

การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรด้วยเชพคอนเท็กซ์ Road Signs Detection by Using Shape Context

สำรวน เวียงสมุทร¹
Samruan Wiangsamut¹

บทคัดย่อ

การรู้จำป้ายสัญญาณจราจรเป็นงานวิจัยที่มีความท้าทายกับระบบช่วยขับและระบบขับรถยนต์อัตโนมัติ ซึ่งการรู้จำป้ายสัญญาณจราจรที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่มีประสิทธิภาพด้วย ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดใหม่ในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร บนภาพสีที่มีพื้นหลังไม่คงที่เพื่อมุ่งเน้นเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการตรวจจับขอบเขตสีที่สนใจ ร่วมกับเชพคอนเท็กซ์ และป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ โดยงานวิจัยที่นำเสนอมีขั้นตอนคือ 1) ตรวจจับขอบเขตที่สนใจจากภาพโหมดสีมาตรฐาน RGB และ HSV เพื่อหาขอบเขตสีที่สนใจ 2) หาเส้นขอบของขอบเขตที่สนใจที่ได้ได้จากขั้นตอนที่ 1 3) ประเมินเส้นขอบระหว่างขอบเขตที่สนใจและป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบด้วยเชพคอนเท็กซ์ เพื่อยืนยันป้ายสัญญาณจราจรจากการทดสอบกับข้อมูลภาพจำนวน 3940 ภาพ พบว่ามีอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.36

คำสำคัญ: การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร เชพคอนเท็กซ์ การแบ่งแยกสี

Abstract

Road signs recognition is a challenge topic in driver assistance systems and autonomous driving system. The efficiency of road signs detection will have

influence on the performance result of road signs recognition.

This research presents the detection of road signs that have various background image. This is a new idea. We applied shape context and road signs template to improve performance of road signs detection. We proposed technique that includes: 1) the detection of interested region from RGB and HSV standard color models to find interested color space. 2) from the regions of interest in the step 1, we detect the edge of region. 3) an evaluation between the edge of region and road sign template by using shape context. From the testing with 3940 images, the results of road signs detection show that the false positive rate is 0.36.

Keyword: Road Signs Detection, Shape Context, Color Segment

1. บทนำ

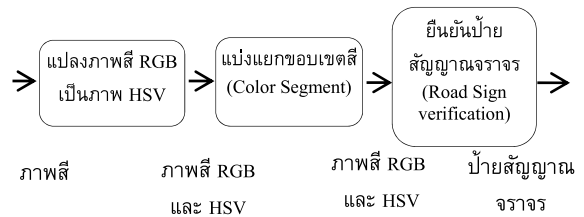
ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) เป็นระบบที่น่าสนใจมากในปัจจุบัน เพราะระบบดังกล่าวจะส่งผลให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น สามารถทำให้เกิดความสะดวกสบาย ลดเวลาหรือค่าใช้จ่าย ในการขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทางได้ เป็นต้น การขับอัตโนมัติ (Autonomous Driving) เป็นอีกหนึ่งระบบของระบบขนส่งอัจฉริยะ เพราะเป็น

¹ อาจารย์ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม Tel. 08-4786-1867, E-mail: sumruan.w@msu.ac.th

ความพยายามศึกษาวิจัยระบบเพื่อช่วยในการขับที่พาหนะของมนุษย์ โดยสามารถควบคุมพาหนะให้สามารถขับที่บนถนนเพื่อไปยังจุดหมายโดยไม่เกิดอุบัติเหตุและสามารถปฏิบัติตามกฎจราจร เป็นต้น ซึ่งการที่จะกระทำการที่กล่าวมาได้นั้น ระบบการขับอัตโนมัติจะต้องสามารถตัดสินใจได้อย่างมีเหตุและผลตามสภาพแวดล้อมที่ประสบอยู่ เช่น สามารถแยกแยะได้ว่าถนนด้านใดที่สามารถบังคับให้พาหนะไปได้หรือไม่ มีสิ่งกีดขวางหรือไม่ ถึงจุดหมายปลายทางหรือยัง และสามารถตีความหมายและปฏิบัติตามสัญญาณป้ายจราจรได้ถูกต้อง เป็นต้น

ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากพยายามศึกษาวิจัยการตีความหมายป้ายสัญญาณจราจรจากการประมวลผลภาพเป็นจำนวนมาก [1]-[27] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาขั้นตอนวิธีการรู้จำป้ายสัญญาณจราจรให้มีความแม่นยำเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการขับอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ การรู้จำป้ายสัญญาณจราจรจากงานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวมา มี 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1) การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร (Detection) เพื่อแยกเฉพาะส่วนของป้ายสัญญาณจราจรออกจากภาพพื้นหลัง 2) การจำแนกประเภท (Classification) หรือตีความหมายด้วยการรู้จำป้ายสัญญาณจราจร 3) การติดตาม (Tracking) ป้ายสัญญาณจราจร [1]

