การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2535
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 26-29 พฤศจิกายน 2535

การวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรโดยวิธีการทางรูปภาพ
ANALYSIS OF TRAFFIC DATA USING THE IMAGE PROCESSING APPROACH

วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์
อาจารย์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กรุงเทพฯ

VIROAT SRISURAPANON
Lecturer
King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok

ฮิโรชิ โมริ
รองศาสตราจารย์
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
กรุงเทพฯ

HIROSHI MORI
Associate Professor
Asian Institute of Technology, Bangkok

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านการจราจร ได้แก่ ระยะระหว่างคัน (headway) ความเร็วรถ (vehicle speed), การเปลี่ยนช่องจราจร (lane changing) และ การจำแนกประเภทรถ (vehicle classification) จากวิดีโอ โดยวิธีอัตโนมัติ ขบวนการนี้ใช้สำหรับสภาพการจราจรที่มีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา ขั้นตอนหลักอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ การแยกรูปภาพ (Image Extraction) และการวิเคราะห์ข้อมูลการจราจร (Analysis for Traffic Stream) ส่วนแรกเป็นขบวนการทางรูปภาพ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Vieren (1991) เพื่อที่จะได้รูปขาวดำ (binary image) ส่วนหลังเป็นการหาลักษณะของจราจร โดยใช้โปรแกรมภาษาเบสิก ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อจากส่วนแรก หลักการทั่วไปมีอยู่ว่า กำหนดเส้นตรวจจับ (detection line) ขึ้นมา 2 เส้น ขวางช่องจราจรที่ต้องการหาข้อมูลทางจราจร โดยทราบระยะห่างระหว่างเส้นทั้งสอง ความเข้มของแสงตามแนวเส้นตรวจจับจะเป็นตัวบอกว่ามีรถผ่านหรือไม่ ขณะที่รถผ่านเส้นตรวจจับแต่ละเส้น เวลาที่มาถึง (arrival time) จะถูกบันทึก และจับคู่กันโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มและเทคนิคการจับคู่ ผลการวิจัยกับสภาพจราจรบนทางด่วนเฉลิมมหานคร พบว่าเหมาะสำหรับการหาความเร็วรถ ค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วเฉลี่ยของรถ ± 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีการหาโดยการบันทึกเวลาบนจอโทรทัศน์ (Manual Extraction)

อัตราการตรวจจับ (detection rate) ที่ใช้ 5 ภาพต่อวินาที (frames/sec) ช้ากว่าเวลาจริง 25 เท่า เป็นอัตราที่ค่อนข้างหยาบ ซึ่งบางครั้งจะทำให้การตรวจจับผิดพลาด อย่างไรก็ตามเทคนิคการจัดกลุ่มและเทคนิคการจับคู่ ซึ่งอยู่ในขั้นตอนหลังจะช่วยลดข้อผิดพลาดอันนี้เป็นที่น่าพอใจ

SUMMARY

This research concentrates on traffic data collection, headway, vehicle speed, lane changing and vehicle classification by video recording using image processing to extract these data automatically. This developed algorithm is applicable to moving vehicles. The overall procedure is separated into two major parts: image extraction and analysis for traffic stream. The former employed the interframe technique modified from Vieren's method (1991) to obtain a binary image. The latter part is developed to extract traffic data from the former procedure. Two detection lines are set across a lane to detect brightness along the lines and data from these two lines were matched by the developed algorithm. Thanks to grouping and group matching techniques in this part, they can reduce many errors before finding the vehicle speed. The result is good for speed study on expressway in Bangkok, the error of average speed about ± 3 % while comparing with manual extraction.

This algorithm was implemented as nonreal time. Time required by a personal computer to process a sequence of images was 25 times slower than real time. The detction rate is 5 frames per second by this machine, which can cause misdetecting. However, a grouping technique and a matching technique are proposed to reduce the error satisfactorily.

