บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีพื้นฐาน

ในบทนี้จะประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนแรกจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและตรวจจับสภาพจราจรในถนน ส่วนที่สองจะเป็นทฤษฎีพื้นฐานทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) นายวรพงษ์ ตันติศิริโรจน์ และนายบดินทร์ เดชะวัฒนไพศาล [3] ตรวจสอบการเคลื่อนไหว โดยการวิเคราะห์ภาพจากกล้องบันทึกภาพวีดิทัศน์ โดยวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวและบันทึกภาพเมื่อมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น การตรวจจับการเคลื่อนไหวจะใช้เทคนิคของการประมวลผลภาพในแต่ละเฟรมนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งมีข้อจำกัด คือ ถ้าในสภาพที่มีแสงสว่างน้อยเกินไปจะทำให้ภาพที่ได้จากกล้องมีความคลาดเคลื่อนของความเข้มของแต่ละสีมากและสามารถตรวจสอบวัตถุได้เพียงแค่ชิ้นเดียว และจากการทดลองยังพบว่า เมื่อมีการลดจุดรบกวนในภาพจะทำให้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาพเพียงเล็กน้อยได้ และมีความแม่นยำในการตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ดี

2) นายพงษ์ศักดิ์ วงศ์เลิศคุณากร และนางสาวซ่อเพชร อรวิวัฒนกุล [4] วัดความยาวแถวคอยของรถแบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ วิธีการนี้ใช้ภาพถ่ายวีดีโอที่ถ่ายจากระดับสูงประมาณ 6 เมตรที่มุม 0 องศา กับแนวการเคลื่อนตัวของรถเข้าหากล้อง และวัดจากตำแหน่งที่รถติดเป็นคันแรก ณ จุดเริ่มต้นของขอบเขตที่กำหนด จนถึงคันสุดท้ายที่หยุดนิ่งในช่องทางเดียวกัน การหาความยาวแถวคอยทำได้โดยหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายของแถวคอย โดยระบบจะตรวจจับแถวคอยที่ยาวเพิ่มขึ้นได้แบบพลวัตโดยสามารถปรับตามขนาดภาพของรถที่ค่อย ๆ เล็กลงที่ระยะไกลจากกล้องมากขึ้นได้ เมื่อได้จุดเริ่มต้นและสุดท้ายของแถวคอยแล้วจะเทียบจุดในภาพเป็นระยะทางจริงที่ถูกต้องว่าแถวคอยยาวเท่าใด ซึ่งในการวัดความยาวแถวคอยจะได้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 6 เมตร ภายในระยะทาง 200 เมตรจากจุดเริ่มต้นของแถวคอย

3) นายเดช เดชวนิชยนุมัติ นายสุรเชษฐ์ คมไพบูลย์กิจ และนายวัชรพงษ์ อารยทรัพย์ [5] เสนอโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งที่ว่างภายในลานจอดรถ โดยตรวจจับพร้อมระบุตำแหน่งที่จอดรถที่ว่างภายในลานจอดรถภายใต้แนวคิดการประมวลผลภาพ โดยตรวจจับและระบุตำแหน่งของเส้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบ่งเขตจอดรถด้วยหลักการขอบภาพวัตถุตามวิธีของแคนนี (Canny edge detector) [6] เพื่อนำตำแหน่งของเส้นแบ่งเขตที่ได้มาใช้ระบุพื้นที่สำหรับจอดรถ จากนั้นจึงทำการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ที่ปรากฏในภาพด้วยการนับจุดสีเพื่อระบุบริเวณของวัตถุ พร้อมทั้งคำนวณจุดศูนย์กลางปริมาตร แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งของเส้นแบ่งเขตจอดรถ เพื่อระบุตำแหน่งที่มีรถจอดและตำแหน่งพื้นที่ว่าง ณ เวลาหนึ่ง ๆ

4) นายเฉลิมวุฒิ ชมะนันทน์ และนายศุภกร ทั่งสกุลทอง [7] ตรวจจับสภาพจราจรติดขัดบนถนนแบบทันกาลโดยการประมวลผลภาพจากสัญญาณวีดิทัศน์ ซึ่งภาพวีดิทัศน์เป็นภาพที่บันทึกจากสภาพจราจรจริง และเป็นภาพในระยะไกลที่มีวัตถุต่าง ๆ มากมายติดรวมในภาพ โดยกำหนดขอบเขตของส่วนที่เป็นถนนที่ต้องการวิเคราะห์สภาพจราจร จากนั้นจะทำการกำหนดค่าสีที่เป็นสีของพื้นถนน เทคนิคด้านการประมวลผลภาพหลายวิธีได้ถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาตำแหน่งของรถออกมา หลังจากนั้นจะวิเคราะห์สภาพจราจรจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของรถที่หยุดนิ่งทั้งหมดกับพื้นที่ของถนนทั้งหมดผลปรากฏว่าสามารถตรวจจับสภาพจราจรติดขัดได้อย่างถูกต้องโดยเฉลี่ยประมาณ 80%

