

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ภาพถ่ายสำหรับระบบตรวจตราสภาพการจราจร
ด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพร่วมกับกรอบหน้าต่างการตรวจจับ

IMAGE ANALYSIS FOR A TRAFFIC MONITORING SYSTEM

BASED ON EDGE DETECTION AND VEHICLE DETECTION WINDOW TECHNIQUES



T117923



พิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ

PIPATPHON LAPAMONPINYO

จพ.
พ 699ก

เลขหมู่..... 2554
เลขทะเบียน..... 117923
วัน,เดือน,ปี..... 22 ส.ค. 2554

12348223
b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2554

KMITL-2011-EN-M-070-006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMAGE ANALYSIS FOR A TRAFFIC MONITORING SYSTEM

BASED ON EDGE DETECTION AND VEHICLE DETECTION WINDOW TECHNIQUES



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

KMITL-2011-EN-M-070-006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การวิเคราะห์ภาพถ่ายสำหรับระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพร่วมกับกรอบหน้าต่างการตรวจจับ |
| นักศึกษา | นายพิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ |
| รหัสนักศึกษา | 51060709 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ |
| พ.ศ. | 2554 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ.ดร.อรพัทธ์ จิตต์โสภักดิ์ |

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายบนรากฐานของวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพร่วมกับกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ระบบที่นำเสนอประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญสองขั้นตอน กล่าวคือ การตรวจจับยานพาหนะและการติดตามยานพาหนะ ในขั้นตอนแรก อัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย (GATE: Gradient-based Adaptive Threshold Estimation) ได้ถูกนำเสนอเพื่อจัดเตรียมค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบลในสภาพแสงต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้เส้นขอบของยานพาหนะในภาพผลลัพธ์มีความสมบูรณ์มากที่สุด และในขั้นตอนที่สองวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนออัลกอริธึมการติดตามและตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบกับอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) และอัลกอริธึมการติดตามและตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA) เพื่อแก้ไขปัญหาตรวจจับยานพาหนะผิดพลาด ที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะขนาดใหญ่โดยการประยุกต์ใช้ค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริธึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเคลื่อนที่ (Horizontal Moving Edge Detection: HMED) และเพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางโดยการพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงร่วมกับปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจ จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับยานพาหนะจากภาพถ่ายภายใต้สภาพแสงที่หลากหลายในเวลากลางวันซึ่งให้เห็นว่า ระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอทั้งวิธีการที่ใช้อัลกอริธึม GATE HMED และ RBA กับวิธีการที่ใช้อัลกอริธึม GATE HMED และ FBA นั้น ให้อัตราความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับยานพาหนะรวมสูงถึง 95.84% และ 98.22% ตามลำดับ อีกทั้งให้อัตราการตรวจจับยานพาหนะผิดพลาดต่ำเพียง 6.18% และ 3.85% ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | Image Analysis for a Traffic Monitoring System based on Edge Detection and Vehicle Detection Window Techniques |
| Student | Mr. Pipatphon Lapamonpinyo |
| Student ID | 51060709 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Computer Engineering |
| Year | 2011 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Orachat Chitsibhuk |

ABSTRACT

This paper proposes a traffic monitoring system based on edge detection and vehicle detection window techniques. The proposed system consists of two main processes that are vehicle detection and traffic parameter extraction or vehicle tracking. In the first process, the Gradient-based Adaptive Threshold Estimation (GATE) algorithm is proposed to provide the suitable threshold value for the sobel edge detection. The estimated threshold will be adapted to the changes of diverse illumination conditions throughout the day. This leads to better vehicle detection performance compared to a fixed user's defined threshold. In the second process, this paper proposes the novel vehicle tracking algorithms namely Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters (RBA) and Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters (FBA) in order to reduce the overestimation of the vehicle counting caused by uneven edge density of the large vehicles and vehicle changing lanes. The proposed RBA and FBA algorithms employ the average edge density obtained from the proposed Horizontal Moving Edge Detection (HMED) algorithm to alleviate the problem of uneven edge density and adopt rule-based and fuzzy rule-based algorithms respectively to rectify the counting problems caused by vehicles changing lanes by considering the neighbor edge density obtained from adjacent detection window together with the current edge density gained from the focus detection window. The experimental results demonstrated that both proposed systems, which are based on GATE and RBA with HMED and based on GATE and FBA with HMED, provided the high accuracy of vehicle detection about 95.84% and 98.22%, respectively. In addition, they also offer the low misdetection rates about 6.81% and 3.85%, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทาง ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณจากใจอีกครั้ง สำหรับโอกาส ความช่วยเหลือ และความปรารถนาดี ที่มอบให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ตั้งแต่วัยเยาว์ จนกระทั่งปัจจุบัน

ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว สำหรับการสนับสนุน โอกาส และสิ่งดีๆ ที่มอบให้ ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ไม่ว่าจะยามสุขหรือยามทุกข์ ไม่ว่าจะท้อแท้ สิ้นหวัง หรือต้องเจอกับปัญหา มากมายสักเพียงใด ขอขอบคุณที่ยืนหยัดเคียงข้างข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณและขอบใจ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ข้อคิด และ คำแนะนำที่ดีแก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทุน สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า

พิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | X |
| สารบัญรูป..... | XII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 3 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... | 3 |
| 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 4 |
| 1.5 ขอบเขตการศึกษา..... | 5 |
| 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... | 5 |
| 1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... | 6 |
| 1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์..... | 6 |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 7 |
| 2.1 เทคนิคการตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพ..... | 8 |
| 2.1.1 วิธีการตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection Methods)..... | 8 |
| 2.1.1.1 วิธีผลต่างของเฟรมต่อเนื่องที่ติดกัน (Inter-frame Differencing)..... | 8 |
| 2.1.1.2 วิธีการลบภาพพื้นหลัง (Background Subtraction)..... | 9 |
| 2.1.1.3 วิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพ (Edge Detection)..... | 10 |
| 2.1.2 เทคนิคการติดตามยานพาหนะ (Vehicle Tracking หรือ Traffic Parameter Extraction)..... | 10 |
| 2.1.2.1 วิธีการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ (Vehicle Position Extraction)..... | 11 |
| 2.1.2.2 วิธีการรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Vehicle Detection Window)..... | 11 |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 12 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|-----------|
| 2.2.1 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ M. Fathy และ M.Y. Siyal ในงานวิจัย [3-4]..... | 12 |
| 2.2.2 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ K. Kantip และ S. Supakorn ในงานวิจัย [1, 10] | 15 |
| 2.2.3 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ Yew Liam Ng และคณะ ในงานวิจัย [2] | 17 |
| 2.3 แนวทางการพัฒนาระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 19 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง..... | 21 |
| 3.1 การตรวจจับเส้นขอบภาพ (Edge Detection) | 21 |
| 3.1.1 ทฤษฎีการตรวจจับเส้นขอบภาพโดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-Order Derivative Edge Detection) | 21 |
| 3.1.2 ทฤษฎีการตรวจจับเส้นขอบภาพโดยการหาอนุพันธ์อันดับสอง (Second-Order Derivative Edge Detection)..... | 24 |
| 3.1.3 การตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแคนนี่ (Canny Edge Detection)..... | 25 |
| 3.1.3.1 การปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียน..... | 26 |
| 3.1.3.2 การคำนวณค่าขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง | 27 |
| 3.1.3.3 การกำจัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ไม่ใช่ค่าสูงสุด เฉพาะที่ (Nonmaxima Suppression)..... | 27 |
| 3.1.3.4 การทำฮิสเทรีซิส (Hysteresis) เพื่อคัดกรองให้เหลือแต่พิกเซลเส้น ขอบที่แท้จริง..... | 28 |
| 3.2 ค่าขีดแบ่งและการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding)..... | 29 |
| 3.3 ทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Theory) | 31 |
| 3.3.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) | 32 |
| 3.3.2 เซตแบบฉบับ (Classical Set) | 33 |
| 3.3.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)..... | 34 |
| 3.3.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต (Operation of Fuzzy Set)..... | 36 |
| 3.3.4.1 ยูเนียน (Union)..... | 37 |
| 3.3.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection)..... | 37 |
| 3.3.4.3 คอมพลิเมนต์ (Complement)..... | 38 |
| 3.3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)..... | 40 |
| 3.3.4.1 ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)..... | 40 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.3.4.2 | ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) | 41 |
| 3.3.4.3 | ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function) | 41 |
| 3.3.4.4 | ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function) | 42 |
| 3.3.4.5 | ฟังก์ชันรูปตัวเอส (Smooth Membership Function) | 43 |
| 3.3.4.6 | ฟังก์ชันรูปตัวแซด (Z-Membership Function) | 44 |
| 3.3.4.7 | ฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวก (Positive Linear Membership Function) | 44 |
| 3.3.4.8 | ฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบ (Negative Linear Membership Function) | 45 |
| 3.3.4.9 | ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoidal Membership Function) | 46 |
| 3.3.5 | ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) | 46 |
| 3.3.6 | กฎฟัซซี (Fuzzy Rules) | 47 |
| 3.3.7 | ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (Fuzzy Inference) | 49 |
| 3.3.7.1 | การหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification) | 51 |
| 3.3.7.2 | การประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี (Rule Evaluation) | 52 |
| 3.3.7.3 | การรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อ (Aggregation of Rule Output) | 53 |
| 3.3.7.3 | การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Defuzzification) | 54 |
| บทที่ 4 | ระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ | 56 |
| 4.1 | ภาพรวมของระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ | 57 |
| 4.2 | อัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสถานะแสงในภาพถ่าย (Gradient-based Adaptive Threshold Estimation: GATE) สำหรับการตรวจจับเส้น ขอบภาพของยานพาหนะแบบไซเบล | 58 |
| 4.3 | การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยอัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับ ยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่า เปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) | 60 |
| 4.3.1 | การคำนวณค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ถูกระบุ โดยผู้ใช้ (VDWs Edge Evaluation) | 60 |
| 4.3.2 | การพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม RBA (RBA-based VDWs Status Updating) | 62 |
| 4.3.3 | การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการ ตรวจจับ (RBA Vehicle Counting) | 65 |

| | |
|---|----|
| 4.4 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยอัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA) | 70 |
| 4.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) และกฎการพิจารณาที่เหมาะสมของอัลกอริทึม FBA (Fuzzy-based algorithm with adaptive parameters)..... | 72 |
| 4.4.1.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพซึ่งได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล | 73 |
| 4.4.1.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED..... | 78 |
| 4.4.1.3 กฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะจากปริมาณเส้นขอบภาพสำหรับอัลกอริทึม FBA | 79 |
| 4.4.2 การพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับบนรากฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference-based VDW Status Evaluation)..... | 80 |
| 4.4.2.1 ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ โซเบล | 81 |
| 4.4.2.2 ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED | 82 |
| 4.4.3 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม FBA..... | 84 |
| 4.4.3.1 การตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและหมายเลขเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ | 84 |
| 4.4.3.2 การพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ..... | 86 |
| 4.4.3.3 การตรวจนับยานพาหนะแบบมีเงื่อนไข | 87 |
| 4.4.3.3.1 เงื่อนไขการจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก | 88 |
| 4.4.3.3.2 การจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก..... | 90 |

| | |
|---|-----|
| บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง..... | 98 |
| 5.1 ลักษณะของภาพถ่ายการจราจร | 99 |
| 5.1.1 ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 | 99 |
| 5.1.2 ชุดภาพถ่ายการจราจรที่ 2 | 101 |
| 5.1.3 ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 | 104 |
| 5.2 การวิเคราะห์ลักษณะเส้นขอบภาพของยานพาหนะในภาพถ่าย | 107 |
| 5.2.1 ลักษณะเส้นขอบภาพของยานพาหนะเมื่อเคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถหรือ กรอบหน้าต่างการตรวจจับเพียงช่องเดียว..... | 107 |
| 5.2.1 ลักษณะเส้นขอบภาพของยานพาหนะเมื่อเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสอง ช่องทางหรือกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบ | 108 |
| 5.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้น ขอบภาพของยานพาหนะในสถานะแสงที่แตกต่างกัน | 113 |
| 5.3.1 ความคมชัดของภาพถ่ายในสถานะแสงต่างๆ กับค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้ม แสงสูงสุด..... | 113 |
| 5.3.2 ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะใน สถานะแสงต่างๆ | 114 |
| 5.3.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึมการ เลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสถานะแสงในภาพถ่าย (GATE: Gradient-based Adaptive Threshold Estimation) | 118 |
| 5.3.4 การสรุปค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยการ เปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดระหว่างเฟรมใกล้เคียง..... | 119 |
| 5.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขอบเขตบน (Upper Bound) และค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ แบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิง ที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) | 122 |
| 5.5 การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึมการหาปริมาณ เส้นขอบภาพเฉลี่ย (Horizontal Moving Edge Detection: HMED) | 124 |
| 5.6 การลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... | 127 |
| 5.7 การทดลองเพื่อวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะของ อัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... | 133 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|-----|
| บทที่ 6 บทสรุป..... | 138 |
| 6.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย | 138 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ | 140 |
| 6.2.1 แนวทางในการพัฒนาเพื่อการตรวจตราสภาพการจราจรในเวลากลางคืน | 140 |
| 6.2.2 แนวทางในการพัฒนาการอัลกอริธึม GATE เพื่อการตรวจตราสภาพการจราจร จากภาพถ่ายที่แสงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ | 141 |
| 6.2.3 แนวทางในการพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถอื่นๆ ให้กับระบบตรวจตราสภาพ การจราจรที่นำเสนอ | 141 |
| 6.2.3.1 แนวทางการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ..... | 142 |
| 6.2.3.1 แนวทางการวิเคราะห์ประเภทของยานพาหนะ | 142 |
| 6.2.3.1 แนวทางการวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ | 143 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 137 |
| ภาคผนวก..... | 146 |
| ภาคผนวก ก..... | 147 |
| ภาคผนวก ข..... | 165 |
| ภาคผนวก ค..... | 169 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 176 |