ขบวนการทางรูปภาพ (Image Processing)

ขบวนการทางรูปภาพ ดังรูปที่ 1 สัญญาณภาพ I(x, y) จากเครื่องอัดวีดีโอ จะถูกส่งผ่าน digitizer ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณภาพ เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) f(x, y) โดยมี analog to digital (A/D) converter เป็นตัวเลือกสัญญาณ (sampling)

สัญญาณไฟฟ้า f(x, y) เป็นสัญญาณตัวเลข จะผ่านขบวนการภาพ (Digital Image processing) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะถูกสั่งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ วิธีการและลำดับขั้นตอนจะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ต้องการ เช่น เน้นรูป, เน้นขอบรูป, ทำให้เป็นเฉพาะสีขาวและดำ, ใส่สัญญลักษณ์เพื่อความเข้าใจ หรืออาจจะประกอบกันหลาย ๆ วิธี เมื่อเสร็จขบวนการนี้จะได้สัญญาณตัวเลข g(x,y) ต่อจากนั้นสัญญาณจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณภาพ I'(x,y) ให้สามารถมองได้ด้วยตาเปล่าทางจอโทรทัศน์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ตัวเปลี่ยนสัญญาณ (Digitizer)

ตัวเปลี่ยนสัญญาณ ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ Personal Image Analysis System (PIAS, รุ่น LA 555) จากประเทศญี่ปุ่น ต่อเข้ากับเครื่องเล่นวีดีโอเทป โดยมี analog-to-digital (A/D) converter เป็นตัวเลือก (sampling) สัญญาณ แสดงผลออกมาเป็นค่าตัวเลขความเข้มแสง

ระบบโทรทัศน์ที่ใช้เป็นระบบ NTSC มีอัตราความเร็วของภาพ 30 frames/sec บนจอภาพจะประกอบด้วยเส้นแนวราบ 525 เส้น แต่ละจุดของภาพที่ปรากฏบนจอจะมีค่าความเข้มแสงแสดงเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งมีทั้งหมด 512 x 512 จุด (pixels)

ตัวจัดขบวนการภาพ (Image Processes)

ตัวจัดขบวนการภาพ ในการวิจัยนี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์ 32 Bit รุ่น PC9801 (NEC company) มีหน่วยความจำถาวร 100 megabyte และหน่วยความจำชั่วคราว (RAM disk) 5 megabyte ซึ่งมีความเร็ว 20 Mhz ลำดับขั้นตอนแต่ละขั้นตอนที่ออกแบบได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PIAS เป็นตัวจัดการ

ตัวแสดงผล (Display device)

ตัวแสดงผล จะเปลี่ยนสัญญาณกลับมาแสดงผลทางจอโทรทัศน์ ภาพที่ปรากฏบนจอ มีหน่วยความจำชั่วคราวเป็นตัวบันทึก สามารถเรียกมาดูได้ทีละภาพ (frame) มีทั้งหมด 6 ภาพ

การแยกรูปภาพ (Image Extraction)

จุดประสงค์หลักของขั้นตอนนี้ เพื่อแยกรถที่กำลังเคลื่อนที่ (moving vehicle) ออกจากพื้นหลัง (background) ขั้นตอนย่อยดัดแปลงมาจากวิธีการของ Vieren [1] ดังแสดงในรูปที่ 2

รถคันแรกที่นำมาผ่านขั้นตอนนี้ จะต้องผ่านเส้นตรวจจับทั้ง 2 เส้น โดยที่จะต้องไม่มีการแทรก (immerging) หรือ การแยก (diverging) ของรถคันอื่น เพราะโปรแกรมจะกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ศูนย์ เมื่อรถคันแรกวิ่งผ่านเส้น

ขั้นตอนย่อยมีด้วยกัน 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนขจัดพื้นหลัง (Differencing Step; D (P,C))