5) งานวิจัยของ ปีเตอร์ และคณะ [8] ได้เปรียบเทียบเทคโนโลยีการตรวจจับเหตุการณ์บนท้องถนนระหว่าง การตรวจสอบแบบอัตโนมัติบนคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Automatic Incident Detection (AID)) การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ (Video Image Processing (VIP)) และการตรวจจับโดยอาศัยการแจ้งเหตุการณ์จากโทรศัพท์ระบบเซลลูลาร์ โดยในการวิจัยได้วัดประสิทธิภาพในการตรวจจับ คือ เวลาในการตรวจจับค่าความผิดพลาดในการแจ้งเตือนและความสามารถในการตรวจจับซึ่งจากการวิจัยพบว่าการตรวจจับด้วยวิธีการประมวลภาพโดยอาศัยวีดิทัศน์ มีการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด 3% ต่อชั่วโมง ใช้เวลาตรวจจับ 20 วินาที และสามารถตรวจพบเหตุการณ์ผิดปกติได้ถึง 90 % ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงและวิธีนี้ยังมีข้อดีกว่าการตรวจจับโดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งมีลักษณะเป็นขดลวดไฟฟ้าฝังอยู่ที่ถนนเพราะวิธีนี้สามารถตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติได้ทุกที่ที่สามารถมองเห็นได้รวมทั้งในช่องทางการจราจรฉุกเฉิน

6) งานวิจัยของ มารีปิแอร์ เดอบองซัว [9] ได้พัฒนาระบบเพื่อหาข้อมูลการจราจร ได้แก่ ความเร็วในการเดินทาง (Travel Speed) จำนวนรถ ประเภทของยานพาหนะ โดยใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัวจับภาพตามจุดที่ต้องการเมื่อมียานพาหนะผ่านมา โดยแบ่งการทำงานของระบบได้ 2 ส่วนย่อย คือ

- ระบบแยกภาพของยานพาหนะที่อยู่ใกล้กล้องที่สุดออกจากภาพพื้นหลังและยานพาหนะคันอื่น ๆ ที่อยู่ถัดไปจากนั้นจะทำการหารูปร่างของยานพาหนะเพื่อจำแนกประเภทของยานพาหนะ ระบบในส่วนนี้จะวิเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญ เช่น สี รูปร่าง ลักษณะของยานพาหนะ เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ในขั้นตอนต่อไป

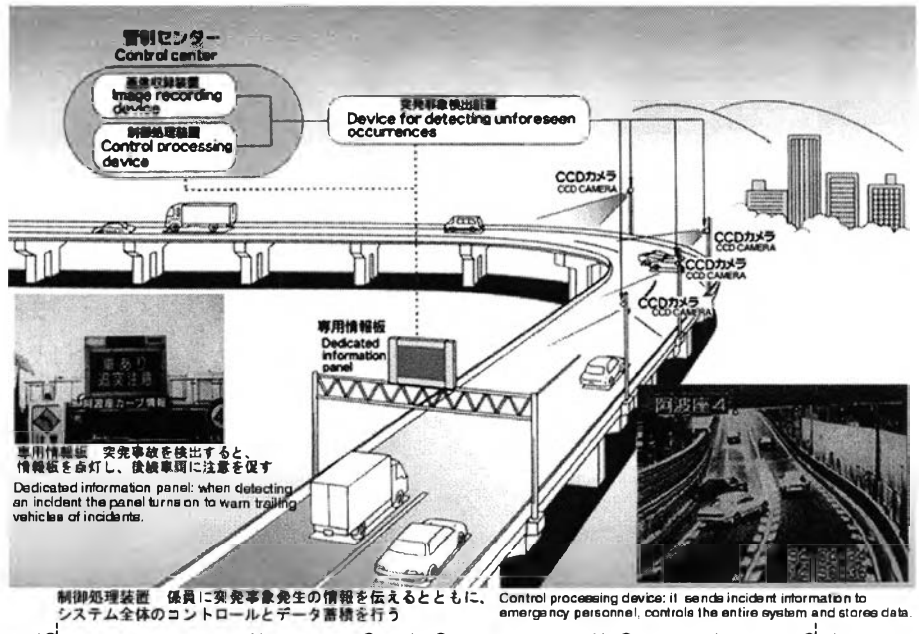
- ระบบจับคู่ข้อมูลในฐานข้อมูลที่ได้จากส่วนที่ 1 เมื่อยานพาหนะผ่านกล้องตัวที่ 2 จะทำการวิเคราะห์ว่าเป็นยานพาหนะที่ผ่านมาจากกล้องตัวใดและทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น ความเร็วเฉลี่ย จำนวนยานพาหนะที่ผ่านแต่ละจุด เป็นต้น

