภาพเป็นสีขาว-ดำ



รูปที่ 5 เชื่อมต่อจุดให้เป็นกลุ่มก้อนเดียวกันด้วยวิธีการ

Closing



รูปที่ 6 กำจัดสิ่งรบกวนในภาพด้วยวิธีการ Opening



รูปที่ 7 ใช้ Bounding Box ที่คาดว่าจะเป็นโมเดล

$$P = \frac{A \cap B}{A} \quad (4)$$

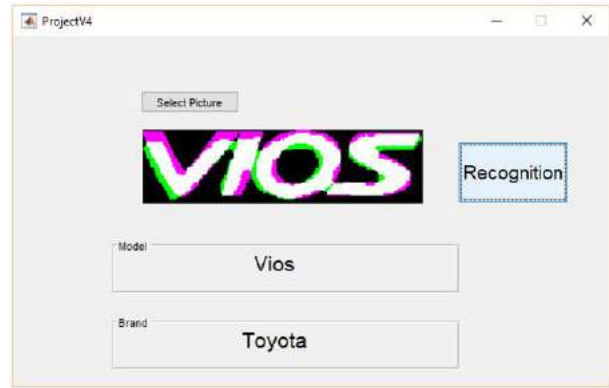
$$R = \frac{B \cap A}{B} \quad (5)$$

$$F = P * R \quad (6)$$

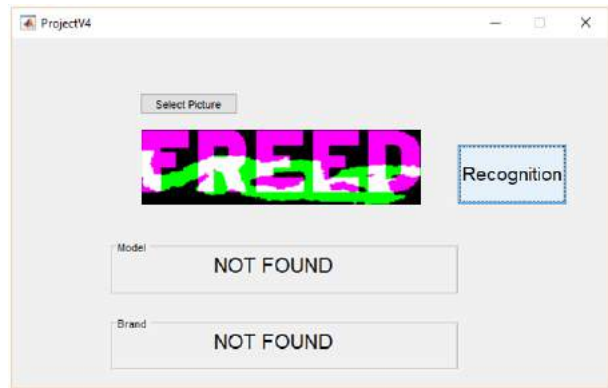
เมื่อ A คือภาพสอบถาม ส่วน B คือภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล และ F คือ ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของ recall และ precision ตัวอย่างผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบข้อความโมเดลรถยนต์ระหว่างภาพสอบถามและภาพในฐานข้อมูลซึ่งในการทดลองยังได้ทำการหมุนภาพสอบถามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหา โดยหมุนภาพครั้งละ 1 องศาทั้งด้านบวกและด้านลบ ด้านละ 5 องศา ซึ่งช่วยในกรณีที่ภาพสอบถามไม่ได้ถูกบันทึกแบบด้านหน้าตรงเพื่อให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงที่ตัวรถมักจะทำมุมเอียงกับกล้องบันทึกภาพ ทั้งนี้ ค่า F-Measure จะถูกคำนวณ

ในการหมุนแต่ละครั้งจนครบทั้ง 10 องศา(ด้านบวกและด้านลบ) จากนั้นจึงนำค่าที่ดีที่สุดระดับความคล้ายคลึงกันของภาพสองภาพ โดยขั้นตอนของกระบวนการทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 9



(a)



(b)

รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของการรู้จำโมเดลรถยนต์ด้วยข้อมูลเชิงจุดภาพ

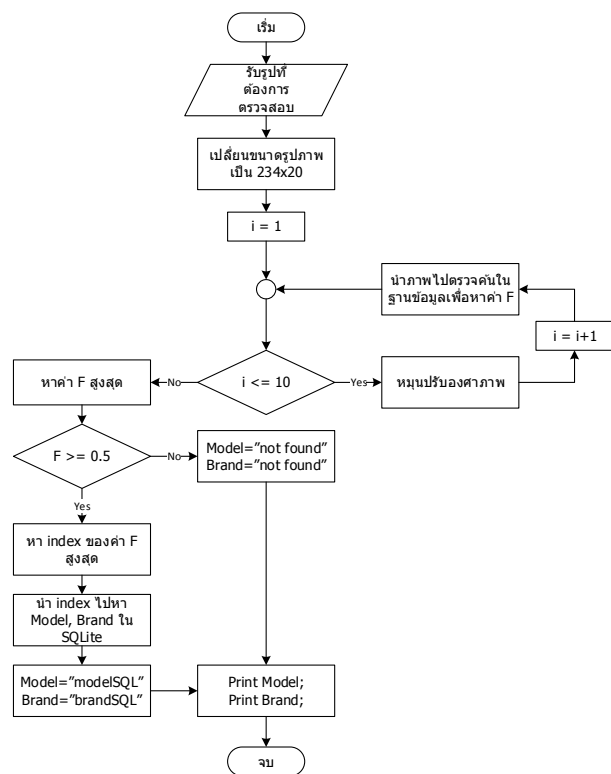
(a) ภาพสอบถามคล้ายคลึงกับภาพในฐานข้อมูลที่ $F \geq 0.5$