ขั้นตอนการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการรู้จำป้ายสัญญาณจราจรเพราะถ้ามีความถูกต้องแม่นยำสูงจะส่งผลให้ขั้นตอนต่อไปมีโอกาสถูกต้องสูงตามไปด้วยจากงานวิจัย [1], [7], [14], [18], [26], [27] ได้ทำการวิจัยตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรโดยใช้การค้นหาลักษณะที่สนใจจากคุณสมบัติของสี แล้วนำขอบเขตที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อยืนยันว่าเป็นสัญญาณป้ายจราจรหรือไม่ ซึ่งทำให้การประมวลผลเพื่อระบุป้ายสัญญาณจราจรมีความรวดเร็วขึ้นเพราะไม่ต้องวิเคราะห์ทั้งภาพแต่วิเคราะห์เพียงขอบเขตที่สนใจเท่านั้น จากงานวิจัย [1] พบว่าหลังจากได้ขอบเขตที่สนใจแล้วมีการยืนยันป้ายสัญญาณจราจรด้วยการวิเคราะห์หรือค้นหามุม (Corner) ซึ่งถือเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรในงานวิจัยที่นำเสนอ

แต่มีข้อจำกัดคือถ้าป้ายสัญญาณจราจรมีขนาดและการหมุนหรือวางในทิศทางที่เปลี่ยนแปลง ก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพความถูกต้องดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอขั้นตอนวิธีการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่มีลักษณะป้ายวงกลม ที่มีขอบสีแดงที่มีในประเทศไทย โดยใช้การประมวลผลภาพสีร่วมกับการเปรียบเทียบรูปร่างด้วยเชฟคอนเท็กซ์ ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2. วิธีการทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร พบว่าในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรด้วยหลักการตรวจจับขอบเขตของสีและรูปร่างเป็นหลักในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ เพราะทำให้กระบวนการยืนยันป้ายสัญญาณจราจรในการตรวจจับป้ายสัญญาณที่มีความรวดเร็วมากขึ้น เพราะสามารถตรวจสอบเพื่อยืนยันป้ายสัญญาณจราจรเฉพาะขอบเขตที่สนใจ เช่น สีแดง เหลืองหรือน้ำเงิน เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจและนำหลักการตรวจหาขอบเขตสีที่น่าสนใจมาประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการเชฟคอนเท็กซ์เพื่อตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรเพราะจากการศึกษางานวิจัย [28]-[31] พบว่าเป็นหลักการที่มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปร่างได้ดีทั้งรูปร่างที่มีขนาดเท่ากันหรือต่างกัน การหมุนของภาพที่ต่างกัน เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการประยุกต์ใช้หลักการตรวจจับขอบเขตสีที่สนใจร่วมกับการเปรียบเทียบรูปร่างด้วยเชฟคอนเท็กซ์ โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังรูปที่ 1 และรายละเอียดดังต่อไปนี้



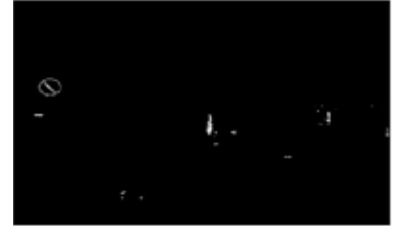
(ก)



(ก)



(ข)



(ข)

รูปที่ 2 ผลลัพธ์การแปลงภาพจากโหมดสี RGB เป็น HSV (ก) ภาพในโหมดสี RGB (ข) ภาพในโหมดสี HSV

รูปที่ 3 ผลลัพธ์จากการแยกเฉพาะส่วนขอบเขตสีแดงที่น่าสนใจ (ก) ภาพในโหมดสี RGB (ข) ผลการตรวจจับขอบเขตที่น่าสนใจ

2.1 การแปลงภาพสี RGB เป็น HSV

ขั้นตอนนี้เป็นการทำงานให้ภาพมีความเหมาะสมเพื่อประมวลผลในขั้นตอนต่อไป จึงใช้การแปลงภาพโหมดสีจาก RGB เป็น HSV โดยใช้สมการ (1) [32] และผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2

$$\begin{aligned} H &= \arccos \frac{\frac{1}{2}((R-G)+(R-B))}{\sqrt{((R-G)^2 + (R-B)(G-B))}} \\ S &= 1 - 3 \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B} \\ V &= \frac{1}{3}(R + G + B) \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 การตรวจจับขอบเขตที่น่าสนใจ (Regions of Interest Detection)

หลังจากขั้นตอนการแปลงภาพสีโหมด RGB เป็นภาพสีในโหมด HSV แล้ว ก็เป็นขั้นตอนการตรวจจับขอบเขตที่น่าสนใจ ซึ่งในงานวิจัยได้ทดลองกับภาพป้ายสัญญาณจราจรที่มีลักษณะวงกลมสีแดง ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะพยายามกำหนดขอบเขตที่น่าสนใจ (Im_{Roi}) จากการระบุ

ขอบเขตสีแดงจากภาพ โดยใช้สมการ (2)

$$Im_{Roi} = \begin{cases} 1 & \text{if } H_{HSV} = 100.8 - 359 \text{ and } S_{HSV} = 0.3 - 1 \\ & \text{and } R_{RGB} \geq 100 \text{ and } B_{RGB} < 100 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้