ในการทดลองสามารถจำแนกประเภทของยานพาหนะถูกต้อง 92% และผลการจับคู่ภาพจากกล้องตัวแรกกับตัวที่สองได้ผลใกล้เคียงกับมนุษย์ทำ โดยความเร็วคำนวณจากระยะระหว่างจุดจับภาพของกล้องตัวแรกและกล้องตัวสุดท้ายที่ตรวจจับยานพาหนะคันเดียวกันหารด้วยระยะเวลาที่ยานพาหนะคันที่ถูกจับภาพใช้เวลาเดินทาง ความเร็วที่ได้เป็นความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง

7) งานวิจัยของบริษัทออโตสโคป (Autoscope)[10] ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ในการหาค่าพารามิเตอร์ด้านจราจรโดยใช้การวิเคราะห์ภาพ ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจจับรถหยุดผิดปกติ 2 ชนิด คือ Speed Profile Incident Evaluation System (SPIES) และ AUTOSCOPE Incident Detection Algorithm (AIDA) อัลกอริทึม 2 ชนิดนี้ ถูกพัฒนาเพื่อใช้เก็บข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน เก็บข้อมูลทุก 30 วินาที ในเดือนพฤษภาคม 1992 สามารถตรวจจับได้ 56 เหตุการณ์ ซึ่งมากกว่าเหตุการณ์ที่บันทึกจากเครื่องวีดิทัศน์ โดยจะเริ่มบันทึกเมื่อมีการแจ้งเตือนเกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากอัลกอริทึม 2 ชนิดนี้มีประโยชน์มากสำหรับการพัฒนาการตรวจสอบและการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหตุการณ์ผิดปกติบนถนน

8) ในงานวิจัยของ Taniguchi และคณะ [11] ได้แสดงระบบที่ใช้สำหรับตรวจสอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด เช่น อุบัติเหตุ การหยุดของยานพาหนะ และการจราจรที่ผิดปกติบนท้องถนน นอกจากนี้แล้วระบบจะให้ข้อมูลกับศูนย์ควบคุมการจราจรและผู้ขับรถบนท้องถนน ระบบนี้ใช้วิธีการประมวลผลภาพจากกล้อง CCTV โดยใช้อัลกอริทึมที่วัดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของยานพาหนะ และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปขบวนของยานพาหนะที่แสดงในภาพ จากการทดลองพบว่าระบบนี้มีความแม่นยำสูงในการตรวจจับ ซึ่งใช้เวลาในการตรวจจับ 0.1 วินาที นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้จากระบบยังมีประโยชน์ในการนำไปใช้แจ้งเตือนยานพาหนะที่วิ่งตามหลังยานพาหนะที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติให้ลดความเร็วลง หรือเตือนให้ผู้ขับขี่เปลี่ยนช่องทางจราจรเพื่อหลีกเลี่ยงการชนท้ายยานพาหนะที่อยู่ด้านหน้า ได้มีการนำระบบนี้มาใช้ในประเทศญี่ปุ่น เพื่อช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัด โดยติดตั้งกล้องบนทางด่วนฮันชิน เพื่อตรวจสอบรถหรือยานพาหนะที่จอดเสียเนื่องจากอุบัติเหตุแล้วแจ้งเตือนยานพาหนะที่ตามมา ซึ่งลดเวลาที่ใช้ในการแจ้งเตือนอุบัติเหตุด้วยวิธีปกติจากเดิม 8 นาที เหลือ 2 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.1

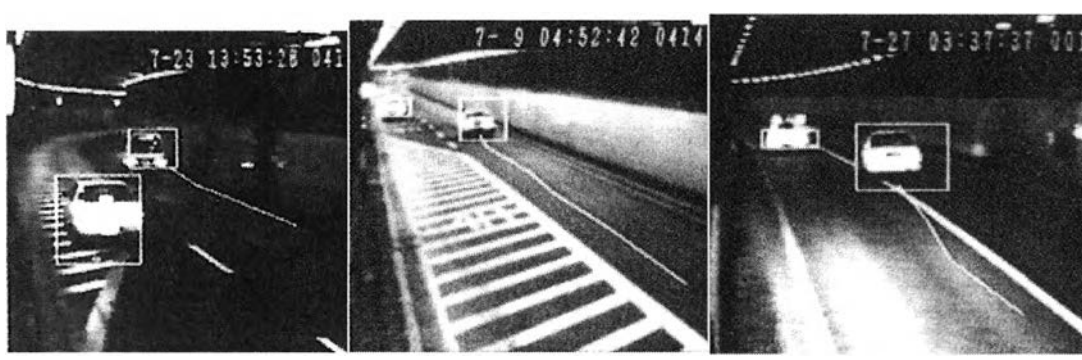
Incident Detection System (Hanshin Expressway)



รูปที่ 2.1 ระบบตรวจจับรถหยุดผิดปกติบนทางด่วนฮันชินของประเทศญี่ปุ่น [12]

