การตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้างเพื่อผู้บกพร่องทางการมองเห็น
Construction Work Zone Sign Detection for The Visually Impaired

นพวรรณ สุวรรณจินดา[1], ชมพูนุท วุฒิยาสาร[1], อาภาภรณ์ มั่งประเสริฐ[1], อนุชิต จิตพัฒนกุล[2]

[1]นักศึกษา ปริญญาตรี ภาควิชาคณิตศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]อาจารย์ประจำ ภาควิชาคณิตศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานของประเทศส่งผลให้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างเกิดขึ้นมากมายแทบจะตลอดแนวถนน จึงทำให้มีป้ายเตือนการก่อสร้างเกิดขึ้นเพื่อให้ผู้ที่สัญจรไม่ว่าจะเป็นการเดินทางผ่านด้วยรถยนต์ รถจักรยาน ร่วมถึงผู้ที่สัญจรด้วยเท้ารับรู้และระวังอันตรายได้ แต่ก็ยังหลีกเลี่ยงอันตรายได้ไม่ดีพอ ซึ่งจะเห็นได้จากข่าวอุบัติเหตุที่ยังเกิดขึ้นตามสื่อต่าง ๆ อาจมาจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ป้ายเตือนอยู่สูง ป้ายโดนบังทำให้มองเห็นป้ายสัญญาณจราจรได้ไม่ชัดเจน ด้วยเหตุนี้ทำให้เล็งเห็นว่าคนทั่วไปที่มีสายตาดี ยังไม่สามารถมองเห็นป้ายเหล่านี้ได้ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตาที่จำเป็นต้องเดินทางผ่านบริเวณที่มีการก่อสร้างจะมีปัญหาอย่างมากและอัตราการเกิดอันตรายก็จะสูงกว่าเนื่องจากไม่สามารถป้องกัน หรือหลีกเลี่ยงอันตรายได้น้อยมาก จากปัญหาดังกล่าวระบบช่วยเหลือในการเดินทางจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ เพื่อช่วยลดอุบัติเหตุจากการเดินทางผ่านบริเวณการก่อสร้าง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบการตรวจจับและตีความป้ายสัญญาณจราจรประเภทป้ายเตือนงานก่อสร้างเพื่อช่วยแจ้งเตือนผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นให้สามารถรับรู้และเข้าใจความหมายของป้ายสัญญาณจราจรได้อย่างชัดเจนและถูกต้อง และส่งผลให้สามารถเดินทางผ่านบริเวณก่อสร้างได้อย่างปลอดภัย นอกจากนั้นผลจากทดสอบระบบจากแอปพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยที่พัฒนาขึ้นมาใช้งานจริง มีความความถูกต้องถึง 82 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การตรวจจับป้าย, ป้ายเตือนพื้นที่ก่อสร้าง, ผู้บกพร่องทางการมองเห็น, การประมวลผลภาพ