ขั้นตอนนี้เพื่อขจัดพื้นหลังให้เหลือไว้เฉพาะรูปรถ โดยนำรูปปัจจุบัน (c, current frame) ลบด้วยรูปก่อนหน้า (p, previous frame) โดยสมบูรณ์ ดังสมการที่ 1

$$| c - p | = (c - p) \text{ OR } (p - c) \quad (1)$$

จะได้ภาพรถทั้งในรูปปัจจุบัน และรูปก่อนหน้าอยู่ในภาพเดียวกัน โดยปราศจากพื้นหลัง

ขั้นตอนเน้นขอบภาพ (Edge Enhancement ; G [D(p,c)], G(c))

ขั้นตอนนี้เพื่อเน้นเอาเฉพาะขอบของรูปรถจากขั้นตอนที่แล้ว (difference image) และรูปในภาพปัจจุบัน (current image) โดยใช้ simple marks, Wx และ Wy [2] ดังรูปที่ 3 แทนในสมการที่ 2

$$|\nabla f(x,y)| \rightarrow \sqrt{((f_x(n_1,n_2))^2 + (f_y(n_1,n_2))^2)} \quad (2)$$

โดย $|\nabla f(x,y)|$ หมายถึง ค่าความเข้มแสง ณ จุด (x,y) หลังจากผ่านขั้นตอนการเน้นขอบภาพ (a discrete approximation of nondirectional edge detector)

$$f_x(n_1,n_2) = f(n_1,n_2) * Wx$$

$$f_y(n_1,n_2) = f(n_1,n_2) * Wy$$

ขั้นตอนการคูณ (Multiplication; M(c))

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ เพื่อให้ได้เฉพาะขอบรูปรถเฉพาะในภาพปัจจุบัน (current image) เท่านั้น การคูณกันของรูปภาพจะมีผลเท่ากับ การดำเนินการด้วย AND ในทางตรรกศาสตร์ ดังสมการที่ 3

$$M(C) \rightarrow G[D(P,C)] * G(C) \quad (3)$$

ขั้นตอนการกรอง (Filter)

ขั้นตอนนี้เพื่อลดตัวแปลกปลอม (random noise) ให้น้อยลงโดยใช้ mask Wo [3] ดังรูปที่ 4

ขั้นตอนตัดเงา (Thresholding)

ขั้นตอนนี้เพื่อลบเงาของรถ (shadows) และสิ่งแปลกแปลอมที่เกิดขึ้น (artifacts) ออกจากภาพ โดยการกำหนดค่าขั้นค่าหนึ่ง (threshold value) ดังตัวอย่างในสมการที่ 4

$$f'(x,y) = \begin{cases} 255 & ;\text{if } f(x,y) \geq 40 \\ 0 & ;\text{if } f(x,y) < 40 \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ Threshold value = 40

ผลลัพธ์จะปรากฏเป็นภาพขาวดำ โดยขอบของรถจะเป็นสีขาวที่เหลือจะเป็นสีดำ

ขั้นตอนแรเงา (Binary Operator)

ขั้นตอนนี้เพื่อเติมสีขาวภายในขอบรถให้เต็ม เมื่อเริ่มการทำงานโดยอัตโนมัติ ความเข้มแสงตามแนวเส้นตรวจจับ (detection line) จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำไปผ่านขบวนการในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลการจราจร (Analysis for Traffic Stream)

ข้อมูลการจราจรที่วิเคราะห์ มีด้วยกัน 4 ประเภท ดังนี้

(ก) ระยะระหว่างคัน (headway)
(ข) ความเร็วรถ (vehicle speed)
(ค) จำนวนรถเปลี่ยนช่องจราจร (lane changing) และ
(ง) การจำแนกประเภทรถ (vehicle classification)

ผลรวมของความเข้มแสงตามแนวของเส้นตรวจจับ ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่ามีรถผ่านเส้นตรวจจับหรือไม่ ถ้าหากผลรวมมากกว่าเกณฑ์แสดงว่ามีรถที่เส้นตรวจจับ ตัวโปรแกรมจะทำการบันทึกเวลาที่มาถึง (arrival time) ของรถแต่ละคัน แล้วทำการคำนวณหาระยะระหว่างคัน ดังรูปที่ 5 แสดงการตรวจจับระยะระหว่างคันโดยวิธีอัตโนมัติ