9) ในงานวิจัยของ Taniguchi และคณะ[13]ได้ประเมินระบบการตรวจจับเหตุการณ์ด้วยกล้องซึ่งระบบจะตรวจสอบยานพาหนะที่จอด เคลื่อนที่ช้าลงและเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางในเวลา 2-5 วินาที โดยติดตั้งกล้องที่ระยะทาง 150 และ 200 เมตร ที่ระดับความสูง 7 และ 10 เมตร ตามลำดับ

10) เมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่นได้นำระบบนี้ไปใช้ตรวจจับอุบัติเหตุในอุโมงค์ด้วยการติดตั้งกล้องวีดิทัศน์ภายในอุโมงค์จำนวน 4 จุด คือ อุโมงค์ทางเหนือของสนามบิน อุโมงค์ท่าเรือเมืองโตเกียว ในเส้นทางไปอ่าวโตเกียว อุโมงค์ซิโยดะ และอุโมงค์คาสุมิกาเซกิบนวงเวียนข้างใน โดยเมื่อกล้องตรวจพบได้ว่ามีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ระบบจะแจ้งเตือนพร้อมแสดงจุดที่เกิดอุบัติเหตุบนจอภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

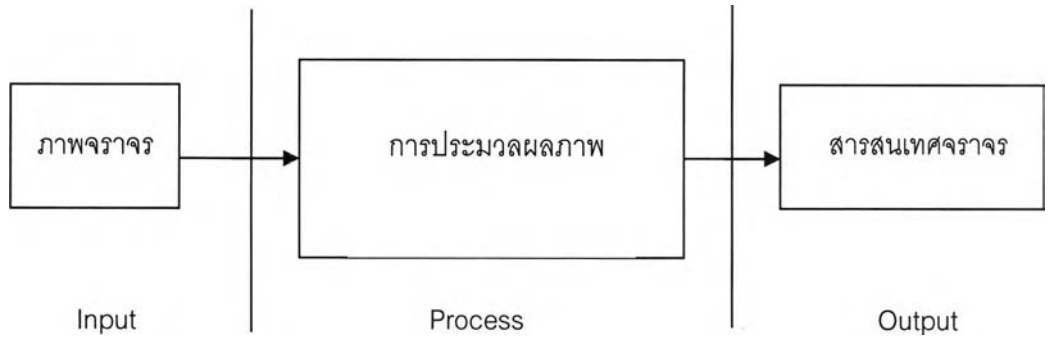


ก) stopped vehicles ข) slow-moving vehicles ค) vehicles avoid obstacle ahead

รูปที่ 2.2 การทำงานของระบบการตรวจจับอุบัติเหตุในอุโมงค์ของเมืองโตเกียวประเทศญี่ปุ่น[12]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลเพื่อให้สามารถนำเอาข้อมูลเหล่านี้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ โดยที่อินพุตและเอาท์พุตจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล ดังรูปที่ 2.3 โดยมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้



รูปที่ 2.3 การประมวลผลภาพดิจิทัล

2.2.1 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

การแบ่งส่วนภาพทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแบ่งส่วนภาพ คือการพิจารณา Image amplitude ซึ่งเป็นการพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพระดับเทาและความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของวัตถุและลักษณะของพื้นผิวก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งส่วนภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น

2.2.1.1 การตรวจหาขอบ (Edge Detection) [14]

การตรวจหาขอบของวัตถุในภาพทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพออกเป็นบริเวณต่างๆ (Region) ได้ โดยที่ขอบเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากความแตกต่างมีค่ามากจะเห็นขอบได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อย ขอบจะเห็นไม่ชัดเจน ซึ่งวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพมีอยู่หลายวิธีโดยจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของขอบที่ได้จากการหาอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของฟังก์ชัน

อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Order Derivative) จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x,y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทาของจุดภาพครั้งเดียว ถ้านำมาหาขอบในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง จะได้สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า เกรเดียนต์ (Gradient) และเป็นเวคเตอร์เมตริกซ์ แสดงได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} H_r(x,y) \\ H_c(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \quad \ldots(2.1)$$

โดยที่ $\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)$ เป็นการหาขอบในแนวนอน (x)

และ $\frac{\partial}{\partial y} f(x,y)$ เป็นการหาขอบในแนวตั้ง (y)

ซึ่งถ้าหาขอบทั้ง 2 ทิศทาง จะเป็นขนาดของเวคเตอร์ (Magnitude Vector) ของสมการที่ 2.1 ซึ่งเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\nabla f = \left[H_r^{\,2}(x,y) + H_c^{\,2}(x,y) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \ldots(2.2)$$

แต่ในทางปฏิบัติสามารถประมาณค่าได้จากการใช้ค่าสัมบูรณ์ ดังสมการที่ 2.3

$$|\nabla f| \cong |H_r(x,y)| + |H_c(x,y)| \quad \ldots(2.3)$$

ส่วนทิศทางการตรวจหาขอบได้จากสมการที่ 2.4

$$\theta = \tan^{-1}\left[\frac{H_c(x,y)}{H_r(x,y)} \right] \quad \ldots(2.4)$$

อนุพันธ์อันดับสอง (Second Order Derivative) เป็นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x,y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทาของจุดภาพสองครั้ง โดยการนำสมการที่ 2.1 มาหาค่าอนุพันธ์อีกครั้ง จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\nabla^2 f = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x}^2 f(x,y) \\ \frac{\partial}{\partial y}^2 f(x,y) \end{bmatrix} \quad \ldots(2.5)$$