H_{HSV} คือค่าของสี (Hue) ของภาพโหมดสี HSV

S_{HSV} คือค่าความอิ่มของสี (Saturation) ของภาพ

โหมดสี HSV

R_{RGB} คือค่าสีแดง (Red) ของภาพโหมดสี RGB

B_{RGB} คือค่าสีน้ำเงิน (Blue) ของภาพโหมดสี RGB

ในงานวิจัยได้พยายามปรับค่าต่างๆ จากงานวิจัยต่างๆ [1], [5], [7] ที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อระบุขอบเขตที่น่าสนใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดกับข้อมูลภาพที่น่าสนใจ ทดลองจึงได้ค่าต่างๆ ตามสมการ (2) และได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ผลการปรับขอบเขตที่สนใจให้ราบเรียบ (ก)
ขอบเขตที่สนใจ (ข) ผลการทำ Dilation

2.3 การยืนยันป้ายสัญญาณจราจร (Road Sign Verification)

ขั้นตอนของการยืนยันหรือระบุป้ายสัญญาณจราจรเป็นขั้นตอนของการตรวจสอบบริเวณขอบเขตที่สนใจเพื่อยืนยันว่าขอบเขตดังกล่าวเป็นป้ายสัญญาณจราจรหรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การเปรียบเทียบความใกล้เคียงด้วยหลักการเซพคอนเท็กซ์ โดยการยืนยันป้ายสัญญาณจราจรมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.1 การปรับขอบเขตที่น่าสนใจให้ราบเรียบ

งานวิจัยนี้ได้วิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรด้วยภาพสีที่มีพื้นหลังไม่แน่นอน ตลอดจนสภาวะแสงแตกต่างกัน จึงทำให้ขอบเขตที่สนใจมีความไม่คงที่ ขั้นตอนการระบุขอบเขตที่สนใจจึงอาจจะไม่มีความครบถ้วน

ดังนั้นเพื่อให้ขั้นตอนการระบุป้ายสัญญาณจราจรมีความถูกต้องมากขึ้นจึงต้องมีการปรับขอบเขตที่สนใจให้น่าสนใจที่ได้ให้มีความราบเรียบ โดยในบทความวิจัยที่นำเสนอให้หลักการ Morphological [33] แบบ Dilation แสดงดังรูปที่ 4 แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้เข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.3.2 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกับป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ



รูปที่ 5 ป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ

หลังจากที่ได้ขอบเขตที่สนใจที่มีความราบเรียบแล้วก็นำขอบเขตดังกล่าวเปรียบเทียบกับป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบเพื่อหาค่าความใกล้เคียงด้วยเซพคอนเท็กซ์เพื่อยืนยันว่าขอบเขตที่สนใจเป็นป้ายสัญญาณจราจร โดยป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบในงานวิจัยได้จากการสร้างภาพขึ้นมาขนาด 200 x 200 จุดภาพ (Pixel) มีลักษณะวงกลม แสดงดังรูปที่ 5

ขั้นตอนในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของภาพขอบเขตที่สนใจกับป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบเป็นดังต่อไปนี้

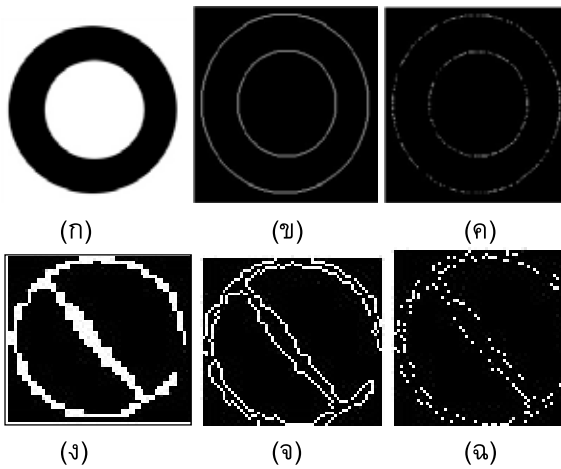
2.3.2.1 การหาเส้นขอบ (Edge Detection)

เป็นขั้นตอนในการหาเส้นขอบของขอบเขตที่สนใจและป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ แล้วนำเส้นขอบที่ได้ไปทำการสุ่ม (Random) จุดภาพของเส้นขอบ โดยในงานวิจัยนี้ใช้การสุ่มจุดภาพของเส้นขอบของขอบเขตที่สนใจมาร้อยละ 50 ของจุดภาพทั้งหมด และสุ่มจุดของป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบมาจำนวน 100 จุด จากทั้งหมดเพื่อนำไปเปรียบเทียบความคล้ายคลึงด้วยเซพคอนเท็กซ์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 6

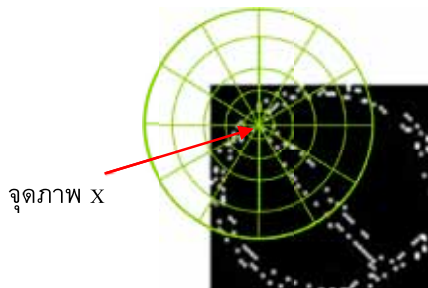
2.3.2.2 การทำ Log Polar

การทำ Log Polar เป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงด้วยเซพคอนเท็กซ์ โดยสร้างต้นแบบ (Template) เพื่อครอบคลุมจุดภาพที่ได้จากการสุ่มจุดของป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบและขอบเขตที่สนใจในทุกๆ จุดโดยต้นแบบมีลักษณะเป็นช่องภายในวงกลม ซึ่งมีทั้งหมด 5 วง มีระยะทาง [28] แต่ละวงแบ่งออกเป็น 12 ส่วนๆ ละ 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 7