โดยปกติกลุ่มรถที่มีระยะระหว่างคันสั้น (short headway) จะมีความเร็วของรถที่มีค่าใกล้เคียงกัน จากสมมติฐานอันนี้ จึงได้ใช้ระยะระหว่างคัน (headway) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งรถออกเป็นกลุ่ม ๆ (grouping) รถที่มีระยะระหว่างคันที่ต่อเนื่องกัน น้อยกว่าเกณฑ์ จะถูกจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน

หลังจากจัดกลุ่มรถที่ผ่านเส้นตรวจจับทั้งสองแล้ว จะทำการจับคู่กลุ่มรถ (group matching) ระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสอง ถ้าหากจำนวนภาพ (frames) อยู่ในช่วงที่ยอมให้ กลุ่มรถทั้งสองจะถูกจับคู่กัน เพื่อนำไปคำนวณหาระยะเวลา (travel time) ที่รถแต่ละคันในแต่ละกลุ่มผ่านระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสองเส้น และนำไปหารระยะทางระหว่างเส้นทั้งสอง (fixed distance) จะสามารถหาความเร็วรถแต่ละคันได้ดังขั้นตอนในรูปที่ 6

การเปลี่ยนช่องจราจร (lane changing) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การแทรก (immerging) และการแยก (diverging) จำนวนรถที่เปลี่ยนช่องจราจรสามารถคำนวณได้จาก จำนวนรถทั้งหมดที่ผ่านเส้นตรวจจับแต่ละเส้น ลบด้วยจำนวนรถทั้งหมดที่ถูกจับคู่กัน

การจำแนกประเภทรถ ทำได้โดยใช้ระยะความยาวของรถเป็นเกณฑ์ ดังรูปที่ 7 โปรแกรมการจำแนกประเภทรถจะแยกต่างหากจากโปรแกรมที่ใช้หาความเร็วของรถ

ปัญหาและข้อจำกัด

ปัญหา

(ก) การแรเงา (shading)
ในขั้นตอนการแยกรูปภาพ ผลที่ได้จะเป็นรูปขาวดำ ส่วนตัวรถจะเป็นสีขาว รถคันหนึ่ง จะประกอบด้วยจุดขาวเล็กต่อเนื่องกันเป็นกลุ่ม ถ้าหากจุดขาวไม่ต่อเนื่องกันเป็นกลุ่มเดียวการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนหลังจะถือว่าเป็นรถมากกว่าหนึ่งคัน ซึ่งปัญหานี้มักจะพบกับรถที่มีสีดำ

(ข) รถที่ต่อเนื่องกัน (continuous vehicles)
กรณีที่มุมมองของกล้องเอียงและรถที่ตามมาอยู่ในระยะที่ใกล้กันมาก จะมองเห็นรถคันหน้าบังรถคันหลัง ขั้นตอนการแยกรูปภาพจะไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นรถคนละคัน เนื่องจาก กลุ่มของจุดขาวของรถแต่ละคันต่อเนื่องกันเป็นกลุ่มเดียว

(ค) ระยะระหว่างคันสั้น (short headway)
สำหรับการวิจัยนี้ได้กำหนดการตรวจจับทุก ๆ 6 ภาพ ถ้าหากระยะระหว่างคันน้อยกว่า 6 ภาพ รถคันที่อยู่หลังอาจจะไม่ถูกตรวจจับ ซึ่งถือเป็นข้อผิดพลาดอันหนึ่ง

(ง) ความสูงของรถ (vehicle height)
เมื่อมุมกล้องเอียงจะมองเห็นรถปรากฏบนทั้งสองช่องจราจร ซึ่งมีผลทำให้เกิดการตรวจจับซ้ำซ้อน