(b) ภาพสอบถามคล้ายคลึงกับภาพในฐานข้อมูลที่ $F < 0.5$

4. ผลการทดลอง

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ เราได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ทดสอบความสามารถในการตรวจจับข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ และการ

ทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพด้านความถูกต้องในการรู้จำข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์



รูปที่ 9 กระบวนการรู้จำโมเดลรถยนต์จากข้อความส่วนท้ายรถ

โดยทั้ง 2 การทดลองนี้ได้กำหนดฐานข้อมูลภาพข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์จำนวน 8 ยี่ห้อ ได้แก่ TOYOTA, HONDA, MITSUBISHI, ISUZU, SUZUKI, MAZDA, FORD และ CHEVROLET รวม 23 รุ่น ภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 10 เพื่อใช้เป็นภาพฐานข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบ จากนั้นภาพสอบถามได้แก่ภาพรถยนต์มุมมองท้ายรถที่แตกต่างกันของรุ่นและยี่ห้อ จำนวน 50 ภาพ จะถูกนำมาเปรียบกับฐานข้อมูลภาพข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ และหาผลลัพธ์ความถูกต้องของการรู้จำด้วยข้อมูลเชิงจุดภาพซึ่งวิธีการคำนวณความคล้ายคลึงกันของภาพสองภาพได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 3 และในบทนี้จะได้นำเสนอ

การทดลองและผลลัพธ์ที่ได้โดยมีรายละเอียดของแต่ละการทดลองดังนี้



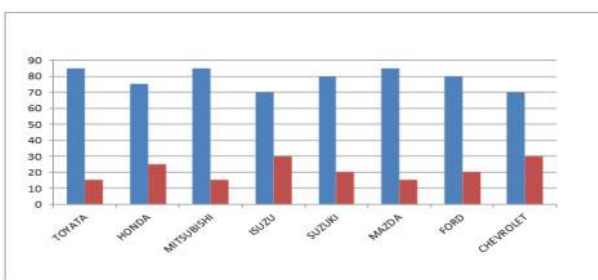
รูปที่ 10 ตัวอย่างภาพข้อความโมเดลรถยนต์ในฐานข้อมูลรูปภาพที่ขนาด 234x20 จุดภาพ

4.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์

เมื่อนำภาพสอบถามเข้าสู่โปรแกรม ภาพจะเข้าสู่กระบวนการแปลงภาพให้เป็นสีเทา และถูกแปลงเป็นภาพสีขาว-ดำ หลังจากนั้นรูปภาพจะผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ โดยใช้วิธีการ closing เพื่อเชื่อมต่อจุดให้เป็นกลุ่มก้อนเดียวกัน ต่อด้วยการใช้วิธีการ opening เพื่อกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ และสร้างเส้นสีเหลืองมปิดล้อมวัตถุ เพื่อหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องหมายถึงเส้นสีเหลืองมปิดล้อมวัตถุที่ครอบคลุมบริเวณที่เล็กที่สุดที่สมบูรณ์ของข้อความโมเดลรถยนต์โดยตัวอักษรไม่ขาดหาย(เส้นสีเขียว) ผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนของการตรวจจับข้อความโมเดลท้ายรถได้แสดงไว้แล้วดังรูปที่ 2 - 7 โดยตัวอย่างผลลัพธ์สุดท้ายของการทดลองนี้แสดงดังตารางที่ 1 และผลลัพธ์ทั้งหมดของการทดลองแสดงในรูปของกราฟแท่งดังรูปที่ 11