การทำ Log Polar จากรูปที่ 7 เป็นการทำฮิสโทแกรม (การหาความหนาแน่นของจุดภาพที่อยู่ในแต่ละช่อง) ของ Log Polar ซึ่งมีทั้งหมด 60 ช่อง (5 วง x 12 ส่วน) ซึ่งจะได้อัตราส่วนของแต่ละจุดภาพ โดยวงที่ 1 นับจากวงกลม



รูปที่ 6 ผลการหาเส้นขอบและสั้มจุดภาพ (ก) ป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ (ข) ผลการหาเส้นขอบของป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ (ค) ผลการสั้มจุดภาพของเส้นขอบป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ (ง) ขอบเขตสีที่น่าสนใจ (จ) ผลการหาเส้นขอบขอบเขตสีที่น่าสนใจ (ฉ) ผลการสั้มจุดภาพของเส้นขอบของภาพขอบเขตสีที่น่าสนใจ



รูปที่ 7 การสร้าง Log Polar

วงที่ ช่องที่

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
2	2	0	1	1	2	4	0	1	3	0	1	3
3	0	0	0	1	4	0	1	3	0	0	4	2
4	0	0	0	0	5	6	0	6	0	3	6	0
5	0	0	0	0	0	8	0	5	0	6	0	0

รูปที่ 8 ตัวอย่างการทำ Log Polar

ในสั้มออกมาข้างนอก และช่องที่ 1 เริ่มจากองศาที่ 0 ไปยังองศาที่ 360 (หมุนตามเข็มนาฬิกา) จากภาพจะได้ข้อมูลของจุดภาพ x ดังรูปที่ 8

2.3.2.3 การวัดค่าความคล้ายคลึงกันของเซพคอนเท็กซ์

ในบทความวิจัยนี้ใช้การวัดความคล้ายคลึงกันของเซพคอนเท็กซ์ โดยถ้ากำหนดให้ P_i เป็นเซตของจุดที่อยู่บนรูปร่างที่หนึ่งซึ่งเป็นจุดภาพที่สั้มจากเส้นขอบของป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ และ q_j เป็นเซตของจุดที่อยู่บนรูปร่างที่สองซึ่งเป็นจุดภาพที่สั้มจากขอบเขตที่สนใจ และให้ $c_{ij} = c(P_i, q_j)$ แทนด้วยระยะห่างของสองจุดที่ได้จากการเปรียบเทียบความเหมือน ดังนั้นสามารถคำนวณความเหมือนของเซพคอนเท็กซ์ของสองจุดได้ด้วยการประเมินตามปกติทางหลักสถิติ (χ^2) ดังสมการ (3) [28], [31]

$$c_{ij} = \frac{1}{2} \sum \frac{[h_i(k) - h_j(k)]^2}{h_i(k) + h_j(k)} \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้

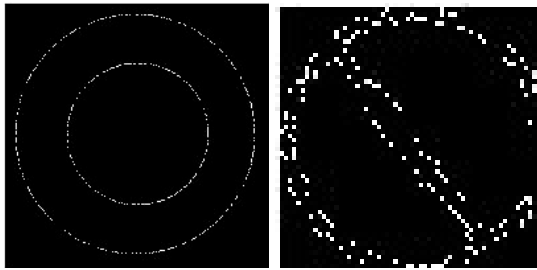
$h_i(k)$ คือค่าที่ปรับแต่ง (Normalized) ฮิสโทแกรมของช่อง (Bin) ที่ k ที่จุด P_i

$h_j(k)$ คือค่าที่ปรับแต่งฮิสโทแกรมของช่องที่ k ที่จุด q_j

การประเมินค่าความเหมือนของจุดทำการคำนวณทุกๆ จุดระหว่างรูปร่างที่หนึ่งและรูปร่างที่สองเพื่อหาค่าต่ำสุดซึ่งเป็นค่าบ่งบอกว่าจุดภาพในรูปร่างที่หนึ่งมีความคล้ายกับจุดใดในรูปร่างที่สองแบบจุดต่อจุด แล้วจับคู่ระหว่างจุดของทั้งสองรูปร่างแสดงดังรูปที่ 9

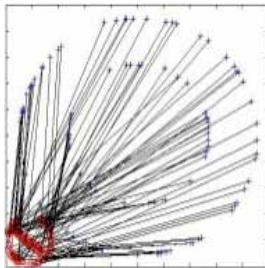
2.3.2.4 การประเมินความเหมือนของรูปร่าง

การประเมินค่าความเหมือนของรูปร่างในงานวิจัยนี้ใช้การประเมินแบบ Thin Plate Spline (TPS) [28] โดยความเหมือนระหว่างรูปร่าง P และ Q ประเมินได้จากค่าผลรวมที่ดีที่สุดของจุดในเซพคอนเท็กซ์ ดังสมการ (4)