(จ) สภาพแวดล้อม (environment)
หลังจากฝนหยุดตก สภาพถนนจะค่อย ๆ แห้ง ส่วนที่รถวิ่งผ่านจะแห้งเร็วกว่า จะทำให้เห็นเป็นร่องล้อ ขั้นตอนการแยกรูปไม่สามารถแยกได้ออกว่าส่วนไหนเป็นรถหรือถนน โปรแกรมที่ใช้งานวิจัยนี้จึงเหมาะกับสภาพแวดล้อมที่แจ่มใส

ข้อจำกัด

เนื่องจากภาพปัจจุบัน (current image) ในแต่ละรอบการทำงานของโปรแกรม จะเป็นภาพก่อนหน้า (previous image) ของรอบการทำงานถัดไป ดังนั้นการตรวจจับรถจะทำได้เฉพาะรถที่กำลังเคลื่อนที่ (moving vehicle) เท่านั้น

ความเร็วของเครื่องเล่นวีดีโอ มีความเร็วต่ำสุด 25 วินาที ต่อ 30 ภาพ และเวลาที่ใช้ในการแยกภาพแต่ละรอบการทำงานประมาณ 5 วินาที ดังนั้นความถี่ของการตรวจจับ สามารถกำหนดได้สูงสุด ทุก ๆ 6 ภาพ ซึ่งมีผลโดยตรงกับความละเอียดแม่นยำในการตรวจจับเวลาที่รถมาถึง (arrival time)

บทสรุป

การวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาข้อมูลการจราจรจากวิดีโอ โดยวิธีการภาพต่อเนื่อง (Interframe technique) อย่างอัตโนมัติ มีอัตราการตรวจจับ 5 ภาพต่อวินาที จะทำให้การตรวจจับเวลาผิดพลาด ± 0.2 วินาที ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการหาระยะระหว่างคัน และความเร็วรถแต่ละคันโดยตรง ปัญหาต่าง ๆ ในขั้นตอนการแยกรูปก่อให้เกิดการตรวจจับผิดพลาดต่อการนับจำนวนรถมากกว่าวิธีนับโดยตรง 14-49 เปอร์เซ็นต์ [4] ซึ่งจะส่งผลไปถึงค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างคัน และการนับจำนวนรถที่เปลี่ยนช่องจราจร

เทคนิคการจัดกลุ่มและการจับคู่ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถที่จะลดข้อผิดพลาดได้อย่างมาก หลังจากใช้เทคนิคนี้พบว่า ความเร็วเฉลี่ยที่รถผ่านเส้นตรวจจับทั้งสองผิดพลาด ± 3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

การจำแนกประเภทรถในการวิจัยนี้ สามารถทำได้เมื่อมีระยะระหว่างคันห่างกันมากพอที่โปรแกรมสามารถแยกภาพได้ว่าเป็นรถคนละคันกัน โปรแกรมจะจำแนกประเภทรถได้ดี ถ้าหากสามารถเพิ่มอัตราการตรวจจับให้ถี่ยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

(ก) กรณีสภาพจราจรติดขัด ควรใช้วิธีการเลือกภาพพื้นหลัง (background differencing technique) แทนวิธีการภาพต่อเนื่อง (interframe technique)

(ข) การคำนวณค่า (threshold value) แต่ละจุดของภาพ ในขั้นตอนการแยกภาพ แทนการกำหนด threshold value ค่าเดียวทุกจุดทั้งภาพ จะให้ภาพขาวดำ (binary image) ที่ชัดเจนกว่า

(ค) การใช้ภาพสี (color image) ในการวิเคราะห์แทนการใช้ภาพธรรมดา (monochrome image) อาจช่วยป้องกันข้อผิดพลาดในขั้นตอนการแยกภาพได้

(ง) การเพิ่มเส้นตรวจจับระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสอง จะเป็นตัวตรวจสอบและช่วยลดข้อผิดพลาดได้

เอกสารอ้างอิง

1. C. VIEREN, J.-P. DEPARIS, P BONNET AND J.G. POSTAIRE (1991), Dynamic Scene Modeling for Automatic Traffic Data Extraction, Journal of Transportation Engineering, Vol. 117, No. 1, Jan./Feb., pp. 47-56.