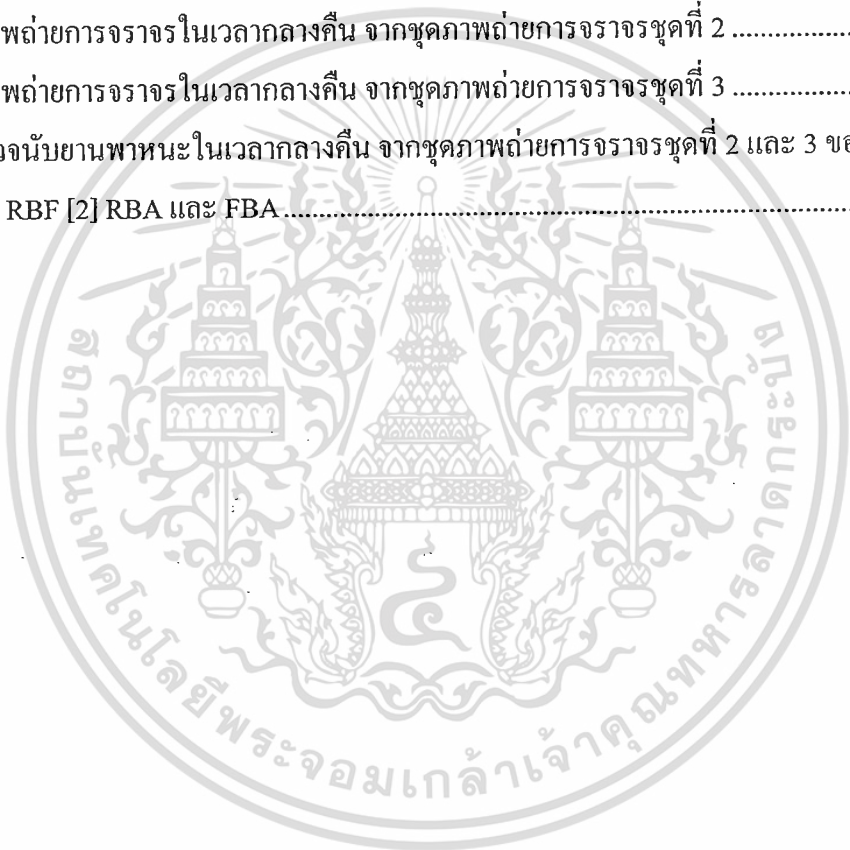
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|--|
| 3.1 | เทมเพลตตัวกรองแบบต่างๆ..... 23 |
| 3.2 | คุณสมบัติการกระทำของพีซีเซต 38 |
| 4.1 | กฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริทึม FBA 80 |
| 4.2 | ตารางแสดงหน่วยความจำที่ใช้จัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก และ หน่วยความจำที่ต้องพิจารณาความซ้ำซ้อนของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดิน รถช่องที่ 1 2 และ 3..... 91 |
| 4.3 | ตัวอย่างภาพถ่ายและค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่อง ทางเดินรถช่องที่ 1 และ 2 ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.2.1 ช่วงเฟรมที่ 42-49 93 |
| 4.4 | ตัวอย่างภาพถ่ายและค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดิน รถช่องที่ 2 และ 3 ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.2.1 ช่วงเฟรมที่ 407-415 96 |
| 5.1 | รายละเอียดแสงเงา และค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ยของชุดภาพถ่าย การจราจรชุดที่ 1..... 99 |
| 5.2 | ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 100 |
| 5.3 | รายละเอียดแสงเงา และ ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ยของชุดภาพถ่าย การจราจรชุดที่ 2..... 102 |
| 5.4 | ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 103 |
| 5.5 | รายละเอียดแสงเงา และค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของชุดภาพถ่าย การจราจรชุดที่ 3..... 104 |
| 5.6 | ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 105 |
| 5.7 | กลุ่มของยานพาหนะที่แบ่งตามปริมาณและความสม่ำเสมอของเส้นขอบภาพ..... 108 |
| 5.8 | แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่าง กันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.3.2 เฟรมที่ 231 (แสงปานกลาง) 115 |
| 5.9 | ผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... 130 |
| 5.10 | ผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... 131 |
| 5.11 | ผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... 132 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|-----|
| 5.12 ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... | 135 |
| 5.13 ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... | 136 |
| 5.14 ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... | 137 |
| ก.1 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 | 148 |
| ก.2 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 | 151 |
| ก.3 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 | 158 |
| ข.1 ตัวอย่างภาพถ่ายการจราจรในเวลากลางวัน จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 | 166 |
| ข.2 ตัวอย่างภาพถ่ายการจราจรในเวลากลางวัน จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 | 167 |
| ข.3 ผลการตรวจนับยานพาหนะในเวลากลางวัน จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 และ 3 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA..... | 168 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างของระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพ | 8 |
| 2.2 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ M. FATHY และ M.Y. SIYAL ในงานวิจัย [3-4]..... | 12 |
| 2.3 ตัวอย่างกรอบหน้าต่างการตรวจจับในงานวิจัย [3-4]..... | 14 |
| 2.4 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ K. KANTIP และ S. SUPAKORN ในงานวิจัย [1, 10]. | 15 |
| 2.5 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ YEW LIAM NG และคณะ ในงานวิจัย [2] | 17 |
| 2.6 ตัวอย่างกรอบหน้าต่างการตรวจจับในงานวิจัย [2]..... | 18 |
| 3.1 ตัวอย่างหน้าต่างการกรองเกาส์เซียนขนาด 5X5 ที่เลือกใช้ $\sigma=1.4$ | 27 |
| 3.2 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับทิศการพิจารณาค่าสูงสุดเฉพาะที่แบบ 4 ทิศทางในรูปของแผนภาพวงกลม (ก.) และอาร์เรย์สองมิติอย่างง่าย (ข.)..... | 28 |
| 3.3 ฮิสโตแกรมของค่าระดับความเข้มแสงที่สามารถถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยค่าขีดแบ่งระดับ เดียว (ก.) และที่สามารถถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วน โดยค่าขีดแบ่งหลายระดับ (ข.) | 29 |
| 3.4 ภาพระดับเทาต้นฉบับ (ก.) ฮิสโตแกรมของภาพ (ข.) ภาพไบนารีผลลัพธ์จากการเลือกใช้ค่าขีด แบ่งเท่ากับ 0.31 (ค.) และภาพผลลัพธ์การคุณภาพต้นฉบับด้วยภาพขาวดำ (ง.)..... | 31 |
| 3.5 ตรวจจับแบบจริงเท็จ (ก.) และตรวจจับแบบฟัซซี (ข.)..... | 32 |
| 3.6 ความไม่แน่นอน (UNCERTAINTY) ในการตัดสินใจของปัญหา..... | 33 |
| 3.7 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ (ก.) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ยังไม่แต่งงาน (ข.)..... | 34 |
| 3.8 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตวินัย (ก.) และเซตแบบฟัซซี (ข.) | 35 |
| 3.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบคริสต (ก.) และเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง (ข.) | 36 |
| 3.10 การยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B | 37 |
| 3.11 การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B | 37 |
| 3.12 การคอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A | 38 |
| 3.13 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม | 40 |
| 3.14 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู..... | 41 |
| 3.15 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันเกาส์เซียน | 42 |
| 3.16 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูประฆังคว่ำ | 43 |
| 3.17 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปตัวเอส | 43 |
| 3.18 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปตัวแซด..... | 44 |
| 3.19 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวก | 45 |
| 3.20 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบ | 45 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.21 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันซิกมอยด์..... | 46 |
| 3.22 ตัวอย่างตัวแปรภาษา..... | 47 |
| 3.23 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี..... | 48 |
| 3.24 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์แบบ MAMDANI..... | 50 |
| 3.25 ตัวอย่างการหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (FUZZIFICATION)..... | 51 |
| 3.26 ตัวอย่างการประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี..... | 53 |
| 3.27 ตัวอย่างการรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซี..... | 54 |
| 3.28 ตัวอย่างจุดศูนย์กลางถ่วง (COG) และขอบเขต (A และ B) ของฟัซซีเอ้าท์พุท A | 54 |
| 3.29 ฟัซซีเอ้าท์พุท Z และจุดศูนย์กลางถ่วง (COG)..... | 55 |
| 4.1 ภาพรวมของระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ..... | 57 |
| 4.2 โครงสร้างของอัลกอริทึม RBA..... | 60 |
| 4.3 ตัวอย่างกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้..... | 61 |
| 4.4 ภาพถ่ายการจราจรจากชุดภาพถ่ายที่ 1.1.7 เฟรมที่ 469 (ก.) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดง ค่าปริมาณเส้นขอบภาพ (E_{vdv}) และค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (E_{vdv}) ในช่วงเฟรมที่ 460- 505 (ค.-ง.)..... | 63 |
| 4.5 ตัวอย่างภาพถ่าย ปริมาณเส้นขอบภาพและปริมาณเส้นของภาพเฉลี่ยในกรอบหน้าต่างการ ตรวจจับของยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางกลุ่มที่ 1 (ก.-ค) และ กลุ่มที่ 2 (ง.-ฉ.)..... | 68 |
| 4.6 โครงสร้างของอัลกอริทึม FBA..... | 71 |
| 4.7 กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพและปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของภาพถ่ายการจราจร ชุดที่ 1.1.7 ช่วงเฟรมที่ 45-135..... | 74 |
| 4.8 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1.7 เฟรมที่ 50 (ก.) เฟรมที่ (79) และ เฟรมที่ 520 (ค.)..... | 76 |
| 4.9 Single Lane Edge Membership Function (ก.) Two Lane Edge Membership Function (ข.) Average Single Lane Edge Membership Function (ค.) และ Average Two Lane Edge Membership Function (ง.) ของอัลกอริทึม FBA..... | 77 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 4.10 | โครงสร้าง (ก.) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ข.-ค.) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ โซเบล 81 |
| 4.11 | โครงสร้าง (ก.) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ข.-ค.) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้จากอัลกอริธึม HMED 83 |
| 4.12 | ขั้นตอนการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก สำหรับกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ 1 3 (ก.) และ 2 (ข.) 92 |
| 5.1 | ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 1 ที่วิ่งตรงเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.4.1 เฟรมที่ 290-305 (ค) 110 |
| 5.2 | ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 1 ที่วิ่งคร่อมเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.3.3 เฟรมที่ 273-288 (ค) 110 |
| 5.3 | ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 2 ที่วิ่งตรงเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.4.1 เฟรมที่ 237-259 (ค) 111 |
| 5.4 | ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 2 ที่วิ่งคร่อมเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.5.1 เฟรมที่ 579-600 (ค) 111 |
| 5.5 | ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 3 ที่วิ่งตรงเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.1.7 เฟรมที่ 196-228 (ค) 112 |
| 5.6 | ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 3 ที่วิ่งคร่อมเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.3.2 เฟรมที่ 178-205 (ค) 112 |
| 5.7 | ตัวอย่างภาพถ่ายในสภาวะแสงสลัว (ก.) แสงจ้า (ข.) และแสงเหมาะสม (ค.) 113 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.8 กราฟแสดงผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน($\text{MAX}(GV + GH)$) ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1 ถึง 1.5 ตั้งแต่เฟรมที่ 1 ถึงเฟรมที่ 160 | 114 |
| 5.9 แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.1.3 เฟรมที่ 498 (แสงสว่าง)..... | 117 |
| 5.10 แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.4.1เฟรมที่ 157 (แสงจ้ำ)..... | 118 |
| 5.11 กราฟแสดงค่าผลรวมการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1 ถึง 1.5 ตั้งแต่เฟรมที่ 1 ถึง เฟรมที่ 160 (ก.) และกราฟแสดงค่าผลรวมการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดเฉลี่ยที่ใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ย (W) เท่ากับ 2 3 4 5 และ 6 เฟรม (ข.-จ.) | 121 |
| 5.12 กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบการตรวจจับที่ 1 2 และ 3 จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1.7 ช่วงเฟรมที่ 135-350..... | 123 |
| 5.13 ตัวอย่างภาพถ่ายการจราจรจากชุดภาพถ่ายที่ 1.1.7 เฟรมที่ 469 (ก.) และภาพเส้นขอบ (ข) กับกรอบหน้าต่างการตรวจจับ..... | 124 |
| 5.14 กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ 1 2 และ 3 ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1.7 ช่วงเฟรมที่ 458-509 (ก.) และ กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 5 7 และ 9 ตามลำดับ (ข.-จ.)..... | 126 |
| 5.15 ยานพาหนะขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่ชิดขอบช่องทางเดินรถมากจนกระทั่งมีบางส่วนของยานพาหนะล้ำไปยังช่องทางเดินรถข้างเคียง..... | 129 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปริมาณผู้ใช้รถใช้ถนนที่เพิ่มขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง และนวัตกรรมด้านเทคโนโลยียานยนต์ที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านการคมนาคมขนส่งทางถนนมากขึ้น ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems: ITS) นับเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยให้ผู้ใช้รถใช้ถนนสามารถเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางได้อย่างรวดเร็ว และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถรายงานข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจราจรบนท้องถนนให้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนนทราบได้ โดยอาศัยข้อมูลจากระบบตรวจสอบสภาพการจราจร อาทิ ปริมาณ อัตราการเคลื่อนตัว และความหนาแน่นของยานพาหนะ เป็นต้น สำหรับการตรวจสอบสภาพการจราจรสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตรวจสอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive Loop) การตรวจสอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการตรวจสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นต้น ซึ่งการตรวจสอบสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพนั้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สะดวกต่อการติดตั้ง และง่ายต่อการบำรุงรักษา มากกว่าวิธีการอื่นๆ [1] ด้วยเหตุนี้เอง การตรวจสอบสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพจึงถูกค้นคว้า วิจัย และพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหลายช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

โดยทั่วไประบบตรวจสอบสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection) และการติดตามยานพาหนะ (Vehicle Tracking หรือ Traffic Parameter Extraction) โดยประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับเทคนิคหรือวิธีการที่เลือกใช้ในแต่ละขั้นตอน สำหรับวิธีการที่มีก็จะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนแรกเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง ได้แก่ วิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ โซเบล เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายการจราจรในสภาพแสงที่หลากหลาย มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หรือแม้แต่ในสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันควัน [2] อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบในแต่ละสภาพแสง เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ของเส้นขอบมากที่สุด ในงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งานวิจัยที่ [2] ได้เลือกใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่ ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ ดังนั้นจึงทำให้ได้เส้นขอบภาพที่ได้ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรในทุกสภาวะแสง สำหรับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกจะถูกส่งไปประมวลผลต่อในขั้นตอนถัดไป เพื่อติดตามและตรวจนับยานพาหนะ ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมสูงสุดวิธีการหนึ่งในขั้นตอนนี้ ได้แก่ วิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตาการตรวจจับ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการคำนวณ และมีประสิทธิภาพสูง [2-4] เพราะอาศัยเพียงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่เลือกใช้ ซึ่งในงานวิจัยที่ [2] ได้เลือกใช้ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่ ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง เมื่อขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นงานวิจัยที่ [3-4] จึงเลือกใช้ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบปรับเปลี่ยนได้ตามปริมาณเส้นขอบของยานพาหนะที่ตรวจจับได้ แม้ปัญหาเรื่องค่าเปรียบเทียบอ้างอิงจะถูกกำจัดไป แต่วิธีการดังกล่าวยังคงมีปัญหาในการตรวจนับยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น รถบัส รถบรรทุก รถพ่วง เป็นต้น เนื่องจากยานพาหนะเหล่านี้มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอ และต่ำกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิงเป็นช่วงๆ จึงก่อให้เกิดการตรวจนับยานพาหนะเกิน อีกทั้งวิธีการดังกล่าวยังไม่สามารถตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อีกด้วย

จากปัญหาที่ได้กล่าวไปข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนออัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย (Gradient-based Adaptive Threshold Estimation: GATE) ทั้งนี้เพื่อให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะในภาพผลลัพธ์ ที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบไซเบล มีความสมบูรณ์ของเส้นขอบมากที่สุดในทุกสภาพแสง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนออัลกอริธึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ 2 รูปแบบ กล่าวคือ อัลกอริธึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) และอัลกอริธึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA) โดยอัลกอริธึมที่นำเสนอทั้งสอง เป็นอัลกอริธึมที่สามารถติดตามและตรวจนับยานพาหนะขนาดใหญ่ และยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีการประยุกต์ใช้ค่าปริมาณเส้นของภาพเฉลี่ย ที่ได้จากอัลกอริธึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (Horizontal Moving Edge Detection: HMED) เพื่อแก้ไขปัญหการตรวจนับยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีการพิจารณาปริมาณเส้นภาพที่ได้จากกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงร่วมด้วย นอกเหนือจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่กำลังพิจารณา ทั้งนี้เพื่อให้สามารถติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบ วิธีการตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายในสภาพแสงที่หลากหลาย ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.2 ออกแบบและพัฒนาอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย สำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะด้วยวิธีการของโซเบล เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ของเส้นขอบมากที่สุด
- 1.2.3 ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาอัลกอริธึมการตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ให้สามารถติดตามและตรวจนับยานพาหนะขนาดใหญ่ รวมทั้งยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.4 ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference System) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเทคนิคการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ให้สามารถติดตามและตรวจนับยานพาหนะขนาดใหญ่ รวมทั้งยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.5 สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจตราสภาพจราจรและอัลกอริธึมที่นำเสนอ รวมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 โดยปกติสภาพของแสงขณะถ่ายภาพ จะมีผลต่อความคมชัดของภาพที่ได้ สำหรับการประมวลผลภาพนั้น ความคมชัดสามารถวัดได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง กับ ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบลได้แล้ว คาดว่าน่าจะสามารถสร้างอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่ายจากความสัมพันธ์ดังกล่าวได้
- 1.3.2 แม้ว่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะขนาดใหญ่มักจะมีค่าไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ ในบางเฟรมมีค่าต่ำกว่าปกติ และต่ำกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิง แต่โดยเฉลี่ยแล้วค่าปริมาณเส้นขอบภาพส่วนใหญ่ยังคงมีค่ามากกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิงอยู่ ดังนั้น ถ้านำค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพมาพิจารณาเพื่อตรวจนับยานพาหนะแทนค่าปริมาณเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบภาพดั้งเดิม เฉพาะช่วงเฟรมที่มีค่าน้อยกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแล้ว น่าจะสามารถแก้ไขปัญหาการตรวจนับยานพาหนะเกินได้