1. บทนำ

ในยุคที่เกือบจะทุกเส้นทางมีถนนตัดผ่านเพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางแก่คนทั่วไป และสิ่งที่อยู่คู่กับถนน คือป้ายสัญญาณจราจรซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยแนะนำและเตือนผู้ที่สัญจรผ่านไปมาให้ปฏิบัติตามกฎหมายเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้ถนน ทั้งยังช่วยในการตัดสินใจและรับมือกับสถานการณ์ต่าง ๆ ขณะเดินทาง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาการมองป้ายจราจรไม่ชัดเจนหรือตีความไม่ถูกต้องก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ขาดความปลอดภัยในการใช้ถนนอันก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ ซึ่งในปัจจุบันการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานของประเทศส่งผลให้อาคารหรือสิ่งปลูกเกิดขึ้นมากมายแทบจะตลอดแนวถนน จึงทำให้มีป้ายเตือนงานก่อสร้างเกิดขึ้นเพื่อให้ผู้คนรับรู้และระวังอันตรายได้ แต่ก็ยังหลีกเลี่ยงอันตรายได้ไม่ดีพอ เห็นได้จากข่าวอุบัติเหตุที่ยังเกิดขึ้นตามสื่อต่าง ๆ เนื่องจากผู้คนที่สัญจรผ่านไปมาไม่ให้ความสนใจหรือไม่ทันสังเกต อาจมาจากสาเหตุ ป้ายเตือนอยู่สูง ป้ายโดนบัง ทำให้มองเห็นป้ายสัญญาณจราจรได้ไม่ชัดเจน ด้วยเหตุนี้ทำให้เล็งเห็นว่าคนทั่วไปที่มีสายตาดี ยังไม่สามารถมองเห็นป้ายเหล่านี้ได้ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตาจะมีปัญหาอย่างมากในการมองเห็นและอัตราเกิดของการอันตรายก็จะสูงกว่าคนทั่วไป เนื่องจากไม่สามารถป้องกัน หรือหลีกเลี่ยงอันตรายได้น้อยมาก จากปัญหาดังกล่าวระบบช่วยเหลือในการเดินทางจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ ทั้งด้านความสะดวก สบาย และปลอดภัย และช่วยลดอุบัติเหตุจากการเดินทางได้

ระบบช่วยเหลือการเดินทางในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นระบบที่เน้นความสะดวกสบาย เหมาะกับผู้ขับขี่เป็นหลัก เช่น ระบบแนะนำเส้นทาง ระบบติดตามรถ ซึ่งระบบเหล่านี้ไม่ได้ช่วยเหลือในด้านความปลอดภัยมากนักและการใช้งานยังไม่ครอบคลุมถึงผู้ใช้ทางเท้า ด้วยเหตุนี้การพัฒนาระบบที่มุ่งเน้นด้านความปลอดภัยให้ทั้งผู้ขับขี่และผู้ใช้ทางเท้า ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตา ช่วยให้มีความปลอดภัยและยังสามารถป้องกันการเกิดอันตรายได้ดียิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาระบบการตรวจจับและตีความป้ายสัญญาณจราจรประเภทป้ายเตือนงานก่อสร้างเพื่อช่วยแจ้งเตือนผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นให้สามารถรับรู้และเข้าใจความหมายของป้ายสัญญาณจราจรได้อย่างชัดเจนและถูกต้อง และส่งผลให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นเดินทางได้อย่างปลอดภัยเมื่อผ่านบริเวณก่อสร้าง

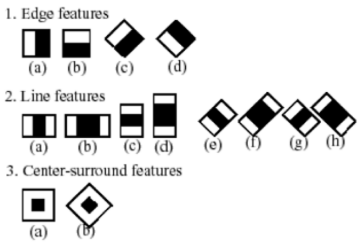
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร

ระบบตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร (Traffic Sign Detection) ถูกออกแบบมาให้ทำการเปรียบเทียบป้ายสัญญาณจราจรที่เราสนใจกับฐานข้อมูลป้ายสัญญาณจราจรที่มีอยู่ ระบบตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร และการตีความหมายป้ายสัญญาณจราจร

2.1 การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร (Traffic Sign Detection)