วิธีการหาขอบโดยใช้ตัวดำเนินการโซเบล (Sobel) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้หาขอบของวัตถุในภาพ สามารถทำได้โดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 3x3 จำนวน 2 หน้ากาก ทำคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพในทิศทางแกน x และแกน y ซึ่งมีความง่ายและไม่ซับซ้อน โดยที่การหาขอบของวัตถุโดยใช้ตัวดำเนินการโซเบลจะใช้ค่า Mask Coefficient ดังนี้

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(ก) ในทิศทางแนวนอน (แกน x) (ข) ในทิศทางแนวตั้ง (แกน y)

รูปที่ 2.4 หน้ากากของตัวดำเนินการโซเบล

การหาขอบของวัตถุด้วยวิธีแคนนี (Canny Edge Detection) [14] ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นวิธีหาขอบของวัตถุในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ สามารถหาขอบภาพที่มีอยู่จริงและสัญญาณรบกวนถูกแสดงออกมาเป็นขอบน้อยที่สุดโดยมีวิธีทำ 4 ขั้นตอน อธิบายดังต่อไปนี้

1) การทำภาพให้เรียบ (Image Smoothing)

เมื่อภาพ f ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน การขจัดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียน กำหนดให้ G คือฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ โดยผลที่ได้คือ $f_G = f * G$

2) การหาค่าความแตกต่าง (Differentiation)

การหาค่าความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามทิศทางในแนวแกน x และ y จากการคำนวณค่าส่วนประกอบเกรเดียนต์ G_x และ G_y ในแต่ละจุดภาพ (x, y) โดยประมาณค่าขนาดของขอบภาพ (Gradient magnitude) และทิศทางตั้งฉากกับขอบภาพ(Gradient angle)ในแต่ละพิกเซล (x, y) ด้วยสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2 ตามลำดับ และใช้ตัวดำเนินการโซเบลในการหาขอบ

$$\nabla f = \left[H_r^{\,2}(x, y) + H_c^{\,2}(x, y) \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{...(2.6)}$$

$$|\nabla f| \cong |H_r(x, y)| + |H_c(x, y)| \qquad \text{...(2.7)}$$

ผลที่ได้คือภาพเกรเดียนต์ E_s จากค่าของ $|\nabla f_G(x, y)|$ และภาพทิศทาง E_0 จากค่าของ $\alpha(x, y)$

3) การกำจัดค่าที่ไม่มากสุด (Non-Maximum Suppression)

หลังจากการคำนวณค่าส่วนประกอบเกรเดียนต์ในแต่ละจุดภาพแล้วจุดที่เป็นขอบนั้นสามารถมีค่าขนาดของขอบภาพภายในจุดภาพใกล้เคียงสูงสุดได้ ดังนั้นการทำขอบภาพให้บางด้วยวิธีการกำจัดค่าที่ไม่มากสุด ซึ่งวิธีนี้เป็นการกำจัดจุดภาพที่มีค่าระดับเทาต่ำกว่าจุดภาพใกล้เคียง (Neighbors of a pixel) ที่มีพิกัดในแนวทิศทางของเกรเดียนต์ (Gradient) ให้เป็น 0 โดย

มีรายละเอียดดังนี้

เมื่อพิจารณาทิศทาง 4 ทิศทางในแต่ละจุดภาพ (x,y) คือ $d_1...d_4$ ซึ่งกำหนดเป็น 0° 45° 90° และ 135°

- หาทิศทาง $\hat{d}_k$ ซึ่งใกล้เคียงกับ $E_0(x,y)$ ที่สุด ถ้า $E_s(x,y)$ มีค่าน้อยกว่าค่าใดค่าหนึ่งของจุดภาพ 2 จุดระหว่างทิศทางของ $\hat{d}_k$ ให้กำหนด $I_N(x,y)=0$ แต่ในทางตรงกันข้ามกำหนดให้ $I_N(x,y)=E_s(x,y)$

ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ $I_N(x,y)$ ซึ่งคือภาพ $E_s(x,y)$ หลังจากกำจัดจุดของขอบภาพที่ไม่มากสุดออกไปแล้ว

4) การกำหนดค่าขีดแบ่งของขอบ (Edge Thresholding)