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของโปรแกรมตรวจจับข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ของรถยนต์ยี่ห้อ HONDA, SUZUKI, TOYOTA และ MAZDA ซึ่งมีโมเดลเป็น CR-V, Swift, Camry และ

Mazda 2 ตามลำดับ ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าจำนวนข้อความโมเดลที่ต้องการตรวจสอบมี 1 ข้อความ คือคำว่า Accord โปรแกรมสามารถสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมบริเวณที่คาดว่าจะเป็ข้อความโมเดลรถยนต์จำนวนทั้งหมด 11 บล็อก โดยเป็นบล็อกข้อความที่สมบูรณ์และถูกต้องจำนวน 1 ข้อความ รูปที่ 2 แสดงจำนวนข้อความที่ต้องการตรวจสอบ 1 ข้อความคือคำว่า Swift โปรแกรมสามารถสร้างเส้นสี่เหลี่ยมปิดล้อมบริเวณที่คาดว่าจะเป็ข้อความโมเดลรถยนต์จำนวน 20 บล็อก และเป็นบล็อกข้อความที่สมบูรณ์และถูกต้องจำนวน 1 ข้อความ จากตัวอย่างผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการตรวจจับข้อความทำยรถยนต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจจับได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพอย่างไรก็ตามในบางรุ่นของบางยี่ห้อวิธีการที่นำเสนอยังมีข้อบกพร่องในตรวจสอบอยู่บ้างดังแสดงในตารางที่ 2 และขั้นตอนต่อไปคือการคัดกรองบล็อกที่ไม่ใช่ข้อความที่ต้องการออกให้เหลือเพียง 10 บล็อก โดยใช้กระบวนการตามข้อที่ 3.5 เพื่อนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป



รูปที่ 11 กราฟแท่งแสดงประสิทธิภาพของการตรวจจับข้อความโมเดลทำยรถ (สีฟ้า = ผลลัพธ์ถูกต้อง, สีแดง = ผลลัพธ์ไม่ถูกต้อง)

4.3 การทดลองที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพการรู้จำข้อความโมเดลส่วนทำยรถยนต์

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพด้านความถูกต้องในการรู้จำข้อความโมเดลส่วนทำยรถยนต์ ตามหัวข้อ 3.4 โดยการประยุกต์ใช้ค่า F-Measure เพื่อระบุความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพสอบถามและภาพในฐานข้อมูลโดยกำหนดให้ภาพที่มีความคล้ายคลึงกันต้องมีค่า F-Measure มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 โดยภาพที่คล้ายคลึงกันมากที่สุดก็คือภาพที่มีค่า F-Measure มากที่สุดและต้องมากกว่า 0.5 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4 และผลการทดสอบกับภาพสอบถามทั้งหมดจำนวน 50 ภาพแสดงดังรูปที่ 12 ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์เราทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม SIFT ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย [18] ในการรู้จำวัตถุภายในภาพ ตัวอย่างผลลัพธ์ในการทดสอบด้วยอัลกอริทึม SIFT แสดงได้ดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบจุดสนใจระหว่างภาพสองภาพด้วยอัลกอริทึม SIFT ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าจุดสนใจที่ตรงกันระหว่างภาพสอบถามและภาพจากฐานข้อมูลประสิทธิภาพจะลดลงอย่างมากเมื่อภาพสอบถามและภาพในฐานข้อมูลเป็นคนละภาพกัน ทั้งนี้จากการทดสอบกับภาพทั้งหมดจำนวน 50 ภาพ พบว่าหากภาพสอบถามมีแสงเงาและความละเอียดของภาพแตกต่างจากภาพในฐานข้อมูล อัลกอริทึม SIFT มาตรฐาน ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์


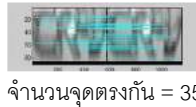


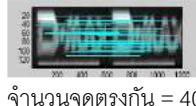
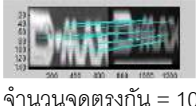