กระบวนการค้นหาป้ายสัญญาณจราจรจากกล้องหลังจากนั้นก็จะทำการประมวลผลภาพป้ายสัญญาณจราจรที่ได้สำหรับขั้นตอนถัดไป เพื่อให้ภาพป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับได้ง่ายต่อการจำแนกและอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับป้าย ในปัจจุบันก็มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีซึ่งอัลกอริทึมในการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรที่ดีนั้นมีส่วนช่วยในการจำแนกใบหน้าได้แม่นยำและรวดเร็วขึ้นเป็นอย่างมาก โดยงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงการตรวจจับใบหน้าที่มีความสามารถในการประมวลผลได้รวดเร็วและมีอัตราความถูกต้องในการตรวจหาสูง ซึ่ง Paul Viola และ Michael J. Jones [1] คิดค้นวิธีการตรวจจับวัตถุที่ใช้เวลาได้รวดเร็วทำให้สามารถใช้งานแบบทันที (real time) ได้ โดยนำเสนอวิธีการแทนรูปภาพแบบปริพันธ์ (Integral Image) ซึ่งช่วยให้การคำนวณลักษณะเด่น (feature) ทำได้รวดเร็วขึ้น และได้มีการปรับปรุงอัลกอริทึมการเรียนรู้โดยมีพื้นฐานจาก AdaBoost ซึ่งเลือกเอาเฉพาะลักษณะเด่นสำคัญ (critical features) ที่ทำให้การจำแนกมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงการรวมตัวจำแนก (classifier) แบบ cascade ซึ่งช่วยให้ส่วนพื้นหลังของภาพถูกปฏิเสธได้เร็วและเน้นการคำนวณไปที่บริเวณที่มีลักษณะคล้ายวัตถุที่สนใจมากขึ้น

ในงานของ Viola และ Jones ได้ใช้ลักษณะเด่นของภาพที่เรียกว่า ลักษณะเด่นแบบฮาร์ (Haar-like feature) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่คำนวณได้จากภาพดิจิตอลสำหรับการรู้จำวัตถุ ด้วยการสร้างลักษณะเด่นที่แสดงถึงผลต่างระหว่างพื้นที่ส่วนสีขาว และส่วนที่เป็นสีดำ ซึ่งลักษณะเด่นนี้สามารถเปลี่ยนแปลงขนาด และตำแหน่งได้ ใช้สำหรับการตรงจับลักษณะบนภาพแบบต่าง เช่น เส้นตรง วงกลม เป็นต้น ตามภาพที่ 1

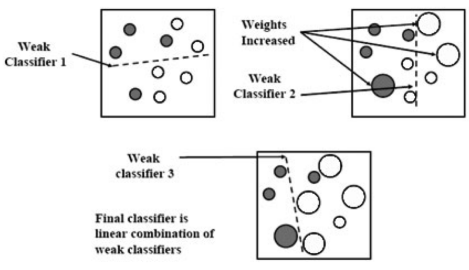


ภาพที่ 1 รูปแบบของลักษณะเด่นสำหรับการตรวจจับลักษณะแบบต่าง ๆ [1]

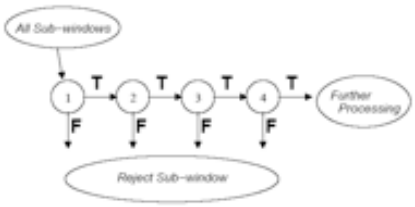
ในการทำลักษณะเด่นแบบฮาร์นั้นจำเป็นต้องมีภาพตัวอย่างจำนวนมาก ซึ่งมีสองลักษณะคือภาพตัวอย่างเชิงบวก (positive image) คือรูปที่มีวัตถุที่ต้องการรู้จำ ประกอบอยู่ภายในภาพ และภาพตัวอย่างเชิงลบ (negative image) คือภาพใด ๆ ที่ไม่มีวัตถุที่เราต้องการรู้จำอยู่ภายในภาพ จากนั้นด้วยหลักการของ AdaBoost แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการหาลักษณะเด่นที่มีลักษณะใกล้เคียง และแตกต่างกับภาพนำเข้า สำหรับการจัดประเภทของภาพ มีกระบวนการดังนี้

- เริ่มแรกกำหนด ค่าน้ำหนักให้กับลักษณะเด่นที่วิ่งหาภายในภาพตัวอย่าง
- หาบริเวณที่ประกอบด้วย ส่วนที่เราต้องการ
- เพิ่มค่า น้ำหนักให้กับส่วนที่เหลือ เฉพาะลักษณะที่เราต้องการ ที่ยังไม่ได้ แบ่งลักษณะไว้
- ทำวนเช่นนี้ซ้ำไปเรื่อย ๆ จนสุดท้าย นำบริเวณที่ได้ทั้งหมดมารวมกัน จะได้บริเวณของวัตถุที่เราต้องการหา และลักษณะในส่วนต่างๆภายในวัตถุนั้น