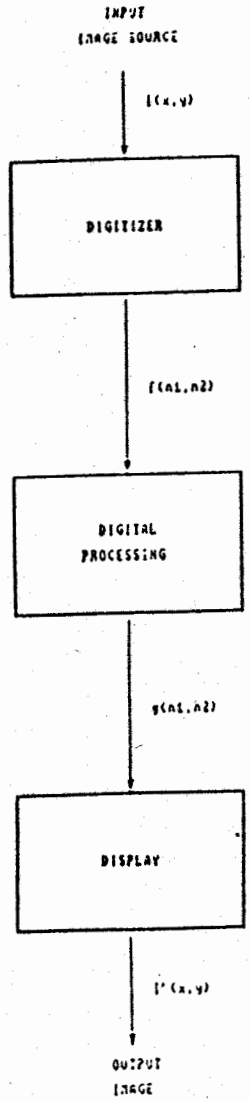
2. J.M.S. PREWITT (1970), Object Enhancement and Extraction, in Picture Processing and Psychopictories (B.S. Lipkin and A. Rosenfeld, Eds.), Academic Press, New York, pp. 75-149.

3. J.S. Lim (1990), Two-Dimension Signal and Image Processing, Prentice-Hall International, Inc..

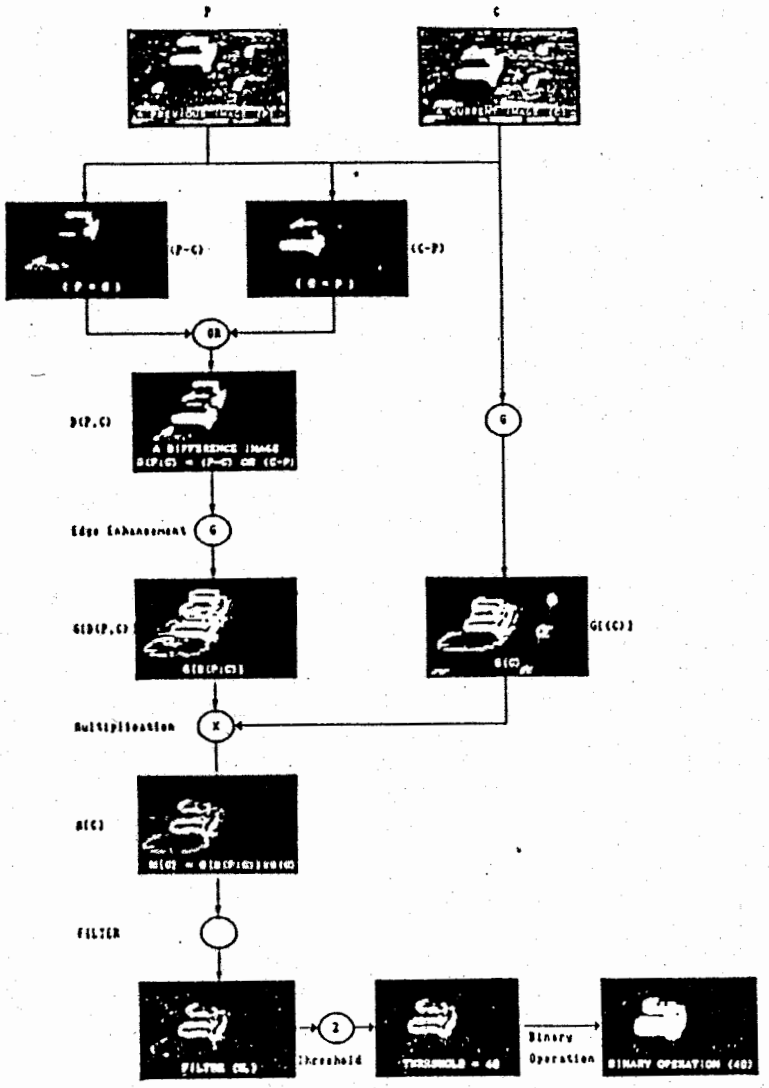
4. V. SRISURAPANON (1992), Analysis of Traffic Data Using the Image Processing Approach, Asian Inst. of Tech., Bangkok.