- 1.3.3 วิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจจับแบบดั้งเดิม จะติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับแต่กรอบโดยอาศัยเพียงการพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพเฉพาะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจอยู่เท่านั้น จึงทำให้ไม่สามารถตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะดังกล่าว จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะการเคลื่อนที่ ดังนั้น ถ้าเพิ่มการพิจารณาค่าปริมาณเส้นขอบภาพที่ได้จากกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงร่วมด้วย น่าจะทำให้สามารถตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างถูกต้อง
- 1.3.4 ค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับช่วงที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ ช่วงที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ และช่วงที่มียานพาหนะซึ่งเคลื่อนที่แบบปกติปรากฏอยู่ มักมีค่าที่ซ้อนทับหรือใกล้เคียงกันมากเป็นบางช่วง จึงทำให้การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกฎการพิจารณาแบบดั้งเดิม (เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง) ไม่สามารถแยกแยะกรณีดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น ถ้านำหลักการของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) มาประยุกต์ใช้เพื่อแยกแยะกรณีดังกล่าว น่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการติดตามและตรวจนับยานพาหนะของระบบดีกว่าการใช้กฎการพิจารณาแบบทั่วไปมากยิ่งขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ถูกพัฒนาขึ้นมาจากรากฐานของหลักการและทฤษฎีดังต่อไปนี้

- 1.4.1 การตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล (Sobel Edge Detection) ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง ในขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection)
- 1.4.2 การหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง (Gradient) ด้วยวิธีการทำอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล และเพื่อใช้ในการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบลเอง
- 1.4.3 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Vehicle Detection Window) และทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Theory) ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตามและตรวจนับยานพาหนะ ในขั้นตอนการติดตามยานพาหนะ (Vehicle Tracking)

- 1.4.4 การเฉลี่ยค่าความหนาแน่นของปริมาณเส้นขอบภาพ ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจนับยานพาหนะเกิน ที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพ

1.5 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย สำหรับระบบตรวจตราสภาพจราจรในเวลากลางวัน โดยการพัฒนาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรก การออกแบบและพัฒนาอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย ส่วนที่สอง การออกแบบและพัฒนาอัลกอริธึมการติดตามและตรวจนับจำนวนยานพาหนะบนรากฐานของกฎการพิจารณา และบนรากฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่น่าเสนอ เพื่อเทียบกับระบบแบบดั้งเดิม [2] ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของระบบในรูปแบบของอัตราความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะรวม และในรูปแบบของอัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด โดยชุดข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นชุดข้อมูลภาพถ่ายการจราจรจากบริเวณถนนต่างๆ อาทิ บริเวณถนนบรมราชชนนี ถนนพุทธมณฑลสายสี่ และถนนปิ่นเกล้า ซึ่งเป็นชุดภาพถ่ายภายใต้สภาพแสงที่หลากหลาย ในช่วงเวลากลางวัน และเป็นช่วงที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนตัวได้สะดวก ลักษณะภาพของชุดทดสอบเป็นภาพมูบกัม ความละเอียด (Resolution) 720x576 พิกเซล อัตราการแสดงผลภาพ (Frame Rate) 25 เฟรมต่อวินาที ซึ่งถูกบันทึกด้วยกล้องวีดีโอที่ถูกติดตั้งบนสะพานลอยคนข้าม ตัวกล้องทำมุมกับพื้น 15 ถึง 30 องศา สำหรับยานพาหนะที่สนใจในวิทยานิพนธ์นี้จะมุ่งเน้นไปที่ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 135 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่าย
- 1.6.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยของวิธีการตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายแบบต่างๆ เพื่อตั้งสมมุติฐานและแนวความคิดของงานวิจัย
- 1.6.4 เตรียมฐานข้อมูลภาพถ่ายการจราจรสำหรับตรวจสอบสมมุติฐานและแนวความคิดของ

งานวิจัย รวมทั้งประสิทธิภาพของระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอ

- 1.6.5 ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจตราสภาพจราจรจากภาพถ่าย ตามแนวความคิดและสมมุติฐานของงานวิจัย
- 1.6.6 ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอ
- 1.6.7 สรุปผลและนำเสนอผลงานวิจัย

1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) อินเทลคอร์ทู (Intel Core 2) 1.66 GHz หน่วยความจำ (RAM) 2 GB จำนวน 1 เครื่อง
- 1.7.2 ระบบปฏิบัติการ Windows XP Professional
- 1.7.3 โปรแกรม Matlab R2008a
- 1.7.4 โปรแกรม VirtualDub 1.9.5
- 1.7.5 กล้องวิดีโอดิจิทัล ยี่ห้อซัมซุง รุ่น VP-MX10A จำนวน 1 ตัว

1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา รวมทั้งทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา และขั้นตอนการศึกษา รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึง ระบบ ขั้นตอน และวิธีการตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่ถูกศึกษา ค้นคว้า ในงานวิจัยต่างๆ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละงานวิจัย
- บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ ได้แก่ การตรวจจับเส้นขอบภาพ ค่าขีดแบ่งและการกำหนดค่าขีดแบ่ง และทฤษฎีฟัซซี
- บทที่ 4 กล่าวถึง รายละเอียดโครงสร้างและลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจตราสภาพจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ
- บทที่ 5 กล่าวถึง การทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล
- บทที่ 6 กล่าวถึง บทสรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบตรวจตราสภาพการจราจรเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS: Intelligent Transport System) ที่จะรายงานข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการจราจร เช่น ปริมาณ อัตราการเคลื่อนตัว และความหนาแน่นของยานพาหนะบนท้องถนน เป็นต้น การตรวจตราสภาพการจราจรสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตรวจตราด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive Loop) การตรวจตราด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการตรวจตราด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นต้น สำหรับการตรวจตราด้วยขดลวดเหนี่ยวนำและการตรวจตราด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เป็นวิธีการที่ยากต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ก็มีราคาแพง และเต็มไปด้วยข้อจำกัดมากมาย เช่น ไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ช้าหรือหยุดนิ่งอยู่กับที่ได้ [5-6] ในขณะที่การตรวจตราด้วยวิธีการประมวลผลภาพนั้นเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา อุปกรณ์ที่ใช้ก็มีราคาถูก นอกจากนี้การตรวจตราด้วยวิธีการประมวลผลภาพยังสามารถวิเคราะห์และรายงานข้อมูลการจราจรในพื้นที่กว้างได้ [5-6] เนื่องจากวิธีการดังกล่าวสามารถตรวจจับยานพาหนะในภาพได้หลายจุดในเวลาเดียวกัน ด้วยเหตุนี้เองการตรวจตราสภาพการจราจรด้วยการประมวลผลภาพจึงถูกค้นคว้า วิจัย และพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหลายช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

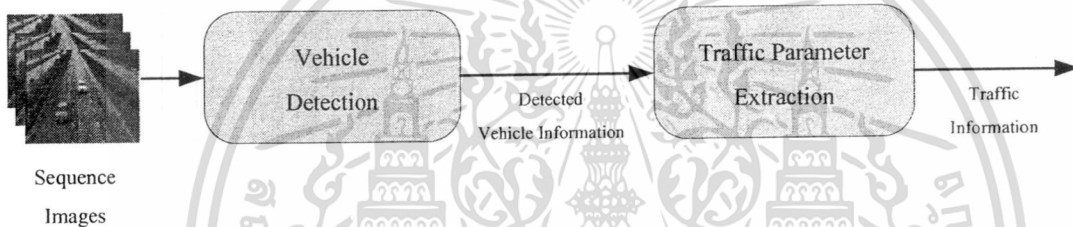
สำหรับระบบการตรวจตราสภาพการจราจรในเชิงการค้าหรือในเชิงการบริหารจัดการขององค์กรต่างๆ [25-29] เช่น กระทรวงคมนาคมของรัฐต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา อาทิ รัฐแมริแลนด์ รัฐออเรกอน รัฐอิลลินอยส์ หรือ รัฐมิชิแกน เป็นต้น มักจะสำรวจและรายงานข้อมูลสภาพการจราจรในรูปของปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยรายวันในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (ADT: Average Daily Traffic) หรือรายสัปดาห์ในช่วงหนึ่งปี (AAWDT: Annual Average Weekday Traffic) หรือรายวันในช่วงหนึ่งปี (AADT: Annual Average Daily Traffic) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการบริหารจัดการสภาพจราจรบนท้องถนนให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลดิบ (Raw Data) สำหรับการสร้างแผนที่แสดงปริมาณการจราจรบนท้องถนนอีกด้วย ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ข้อมูลดิบดังกล่าวเพื่อสร้างแผนที่แสดงปริมาณการจราจรบนท้องถนน ได้แก่ แผนที่ของกูเกิล (Google Map) [26] เป็นต้น ซึ่งแผนที่ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการวางแผนการเดินทางในช่วงวันและเวลาต่างๆ ของผู้ใช้รถใช้ถนน โดยทั่วไป ดังนั้นระบบตรวจตราสภาพการจราจรในงานวิจัยส่วนใหญ่และในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นไปที่การตรวจตราสภาพการจราจรจากการตรวจนับจำนวนยานพาหนะเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบ ขั้นตอน และวิธีการตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่ถูกศึกษา ค้นคว้า ในงานวิจัยต่างๆ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละงานวิจัย ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพในงานวิจัยนี้ต่อไป

2.1 เทคนิคการตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

โดยทั่วไประบบการตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection) เพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง และการติดตามยานพาหนะเพื่อดึงข้อมูลการจราจรจากยานพาหนะที่ถูกตรวจจับในขั้นตอนแรก (Traffic parameter extraction หรือ Vehicle Tracking) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทั้งนี้การได้มาซึ่งผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอนนี้ สามารถทำได้หลายวิธี ดังจะกล่าวต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

2.1.1 วิธีการตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection Methods)

การตรวจจับยานพาหนะเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลังเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งสำหรับระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพ เนื่องจากยานพาหนะที่ถูกตรวจจับในภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ จะถูกส่งต่อไปเพื่อประมวลผลในขั้นตอนการติดตามยานพาหนะต่อไป ดังนั้นถ้าผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนแรกไม่ดีแล้ว จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดตามยานพาหนะในขั้นตอนต่อไปแย่ลงไปด้วย สำหรับวิธีการตรวจจับยานพาหนะเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง สามารถทำได้หลายวิธี อาทิ วิธีผลต่างของเฟรมต่อเนื่องที่ติดกัน (Inter-frame Differencing) วิธีการลบภาพพื้นหลัง (Background Subtraction) วิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพ (Edge Detection) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีหลักการและรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.1.1.1 วิธีผลต่างของเฟรมต่อเนื่องที่ติดกัน (Inter-frame Differencing)

การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีผลต่างของเฟรมต่อเนื่องที่ติดกัน เช่น ในงานวิจัย [7] เป็นวิธีการพื้นฐานที่ง่ายที่สุด เพราะอาศัยเพียงค่าผลต่างความเข้มแสงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละพิกเซลในเฟรมภาพที่ติดกัน เพื่อแยกยานพาหนะออกจากพื้นหลัง โดยค่าผลต่างความเข้มแสงในเฟรมต่อเนื่อง ณ บริเวณที่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น ยานพาหนะ จะมีค่าสูงกว่าค่าผลต่างความเข้มแสงบริเวณที่ไม่มีมีการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น พื้นถนน เป็นต้น ดังนั้นถ้าสามารถจำแนกค่าความแตกต่างของทั้งสองกรณีได้ ก็จะทำให้ทราบบริเวณที่มียานพาหนะซึ่งกำลังเคลื่อนที่ปรากฏอยู่ ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่หรือแบบปรับเปลี่ยนได้เพื่อจำแนกส่วนที่เป็นยานพาหนะกับส่วนที่เป็นพื้นหลัง อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวไม่สามารถใช้ได้กับการตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ช้า เพราะค่าผลต่างความเข้มแสงระหว่างเฟรมต่อเนื่องของยานพาหนะที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ช้า จะมีค่าใกล้เคียงกับบริเวณที่เป็นพื้นหลังมาก [6] อีกทั้งวิธีการนี้ยังไม่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับยานพาหนะจากภาพถ่ายในสถานะแสงที่หลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วน เช่น ช่วงที่ดวงอาทิตย์ถูกบดบังด้วยเมฆ เป็นต้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแสงในลักษณะดังกล่าวจะทำให้ค่าผลต่างความเข้มแสงระหว่างเฟรมต่อเนื่องมีค่าสูงทั่วทั้งภาพ มิใช่เฉพาะบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเท่านั้น และถ้าค่าผลต่างบริเวณพื้นหลังมีค่าผิดปกติจนใกล้เคียงกับบริเวณที่เป็นยานพาหนะแล้ว บริเวณดังกล่าวจะก่อให้เกิดการตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาดได้ถึงแม้จะใช้ค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้ก็ตาม

2.1.1.2 วิธีการลบภาพพื้นหลัง (Background Subtraction)

สำหรับการตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการลบภาพพื้นหลัง เช่น ในงานวิจัย [8-9] จะอาศัยภาพพื้นหลังที่ปราศจากยานพาหนะมาลบกับภาพถ่ายการจราจรที่ต้องการตรวจจับยานพาหนะ แล้วนำภาพผลต่างที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่งเพื่อจำแนกส่วนที่เป็นพื้นหลังกับส่วนที่เป็นยานพาหนะ โดยปัญหาสำคัญของวิธีการนี้อยู่ที่การสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลัง เนื่องจากภาพถ่ายการจราจรส่วนใหญ่มักเต็มไปด้วยยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปมาอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องสร้างภาพพื้นหลังที่ปราศจากยานพาหนะขึ้นมาเอง โดยอาศัยแบบจำลองการหาภาพพื้นหลังต่างๆ เช่น Averaging Model [3] Gaussian Mixture Model [8] และ Probabilistic Model [9] เป็นต้น อย่างไรก็ตามแบบจำลองการสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลังเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นแบบจำลองที่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากทั้งสิ้น [1] ถึงแม้ว่าบางแบบจำลองอาจถูกออกแบบมาให้มีการคำนวณที่น้อยที่สุดก็ตาม แต่ถ้านำวิธีการดังกล่าวมาใช้กับภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงไม่คงที่แล้ว จะทำให้ระบบจำเป็นต้องทำการปรับปรุงภาพพื้นหลังบ่อยครั้งเมื่อแสงมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเวลาในการประมวลผลของระบบก็จะ

เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการปรับปรุงภาพพื้นหลัง อีกทั้งการปรับปรุงภาพพื้นหลังที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับยานพาหนะของระบบลดลง เนื่องจากการปรับปรุงที่มากเกินไปจะทำให้ภาพพื้นหลังที่ได้มีจุดรบกวนที่ไม่ใช่ส่วนของพื้นหลังที่แท้จริงเพิ่มมากขึ้น

2.2.1.3 วิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพ (Edge Detection)

การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพ จะอาศัยปริมาณหรือความหนาแน่นของเส้นขอบภาพที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบของวัตถุ เพื่อการพิจารณาแยกส่วนที่เป็นยานพาหนะกับพื้นถนน เนื่องจากภาพถ่ายบริเวณที่เป็นยานพาหนะจะมีรายละเอียดของวัตถุ หรือความหนาแน่นของปริมาณเส้นขอบภาพมากกว่าบริเวณพื้นถนนที่ปราศจากรายละเอียดใดๆ อีกทั้งเส้นขอบภาพบริเวณที่เป็นยานพาหนะจะยังคงมีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณที่เป็นพื้นถนนเสมอ ไม่ว่าจะสภาพแสงในภาพถ่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเช่นไรก็ตาม ด้วยเหตุนี้เองวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพจึงมักถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจจับยานพาหนะจากภาพถ่ายจราจรในสถานะแสงที่หลากหลาย รวมทั้งในสถานะที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วน [2] อีกทั้งวิธีการนี้ยังเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการคำนวณอีกด้วย เพราะไม่มีการใช้ภาพอ้างอิงหรือภาพพื้นหลังเพื่อการตรวจจับแต่อย่างใด ดังนั้นปัญหาการสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลังที่มักเกิดขึ้นกับการตรวจจับด้วยวิธีการลบภาพพื้นหลัง ก็จะไม่เกิดขึ้นกับการตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการนี้

2.1.2 เทคนิคการติดตามยานพาหนะ (Vehicle Tracking หรือ Traffic Parameter Extraction)

ยานพาหนะที่ถูกตรวจจับในขั้นตอนแรกจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นข้อมูลการจราจรในรูปแบบต่างๆ เช่น ปริมาณ อัตราการเคลื่อนที่ หรือความหนาแน่นของยานพาหนะบนท้องถนน เป็นต้น โดยอาศัยเทคนิคการติดตามยานพาหนะแบบต่างๆ ซึ่งเทคนิคการติดตามยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพสูง และถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลายช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้แก่ วิธีการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ (Vehicle Position Extraction) และวิธีการหน้าต่างการตรวจจับ (Vehicle Detection Window) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.1.2.1 วิธีการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ (Vehicle Position Extraction)

โดยทั่วไปวิธีการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ จะติดตามยานพาหนะจากตำแหน่งจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของกรอบล้อมรอบยานพาหนะ ในพื้นที่การตรวจจับที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ การตีกรอบล้อมรอบยานพาหนะในงานวิจัยส่วนใหญ่ [10-11] มักใช้อัลกอริทึมการพิจารณาความต่อเนื่องของพิกเซลส่วนประกอบ (Connected Components Labeling Algorithm) เพื่อกำหนดขอบเขตของกรอบล้อมรอบแต่ละกรอบ ซึ่งปัญหาสำคัญของอัลกอริทึมดังกล่าว คือความไม่ต่อเนื่องของพิกเซลส่วนประกอบของยานพาหนะ ที่อาจทำให้ยานพาหนะ 1 คันถูกตีกรอบล้อมรอบได้มากกว่า 1 กรอบ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาคความไม่ต่อเนื่องดังกล่าว จึงต้องทำการเชื่อมต่อพิกเซลส่วนประกอบที่ไม่ต่อเนื่องกันทั้งหมดของยานพาหนะก่อน ซึ่งในงานวิจัย [11] ได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการประยุกต์ใช้ Closing Morphology Operator เพื่อเชื่อมต่อพิกเซลส่วนประกอบที่ไม่ต่อเนื่องกันของยานพาหนะ ด้วยเหตุนี้เองระบบจึงต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

2.1.2.2 วิธีการหน้าต่างการตรวจจับ (Vehicle Detection Window)

วิธีการหน้าต่างการตรวจจับจะติดตามยานพาหนะ โดยการตรวจจับและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection Windows) ซึ่งการตรวจจับยานพาหนะในกรอบการตรวจจับโดยทั่วไป [2-4] ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าผลรวมพิกเซลสีขาวในกรอบหน้าต่างการตรวจจับกับค่าอ้างอิง (Reference Value) เพื่อพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับหรือไม่ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มักมีปัญหาเกี่ยวกับการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนคร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง เนื่องจากยานพาหนะดังกล่าวอาจถูกตรวจนับ โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับมากกว่า 1 ครั้ง หรืออาจไม่ถูกตรวจนับเลย อย่างไรก็ตามวิธีการหน้าต่างการตรวจจับยังคงเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในขั้นตอนการติดตามยานพาหนะ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ [2, 4]

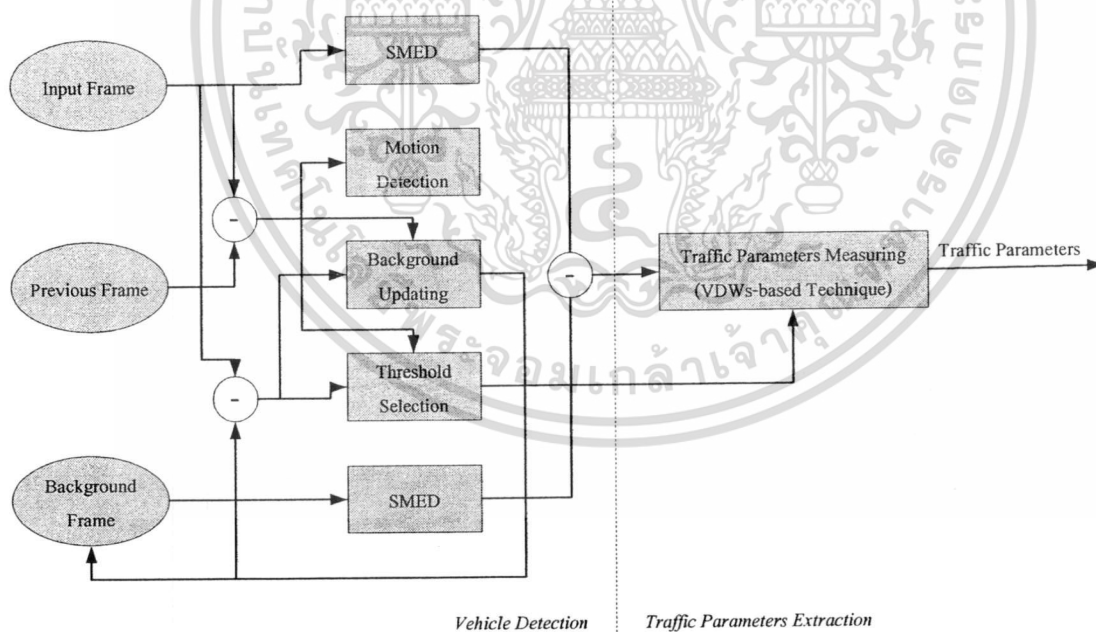
เมื่อพิจารณาวิธีการตรวจจับยานพาหนะ และ วิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่ได้กล่าวไปข้างต้น จะพบว่า การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพ เป็นวิธีการที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการตรวจจับยานพาหนะจากภาพถ่ายในสภาพแสงที่มีความหลากหลาย หรือแม้กระทั่งในสภาวะที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วน ในขณะที่การติดตามและตรวจจับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั้น เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการคำนวณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการติดตามและตรวจจับด้วยวิธีการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ ดังนั้นระบบตรวจสอบตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพ ร่วมกับการติดตามและตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการกรอบหน้าต่างการตรวจจับ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของระบบตรวจสอบตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพแบบต่างๆ ในงานวิจัย [2-4, 10] รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจสอบตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายในสภาวะแสงที่หลากหลายในงานวิจัยนี้ต่อไป

2.2.1 ระบบตรวจสอบตราสภาพการจราจรของ M. Fathy และ M.Y. Siyal ในงานวิจัย [3-4]



รูปที่ 2.2 ระบบตรวจสอบตราสภาพการจราจรของ M. Fathy และ M.Y. Siyal ในงานวิจัย [3-4]

M. Fathy และ M.Y. Siyal ได้นำเสนอระบบตรวจสอบตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพบนพื้นฐานของการลบภาพพื้นหลังและการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ

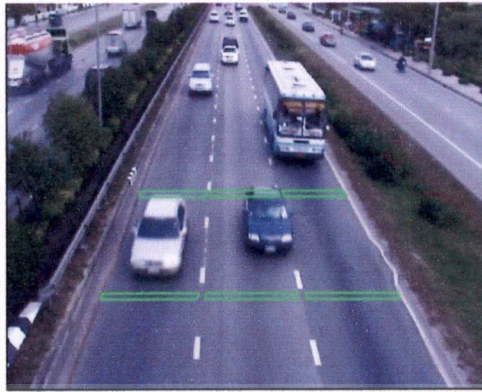
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Morphological ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคกรอบหน้าต่างการตรวจจับเพื่อติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากปริมาณเส้นขอบภาพ ซึ่งโครงสร้างของระบบตรวจตราสภาพการจราจรดังกล่าวมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2

ในขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detection) M. Fathy และ M.Y. Siyal [3] ได้ประยุกต์ใช้การตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ Morphological เพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง ร่วมกับการกำจัดจุดรบกวน (Noise) และเส้นขอบภาพส่วนเกิน ที่อาจเกิดจากการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการดังกล่าว โดยเฉพาะกับภาพถ่ายในสถานะแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วน ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการลบภาพพื้นหลังร่วมกับโอเพอร์เรเตอร์ตัวกรองที่มีชื่อว่า Separate Median Filtering: SMED กล่าวคือ ภาพถ่ายจราจร (ภาพระดับเทา) จะถูกตรวจจับเส้นขอบภาพด้วย Closing Morphological Operator ที่มีการกรองจุดรบกวนของภาพก่อนการทำ Dilation และ Erosion ด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ย SMED ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการตรวจจับเส้นขอบในขั้นแรกนี้ จะถูกนำไปกำจัดเส้นขอบภาพของส่วนที่เป็นพื้นหลังอีกครั้ง โดยการลบด้วยภาพเส้นขอบของพื้นหลังที่ได้จากการตรวจจับและกรองจุดรบกวนของภาพพื้นหลังด้วยวิธีการเดียวกัน หลังจากนั้นภาพเส้นขอบผลต่างสุดท้ายที่ได้ จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจจับต่อไป

สำหรับโอเพอร์เรเตอร์ SMED นั้นเป็นโอเพอร์เรเตอร์การกรองจุดรบกวน (Noise) ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีศักยภาพเทียบเท่าแต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าโอเพอร์เรเตอร์ตัวกรองค่ามัธยฐานโดยทั่วไป (Median Filter) หลักการทำงานของโอเพอร์เรเตอร์ SMED คือ การพิจารณาค่ามัธยฐานของค่าความเข้มแสงแบบหนึ่งมิติในแนวแกนอนและแกนตั้งแยกกันก่อน แล้วจึงนำค่ามัธยฐานที่ได้จากทั้งสองแกนมาเฉลี่ยเป็นความเข้มแสงผลลัพธ์สุดท้ายก่อนนำไปตรวจจับเส้นขอบภาพแบบมอร์โฟโลยี (Morphology) ต่อไป ส่วนการสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลัง (Background Updating) ในงานวิจัย [3] จะอาศัยการสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลังจากการเปรียบเทียบค่าผลต่างความเข้มแสงของพิกเซลในเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้า และในเฟรมปัจจุบันกับเฟรมภาพพื้นหลังกับค่าขีดแบ่ง กล่าวคือ ถ้าค่าผลต่างทั้งสองของตำแหน่งพิกเซลใดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งแล้ว ภาพพื้นหลังใหม่ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกันนี้จะถูกแทนที่ด้วยค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของพิกเซลในเฟรมปัจจุบันกับในเฟรมภาพพื้นหลังเดิม ทั้งนี้ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในขั้นตอนดังกล่าวเป็นค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้ตามลักษณะความเข้มแสง (Threshold Selection) โดยค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งในงานวิจัย [3] คือ ค่าระดับความเข้มแสง (Grey-value) ที่มีค่าน้อยที่สุด จากกลุ่มค่าระดับความเข้มแสงสูงสุดตลอดช่วงเวลา 10 นาที ซึ่งค่าระดับความเข้มแสงสูงสุดที่พิจารณานี้ คือค่าระดับความเข้มแสงที่มีค่ามากที่สุดสำหรับแต่ละเฟรมภาพ ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะค่าความเข้มแสงที่อยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกรอบหน้าต่างการตรวจจับในงานวิจัย [3-4]

ในงานวิจัย [4] M. Fathy และ M.Y. Siyal ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3 เพื่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ โดยการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่หรือไม่ กล่าวคือถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งแล้ว แสดงว่าขณะนั้นมียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งแล้ว แสดงว่าขณะนั้นไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ซึ่งค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับเมื่อมีและไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่จะมีค่าเป็น 0 และ 1 ตามลำดับ ส่วนค่าขีดแบ่งที่ใช้ในขั้นตอนการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับนี้ คือ ค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้ตามลักษณะความเข้มแสง ซึ่งเป็นค่าขีดแบ่งตัวเดียวกันกับที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลังนั่นเอง

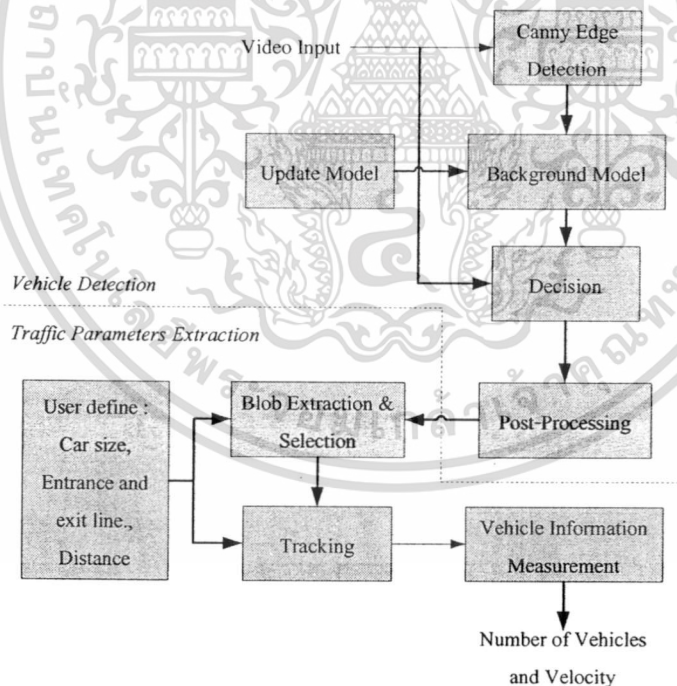
จุดเด่นของระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพของ M. Fathy และ M.Y. Siyal คือ การกำจัดจุดรบกวนในภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ Morphological ในสถานะแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันควัน ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการลบภาพพื้นหลังร่วมกับโอเพอร์เรเตอร์ตัวกรอง SMED ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทียบเท่ากับการใช้โอเพอร์เรเตอร์ตัวกรองค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปแต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้ค่าขีดแบ่งที่ได้จากขั้นตอนการสร้างและปรับปรุงภาพพื้นหลังมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในขั้นตอนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ M. Fathy และ M.Y. Siyal ก็มีจุดด้อยที่สำคัญอยู่ 2 ประการ ประการแรก คือ การประยุกต์ใช้วิธีการลบภาพพื้นหลังเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง มีความยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก อีกทั้งภาพผลต่างที่เกิดจากการลบภาพพื้นหลังออกไป ไม่ได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในขั้นตอนการติดตามและตรวจจับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยานพาหนะแต่อย่างใด เนื่องจากการติดตามและตรวจนับยานพาหนะของระบบดังกล่าวจะอาศัยเพียงเส้นขอบภาพที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ Morphological เป็นหลัก และประการที่สอง คือ การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่พิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับแยกกันอย่างอิสระในแต่ละช่องทางเดินรถ จึงทำให้ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถ 2 ช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ Kiratiratanapruk K. และคณะในงานวิจัย [1, 10]