ขั้นตอนสุดท้ายตัวจำแนกแบบ Cascade จะถูกนำมาใช้สำหรับการตีความหมายของภาพ ตามลักษณะภายในภาพที่ 3 โดยตัดส่วนของหน้าต่างย่อย (Sub window) ที่เป็นภาพเชิงลบออกไปก่อน แล้วใช้ส่วนที่เป็นภาพเชิงบวก วิ่งวนภายในภาพ โดยเปลี่ยนลักษณะการตรวจจับไปเรื่อย ๆ จนสามารถระบุได้ว่าภาพดังกล่าวเป็นภาพอะไร



ภาพที่ 2 การทำงานของ Adaboost [1]



ภาพที่ 3 การทำงานของตัวจำแนกแบบ Cascade [1]

2.2 การตีความหมายป้ายสัญญาณจราจร (Traffic Sign Interpretation)

กระบวนการที่ได้นำภาพป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับได้และประมวลผลแล้วจากขั้นตอนการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจรเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของป้ายสัญญาณจราจรเพื่อระบุว่าป้ายสัญญาณจราจรที่ตรวจจับได้ตรงกับป้ายสัญญาณจราจรใด

3. การพัฒนาระบบตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้าง

การพัฒนาระบบตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้าง เริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองที่สามารถรู้จำป้ายแบบต่าง ๆ ตามวิธีของ Viola และ Jones [1] ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.1 โดยการเก็บภาพตัวอย่างที่ต้องการตรวจจับคือ ป้ายเครื่องจักรกำลังทำงาน ป้ายคนทำงาน ป้ายสำรวจทาง ป้ายงานก่อสร้าง [2] ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4

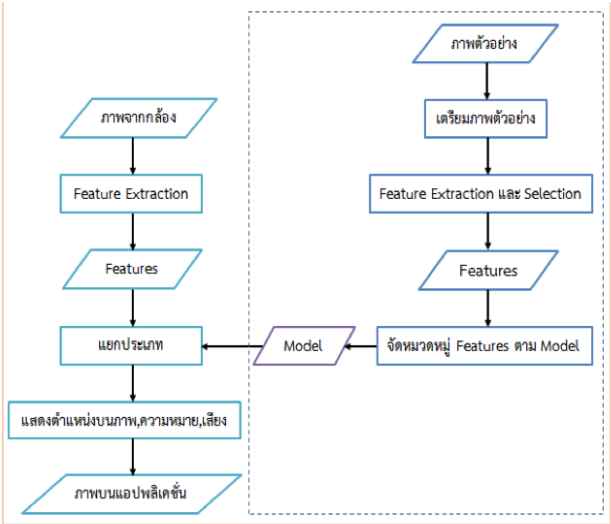
ภาพที่ 4 รูปป้ายจราจร ประเภทป้ายเตือนงานก่อสร้างที่ใช้ตรวจจับ

การเก็บข้อมูลภาพตัวอย่างเก็บจากบริเวณพื้นที่ก่อสร้างจริง โดยการเก็บภาพป้ายสัญญาณจราจรจะเก็บทั้งไฟล์รูปภาพและไฟล์วีดีโอ สำหรับไฟล์วีดีโอจะทำการแปลงไฟล์ให้เป็นรูปภาพ ซึ่งจะได้รูปภาพหลายเฟรม จากนั้นนำภาพป้ายเตือนการก่อสร้างมาผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยภาพของแต่ละป้ายจะแบ่งออกเป็น ภาพตัวอย่างบวก ดังตัวอย่างในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นภาพที่ประกอบไปด้วยวัตถุที่สนใจจะตรวจจับ โดยเก็บภาพในมุมมองต่าง ๆ และภาพตัวอย่างลบ ดังตัวอย่างในภาพที่ 6 ซึ่งเป็นภาพสภาพแวดล้อมที่ไม่มีส่วนของวัตถุที่จะตรวจจับ เช่น ภาพพื้นหลังของห้อง ภาพถนน ภาพวิวทิวทัศน์ เป็นต้น