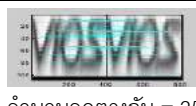
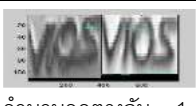
ตารางที่ 1 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การตรวจจับข้อความโมเดล ส่วนท้ายรถยนต์ ด้วยวิธีการสร้างเส้นสีเขียวปิดล้อมวัตถุ

| ยี่ห้อ | โมเดล | ผลลัพธ์ |
|---|------------|--|
|  | CR-V | <p>ภาพที่ 1</p>  <p>จำนวนข้อความ = 1, จำนวนที่จับได้ = 17 จำนวนที่ถูกต้อง = 1</p> |
|  | Swift | <p>ภาพที่ 2</p>  <p>จำนวนข้อความ = 1, จำนวนที่จับได้ = 20 จำนวนที่ถูกต้อง = 1</p> |
|  | Camry | <p>ภาพที่ 3</p>  <p>จำนวนข้อความ = 1, จำนวนที่จับได้ = 19 จำนวนที่ถูกต้อง = 1</p> |
|  | Mazda 2 | <p>ภาพที่ 4</p>  <p>จำนวนข้อความ = 1, จำนวนที่จับได้ = 25 จำนวนที่ถูกต้อง = 1</p> |

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องของการ ตรวจจับข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ ด้วยวิธีการสร้างเส้น สีเขียวปิดล้อมวัตถุ

| ยี่ห้อ | โมเดล | ผลลัพธ์ |
|---|--------|---|
|  | Civic | <p>ภาพที่ 1</p>  <p>จำนวนข้อความ = 1, จำนวนที่จับได้ = 18 จำนวนที่ถูกต้อง = 0 (ข้อความไม่สมบูรณ์)</p> |
|  | Escape | <p>ภาพที่ 2</p>  <p>จำนวนข้อความ = 1, จำนวนที่จับได้ = 16 จำนวนที่ถูกต้อง = 0 (ข้อความไม่สมบูรณ์)</p> |

ตารางที่ 3 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การรู้จำด้วยอัลกอริทึม SIFT

| ยี่ห้อ | โมเดล | เปรียบเทียบกับภาพ เดียวกัน | เปรียบเทียบกับภาพ สอบถาม |
|---|-----------|---|--|
|  | CRV |  จำนวนจุดตรงกัน = 35 |  จำนวนจุดตรงกัน = 0 |
|  | D- Max |  จำนวนจุดตรงกัน = 40 |  จำนวนจุดตรงกัน = 10 |
|  | Vios |  จำนวนจุดตรงกัน = 35 |  จำนวนจุดตรงกัน = 1 |

ตารางที่ 4 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของข้อความโมเดล Mazda 2 และ Mazda 3 กับค่า F-Measure ในแต่ละองศาของการหมุนภาพสอบถาม

| Mazda 2 | Mazda 3 | องศาการหมุน |
|------------|------------|--------------|
| | | ภาพสอบถาม |
| | | ภาพฐานข้อมูล |
| F=0.32 | F=0.29 | 5° |
| F=0.36 | F=0.32 | 4° |
| F=0.40 | F=0.35 | 3° |
| F=0.45 | F=0.49 | 2° |
| F=0.46 | F=0.67 | 1° |
| F=0.59 | F=0.72 | 0° |
| F=0.68 | F=0.50 | -1° |
| F=0.63 | F=0.49 | -2° |
| F=0.52 | F=0.44 | -3° |
| F=0.45 | F=0.38 | -4° |
| F=0.40 | F=0.33 | -5° |

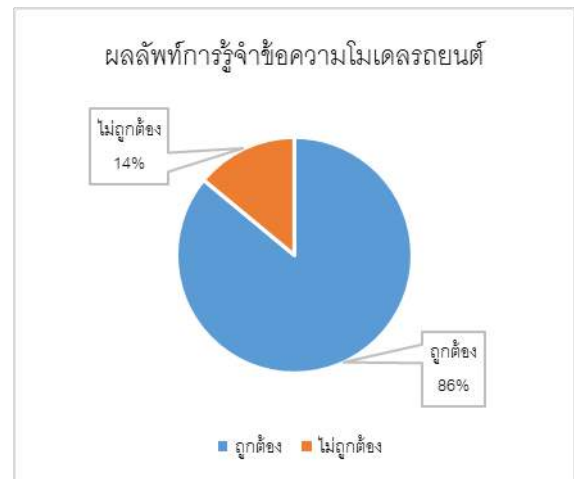
ตารางที่ 5 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของ Mazda 2 และ Mazda 3 ที่มีค่า F-Measure สูงที่สุดในแต่ละโมเดล