สัญลักษณ์

I(x,y)	=	สัญญาณภาพเริ่มต้นก่อนผ่านขบวนการทางรูปภาพ ณ จุด (x,y)
I'(x,y)	=	สัญญาณภาพหลังผ่านขบวนการทางรูปภาพ ณ จุด (x,y)
f(x,y)	=	สัญญาณตัวเลขที่แปลงมาจากสัญญาณภาพ I(x,y)
g(x,y)	=	สัญญาณตัวเลขหลังผ่านขบวนการทางภาพ
P	=	ภาพก่อนหน้า (Previous image)
C	=	ภาพปัจจุบัน (Current image)
D(p,c)	=	ภาพแสดงผลลบโดยสมบูรณ์ระหว่างภาพก่อนหน้า และภาพปัจจุบัน
G(c)	=	การเน้นขอบรูปของภาพปัจจุบัน
M(c)	=	ภาพที่เกิดจากกระบวนการตรรกศาสตร์ G [D(p,c)] และ G(c)
HEAD (K,L,M)	=	ระยะระหว่างคัน (headway) ของรถ M ตรวจจับโดยเส้นตรวจจับ K ตามช่องเดินรถ L
HEAD (K,L,I,J)	=	ระยะระหว่างคันของรถ J กลุ่ม I ตรวจจับโดยเส้นตรวจจับ K ตามช่องเดินรถ L
SPEED (L,I,J)	=	ความเร็วรถ J กลุ่ม I ระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสอง ตามช่องเดินรถ L