Kiratiratanapruk K. และคณะได้นำเสนอระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยอาศัยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ Canny ร่วมกับวิธีการลบภาพพื้นหลังเพื่อตรวจจับยานพาหนะ และประยุกต์ใช้วิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากตำแหน่งศูนย์กลางเพื่อติดตามและตรวจนับยานพาหนะ ซึ่งโครงสร้างของระบบตรวจตราสภาพการจราจรดังกล่าวที่ถูกรับเสนอในงานวิจัย [1, 10] มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ Kiratiratanapruk K. และคณะในงานวิจัย [1, 10]

ในงานวิจัย [1] Kiratiratanapruk K. และคณะได้นำเสนอเทคนิคการตรวจจับยานพาหนะ โดยอาศัยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ Canny ร่วมกับการลบภาพพื้นหลังที่ถูกสร้างขึ้นโดยอัลกอริทึม Gradient-based Background Model เพื่อกำจัดเงาของยานพาหนะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการอ้างใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจุดครบถ้วนต่างๆ สำหรับอัลกอริทึมการสร้างภาพเส้นขอบของพื้นหลังดังกล่าว จะสร้างเส้นขอบของพื้นหลังจากการเปรียบเทียบ ค่าฮิสโทแกรมเส้นขอบของแต่ละพิกเซลกับค่าขีดแบ่งแบบคงที่ ถ้าตำแหน่งใดมีค่าฮิสโทแกรมเส้นขอบมากกว่าค่าขีดแบ่งแล้ว พิกเซลเส้นขอบที่ตำแหน่งนั้น จะถูกพิจารณาให้เป็นส่วนของพื้นหลัง สำหรับค่าฮิสโทแกรมที่ใช้ในงานวิจัย [1, 10] จะคำนวณได้จาก ผลรวมจำนวนพิกเซลที่เป็นเส้นขอบ (มีค่าเป็น 1) ของแต่ละตำแหน่งพิกเซลที่ตรงกันในภาพถ่ายเฟรมต่อเนื่องจำนวน 300-600 ภาพ ทั้งนี้ Kiratiratanapruk K. และคณะได้กล่าวไว้ว่า การกำจัดจุดครบถ้วนด้วยอัลกอริทึมการลบภาพพื้นหลังดังกล่าวจะก่อให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของเส้นขอบภาพที่เป็นยานพาหนะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเชื่อมต่อเส้นขอบภาพของยานพาหนะเหล่านั้นเสียก่อน เพื่อลดปัญหาการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาดในขั้นตอนถัดไป ซึ่งการเชื่อมเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ไม่ต่อเนื่องกันในงานวิจัยนี้ ทำได้โดยการแบ่งภาพเป็นพื้นที่ย่อยๆ ขนาด 20x20 พิกเซล แล้วเชื่อมเส้นขอบภาพในพื้นที่ย่อยด้วยการทำ Morphological Closing ในขณะเดียวกัน ก็พิจารณาค่าความหนาแน่นในแต่ละพื้นที่ย่อยด้วยว่า มีค่าความหนาแน่นมากกว่าค่าขีดแบ่งแบบคงที่หรือไม่ ถ้ามากกว่าให้พิจารณาพื้นที่ย่อยนั้นเป็นส่วนหนึ่งของยานพาหนะ แต่ถ้าน้อยกว่าให้พิจารณาพื้นที่ย่อยนั้นเป็นส่วนของพื้นหลัง ซึ่งการพิจารณาค่าความหนาแน่นในขั้นตอนนี้ ก็เพื่อกำจัดจุดครบถ้วนเล็กๆ ที่เกิดจากการตรวจจับเส้นขอบภาพในสถานะที่แสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วน สำหรับพื้นที่ย่อยที่ถูกพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของยานพาหนะที่อยู่ติดกัน จะถูกตีกรอบล้อมรอบ (Blob) เพื่อยุบรวมเป็นกลุ่มพื้นที่ของยานพาหนะหนึ่งกัน และจุดศูนย์กลางของกรอบล้อมรอบดังกล่าวจะถูกใช้เป็นตัวระบุตำแหน่งของยานพาหนะแต่ละคัน ในขั้นตอนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ ซึ่งการติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกรอบล้อมดังกล่าวในงานวิจัย [10] ของ Kiratiratanapruk K. และคณะนั้น จะอาศัยอัลกอริทึม Lucas and Kanade ในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นหลัก [12]

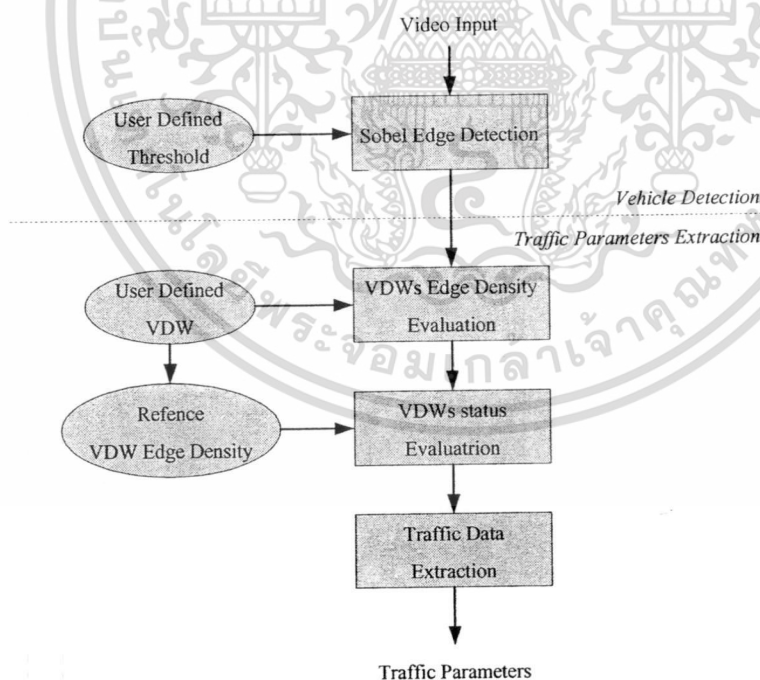
จุดเด่นของงานวิจัยนี้อยู่ที่การประยุกต์ใช้วิธีการลบภาพพื้นหลังมาช่วยกำจัดเส้นขอบส่วนเกินที่เกิดจาก จุดครบถ้วน เงาม และส่วนที่เป็นของพื้นหลัง ออกจากเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่แท้จริง แม้กระทั่งในสถานะที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วน จึงทำให้ระบบการตรวจตราสภาพการจราจรดังกล่าวสามารถทำงานได้ในสถานะแสงที่หลากหลายอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งการติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากจุดศูนย์กลางกรอบล้อมรอบ ยังช่วยให้ระบบตรวจตราสภาพการจราจรนี้สามารถติดตามและตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไม่ตรงช่องทางเดินรถได้อย่างอิสระ

อย่างไรก็ตามการกำจัดจุดครบถ้วนและเส้นขอบภาพส่วนเกินในขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ นับได้ว่าเป็นจุดด้อยของระบบด้วยเช่นกัน เนื่องจากในขั้นตอนการพิจารณาส่วนที่เป็นพื้นหลังของอัลกอริทึม Gradient-based Background Model นั้นจำเป็นต้องอาศัยภาพอ้างอิงมากถึง 300-600 ภาพ จึงทำให้ระบบต้องสำรองพื้นที่หน่วยความจำเป็นจำนวนมากเพื่อจดจำภาพอ้างอิง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าว ถึงแม้ว่าภาพอ้างอิงที่ถูกเก็บจะอยู่ในรูปของค่าสีสโตรแกรมเส้นขอบของแต่ละพิกเซลก็ตาม นอกจากนั้นการกำจัดเส้นขอบบางส่วนเกินด้วยวิธีการดังกล่าวยังต้องอาศัยกระบวนการเชื่อมต่อเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ขาดหายไปด้วย เนื่องจากการกำจัดจุดครบถ้วนและเส้นขอบภาพส่วนเกินด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะบางส่วนขาดหายไป เมื่อพิจารณาขั้นตอนการตรวจตราสภาพการจราจรของงานวิจัย [1] แล้ว จะเห็นได้ว่าเป็นระบบการตรวจตราสภาพการจราจรด้วยการประมวลผลภาพที่ซับซ้อน ยุ่งยาก และต้องใช้เวลาในการประมวลผลในขั้นตอนต่างๆ เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของงานวิจัย [1] นั้น ไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจตราสภาพการจราจรแบบทันที (Real-time)

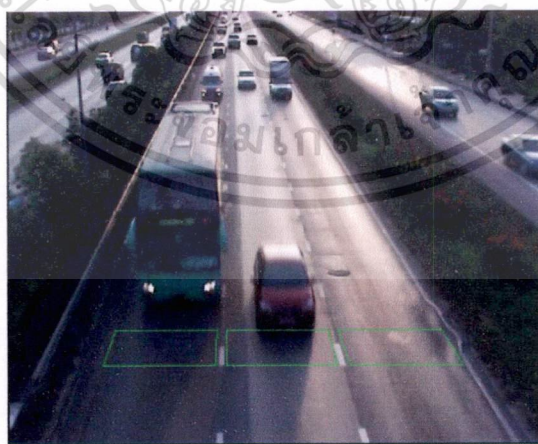
2.2.3 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ Yew Liam Ng และคณะ ในงานวิจัย [2]

ในงานวิจัย [2] Yew Liam Ng และคณะ ได้นำเสนอระบบตรวจตราสภาพการจราจรด้วยวิธีการประมวลผลภาพบนรากฐานของการตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการตรวจเส้นขอบภาพแบบโซเบล (Sobel Edge Detection) และการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Vehicle Detection Windows) ซึ่งมีโครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบตรวจตราสภาพการจราจรของ Yew Liam Ng และคณะ ในงานวิจัย [2]

ในขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง สำหรับงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะตรวจจับบริเวณที่เป็นเส้นขอบจากการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงทั้งในแนวแกนตั้งและแนวนอนกับค่าขีดแบ่ง ถ้าพิกเซลใดมีค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงมากกว่าค่าขีดแบ่งแล้ว พิกเซลนั้นจะถูกพิจารณาให้เป็นส่วนของเส้นขอบ (ถูกแทนด้วยพิกเซลสีขาว) โดยค่าขีดแบ่งที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นค่าขีดแบ่งแบบคงที่ ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ ส่วนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะในงานวิจัย [2] จะใช้วิธีการครอบหน้าต่างการตรวจจับเพื่อติดตามและตรวจนับยานพาหนะสำหรับครอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะในงานวิจัยนี้จะใช้ครอบหน้าต่างการตรวจจับ 1 ครอบต่อการตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านช่องทางเดินรถ 1 ช่องทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งการติดตามและตรวจจับยานพาหนะด้วยครอบหน้าต่างการตรวจจับในงานวิจัยนี้ ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของปริมาณเส้นขอบภาพ (ผลรวมของพิกเซลสีขาว) ในครอบหน้าต่างการตรวจจับกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่ ซึ่งเป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ ถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในครอบหน้าต่างการตรวจจับใดมีค่ามากกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแล้ว แสดงว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในครอบหน้าต่างการตรวจจับดังกล่าว ในทางกลับกันถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในครอบหน้าต่างการตรวจจับใดมีค่าน้อยกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแล้ว แสดงว่าครอบหน้าต่างการตรวจจับนั้นไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ โดยค่าสถานะของครอบหน้าต่างการตรวจจับที่มีและไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 และ 0 ตามลำดับ ช่วงที่ค่าสถานะของครอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าเป็น 1 จะบ่งบอกถึงช่วงเฟรมที่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านครอบหน้าต่างการตรวจจับดังกล่าวนั่นเอง



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างครอบหน้าต่างการตรวจจับในงานวิจัย [2]

จุดเด่นของระบบตรวจตราสภาพการจราจรสำหรับงานวิจัย [2] อยู่ที่ความง่ายและไม่ซับซ้อนของการตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล ที่สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจนับยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ในสถานะที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทัน
 คำน เนื่องจากอัลกอริธึมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องอาศัยภาพอ้างอิงเพื่อการตรวจนับเส้นขอบภาพ แต่
 อาศัยเพียงค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลรอบข้างในภาพถ่ายเฟรมเดียวกันเท่านั้น อีกทั้ง
 ทั้งการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยกรอบหน้าต่างการตรวจนับในงานวิจัยนี้ยังเป็นวิธีการที่
 ง่ายต่อการคำนวณอีกด้วย เพราะอาศัยเพียงความหนาแน่นของปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบ
 หน้าต่างการตรวจนับกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้เท่านั้น

อย่างไรก็ตามระบบตรวจตราสภาพการจราจรในงานวิจัย [2] มีข้อดีอยู่ 3 ประการ
 ประการแรก คือ การใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่สำหรับการตรวจนับเส้นขอบภาพแบบโซเบล จะส่งผล
 ให้ประสิทธิภาพในการตรวจนับยานพาหนะของระบบลดลงเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับภาพถ่าย
 จราจรในสถานะแสงที่หลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากค่าขีดแบ่งสำหรับ
 การตรวจนับเส้นขอบภาพของยานพาหนะจากภาพถ่ายในสถานะแสงที่หลากหลาย ย่อมต้องการค่า
 ขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจนับเส้นขอบภาพที่แตกต่างกัน อีกทั้งการกำหนดค่าขีดแบ่งที่มา
 จากผู้ใช้ นอกจากจะไม่สะดวกต่อผู้ใช้งานทั่วไปแล้วยังทำให้ระบบขาดความยืดหยุ่นเป็นอย่างมาก
 เพราะต้องใช้เวลาในการปรับตั้งค่าดังกล่าวเมื่อสภาพแวดล้อมหรือสถานะแสงในภาพถ่าย
 เปลี่ยนแปลงไป และข้อดีประการที่สอง คือ การใช้ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่สำหรับการ
 ตรวจติดตามและตรวจนับยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจนับ ซึ่งค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบ
 คงที่นี้ ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น ยานพาหนะประเภทรถบัส
 รถบรรทุก และรถพ่วง เป็นต้น เนื่องจากยานพาหนะดังกล่าวมักจะมีปริมาณเส้นขอบภาพไม่
 สม่าเสมอตลอดช่วงเฟรมที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับ นอกจากนั้นการใช้
 ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วย
 วิถีกรอบหน้าต่างการตรวจนับลดลง เมื่อขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจนับที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้
 เปลี่ยนแปลงไป หรืออาจกล่าวได้ว่า ผู้ใช้จำเป็นต้องกำหนดหรือปรับเปลี่ยนค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่
 เหมาะสมใหม่ด้วยตนเองทุกครั้งที่ขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจนับมีการเปลี่ยนแปลงไป เพื่อคงไว้
 ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการติดตามและตรวจนับยานพาหนะของระบบ และข้อดีประการ
 สุดท้าย คือ การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากกรอบหน้าต่างการตรวจนับที่แยกจากกันอย่าง
 อิสระ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดตามและตรวจนับของระบบลดลง เมื่อนำไปใช้ติดตามและ
 ตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง เนื่องจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่
 คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางอาจถูกตรวจนับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจนับมากกว่า 1 ครั้ง
 หรืออาจไม่ถูกตรวจนับเลยก็เป็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แนวทางการพัฒนาระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อพิจารณาระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ถูกลำเสนอในงานวิจัย [1-4, 10] จะพบว่า อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะ และ อัลกอริทึมการติดตามและนับยานพาหนะในงานวิจัย [2] นั้นเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการคำนวณมากกว่างานวิจัยอื่นๆ อีกทั้งอัลกอริทึมดังกล่าวยังเป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจตราสภาพการจราจรในสถานะแสงที่หลากหลาย หรือแม้กระทั่งในสถานะที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทันด่วนมากที่สุด ดังนั้นระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการตรวจจับยานพาหนะและเทคนิคการติดตามและตรวจนับยานพาหนะเช่นเดียวกันกับงานวิจัย [2] รวมทั้งมีการพัฒนาและแก้ไขข้อบกพร่องหรือข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวทั้งในส่วนของ การตรวจจับยานพาหนะ และการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ กล่าวคือ

ในขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะสำหรับงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ จะปรับเปลี่ยนค่าขีดแบ่ง สำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบลจากค่าขีดแบ่งแบบคงที่ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ [2] เป็นค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามสภาพของแสงในภาพ ซึ่งได้จากอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติตามค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในสถานะแสงที่แตกต่างในภาพถ่าย (Gradient-based Adaptive Threshold Estimation: GATE) และในขั้นตอนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะสำหรับงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ จะปรับเปลี่ยนวิธีการติดตามและตรวจนับจากเดิม [2] ที่อาศัยค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่ และ การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่แยกกันอย่างอิสระ เป็นการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีที่อาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) และวิธีที่อาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA) ซึ่งวิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ทั้งสองวิธี ล้วนแล้วแต่เป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใดๆจากผู้ใช้งาน แม้ขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ผู้ใช้งานกำหนดจะเปลี่ยนไปก็ตาม อีกทั้งวิธีการที่ได้นำเสนอดังกล่าวยังสามารถติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีการแก้ไขปัญหาคาร์วอนยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอ โดยอาศัยค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเคลื่อน (Horizontal Moving Edge Detection: HMED) อีกด้วย ซึ่งระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจจับเส้นขอบภาพ ค่าขีดแบ่งและการกำหนดค่าขีดแบ่ง และทฤษฎีฟูซซี โดยแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การตรวจจับเส้นขอบภาพ (Edge Detection)

การตรวจจับเส้นขอบภาพ เป็นกระบวนการที่ถูกใช้เพื่อค้นหาและระบุบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอย่างฉับพลัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นคุณลักษณะพิเศษของเส้นขอบวัตถุ การตรวจจับเส้นขอบภาพสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ การตรวจจับเส้นขอบภาพโดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และอันดับสองของภาพซึ่งเป็นฟังก์ชัน 2 มิติ

3.1.1 ทฤษฎีการตรวจจับเส้นขอบภาพโดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง [13-14]

(First-Order Derivative Edge Detection)

เทคนิคการหาตำแหน่งเส้นขอบโดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ทำได้โดยการหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง (Gradient) ของแต่ละพิกเซลในภาพ ซึ่งค่าความลาดชันของฟังก์ชันภาพ ($f(x, y)$) ที่ตำแหน่งพิกเซล (x, y) ใดๆ สามารถหาได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

โดย ∇f เป็นค่าเวกเตอร์ความลาดชัน (Gradient Vector) ที่แปรผันไปตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสง ส่วนค่าขนาด (Gradient Magnitude) และทิศทาง (Gradient Direction) ของเวกเตอร์ความลาดชันดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} M(x, y) = \text{magn}(\nabla f) &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \\ &= \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \end{aligned} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (3.3)$$

โดย $M(x, y)$ เป็นค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของเวกเตอร์ความลาดชัน ณ จุดภาพ (x, y) ส่วน θ เป็นทิศทางการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่วัดโดยเทียบกับแกน x

เนื่องจากการหาค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่กล่าวไปข้างต้น ต้องอาศัยการคำนวณโดยใช้ค่าของรากที่สอง (Square Root) ซึ่งเป็นวิธีการที่ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้การคำนวณโดยวิธีหาค่าสัมบูรณ์แทน เพื่อลดเวลาในการประมวลผล ดังแสดงในสมการที่ 3.4 ทั้งนี้ ค่าที่ได้จากการหาค่าสัมบูรณ์จะเป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น

$$M(x, y) \approx |G_x| + |G_y| \quad (3.4)$$

วิธีการหาขอบภาพด้วยการทำอนุพันธ์อันดับหนึ่งแบบประมาณที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่ง คือ การหาค่าผลต่างเคลื่อนที่ (Running Difference) ของพิกเซลตามแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน ซึ่งเป็นการประมาณค่าอนุพันธ์ในแนวแกนตั้ง f_y และแนวแกนนอน f_x ตามลำดับ ถ้าหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแบบประมาณ (Approximate Gradient) ในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนประมาณได้จาก

$$G_y(x, y) = f(x, y) - f(x, y+1) \quad (3.5)$$

$$G_x(x, y) = f(x, y) - f(x-1, y) \quad (3.6)$$

โดยที่ G_y และ G_x เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีค่าเป็นบวก เมื่อค่าแอมพลิจูดของขอบเพิ่มขึ้นจากล่างขึ้นบนและซ้ายไปขวา ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนสำหรับการหาขอบภาพสามารถทำได้โดยการนำค่าตัวถ่วงน้ำหนักของเทมเพลตตัวกรองไปทำคอนโวลูชันกับฟังก์ชันภาพ ($f(x, y)$) เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ดังนี้

$$G_y(x, y) = W_y * f(x, y) \quad (3.7)$$

$$G_x(x, y) = W_x * f(x, y) \quad (3.8)$$

โดยที่ W_y และ W_x เป็นเทมเพลตตัวกรอง สำหรับการกรองค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในแนวแกนตั้งและแนวนอนตามลำดับ เทมเพลตตัวกรองที่ใช้ในการกรองเพื่อหาขอบภาพ อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ตัวดำเนินการ” ซึ่งมีอยู่หลายแบบดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เทมเพลตตัวกรองแบบต่างๆ

| ชื่อเทมเพลตตัวกรอง | ค่าถ่วงน้ำหนักของเทมเพลตตัวกรอง | |
|----------------------------|--|---|
| | ในแนวแนวนอน (W_y) | ในแนวแกนตั้ง (W_x) |
| Pixel Difference | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Separated Pixel Difference | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Roberts | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Prewitt | $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Sobel | $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Frei-chen | $\frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ | $\frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$ |

สำหรับรูปแบบการตรวจจับเส้นขอบภาพที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับสำหรับระบบตรวจตราสภาพจราจรด้วยการประมวลผลภาพอีกวิธีหนึ่ง คือ การตรวจจับเส้นขอบภาพแบบเคนนี่ (Canny Edge Detection) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะประยุกต์ใช้เทมเพลตตัวกรองหรือตัวดำเนินการแบบโซเบลเพื่อการตรวจจับเส้นขอบ ร่วมกับการกำจัดจุดรบกวนด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter) ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ทฤษฎีการตรวจจับเส้นขอบภาพโดยการหาอนุพันธ์อันดับสอง [13, 15]

(Second-Order Derivative Edge Detection)

การตรวจหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง เรียกอีกอย่างว่า การหา Laplacian ซึ่งวิธีการนี้จะตรวจหาเส้นขอบจากการหาตำแหน่งข้ามศูนย์ (Zero Crossing) จากภาพถ่ายผลลัพธ์ที่ได้จากการทำอนุพันธ์อันดับสอง

Laplacian ของฟังก์ชันภาพ $f(x, y)$ ถูกนิยามดังนี้

$$L(x, y) = -\nabla^2 \{f(x, y)\} \quad (3.9)$$

โดยที่

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3.10)$$

Laplacian $L(x, y)$ มีค่าเป็นศูนย์ถ้า $f(x, y)$ มีค่าคงที่ หรือแอมปริจูดมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้น ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ $f(x, y)$ มีมากกว่าความเป็นเชิงเส้น $L(x, y)$ หรือมีการเปลี่ยนแปลงของเครื่องหมายที่จุด Inflection (จุดที่อนุพันธ์อันดับสองมีค่าเป็นศูนย์) ของ $f(x, y)$ แล้วตำแหน่งข้ามศูนย์ของ $L(x, y)$ คือตำแหน่งของขอบ ส่วนเครื่องหมายลบที่อยู่ในคำจำกัดความของ Laplacian ในสมการที่ 3.9 มีไว้เพื่อตรวจสอบการข้ามศูนย์ของ $L(x, y)$ ซึ่งมีค่าความชันเป็นบวก (Positive Slope) สำหรับแอมปริจูดของ $f(x, y)$ ที่เพิ่มจากซ้ายไปขวาหรือล่างขึ้นบน

ในศาสตร์โดเมน การประมาณที่ง่ายที่สุดของ Laplacian ที่ต่อเนื่อง คือการคำนวณผลต่างความลาดชันตามแนวแกน นั่นคือ

$$L(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (3.11)$$

Laplacian ที่ใช้ 4 จุดใกล้เคียงสามารถคำนวณได้อีกวิธี โดยการทำคอนโวลูชันฟังก์ชันภาพที่เป็นค่าความเข้มแสงกับเทมเพลตตัวกรองดังนี้

$$L(x, y) = f(x, y) * H(x, y) \quad (3.12)$$

โดยที่

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$H = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

โดยที่อาเรย์ทั้งสองในสมการที่ 3.13 คือ การหาอนุพันธ์อันดับที่สองในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้งตามลำดับ ซึ่งเป็น Laplacian ที่ใช้ 4 จุดใกล้เคียงที่สอดคล้องกับสมการที่ 3.10 ปกติ แล้วต้องมีการนอร์มอไลซ์เพื่อให้ค่าเฉลี่ยมีค่าเป็นหนึ่ง ดังนี้

$$H = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

นอกจากที่ได้กล่าวไป Prewitt ได้เสนอ Laplacian แบบ 8 จุดใกล้เคียง ซึ่งคือ

$$H = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

เนื่องจากสมการนี้ไม่สามารถแยกได้เป็นผลรวมของอนุพันธ์อันดับที่สองดังสมการที่ 3.13 ดังนั้น Laplacian แบบ 8 จุดใกล้เคียง ที่สามารถแยกได้นั้น สามารถหาได้โดยกำหนดให้

$$H = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

ดังนั้น

$$H = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} -2 & 1 & -2 \\ -1 & 4 & 1 \\ -2 & 1 & -2 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

3.1.3 การตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแคนนี่ (Canny Edge Detection) [16-19]

อัลกอริทึมการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแคนนี่ถูกนำเสนอในบทความเรื่อง “A Computational Approach to Edge Detection” โดย John Canny ในปี 1986 ซึ่งอัลกอริทึมดังกล่าวเป็นที่รู้จักดีในฐานะตัวตรวจจับเส้นขอบที่มีประสิทธิภาพสูงตัวหนึ่ง สำหรับเป้าหมายหลักของการตรวจจับเส้นขอบแบบแคนนี่มีอยู่ 3 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อปรับปรุงวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพที่มีอยู่ในขณะนั้นให้มีอัตราการตรวจจับเส้นขอบที่ผิดพลาดน้อยที่สุด กล่าวคือ เส้นขอบที่แท้จริงในภาพผลลัพธ์ต้องไม่ขาดหาย และไม่นำเสนอส่วนที่ไม่ใช่เส้นขอบที่แท้จริง
2. เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างพิกเซลเส้นขอบที่ตรวจจับได้กับพิกเซลเส้นขอบที่แท้จริง ให้มีค่าน้อยที่สุด
3. เพื่อกรองการตอบสนองแบบหลายตำแหน่ง (Multiple Responses) ต่อเส้นขอบของวัตถุเดียวให้เหลือเพียงหนึ่งการตอบสนอง (One Response) ต่อหนึ่งเส้นขอบ

โดยทั่วไปการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแค่นี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ การปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดจุดรบกวนเบื้องต้น ขั้นต่อมาคือการคำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Direction) ของค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง (Gradient) หลังจากนั้นจะทำการกำจัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดเฉพาะที่ (Nonmaxima Suppression) เพื่อให้ได้เส้นขอบภาพที่คมชัดมากขึ้น และขั้นตอนสุดท้ายคือการทำฮิสเทรีซิส (Hysteresis) เพื่อคัดกรองให้เหลือแต่พิกเซลเส้นขอบที่แท้จริง ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.3.1 การปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียน

ขั้นตอนแรกของการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแค่นี้ คือ การกรองจุดรบกวน (Noise) ออกจากภาพดั้งเดิม (Original Image) โดยอาศัยตัวกรองเกาส์เซียน ซึ่งการกรองจุดรบกวนแบบเกาส์เซียนนั้น สามารถทำได้โดยการคอนโวลูชันฟังก์ชันภาพ ($f(x,y)$) ด้วยหน้ากาทัวกรองเกาส์เซียน ($G_\sigma(x,y)$) ดังสมการที่ 3.19

$$g(x,y) = G_\sigma(x,y) * f(x,y) \quad (3.19)$$

โดยที่

$$G_\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3.20)$$

กำหนดให้

| | | |
|------------|-----|--|
| $g(x,y)$ | คือ | ภาพผลลัพธ์การกรองด้วยตัวกรองเกาส์เซียน |
| G_σ | คือ | หน้ากาทัวกรองเกาส์เซียน |
| σ | คือ | ตัวควบคุมระดับการกรอง (Spread of the Gaussian) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหน้ากาแก้วกรองที่นิยมใช้มักจะเป็นที่เลือกที่มีขนาดเล็กและเล็กกว่าภาพตั้งต้น ดังเช่น รูปที่ 3.1 เนื่องจากการเลือกหน้ากาแก้วกรองที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ความทนทานต่อการตรวจจับจุดรบกวนลดน้อยลง

$$\frac{1}{115} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างหน้ากาแก้วกรองเกาส์เซียนขนาด 5x5 ที่เลือกใช้ $\sigma = 1.4$

3.1.3.2 การคำนวณค่าขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

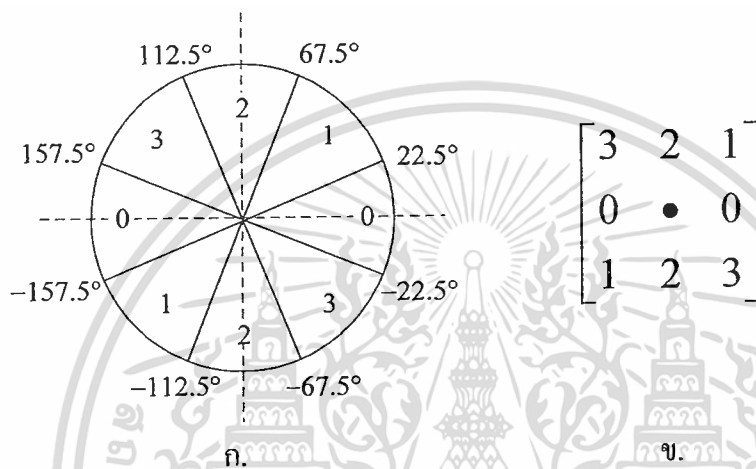
การคำนวณค่าขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแค่นี้ สามารถทำได้โดยนำภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการกรองแบบเกาส์เซียนมาหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง หรือนำไปทำคอนโวลูชันกับเทมเพลตตัวกรอง ซึ่งโดยทั่วไปมักเลือกใช้เทมเพลตตัวกรองแบบโซเบลในการคำนวณหาค่าขนาด (ตามสมการที่ 3.7 และ 3.8) และทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง (ตามสมการที่ 3.3) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.1

3.1.3.3 การกำจัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดเฉพาะที่ (Nonmaxima Suppression)

จุดประสงค์หลักของการกำจัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดเฉพาะที่ (Nonmaxima Suppression) ในขั้นตอนนี้ เพื่อปรับเส้นขอบภาพที่ไม่คมชัด (Blurred Edge) ให้เป็นเส้นขอบภาพที่มีความคมชัด (Sharp Edge) โดยปกติสามารถทำได้โดยการคงค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลที่เป็นค่าสูงสุดเฉพาะที่ (Local Maxima) ไว้ และลบ (Suppression) ค่าอื่นๆ ที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดเฉพาะที่ทิ้งไป ซึ่งอัลกอริทึมการหาค่าสูงสุดเฉพาะที่สำหรับแต่ละพิกเซลในภาพ จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ

- พิจารณาทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลที่สนใจ ว่าสัมพันธ์กับทิศการพิจารณาค่าสูงสุดเฉพาะที่ (แบบ 4 ทิศทาง) ในทิศทางใด ดังรูปที่ 3.2

- เปรียบเทียบค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลที่สนใจ กับ พิกเซลเพื่อนบ้านในทิศทางการพิจารณาค่าสูงสุดเฉพาะที่ (ทั้งทิศบวกและ ทิศลบ)
- ถ้าค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลที่สนใจ น้อยกว่า ค่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลเพื่อนบ้าน ให้แทนค่า ขนาดของพิกเซลที่สนใจด้วย 0 แต่ถ้ามีค่ามากกว่าให้คงค่าเดิมไว้ เพราะถือว่าค่าดังกล่าวเป็นค่าสูงสุดเฉพาะที่แล้ว



รูปที่ 3.2 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับทิศการพิจารณาค่าสูงสุดเฉพาะที่แบบ 4 ทิศทางในรูปของแผนภาพวงกลม (ก.) และอาร์เรย์สองมิติอย่างง่าย (ข.)