| Mazda 2 | Mazda 3 |
|---------------|---------------|
| ภาพสอบถาม | ภาพสอบถาม |
| F=0.30 | F=0.26 |
| F=0.45 | F=0.43 |
| F=0.40 | F=0.35 |
| F=0.42 | F=0.35 |
| F=0.68 | F=0.62 |
| F=0.61 | F=0.72 |
| F=0.20 | F=0.19 |
| F=0.15 | F=0.11 |
| F=0.28 | F=0.23 |
| F=0.34 | F=0.27 |
| F=0.38 | F=0.34 |
| F=0.33 | F=0.31 |
| F=0.39 | F=0.33 |
| F=0.23 | F=0.20 |

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตามการทดลองที่ 4.2 กับภาพสอบถามทั้งหมดจำนวน 50 ภาพ

| Query image | Database Image | F-Measure | angle | Result | Query image | Database Image | F-Measure | angle | Result |
|-----------------------|-----------------------------|-----------|-------|--------|-----------------------|-----------------------------|-----------|-------|--------|
| honda_accord_2.jpg | picDB\HONDA_ACCORD.jpg | 0.747 | 1 | TRUE | Fiesta_01.jpg | picDB\FORD_FIESTA.jpg | 0.573 | 5 | TRUE |
| mitsu_mirage_2.jpg | picDB\MITSUBISHI_MIRAGE.jpg | 0.730 | 3 | TRUE | che_captiva_1.jpg | picDB\CHEVROLET_CAPTIVA.jpg | 0.571 | 5 | TRUE |
| MU-X_02.jpg | picDB\ISUZU_MU-X.jpg | 0.717 | -5 | TRUE | MU-7_01.jpg | picDB\ISUZU_MU-7.jpg | 0.553 | -3 | TRUE |
| mazda3_02.jpg | picDB\MAZDA_MAZDA-3.jpg | 0.716 | 5 | TRUE | CX-5_01.jpg | picDB\MAXDA_CX-5.jpg | 0.546 | 1 | TRUE |
| Mazda2_02.jpg | picDB\MAZDA_MAZDA-2.jpg | 0.708 | 5 | TRUE | che_optra_1.jpg | picDB\CHEVROLET_OPTRA.jpg | 0.546 | -3 | TRUE |
| honda_cr-v_2.jpg | picDB\HONDA_CR-V.jpg | 0.690 | 1 | TRUE | honda_civic_2.jpg | picDB\HONDA_CIVIC.jpg | 0.544 | 1 | TRUE |
| mazda3_01.jpg | picDB\MAZDA_MAZDA-3.jpg | 0.690 | 1 | TRUE | D-Max_02.jpg | picDB\ISUZU_D-MAX.jpg | 0.542 | -1 | TRUE |
| Mazda2_01.jpg | picDB\MAZDA_MAZDA-2.jpg | 0.679 | 3 | TRUE | honda_civic_1.jpg | picDB\HONDA_CIVIC.jpg | 0.531 | 1 | TRUE |
| vios_01.JPG | picDB\TOYOTA_VIOS.jpg | 0.676 | 5 | TRUE | suzuki_celerio_01.jpg | picDB\SUZUKI_CELERIO.jpg | 0.528 | -1 | TRUE |
| CX-5_02.jpg | picDB\MAXDA_CX-5.jpg | 0.658 | 1 | TRUE | mitsu_triton_1.jpg | picDB\MITSUBISHI_TRITON.jpg | 0.526 | 1 | TRUE |