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 9 การจับคู่จุดภาพระหว่างป้ายสัญญาณจราจร
ต้นแบบกับขอบเขตที่น่าสนใจ (ก) จุดภาพที่ได้
จากการสุมของป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบ (ข)
จุดภาพที่ได้จากการสุมของขอบเขตที่น่าสนใจ (ค)
การจับคู่จุดภาพที่มีความคล้ายคลึงกัน

$$D_{sc} = \frac{1}{n} \sum_{p \in P} \arg \min_{q \in Q} c(p, T(q)) + \frac{1}{m} \sum_{q \in Q} \arg \min_{p \in P} c(p, T(q)) \quad (4)$$

เมื่อ $T(\cdot)$ แทนด้วยการประเมินค่าแบบ TPS โดย
คำนวณได้จากสมการ (5)

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n W_i U(\|(x_i, y_i) - (x, y)\|) \quad (5)$$

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n W_i U(\|(x_i, y_i) - (x, y)\|) \quad (6)$$

โดยรายละเอียดแสดงในงานวิจัย [28]

การประเมินความเหมือนของรูปร่างระหว่างป้าย
สัญญาณจราจรต้นแบบและขอบเขตที่น่าสนใจ ใช้ค่าการ



(ก)



(ข)

รูปที่ 10 ผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรจากงาน
วิจัยที่นำเสนอ (ก) ภาพถ่ายบนถนนที่มี
ป้ายสัญญาณจราจร (ข) ผลการตรวจจับ
ป้ายสัญญาณจราจรจากภาพถ่ายบนถนนที่มี
พื้นหลังไม่คงที่

ประเมินความคล้ายคลึงของรูปร่างที่ได้กับค่าตัดแบ่ง
(Threshold) ในบทความวิจัยที่นำเสนอใช้ค่าเท่ากับ
0.6 แล้วทำการตีกรอบขอบเขตที่ประเมินว่าจะเป็นป้าย
สัญญาณจราจร ดังแสดงในรูปที่ 10

2.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้เป็นภาพถ่าย
ดิจิทัลในโหมดสีแบบ RGB ที่มีขนาดภาพแตกต่างกัน
ตั้งแต่ขนาด 600 x 337 ถึง 764 x 536 จุดภาพ (Pixel)
ความละเอียด 24 บิต การบีบอัดแบบ JPG เป็นภาพ
ที่มีป้ายสัญญาณจราจรแบบบังคับ ที่เป็นวงกลมมีขอบ
สีแดง 34 สัญญาณ จำนวนทั้งสิ้นรวม 3,940 ภาพ
ลักษณะของภาพที่นำมาทำการวิจัยเป็นภาพที่มีพื้นหลัง
ที่ไม่แน่นอน มีทั้งป้ายสัญญาณจราจรที่มีลักษณะวงกลม
ขอบสีแดงที่มี แถบขีดเฉียงซ้าย แถบขีดเฉียงขวา ทากบาท
เป็นต้น มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 11



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 11 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการทดลอง (ก) มีแถบแดงคาดเฉียงซ้าย (ข) มีแถบแดงคาดเฉียงขวา (ค) มีแถบแดงคาดกากบาท

2.5 การวัดประสิทธิภาพงานวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของงานวิจัยในบทความนี้ ใช้การวัดจากจำนวนป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับได้ เปรียบเทียบกับจำนวนป้ายสัญญาณจราจรที่มีทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองทุกๆ ภาพ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพความถูกต้อง (Accuracy) ในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร (A_{CC}) ซึ่งถ้ามีประสิทธิภาพดีจะมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 และค่าความผิดพลาด (False Positive Rate) ในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร (F_{PR}) ถ้ามีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 0 แสดงว่ามีประสิทธิภาพดี โดยประเมินจากสมการ (7) [34]

$$A_{CC} = \frac{TP + TN}{TF}$$

$$F_{PR} = \frac{FP}{FP + TN} \quad (7)$$

โดย

TP คือจำนวนป้ายสัญญาณจราจรทั้งหมดที่ตรวจจับถูกต้อง

TN คือขอบเขตที่สนใจที่ไม่ใช่ป้ายสัญญาณจราจร และผลการทดลองระบุว่าเป็นป้ายสัญญาณจราจร

TF คือจำนวนป้ายสัญญาณจราจรทั้งหมดที่มีรวมกับขอบเขตที่สนใจที่ระบุได้ทั้งหมด

FP คือจำนวนป้ายสัญญาณจราจรทั้งหมดที่ตรวจจับผิดพลาด (ไม่ใช่ป้ายสัญญาณจราจรแต่ผลการทดลองระบุว่าเป็นป้ายสัญญาณจราจร)

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทความวิจัยสามารถตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรได้ทั้งป้ายสัญญาณจราจรที่มีขอบสีแดงที่มีแถบคาดและไม่มี ดังแสดงในรูปที่ 12

ผลการทดลองจากรูปที่ 12 สามารถสรุปผลการทดลองโดยแยกเป็นจำนวนป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับได้ และป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับไม่ได้จากป้ายสัญญาณจราจรประเภทไม่มีแถบคาด และมีแถบคาดได้ดังตารางที่ 1 และเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของ Malik และคณะ [7] ที่มีการใช้การเปรียบเทียบกับต้นแบบ (Template) แสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับได้จากงานวิจัย