โดยส่วนใหญ่แล้วการกำหนดค่าขีดแบ่งจะทำการหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยวซึ่งหมายความว่าถ้าจุดภาพที่มีค่าขอบมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าขีดแบ่งแล้วเส้นขอบที่ปรากฏจะไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่าที่อยู่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าขอบแล้วถ้าจุดภาพที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสองแล้วจะเป็นเส้นขอบที่มีจุดภาพเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ กำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า τ_l และ τ_h โดย $\tau_l < \tau_h$ เมื่อพิจารณาทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพใน I_N ให้กำหนดจุดภาพที่ $I_N(x,y) > \tau_h$ เป็นขอบภาพใหม่และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ กำหนดให้จุดภาพที่ $I_N(x,y) > \tau_l$ และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่ถือว่าเป็นขอบภาพเช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้เป็นภาพลักษณ์ฐานสอง (Binary image) ที่แสดงเฉพาะขอบของวัตถุในภาพ

2.2.1.2 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) [6]

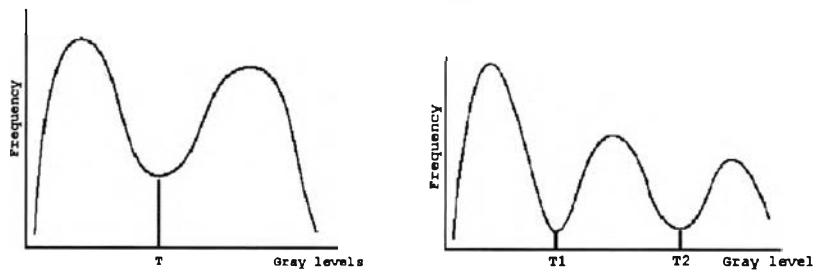
การแบ่งส่วนภาพในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาความเข้มของจุดต่าง ๆ ภายในภาพ (pixel) ซึ่งผลของการแบ่งส่วนภาพจะขึ้นอยู่กับวิธีการ Threshold ของส่วนประกอบที่เป็นความเข้มหรือสีของภาพโดยการหาค่าขีดแบ่งซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังมีหลายแบบดังนี้

ก) การหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว (Single threshold)

สมมติว่าภาพมีลักษณะของวัตถุที่มีความเข้มคงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลัง เช่นภาพที่ประกอบด้วยวัตถุสว่างอยู่ในพื้นหลังที่มืด จะมีกลุ่มของค่าระดับเทา 2 กลุ่ม นั่นคือจุดภาพที่เป็นวัตถุและจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง ซึ่งจะสามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน สามารถแสดงฮิสโทแกรมของภาพ $f(x,y)$ ได้ดังรูปที่ 2.5 (ก) การแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลังทำโดยหาค่าขีดแบ่ง T ที่สามารถแบ่ง 2 กลุ่มดังกล่าวออกจากกัน โดยพิจารณาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด จากนั้นกำหนดให้จุดภาพ (x,y) ที่มีค่าระดับเทา $f(x,y) > T$ เป็นจุดภาพของวัตถุ ส่วนจุดอื่นที่เหลือเป็นจุดภาพพื้นหลัง

ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง (Multiple threshold)

สมมติว่าภาพประกอบด้วยหลายๆวัตถุ เช่นภาพที่มีวัตถุสว่าง 2 อันอยู่ในพื้นหลังที่มืด การหาค่าขีดแบ่งเมื่อรูปภาพมีฮิสโทแกรมแบบ 3 ฐานนิยม ดังรูปที่ 2.4(ข) จะจำแนกจุดภาพ (x, y) ว่าเป็นจุดภาพของวัตถุแรกถ้า $T_1 < f(x, y) < T_2$ และเป็นจุดภาพของวัตถุที่สองถ้า $f(x, y) > T_2$ และเป็นจุดภาพพื้นหลังถ้า $f(x, y) \le T_1$



(ก) การหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว (ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง

รูปที่ 2.5 การหาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา [6]

การหาค่าขีดแบ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 2.8 [6]

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad \text{... (2.8)}$$

เมื่อ $f(x, y)$ เป็นค่าระดับเทาของภาพ ณ จุด (x, y) และ $p(x, y)$ แสดงสมบัติเชิงท้องถิ่น (Local property) ของจุดดังกล่าว เช่น ค่าระดับเทาเฉลี่ยของจุดภาพใกล้เคียงที่มีจุดศูนย์กลาง ณ ตำแหน่ง (x, y) โดยทั่วไปภาพลักษณ์ฐานสอง $g(x, y)$ ที่ได้หลังจากการทำขีดแบ่งกับภาพระดับเทา $f(x, y)$ ด้วยค่าขีดแบ่ง T มีค่าดังสมการที่ 2.9

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & if\ f(x, y) > T \\ 0 & if\ f(x, y) \le T \end{cases} \quad \text{... (2.9)}$$

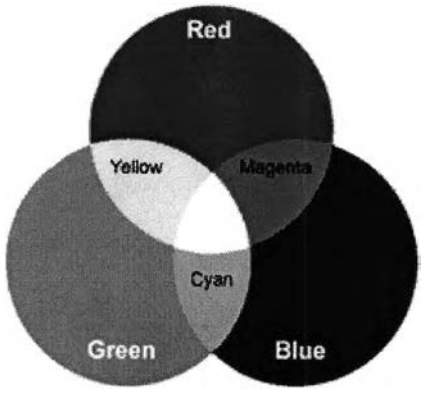
จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 คือ จุดภาพที่เป็นวัตถุ ขณะที่จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 คือจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง

2.2.2 การประมวลผลภาพสี (Color Image Processing)

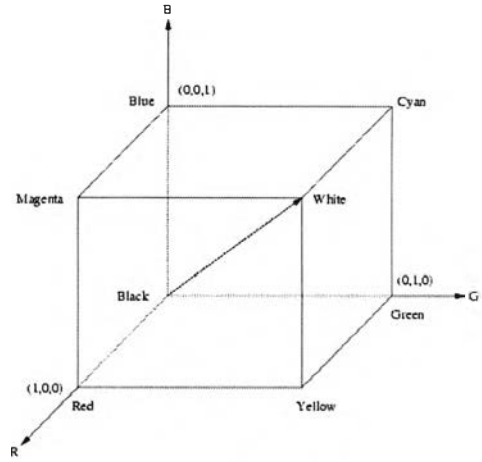
2.2.2.1 มาตรฐานของสี [6]

ระบบสี RGB (Red Green Blue) เป็นสีที่ใช้สำหรับการใช้งานกับจอภาพคอมพิวเตอร์ และเป็นระบบสีที่เกิดจากการผสมสีของแสงที่ประกอบด้วยแม่สีหลักของแสง 3 สี คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และน้ำเงิน(Blue) ในสัดส่วนความเข้มของแม่สีแต่ละตัวที่แตกต่างกัน เป็นแบบจำลองสี RGB เมื่อสีเหล่านี้มีการผสมกันแล้วเกิดเป็นสีสันต่าง ๆ จึงเรียกว่า "สีแบบบวก"

(additative colors) ดังรูปที่ 2.6(ก)



(ก) ระบบสีแบบบวก



(ข) RGB cube [6]

รูปที่ 2.6 ระบบสี RGB

แบบจำลองสีนี้สามารถแทนโดยใช้รูปลูกบาศก์ขนาด 1 หน่วย ดังรูปที่ 2.6(ข) โดยที่สี RGB เป็นแกนทั้ง 3 ของรูปลูกบาศก์ โดยแต่ละสีมีค่าอยู่ในช่วง [0,1] 0 แสดงถึงความมืดและ 1 แสดงถึงความสว่าง ภาพที่ได้จากแบบจำลอง RGB จะประกอบด้วยระนาบภาพสี RGB 3 ระนาบ ภาพที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นถ้าต้องการสร้างภาพจำลองบนจอภาพจะต้องอาศัยการผสมกันของระนาบภาพทั้ง 3 จึงจะทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอภาพ

2.2.2.2 การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา

เนื่องจากการประมวลผลภาพสีค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้น จึงนิยมที่จะแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาก่อนการประมวลผลภาพ โมเดลสีที่พยายามแยกส่วนประกอบของสีกับส่วนประกอบของความเข้มแสงออกจากกัน และส่วนประกอบของความเข้มแสงนี้เองที่เป็นส่วนแสดงค่าระดับเทาของภาพสีแต่ละภาพ โมเดลสีที่ใช้แปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาที่ใช้กันได้แก่ โมเดลสี YIQ ซึ่งมีค่า Y เป็นค่าแสดงความเข้มแสง คำนวณได้จากสมการที่ 2.10 [6]

$$Y = 0.212671R + 0.715160G + 0.072169B \quad \text{... (2.10)}$$

2.2.3 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยา (Morphological Image Processing) [15]

การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยาเป็นการประมวลผลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ การดำเนินการพื้นฐานโดยทั่วไปได้แก่ การขยายขนาด (Dilation) และ การกร่อน (Erosion) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การขยายขนาดวัตถุ เพื่อขยายขนาดขอบ

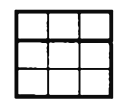
ของรถให้สามารถตรวจสอบได้ง่ายขึ้น

การขยายขนาดเป็นการขยายขนาดของวัตถุในภาพเพื่อจุดประสงค์บางประการ เช่น เพื่อปิดรูเล็ก ๆ ในวัตถุ หรือใช้เพื่อช่วยให้วัตถุ 2 วัตถุที่ไม่มีสมาชิกร่วมกันแต่อยู่ใกล้กันสามารถต่อเชื่อมกันได้ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.7 (ข) การขยายขนาดทำได้โดยวางส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure element) ลงบนภาพแล้วเลื่อนส่วนประกอบโครงสร้างในลักษณะเดียวกับการทำคอนโวลูชัน แต่ต่างกันที่ขั้นตอนการดำเนินการ การขยายขนาดมีขั้นตอนดังนี้