| camry_01.jpg | picDB\TOYOTA_CAMRY.jpg | 0.654 | -5 | TRUE | che_optra_2.jpg | picDB\CHEVROLET_OPTRA.jpg | 0.525 | -5 | TRUE |
| suzuki_ciaz_01.jpg | picDB\SUZUKI_CIAZ.jpg | 0.651 | 5 | TRUE | Focus_01.jpg | picDB\FORD_FOCUS.jpg | 0.524 | 5 | TRUE |
| toyota_yaris_02.jpg | picDB\TOYOTA_YARIS.jpg | 0.642 | 1 | TRUE | che_colorado_2.jpg | picDB\CHEVROLET_COLO.jpg | 0.522 | 1 | TRUE |
| honda_accord_1.jpg | picDB\HONDA_ACCORD.jpg | 0.640 | 5 | TRUE | honda_cr-v_1.jpg | picDB\HONDA_CR-V.jpg | 0.519 | -1 | TRUE |
| mitsu_triton_2.jpg | picDB\MITSUBISHI_TRITON.jpg | 0.614 | -1 | TRUE | suzuki_ciaz_02.jpg | picDB\SUZUKI_CIAZ.jpg | 0.514 | -3 | TRUE |
| mitsu_mirage_1.jpg | picDB\MITSUBISHI_MIRAGE.jpg | 0.600 | 1 | TRUE | vios_02.JPG | picDB\TOYOTA_VIOS.jpg | 0.514 | -5 | TRUE |
| suzuki_celerio_02.jpg | picDB\SUZUKI_CELERIO.jpg | 0.599 | 3 | TRUE | D-Max_01.jpg | picDB\ISUZU_D-MAX.jpg | 0.511 | 1 | TRUE |
| Fiesta_02.jpg | picDB\FORD_FIESTA.jpg | 0.597 | -1 | TRUE | camry_02.jpg | picDB\TOYOTA_CAMRY.jpg | 0.501 | 1 | TRUE |
| CX-5_02.jpg | picDB\MAXDA_CX-5.jpg | 0.591 | -3 | TRUE | mitsu_pajero_2.jpg | picDB\ISUZU_MU-X.jpg | 0.425 | -5 | FALSE |
| MU-X_01.jpg | picDB\ISUZU_MU-X.jpg | 0.587 | -5 | TRUE | toyota_yaris_01.jpg | picDB\ISUZU_MU-X.jpg | 0.392 | -1 | FALSE |
| MU-7_02.jpg | picDB\ISUZU_MU-7.jpg | 0.585 | -1 | TRUE | Escape_02.jpg | picDB\ISUZU_D-MAX.jpg | 0.365 | 1 | FALSE |
| che_captiva_2.jpg | picDB\CHEVROLET_CAPTIVA.jpg | 0.585 | 1 | TRUE | Focus_02.jpg | picDB\ISUZU_MU-X.jpg | 0.279 | -3 | FALSE |
| suzuki_swift_02.jpg | picDB\SUZUKI_SWIFT.jpg | 0.582 | 5 | TRUE | suzuki_swift_01.jpg | picDB\MITSUBISHI_MIRAGE.jpg | 0.248 | -5 | FALSE |
| Escape_01.jpg | picDB\FORD_EDCAPE.jpg | 0.577 | 3 | TRUE | suzuki_swift_02.jpg | picDB\MITSUBISHI_MIRAGE.jpg | 0.248 | -5 | FALSE |
| che_colorado_1.jpg | picDB\CHEVROLET_COLO.jpg | 0.574 | -1 | TRUE | mitsu_pajero_1.jpg | picDB\SUZUKI_CELERIO.jpg | 0.232 | 3 | FALSE |