3.1.3.4 การทำฮิสเทรีซิส (Hysteresis) เพื่อคัดกรองให้เหลือแต่พิกเซลเส้นขอบที่แท้จริง

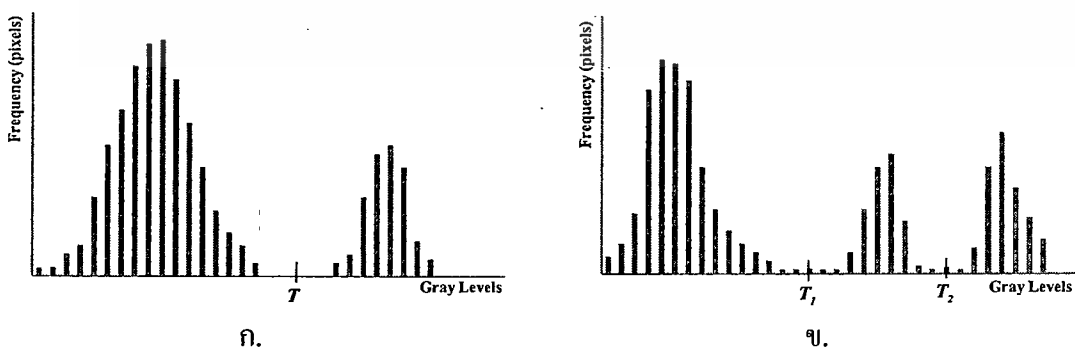
เนื่องจากภาพผลลัพธ์ที่ได้หลังการกำจัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดเฉพาะที่ ยังคงประกอบด้วยพิกเซลที่ไม่ใช่เส้นขอบแท้จริงปรากฏอยู่ โดยพิกเซลเหล่านี้มักเกิดจากจุดรบกวน (Noise) หรือบริเวณพื้นผิวที่ขรุขระ (Rough Surface) ดังนั้นการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบแค่นี้ จึงประยุกต์ใช้อัลกอริธึมการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบคู่ (Double Thresholding) เพื่อวิเคราะห์และจำแนกพิกเซลเส้นขอบแท้จริงออกจากพิกเซลที่ไม่ใช่เส้นขอบแท้จริง ซึ่งอัลกอริธึมการกำจัดเส้นขอบที่ไม่แท้จริงจะมีหลักการและขั้นตอนดังนี้

- กำหนดค่าขีดแบ่งขึ้นมา 2 ค่า คือ ค่าขีดแบ่งสูง (High Threshold) และค่าขีดแบ่งต่ำ (Low Threshold)

- เปรียบเทียบค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแต่ละพิกเซลกับค่าขีดแบ่งทั้งสอง
- ถ้าพิกเซลใดมีค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงมากกว่าค่าขีดแบ่งสูง จะถูกกำหนดให้เป็นพิกเซลเส้นขอบแท้จริง (ถูกปรับค่าเป็น 1) แต่ถ้าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งต่ำจะถูกกำหนดให้เป็นพิกเซลเส้นขอบที่ไม่แท้จริง (ถูกปรับค่าเป็น 0)
- ส่วนพิกเซลที่มีค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสอง จะถูกพิจารณาให้เป็นพิกเซลเส้นขอบที่แท้จริง (ถูกปรับค่าเป็น 1) ก็ต่อเมื่อมีจำนวนพิกเซลเพื่อนบ้านที่มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งสูงมากกว่า จำนวนพิกเซลเพื่อนบ้านที่มีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งต่ำ

3.2 ค่าขีดแบ่งและการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) [15, 19]

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ โดยอาศัยค่าขีดแบ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณาค่าระดับเทาหรือค่าระดับความเข้มแสง (Intensity) ร่วมกับคุณสมบัติของค่าเหล่านั้น สมมุติให้รูปที่ 3.3 (ก.) แสดงค่าความถี่หรือฮิสโทแกรมของค่าระดับความเข้มแสงของภาพ $f(x, y)$ ที่ประกอบด้วยวัตถุสีขาวบนพื้นหลังสีดำ จากค่าฮิสโทแกรมดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ากลุ่มพิกเซลที่เป็นวัตถุและกลุ่มพิกเซลที่เป็นพื้นหลังนั้นแยกตัวออกจากกันเป็นสองกลุ่มที่ชัดเจน ดังนั้นการเลือกค่าขีดแบ่งที่มีค่าเท่ากับ T นับได้ว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจนและง่ายดาย ด้วยวิธีการดังกล่าวจุดภาพที่มีค่าระดับความเข้มแสงมากกว่าค่าขีดแบ่ง ($f(x, y) > T$) จะถูกเรียกว่า จุดวัตถุ (Object Point) ส่วนจุดภาพที่เหลือจะถูกเรียกว่า จุดพื้นหลัง (Background Point) สำหรับภาพผลลัพธ์จากการแบ่งส่วนด้วยค่าขีดแบ่งแบบระดับเดียว ($g(x, y)$) สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.21



รูปที่ 3.3 ฮิสโทแกรมของค่าระดับความเข้มแสงที่สามารถถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยค่าขีดแบ่ง

ระดับเดียว (ก.) และที่สามารถถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วน โดยค่าขีดแบ่งหลายระดับ (ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & ; f(x, y) > T \\ 0 & ; f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3.21)$$

รูปที่ 3.3 (ข) แสดงตัวอย่างการเลือกค่าขีดแบ่งแบบหลายระดับ สำหรับจำแนกกลุ่มวัตถุในภาพที่มีมากกว่าสองกลุ่ม ซึ่งจากการแบ่งตัวของฮิสโทแกรมในภาพ อาจตีความได้ว่ามีวัตถุสว่างสองชนิดที่มีค่าระดับความเข้มแสงแตกต่างกันอยู่บนพื้นหลังสีดำ ดังนั้นจุดภาพที่มีค่าระดับความเข้มแสงน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง T_1 จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของพื้นหลัง ส่วนจุดภาพที่มีค่าระดับความเข้มแสงอยู่ระหว่างค่าขีดแบ่ง T_1 และ T_2 จะถูกพิจารณาให้อยู่ในกลุ่มของวัตถุชนิดที่หนึ่ง และจุดภาพที่มีค่าระดับความเข้มแสงมากกว่าค่า T_2 จะถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มของวัตถุชนิดที่สอง ซึ่งภาพผลลัพธ์จากการแบ่งส่วนด้วยค่าขีดแบ่งแบบหลายระดับ ($g(x, y)$) สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.22

$$g(x, y) = \begin{cases} a & ; f(x, y) > T_2 \\ b & ; T_1 < f(x, y) \leq T_2 \\ c & ; f(x, y) \leq T_1 \end{cases} \quad (3.22)$$

เมื่อ a , b และ c คือ ค่าใดๆ ที่ใช้จำแนกค่าระดับความเข้มแสง ณ จุดภาพ (x, y)

สำหรับปัญหาการแบ่งส่วนภาพที่ต้องอาศัยค่าขีดแบ่งมากกว่า 2 ระดับนั้น มักไม่นิยมใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบคงที่ (Global Thresholding) ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น แต่มักจะนิยมใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้ (Variable Thresholding) ตามคุณลักษณะเชิงท้องถิ่น (Local Property) ของแต่ละจุดภาพแทน เช่น ค่าระดับความเข้มแสงเฉลี่ย เป็นต้น ซึ่งการกำหนดค่าขีดแบ่งที่อยู่ในรูปของการพิจารณาคุณลักษณะเชิงท้องถิ่นสามารถนิยามได้ดังนี้

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad (3.23)$$

โดยที่ $f(x, y)$ คือค่าระดับความเข้มแสงของจุดภาพ (x, y) และ $p(x, y)$ คือคุณลักษณะเชิงท้องถิ่นหรือคุณสมบัติเฉพาะที่ (Local Properties) ของจุดภาพดังกล่าว

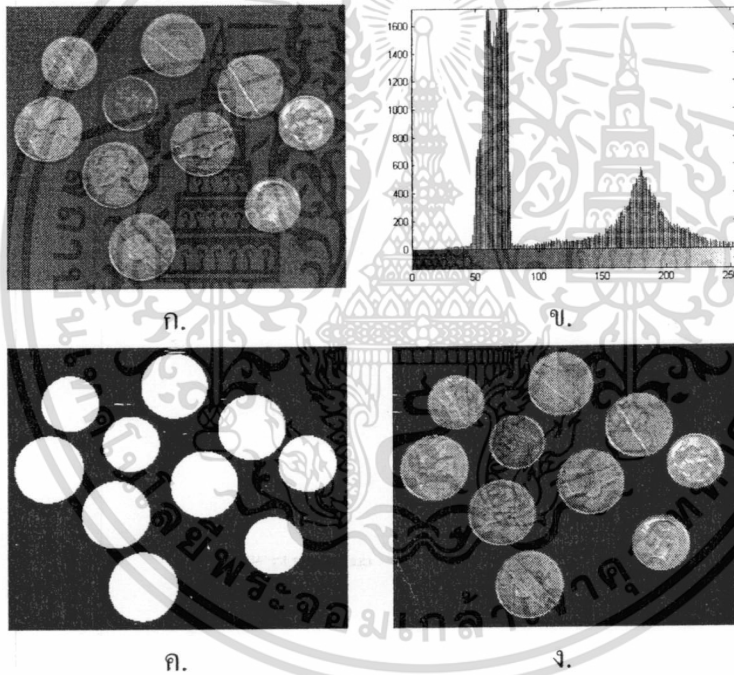
สำหรับค่า T ที่ขึ้นอยู่กับ $f(x, y)$ เพียงอย่างเดียวจะถูกเรียกว่า ค่าขีดแบ่งแบบโอบอล (Global Threshold) แต่ถ้าค่า T ขึ้นอยู่กับทั้ง $f(x, y)$ และ $p(x, y)$ จะถูกเรียกว่า ค่าขีดแบ่งแบบโลคัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Local Threshold) นอกจากนั้นค่า T ที่ขึ้นอยู่กับพิกัด x และ y จะถูกเรียกว่า ค่าขีดแบ่งแบบไดนามิก (Dynamic Threshold)

ตัวอย่าง การแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลังด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง

รูปที่ 3.4 (ก.) แสดงภาพต้นฉบับที่เป็นภาพระดับเทาของเหรียญหลาย枚ขนาดต่างๆ เมื่อนำค่าระดับความเข้มแสงของพิกเซลทั้งหมดมาแสดงในรูปของฮิสโทแกรมดังรูปที่ 3.4 (ข.) จะสามารถแบ่งค่าระดับความเข้มแสงออกได้เป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ กลุ่มพิกเซลพื้นหลังที่มีค่าอยู่ในช่วง 50-80 และกลุ่มพิกเซลของเหรียญหลาย枚ที่มีค่าตั้งแต่ 80-255 ดังนั้นถ้าเลือกใช้ค่าขีดแบ่งที่มีค่าเท่ากับ 80 หรือประมาณ 0.31 (80/255) เปอร์เซนต์ มาประยุกต์ใช้เพื่อแยกเหรียญหลาย枚ออกจากพื้นหลังจะได้ผลลัพธ์ในรูปของภาพไบนารีดังรูปที่ 3.4 (ค.) และเมื่อนำภาพไบนารีคูณกับภาพต้นฉบับจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ง.)



รูปที่ 3.4 ภาพระดับเทาดั้งเดิม (ก.) ฮิสโทแกรมของภาพ (ข.) ภาพไบนารีผลลัพธ์จากการเลือกใช้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 0.31 (ค.) และภาพผลลัพธ์การคูณภาพต้นฉบับด้วยภาพขาวดำ (ง.)

3.3 ทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Theory) [21-24]

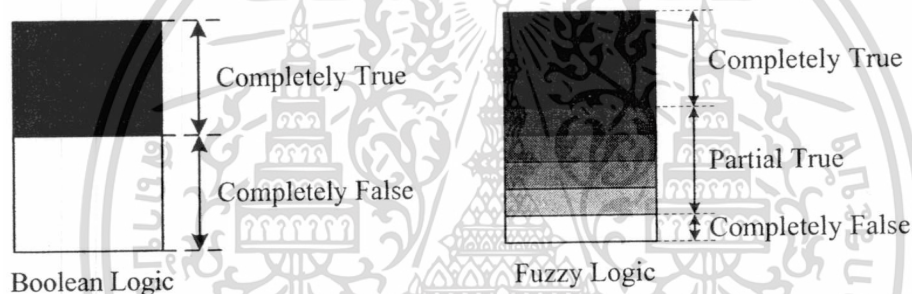
ในทางตรรกะการใช้เพียงค่าความจริงคือ จริง และ เท็จ อาจไม่เพียงพอต่อการอธิบายเหตุผลบางอย่าง หากตั้งคำถามว่าตอนนี้ฝนตกหรือไม่ ความเป็นไปได้ของคำตอบอาจมีเพียง ใช่ หรือ ไม่อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่หากถามว่า ตอนนี้ฝนกำลังตกหนักหรือไม่ คำตอบที่ได้อาจเป็นไปได้อย่างหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างขึ้นอยู่กับความรู้สึกรู้สึกของผู้ตอบ เช่น ผนตคปรอยๆ ผนตคไม่หนัก ผนตคหนัก หรือผนตคหนักมาก ความพยายามที่จะอธิบายความหมายของคำเหล่านี้ เป็นที่มาของการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับทฤษฎีฟัซซี

3.3.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ฟัซซีลอจิกหรือตรรกศาสตร์คลุมเครือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล ซึ่งยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ โดยใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีการคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบเท็จจริง (Boolean Logic) เนื่องจากเป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายส่วนของความจริง (Partially True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตรรกะแบบจริงเท็จ (ก.) และตรรกะแบบฟัซซี (ข.)