รูปที่ 1 ขบวนการทางรูปภาพโดยรวม



รูปที่ 2 ขั้นตอนการแยกรูปภาพรถออกจากพื้นหลัง

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

Mx

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

My

$$G(n) = \sqrt{(Mx)^2 + (My)^2}$$

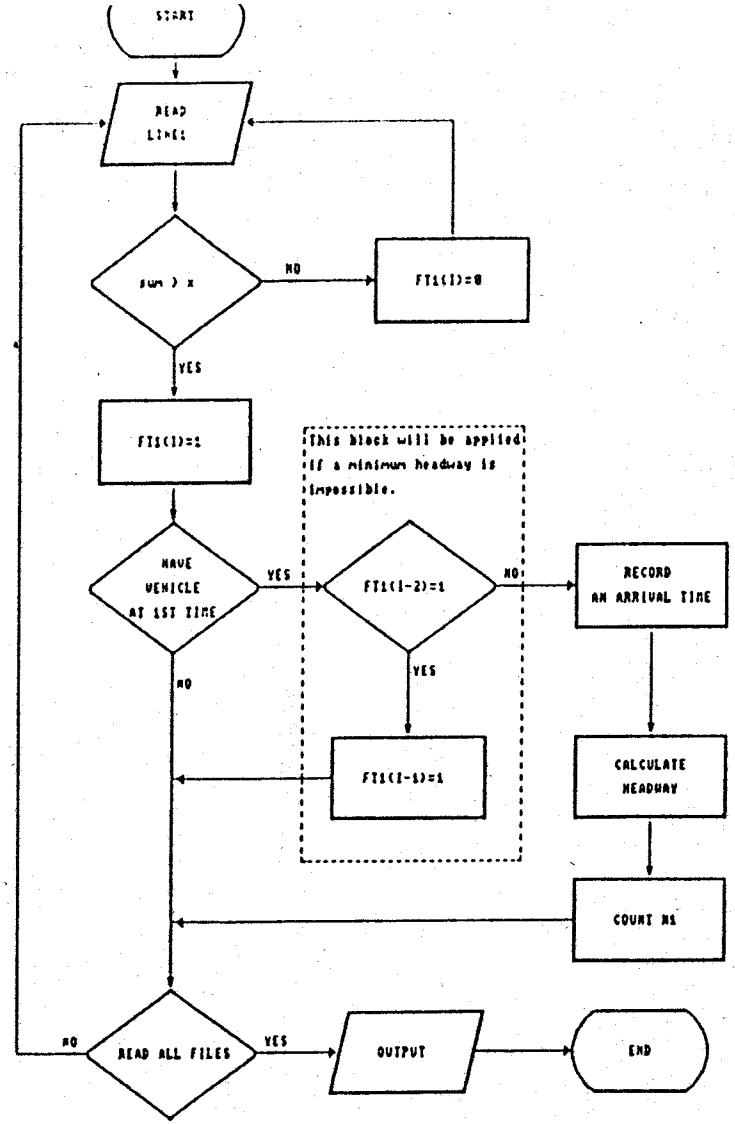
รูปที่ 3 Simple Mask สำหรับเส้นขอบภาพ

$\frac{1}{16}$

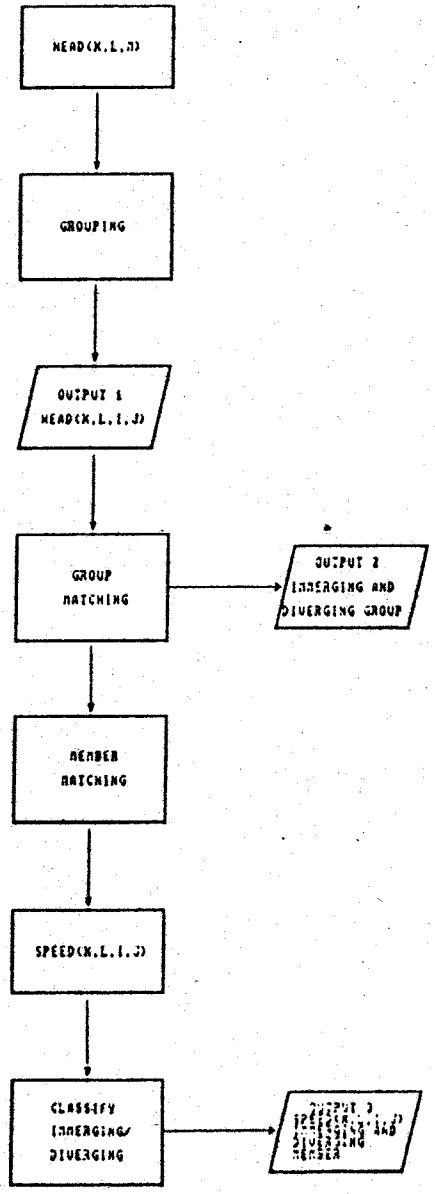
1	1	1
1	2	1
1	1	1

Mo

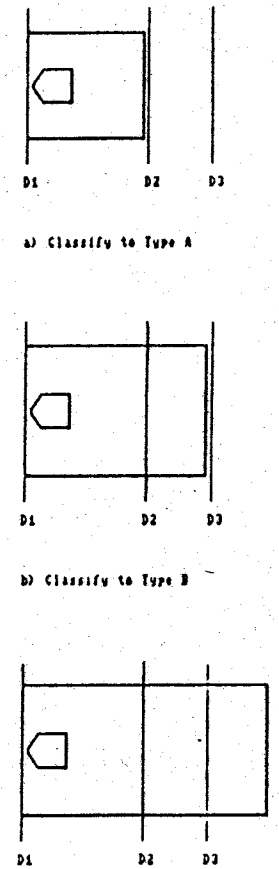
รูปที่ 4 Mask Mo สำหรับทางกรอง



รูปที่ 5 การตรวจจับระยะระหว่างคันโดยวิธีอัตโนมัติ



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลการจราจร



รูปที่ 7 การจำแนกประเภทรถ