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งจากตัวอย่างเป็นการใช้ภาพสอบถามของรถยนต์โมเดล Mazda 3 โดยเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูลภาพของ Mazda 3 และ Mazda 2 โดยมีการหมุนภาพเพื่อหาค่า F-Measure สูงที่สุดและต้องมากกว่า 0.5 ซึ่งจะเห็น่วิธีการที่นำเสนอ นอกจากจะสามารถหาภาพที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดได้แล้ว ยังสามารถแยกข้อความโมเดลรถที่มีความคล้ายคลึงกันมากอย่างเช่น Mazda 2 และ Mazda 3 ได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย นอกจากนี้ในตารางที่ 5 ยังแสดงผลการเปรียบเทียบของภาพสอบถาม Mazda 2 และ Mazda 3 กับภาพข้อความโมเดลของแต่ละรุ่นในฐานข้อมูลที่มีค่า F-Measure สูงที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้อความโมเดลรถยนต์แต่ละรุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน โดยผลการทดลองกับภาพสอบถามทั้งหมดจำนวน 50 ภาพ แสดงได้ตารางที่ 6 และรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลลัพธ์ของการทดสอบประสิทธิภาพการรู้จำข้อความโมเดลรถยนต์

5. สรุป

บทความนี้เสนอวิธีการตรวจจับและรู้จำข้อความโมเดลส่วนท้ายรถยนต์ด้วยข้อมูลเชิงจุดภาพทั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมกับภาพสอบถามมุมมองท้ายรถ ทั้งหมด 8 ยี่ห้อ 23 รุ่น จำนวน 50 ภาพ โดยการทดลองที่ 1

พบว่าวิธีการสร้างเส้นสีเหลืองปิดล้อมวัตถุสามารถตรวจจับข้อความโมเดลท้ายรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ในกระบวนการการรู้จำได้ และผลการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการรู้จำข้อความโมเดลท้ายรถยนต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถรู้จำข้อความโมเดลท้ายรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม SIFT แบบมาตรฐาน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานร่วมกับระบบตรวจจับรถยนต์ต้องสงสัยหรือระบบความปลอดภัยอื่น ๆ เกี่ยวกับรถยนต์ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohsen B., Ali S., and Hamid H., "Part-based recognition of vehicle make and model," IET Image Processing, Volume 11, Issue 7, p. 483-491, July 2017.
- [2] Yongbin G., Hyo J. L., Related information, "Car manufacturer and model recognition based on scale invariant feature transform," IJCVR, Volume 8, Issue 1, Inderscience Online, Seb., 2018
- [3] M. Huzaifa and I. S. Suwardi, "Car model recognition from frontal image using BRISK," 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), Palembang, pp. 104-108, 2017
- [4] P. Viola, M. Jones, and D. Snow, "Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance," MITSUBISHI Electric Research Laboratories, 2003
- [5] J. Choi, "Realtime On-Road Vehicle Detection with Optical Flows and Haar-like feature detectors," University of Illinois at Urbana-Champaign, Computer Science Research and Tech Reports, 2012
- [6] S. Han, Y. Han and H. Hahn, "Vehicle Detection Method using Haar-like Feature on Real Time System," World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009
- [7] T. Senthil Kumar and S.N. Sivanandam, "An Improved Approach for Detecting Car in Video using Neural Network Model," Journal of Computer Science 8(10): 1759-1768, 2012
- [8] K. Zheng, Y. Zhao, J. Gu, and Q. Hu, "License Plate Detection Using Haar-like Features and Histogram of Oriented Gradients," IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2012
- [9] T.F. Cootes, C.J. Taylor, "On Representing Edge Structure for Model Matching," in Proc. CVPR 2001, Volume 1, pp.1114-1119, 2001
- [10] C. Glaseby and K. Mardia. "A penalized likelihood approach to image warping," Journal of the Royal Statistical Society B, 63(3), 2001
- [11] Hajar E., Mahmood F., and Kaamran R., "Real Time Vehicle Make and Model

- Recognition Based on Hierarchical Classification," International Journal of Machine Learning and Computing, Vol.4, No.2, April 2014
- [12] Noppakun B., and Simant P., "Car make and model recognition under limited lighting conditions at night," Pattern Analysis and Applications, Vol.20, Issue 4, pp 1195–1207, Nov. 2017.
- [13] Sezer Karaoglu, Jan. C. van Gemert and Theo Gevers, "Object Reading: Text Recognition for Object Recognition," European Conference on Computer Vision workshop on Information fusion in computer vision for concept recognition, (IFCVCR), Firenze, 2011
- [14] Satadal Saha, Subhadip Basu and Mita Nasipuri, "Automatic Localization and Recognition of License Plate Characters for Indian Vehicles," Int. J Comp Sci. Emerging Tech, Vol.2, No.4, August 2011
- [15] Serkan Ozbay, and Ergun Ercelebi, "Automatic Vehicle Identification by Plate Recognition," World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.1, No.9, 2007
- [16] Sezer Karaoglu, Jan. C. van Gemert and Theo Gevers, "Object Reading: Text Recognition for Object Recognition," European Conference on Computer Vision workshop on Information fusion in computer vision for concept recognition, (IFCVCR), Firenze, 2011
- [17] David G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, 2004
- [18] Apostolos P. Psyllos, Christos-Nikolaos E. Anagnostopoulos, Member, IEEE, and Eleftherios Kayafas, Member, IEEE. "Vehicle Logo Recognition Using a SIFT-Based Enhanced Matching Scheme," IEEE TRANS. ON Intelligent Transportation Systems, Vol.11, No.2, June 2010