	จำนวนป้าย สัญญาณจราจร ในภาพ	จำนวนป้าย สัญญาณจราจร ที่ตรวจจับ	
		ได้	ไม่ได้
ไม่มีแถบคาด	1158	645	513
มีแถบคาด	2782	1429	1353
รวม	3940	2074	1866
เฉลี่ย		52.64%	47.36%



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 12 ตัวอย่างผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรแบบต่างๆ (ก) ป้ายสัญญาณจราจรแบบมีแถบแดงคาดเฉียงขวา (ข) ป้ายสัญญาณจราจรแบบไม่มีแถบ (ค) ป้ายสัญญาณจราจรแบบมีแถบขาวคาดกลางในแนวนอน (ง) ผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรจาก (ก) (จ) ผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรจาก (ข) (ฉ) ผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรจาก (ค)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดลองของงานวิจัยที่นำเสนอ กับงานวิจัยของ Malik และคณะ 0.60 [7]

	จำนวนป้ายจราจรต้นแบบ	ผลการทดลอง	
		ถูกต้อง	ผิดพลาด
Malik และ คณะ	18	86 %	14 %
งานวิจัยที่นำเสนอ	1	52.64 %	47.36 %

การวัดประสิทธิภาพผลการทดลองเพื่อหาความถูกต้อง (ACC) และความผิดพลาด (FPR) โดยพิจารณาจากสมการ (7) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

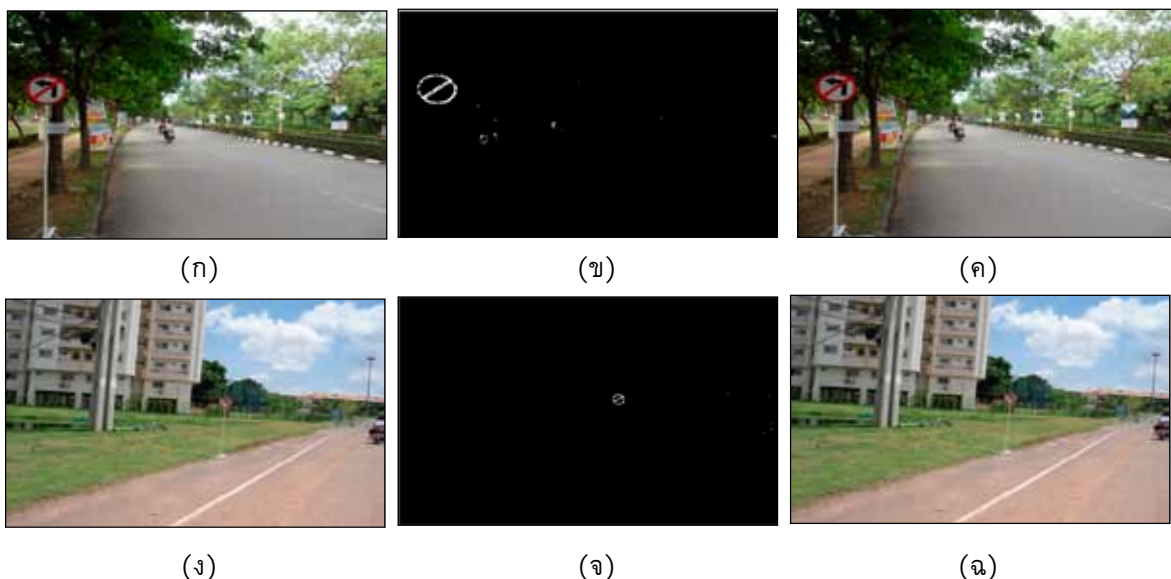
ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร

	TF	TP	FP	TN	A_{CC}	T_{PR}
ไม่มีแถบคาด	1252	645	49	94	0.60	0.34
มีแถบคาด	3012	1429	140	230	0.55	0.38
รวม/เฉลี่ย	4264	2074	189	324	0.57	0.36

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่มีพื้นหลังไม่แน่นอนในภาพที่มีป้ายจราจรประเภทบังคับที่มีขอบแดง แบบมีแถบคาดมีประสิทธิภาพความถูกต้องต่ำกว่าแบบไม่มีแถบคาดโดยมีค่าเท่ากับ 0.55 และ 0.60 ตามลำดับ และการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรแบบมีแถบคาดก็มีอัตราความผิดพลาดสูงกว่าแบบไม่มีแถบคาด คือมีค่าเท่ากับ 0.38 และ 0.34 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการตรวจจับภาพป้ายสัญญาณจราจรแบบมีแถบคาดมีความถูกต้องต่ำกว่าและมีความผิดพลาดสูงกว่านั้นเกิดจากภาพป้ายสัญญาณจราจรต้นแบบเป็นแบบไม่มีแถบคาด แต่ประเด็นหลักๆ คือ ส่วนมากเกิดจากภาพป้ายสัญญาณจราจรที่อยู่ในภาพมีขนาดเล็กมาก จึงทำให้การเปรียบเทียบกับเซพคอนเท็กซ์ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 เปรียบเทียบผลการทดลองตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่มีขนาดเล็กและใหญ่ (ก) ภาพที่มีป้ายสัญญาณจราจรขนาดใหญ่ (ข) ผลการระบุขอบเขตที่สนใจจากภาพ (ก) (ค) ผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรจากภาพ (ก) (ง) ภาพที่มีป้ายสัญญาณจราจรขนาดเล็ก (จ) ผลการระบุขอบเขตที่สนใจจากภาพ (ง) (ฉ) ผลการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรจากภาพ (ง)