ภาพที่ 5 ภาพตัวอย่างเชิงบวกที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพที่ 6 ภาพตัวอย่างเชิงลบที่ใช้ในงานวิจัย

จากนั้นจะจัดการกับไฟล์รูปภาพตัวอย่างทั้งหมดทั้งภาพตัวอย่างเชิงบวกและภาพตัวอย่างเชิงลบของแต่ละป้ายเตือนการก่อสร้างให้เก็บเป็นไฟล์ xml เพื่อนำเข้าไปในระบบการสร้างตัวรู้จำป้ายสัญญาณด้วยโปรแกรมสร้างตัวจำแนกแบบฮาร์ซึ่งเป็นซอฟท์แวร์แบบโอเพนซอร์ส[3] เมื่อเปิดกล้องโดยแอปพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้น ระบบก็จะประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของป้ายสัญญาณจราจรและตีความหมายของป้ายสัญญาณจราจร พร้อมส่งเสียงแจ้งว่าป้ายที่ตรวจจับได้คือป้ายใด ขั้นตอนทั้งหมดของการสร้างระบบตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้างสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้าง

4. ผลการทดสอบระบบตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้าง

การทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้การตรวจจับแบบทันที (real-time detection) ผ่านแอปพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยที่ได้พัฒนาขึ้น เราได้ใช้แอปพลิเคชั่นนี้ทดสอบทั้งหมด 100 ครั้งต่อป้าย ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันเป็นภาพป้ายงานก่อสร้าง ป้ายเครื่องจักรกำลังทำงาน ป้ายคนทำงาน และป้ายสำรวจทาง โดยใช้ตัวจำแนกที่ดีที่สุดโดยการสร้างตัวจำแนกใช้จำนวนภาพตัวอย่างเชิงบวก และจำนวนภาพตัวอย่างเชิงลบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนภาพตัวอย่างของป้ายเตือนการก่อสร้างที่ใช้ในงานวิจัย

ประเภทป้าย / จำนวน	ป้ายคนทำงาน	ป้ายสำรวจทาง	ป้ายงานก่อสร้าง	ป้ายเครื่องจักรกำลังทำงาน
ภาพตัวอย่างเชิงบวก (Positive example)	895	876	588	1212
ภาพตัวอย่างเชิงลบ (Negative example)	9905	9905	9905	9905

จากตัวจำแนกที่ดีที่สุดของแต่ละป้ายจราจร นำมาทดสอบการใช้งานจริงผ่านแอปพลิเคชั่นในรูปแบบของค่าอัตราการตรวจจับถูกต้อง (Hit rate), อัตราการตรวจจับผิดพลาด (False rate) และ อัตราการตรวจจับไม่พบ (Miss rate) โดยที่

- Hit Rate คือ ร้อยละของจำนวนภาพที่ตรวจจับเจอต่อจำนวนภาพทั้งหมด
- False Rate คือ ร้อยละของจำนวนภาพที่ตรวจจับผิดพลาดต่อจำนวนภาพทั้งหมด
- Miss Rate คือ ร้อยละของจำนวนป้ายที่ตรวจจับไม่เจอต่อจำนวนภาพทั้งหมด

ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าความถูกต้องของการตรวจจับป้ายเครื่องจักรกำลังทำงานให้ค่าความถูกต้องสูงสุด คือ 82% รองลงมาคือ ป้ายคนทำงาน 80% โดยผลการทดสอบความถูกต้องของการตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้างทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความถูกต้องของการตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้าง