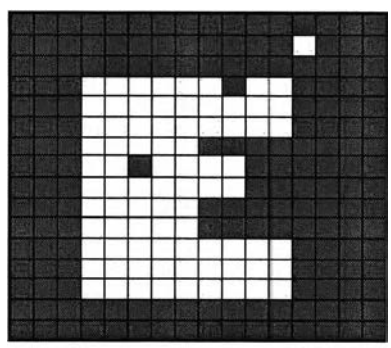
1. ถ้าจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบโครงสร้างตรงกับค่า '0' ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
2. ถ้าจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบโครงสร้างตรงกับค่า '1' ในภาพ ให้ดำเนินการด้วยตัวดำเนินการทางตรรกะออร์ (or) ระหว่างภาพกับส่วนประกอบโครงสร้าง

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 2.11

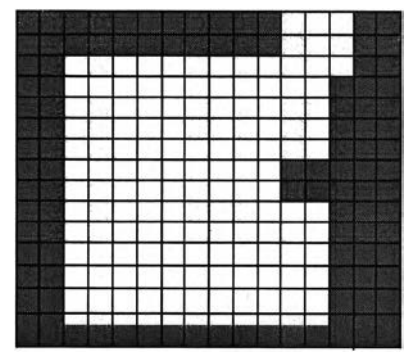
$$D(A,B) = A \oplus B = \bigcup_{\beta \in B} (A + B) \qquad \ldots(2.11)$$



ส่วนประกอบโครงสร้างขนาด 3x3 พิกเซล



(ก) ภาพต้นฉบับ



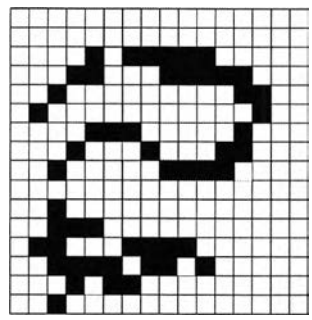
(ข) ภาพหลังการขยาย

รูปที่ 2.7 การขยายขนาด [15]

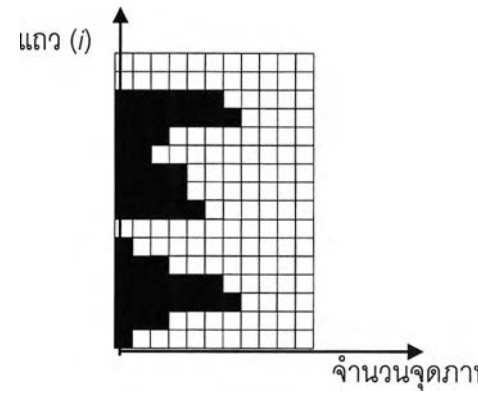
รูปที่ 2.7 แสดงภาพหลังจากการทำการขยายขนาดด้วยส่วนประกอบโครงสร้างดัง จะเห็นได้ว่าวัตถุในภาพซึ่งมีค่า '1' (สีขาว) มีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น

2.2.4 **โพรไฟล์การฉาย** (Projection Profile)

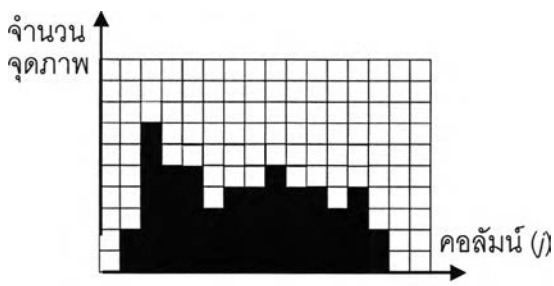
การฉายของภาพลักษณ์ฐานสองลงบนเส้นตรง สามารถทำได้โดยแบ่งเส้นตรงออกเป็นช่อง ๆ และหาจำนวนของจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับเส้นตรงในแต่ละช่องนั้น โพรไฟล์การฉายเป็นการแสดงข้อมูลของภาพที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง



(ก) ภาพลักษณ์ฐานสอง



(ข) โพรไฟล์การฉายตามแนวนอน



(ค) โพรไฟล์การฉายตามแนวตั้ง

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างโพรไฟล์การฉายของภาพลักษณ์ฐานสอง [16]

โพรไฟล์การฉายตามแนวนอนและแนวตั้งหาได้อย่างง่าย ๆ จากการนับจำนวนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 ในทิศทางตามแนวนอนและแนวตั้งของช่องแต่ละช่องในเส้นตรงที่แบ่งไว้ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยที่จุดภาพสีดำมีค่าเท่ากับ 1 และจุดภาพสีขาวมีค่าเท่ากับ 0

โพรไฟล์การฉายตามแนวนอน $H[i]$ และแนวตั้ง $V[j]$ ของภาพลักษณ์ฐานสองกำหนดโดยสมการที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ [16]

$$H[i] = \sum_{j=1}^{m} B[i, j] \qquad \text{... (2.12)}$$

$$V[j] = \sum_{i=1}^{n} B[i, j] \quad \text{... (2.13)}$$

โดยที่ B เป็นภาพลักษณ์ฐานสองซึ่งมีความสูงเท่ากับ m จุดภาพ และมีความกว้างเท่ากับ n จุดภาพ