5. สรุปผลการทดลอง

บทความวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรด้วยการประยุกต์ใช้หลักการเซพคอนเท็กซ์โดยทดลองกับข้อมูลภาพที่มีพื้นหลังไม่คงที่ทั้งหมด 3940 ภาพ ขนาด ตั้งแต่ 600 x 337 ถึง 764 x 536 จุดภาพ (Pixel) ความละเอียด 24 บิต การบีบอัดแบบ JPG จากผลการทดลองและเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Malik และคณะ [7] ดังตารางที่ 2 พบว่างานวิจัยที่นำเสนอมีความถูกต้องร้อยละ 52.64 ซึ่งต่ำกว่างานวิจัย [7] ที่มีความถูกต้องร้อยละ 86 แต่ถ้าพิจารณาจำนวนต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัย [7] ใช้ป้ายจราจรต้นแบบประมาณ 18 ภาพ ซึ่งสิ้นเปลืองกว่างานวิจัยที่นำเสนอที่ใช้เพียง 1 ภาพเท่านั้น

ด้านการวัดประสิทธิภาพของการทดลองพบว่า วิธีการที่นำเสนอในบทความวิจัยนี้มีประสิทธิภาพด้านความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 และด้านความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 ตามตารางที่ 3 แต่งานวิจัยของ Malik และคณะ [7] ไม่ได้วัดประสิทธิภาพด้านนี้

จากผลการทดลองและวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปศึกษาหรือพัฒนาเพิ่มเติมให้เป็นระบบการตรวจจับและรู้จำสัญญาณป้ายจราจรที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติในการช่วยเหลือหรือคอยแจ้งเตือนให้ผู้ขับขี่ปฏิบัติตามป้ายสัญญาณจราจร เพื่อลดอุบัติเหตุทางถนนและการฝ่าฝืนกฎจราจรในอนาคต

6. ข้อเสนอแนะ

ในบทความวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร โดยใช้หลักการเซพคอนเท็กซ์ โดยมีสมมติฐานความเชื่อที่ว่าหลักการเซพคอนเท็กซ์จะสามารถประเมินความเหมือนของรูปร่างและองค์ประกอบของป้ายสัญญาณจราจรได้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานจึงมีผลการทดลองบางส่วนที่มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยต่อไปจึงควรพัฒนา และปรับปรุงดังต่อไปนี้

1. ควรมีการเลือกใช้หลักการเปรียบเทียบความเหมือน

ของรูปร่างอื่นๆ ร่วมกับเซพคอนเท็กซ์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ

2. ควรมีการศึกษาวิจัยการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร ด้วยภาพในโหมดสีอื่นๆ ด้วย เช่น ภาพระดับสีเทา ภาพจากกล้องอินฟราเรด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Wei, C. Xue, D. Bobo, D. Hui, F. Pengyu, Y. Huai, and Z. Hong, "A system for road sign detection, recognition and tracking based on multi-cues hybrid," *Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 562-567, 2009.
- [2] A. Broggi, P. Cerri, P. Medici, P. P. Porta, and G. Ghisio, "Real Time Road Signs Recognition," *Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 981-986, 2007.
- [3] C. Y. Fang, C. S. Fuh, S. W. Chen, and P. S. Yen, "A road sign recognition system based on dynamic visual model," *Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings, Computer Society Conference*, pp. 750-755, 2003.
- [4] H. Fleyeh, M. Dougherty, D. Aenugula, and S. Baddam, "Invariant Road Sign Recognition with Fuzzy ARTMAP and Zernike Moments," *Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 31-36, 2007.
- [5] H. Hua, C. Chao, J. Yulan, and T. Shuming, "Automatic Detection and Recognition of Circular Road Sign," *Mechtronic and Embedded Systems and Applications, IEEE/ ASME International Conference*, pp.626-630, 2008.
- [6] S. Maldonado-Bascon, S. Lafuente-Arroyo, P. Gil-Jimenez, H. Gomez-Moreno, and F. Lopez- Ferreras, "Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions*, vol. 8 no.2, pp. 264-278, 2007.
- [7] R. Malik, J. Khurshid, and S. N. Ahmad, "Road Sign Detection and Recognition using Colour Segmentation, Shape Analysis and Template Matching," *Machine Learning and Cybernetics International Conference*, pp. 3556-3560, 2007.
- [8] S. Miyata, H. Nakamura, A. Yanou, and S. Takehara, "Feature Extraction and Recognition for Road Sign Using Dynamic Image Processing," *Innovative Computing Information and Control International Conference*, pp. 193-193, 2008.
- [9] D. Nienhuser, T. Gump, and J. M. Zollner, "A Situation context aware Dempster-Shafer fusion of digital maps and a road sign recognition system," *Intelligent Vehicles Symposium IEEE*, pp.1401-1406, 2009.
- [10] H. Ohara, I. Nishikawa, S. Miki, and N. Yabuki, "Detection and recognition of road signs using simple layered neural networks," *Neural Information Processing International Conference*, pp.626-630, 2002.
- [11] M. O. Rahman, F. A. Mousumi, E. Scavino, A. Hussain, and H. Basri, "Real time road sign recognition system using artificial neural networks for bengali textual information box," *Information Technology International Symposium*, pp.1-8, 2008.
- [12] C. Sin-Yu and H. Jun-Wei, "Boosted road sign detection and recognition," *Machine Learning and Cybernetics International Conference*, pp. 3823-3826, 2008.
- [13] P. Trung, N. Afzulpurkar, and D. Bodhale, "Development of vision service in Robotics Studio for road signs recognition and control of LEGO MINDSTORMS ROBOT," *Robotics and Biomimetics IEEE International Conference*, pp. 1176-1181, 2009.
- [14] K. Wen-Jia and L. Chien-Chung, "Two-Stage Road