ชนิดของป้าย	Hit Rate	False Rate	Miss Rate
ป้ายคนทำงาน	80%	10%	20%
ป้ายสำรวจทาง	63%	12%	23%
ป้ายงานก่อสร้าง	66%	10%	25%
ป้ายเครื่องจักรกำลังทำงาน	82%	4%	24%

จากผลการทดสอบระบบ พบว่า การตรวจจับภาพป้ายยังคงมีปัญหาเรื่องการตรวจจับที่ไม่แม่นยำสำหรับป้ายสำรวจทาง และป้ายงานก่อสร้าง เนื่องจากภาพตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างตัวจำแนก มีความหลากหลายของมุมภาพแต่ป้ายยังมีจำนวนน้อย และสภาพแวดล้อมจริงที่หลากหลายกว่า รวมทั้งในขณะที่ทดลองอาจจะตั้งอุปกรณ์ได้ไม่ตรงกับมุมภาพที่กำลังตรวจจับ ส่งผลให้ตรวจจับได้ยากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องของป้ายคนทำงาน และป้ายเครื่องจักรกำลังทำงาน จะเห็นว่าให้ค่าความถูกต้องที่สูง คือ 80% และ 82% ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองป้ายนี้เป็นป้ายเตือนการก่อสร้างที่มีความสำคัญ เป็นป้ายเตือนให้ผู้ที่สัญจรได้ทราบว่าในบริเวณใกล้นี้มีคนงานกำลังก่อสร้างอยู่หรือมีเครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ไม่ควรเข้าใกล้

5. สรุปผลการวิจัย

ในการพัฒนาระบบตรวจจับและตีความป้ายเตือนการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีของสร้างตัวจำแนกแบบฮาร์ตรวจจับและตีความโดยใช้ลักษณะเด่นแบบฮาร์ ซึ่งเป็นวิธีนี้มีความรวดเร็วในการตรวจจับสูง ทำให้สร้างนำมาพัฒนาแอปพลิเคชั่นที่ทำงานแบบทันที (real time) ได้ กระบวนการจำแนกโดยใช้ลักษณะแบบฮาร์นั้น เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพดีพอสมควร สามารถตรวจจับและตีความได้ค่อนข้างรวดเร็ว และแม่นยำ แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนภาพตัวอย่างเชิงบวก และจำนวนภาพตัวอย่างเชิงลบที่ต้องใช้ในปริมาณมาก และต้องมีความหลากหลายครอบคลุมในหลายมุมมองของภาพ จากผลการทดสอบกับแอปพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถใช้ได้ดีกับการตรวจจับป้ายคนทำงาน และป้ายเครื่องจักรกำลังทำงาน ที่ให้ค่าความถูกต้องที่สูง คือ 80% และ 82% ตามลำดับ ระบบการตรวจจับป้ายเตือนการก่อสร้างที่ในงานวิจัยนี้ เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบแจ้งเตือนอัจฉริยะให้ผู้บกพร่องทางการมองเห็นสามารถเดินทางไปที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกขึ้นและปลอดภัย อย่างไรก็ตามตัวจำแนกการตรวจจับป้ายจำเป็นต้องพัฒนาให้ค่าความถูกต้องสูงขึ้น เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานจริงได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Viola P. and Jones M. (2001), Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, Computer Vision and Pattern Recognition.

[2] กรมการขนส่งทางบก สืบค้นวันที่ 31 ธันวาคม 2558 จาก http://www.dlt.go.th/th/sara/knowledgedrl/sign2-5.htm

[3] Rezaei M., Creating a Cascade of Haar-Like Classifiers: Step by Step สืบค้นวันที่ 31 ธันวาคม 2558 จากhttps://www.cs.auckland.ac.nz/~m.rezaei/Tutorials/Creating_a_Cascade_of_Haar-Like_Classifiers_Step_by_Step.pdf