- Sign Detection and Recognition,” *Multimedia and Expo IEEE International Conference*, pp. 1427-1430, 2007.
- [15] H. Yamauchi, A. Kojima, T. Miyamoto, H. Takahashi, and K. Fukunaga, “A Far Road Sign Recognition by Applying Super-Resolution to Extracted Regions from Successive Frames,” *Mechatronics IEEE International Conference*, pp. 1-5, 2007.
- [16] N. Yok-Yen and C. Siu-Yeung, “Two-tier self-organizing visual model for road sign recognition,” *Neural Networks IEEE World Congress on Computational Intelligence International Joint Conference*, pp. 794-799, 2008.
- [17] J. F. Khan, R. R. Adhami, and S. M. A. Bhuiyan, “Image segmentation based road sign detection,” *SOUTHEASTCON IEEE*, pp. 24-29, 2009.
- [18] Y. R. Fatmehsan, A. Ghahari, and R. A. Zoroofi, “Gabor wavelet for road sign detection and recognition using a hybrid classifier,” *Multimedia Computing and Information Technology International Conference*, pp. 25-28, 2010.
- [19] G. Piccioli, E. De Micheli, P. Parodi, and M. Campani, “Robust road sign detection and recognition from image sequences,” *Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, pp. 278-283, 1994.
- [20] L. Estevez and N. Kehtarnavaz, “A real-time histographic approach to road sign recognition,” *Image Analysis and Interpretation Proceedings of IEEE Southwest Symposium*, pp. 95-100, 1996.
- [21] E. Perez and B. Javidi, “Composite filter bank for road sign recognition,” *Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting*, pp. 754-755, 2000.
- [22] E. Perez and B. Javidi, “Scale and illumination-invariant road sign detection,” *Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting*, pp. 748-749, 2000.
- [23] Y. B. Lauziere, D. Gingras, and F. P. Ferrie, “A model-based road sign identification system,” *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference*, pp. 1163-1170, 2001.
- [24] S. Vitabile, G. Pollaccia, G. Pilato, and E. Sorbello, “Road signs recognition using a dynamic pixel aggregation technique in the HSV color space,” *Image Analysis and Processing Proceedings International Conference*, pp. 572-577, 2001.
- [25] S. Vitabile, A. Gentile, and F. Sorbello, “A neural network based automatic road signs recognizer,” *Neural Networks Proceedings of International Joint Conference*, pp. 2315-2320, 2002.
- [26] M. Benallal and J. Meunier, “Real-time color segmentation of road signs,” *Electrical and Computer Engineering Canadian Conference*, pp. 1823-1826, 2003.
- [27] F. Chiung-Yao, C. Sei-Wang, and F. Chiou-Shann, “Road-sign detection and tracking,” *Vehicular Technology IEEE Transactions*, vol. 52, no. 5, pp. 1329-1341, 2003.
- [28] S. Belongie, J. Malik, and J. Puzicha, “Shape matching and object recognition using shape contexts,” *Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE Transactions*, vol. 24, no. 4, pp. 509-522, 2002.
- [29] Y. Fenglei, L. Yue, and D. Ye, “Combining hierarchical segmentation and shape context based recognition,” *Computer and Information Technology IEEE International Conference*, pp. 839-844, 2008.
- [30] T. O. Nguyen, S. Tabbone, and O. R. Terrades, “Symbol Descriptor Based on Shape Context

- and Vector Model of Information Retrieval,” *Document Analysis Systems International Workshop*, pp.191-197, 2008.
- [31] L. B. Singh and S. M. Hazarika, “Enhanced Shape Context for Object Recognition,” *Advanced Computing and Communications International Conference*, pp.529-534, 2007.
- [32] V. Vezhnevets, V. Sazonov, and A. Andreeva, “A survey on pixel-based skin color detection techniques,” (2011, Oct., 14), [Online]. Available: <http://www.graphicon.ru/oldgr/en/publications/text/gc2003vsa.pdf>.
- [33] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, New York: Academic Press. 1982.
- [34] F. Bashir and F. Porikli, “Performance Evaluation of Object Detection and Tracking Systems,” *IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance*, 2006.