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาแลนซ์ (Multivalence) ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาแลนซ์ (Bivalence) ที่มีค่าความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” สามารถที่จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะให้ความหมายของตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” ซึ่งไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. อาจจะทำให้ความหมายของ “คนที่อ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วน โดยเปรียบเทียบจากมุมมองของตน ในขณะที่การทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary Sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน แต่ในความเป็นจริงแล้วจะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนที่มีน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม ในอีกทางหนึ่งถ้าพิจารณาจากกลุ่มคนที่น้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลที่หนัก 74.5 หรือ 75 กิโลกรัม จะไม่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน จากการพิจารณาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม แต่เป็นความไม่แน่นอนแบบฟัซซีหรือคลุมเครือ ที่ต้องอาศัยการตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของมนุษย์เป็นหลัก

รูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



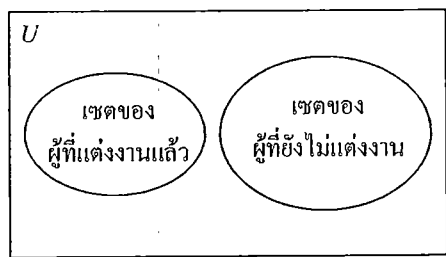
รูปที่ 3.6 ความไม่แน่นอน (Uncertainty) ในการตัดสินใจของปัญหา

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยเซตของความเป็นสมาชิก (Membership Set)

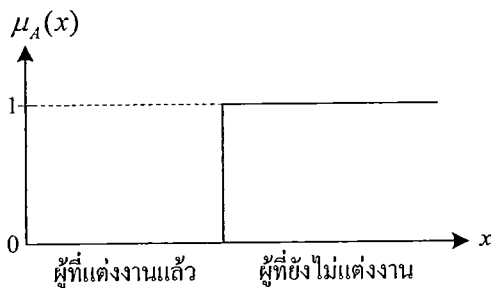
3.3.2 เซตแบบฉบับ (Classical Set)

ในเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดของเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่งๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มที่แต่งงานแล้วหรือยังไม่แต่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.



ข.

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ (ก.) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ยังไม่แต่งงาน (ข.)

รูปที่ 3.7 (ก.) แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือ เซตของผู้ที่แต่งงานแล้วและเซตของผู้ที่ยังไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งานหรือไม่แต่งงาน ในรูปที่ 3.7 (ข.) แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ยังไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ยังไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ยังไม่แต่งงานเป็น 1 ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด สำหรับรูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีลักษณะดังนี้

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & ; x \in A \\ 0 & ; x \notin A \end{cases} \quad (3.24)$$

โดย A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต ส่วน μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ x ในเซต A

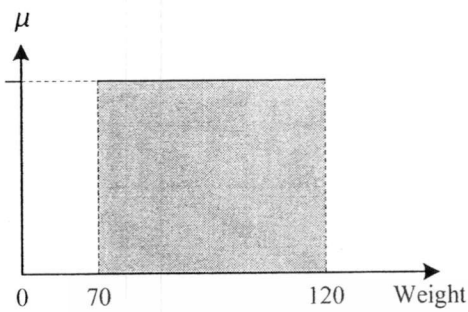
3.3.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัซซีเซตหรือเซตวิภาษนัยเป็นเซตที่มีขอบเขตแบบไล่ระดับและไม่ได้แยกส่วนอย่างชัดเจน ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใหม่เฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้ไม่ได้มีเฉพาะกลุ่มแต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางกลุ่มมีความสุขมาก บางกลุ่มมีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

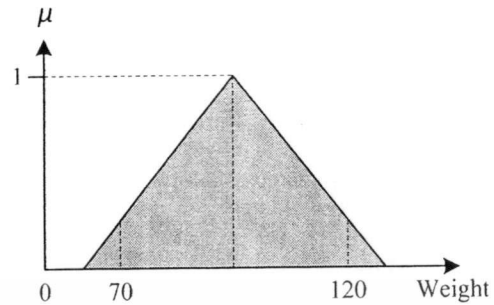
ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตแบบฉบับอาจกำหนดเป็นคนที่ มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3.8 (ก.) ในขณะที่นิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนอ้วนเป็นคนที่น้ำหนักโดยประมาณอยู่ในช่วง 80 ถึง 110 กิโลกรัม โดยให้ค่าของข้อมูลเป็นค่าที่ต่อเนื่อง ค่อยๆ เพิ่ม ค่อยๆ ลด ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน ดังรูปที่ 3.8 (ข.)



ก.



ข.

รูปที่ 3.8 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัย (ก.) และเซตแบบฟัซซี (ข.)

นิยามของฟัซซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (3.25)$$

เมื่อ $\mu_A(x)$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละ $x \in X$ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) แล้วฟัซซีเซต A สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (Tuples) ได้ดังสมการที่ 3.26

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (3.26)$$

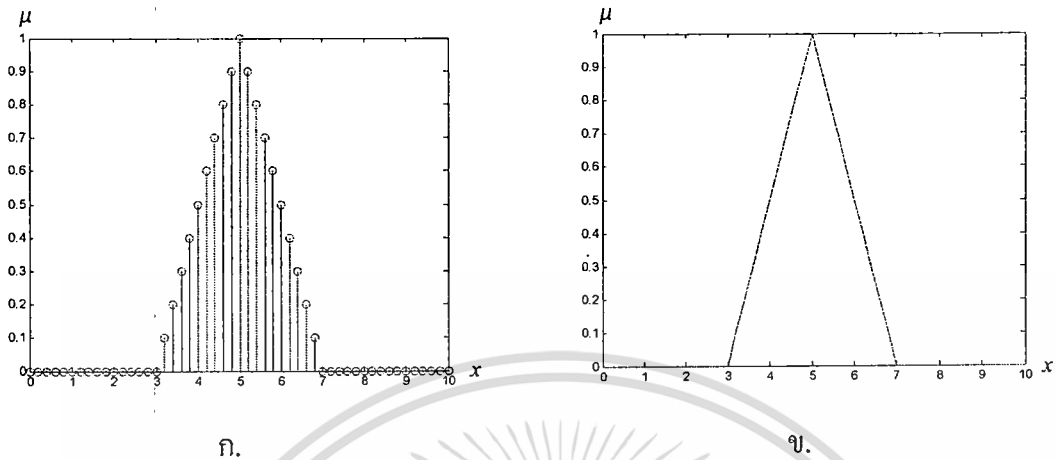
โดย A หมายถึงฟัซซีเซต A ส่วน x หมายถึงสมาชิกของเซต (Set Membership) $\mu_A(x)$ หมายถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) บางครั้งอาจแทนด้วย $A(x)$ และ X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร ซึ่งเป็นขอบเขตหรือค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของคำตอบสำหรับเซตใดๆ

ถ้า $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และ A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิฤตหรือดิสครีต (Discrete) แบบจำกัด เช่นรูปที่ 3.9 (ก.) นิยามของฟัซซีเซต A สามารถเขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพจน์ $\mu_A(x_i)/x_i, i=1,2,\dots,n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต A และเครื่องหมาย “+” หมายถึงยูเนียน (Union)



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบดิสครีต (ก.) และเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง (ข.)

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นเซตต่อเนื่อง (Continuous) เช่นรูปที่ 3.9 (ข.) สัญลักษณ์ (Notation) ของฟัซซีเซต A เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (3.28)$$

ทฤษฎีฟัซซีเซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีความเป็นสมาชิก (Membership Value หรือ Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$ โดย 0 หมายถึง การไม่เป็นสมาชิกในเซต ส่วน 1 หมายถึง การเป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 หมายถึง การเป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การกระทำเช่นนี้ทำให้เกิดการไล่ระดับของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใดๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต

3.3.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต (Operation of Fuzzy Set)

การดำเนินการ (Operation) พื้นฐานของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตแบบดั้งเดิม ได้แก่ การยูเนียน (Union) การอินเตอร์เซกชัน (Intersection) และการคอมพลีเมนต์ (Complement) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

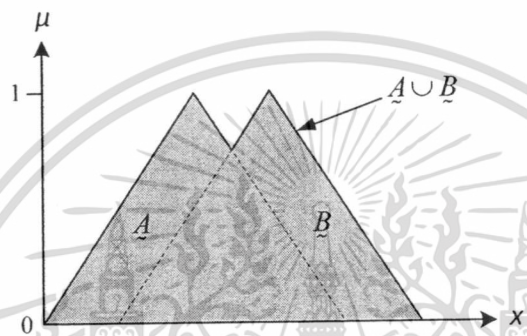
เมื่อกำหนดให้ A และ B เป็นฟัซซีเซตที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X เดียวกัน

3.3.4.1 ยูเนียน (Union)

การยูเนียนของฟัซซีเซต จะอาศัย OR Operation ดังสมการที่ 3.29 และรูปที่

3.10

$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (3.29)$$

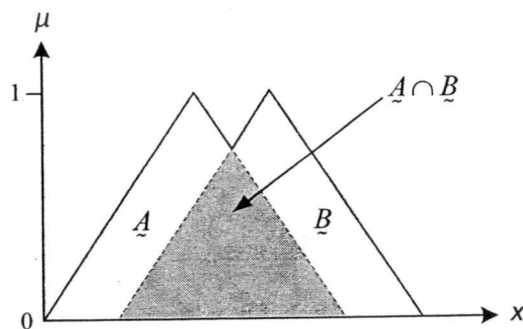


รูปที่ 3.10 การยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

3.3.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection)

การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต จะอาศัย AND operation ดังสมการที่ 3.30 และรูปที่ 3.11

$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (3.30)$$



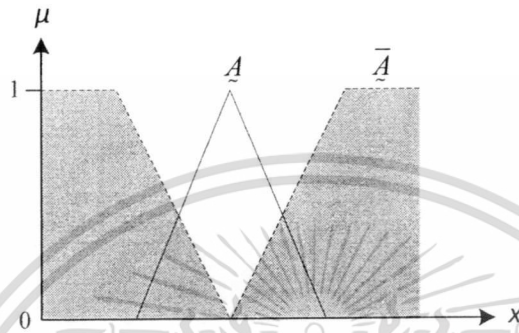
รูปที่ 3.11 การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 คอมพลิเมนต์ (Complement)

การคอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A คือ การหาค่าความไม่เป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A ดังสมการที่ 3.31

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.31)$$



รูปที่ 3.12 การคอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A

นอกจากการดำเนินการพื้นฐานที่ได้กล่าวไปข้างต้น ฟัซซีเซตยังมีคุณสมบัติการกระทำอื่นๆ ที่เหมือนกับเซตแบบดั้งเดิมอีกแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติการกระทำของฟัซซีเซต

| ชื่อคุณสมบัติ | การกระทำ |
|-----------------------------------|--|
| การสลับที่ (Commutative) | $A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$ |
| การเปลี่ยนกลุ่ม (Associative) | $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$ |
| การกระจาย (Distributivity) | $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ |
| กฎของเดอมอร์แกน (De Morgan's Law) | $\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$ $\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$ |
| การดูดกลืน (Absorption) | $(A \cup B) \cap A = A$ $(A \cap B) \cup A = A$ |
| การเท่ากัน (Idempency) | $A \cup A = A$ $A \cap A = A$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) คุณสมบัติการกระทำของฟัซซีเซต

| ชื่อคุณสมบัติ | การกระทำ |
|-------------------------------------|--|
| การมีเอกลักษณ์ (Identity) | $A \cup \emptyset = A$ $A \cap X = A$ $A \cap \emptyset = \emptyset$ $A \cup X = X$ |
| การถ่ายทอด (Transitivity) | ถ้า $A \subseteq B, B \subseteq C$ แล้ว $A \subseteq C$ |
| การอินโวลูชัน (Involution) | $\overline{\overline{A}} = A$ |
| ข้อยกเว้น (Exclusion Not Satisfied) | $A \cup \overline{A} \neq 1$ $A \cap \overline{A} \neq 0$ |

ตัวอย่าง การคำนวณเกี่ยวกับฟัซซีเซต เมื่อกำหนดให้

$$A = \left\{ \frac{1}{1} + \frac{0.8}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.4}{4} + \frac{0.2}{5} \right\} \quad B = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0.5}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1}{5} \right\}$$

จากสมการที่ 3.29 จะได้ยูเนียนระหว่างเซต A และ B คือ

$$A \cup B = \left\{ \frac{1}{1} + \frac{0.8}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1}{5} \right\}$$

จากสมการที่ 3.30 จะได้อินเตอร์เซกชันระหว่างเซต A และ B คือ

$$A \cap B = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0.5}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.4}{4} + \frac{0.2}{5} \right\}$$

จากสมการที่ 3.31 จะได้คอมพลีเมนต์ของเซต A และ B คือ

$$\overline{A} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0.2}{2} + \frac{0.4}{3} + \frac{0.6}{4} + \frac{0.8}{5} \right\}$$

$$\overline{B} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0.5}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0}{5} \right\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก คือ ฟังก์ชันหรือกราฟที่用以กำหนดค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value) ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ของสมาชิกแต่ละตัวในพีชชีเซต ซึ่งรูปร่างหรือลักษณะของฟังก์ชันเป็นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference System) สำหรับชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่นิยมใช้งาน โดยทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 9 ชนิดดังนี้

3.3.4.1 ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยมเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ x ที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ $\{a, b, c\}$ ดังสมการที่ 3.32

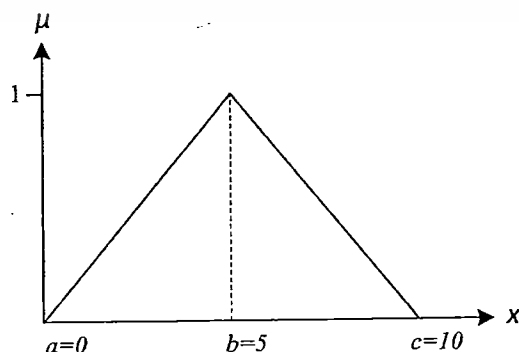
$$\text{triangular}(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ (x-a)/(b-a) & ; a < x < b \\ (c-x)/(c-b) & ; b \leq x \leq c \\ 0 & ; x > c \end{cases} \quad (3.32)$$

หรือ

$$\text{triangular}(x: a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (3.33)$$

โดย a และ c เป็นจุดยอดมุมส่วนฐานของสามเหลี่ยม ในขณะที่ b เป็นจุดยอดมุมสูงสุด

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a = 0$ $b = 5$ และ $c = 10$ จะได้กราฟฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ x ที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 4 ตัว คือ $\{a, b, c, d\}$ ดังสมการที่ 3.34

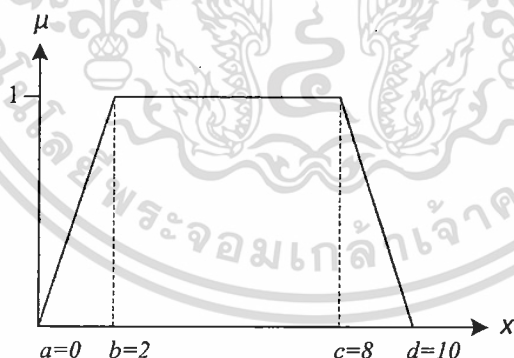
$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ (x-a)/(b-a) & ; a \leq x < b \\ 1 & ; b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & ; c \leq x < d \\ 0 & ; x \geq d \end{cases} \quad (3.34)$$

หรือ

$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \quad (3.35)$$

โดย a และ d เป็นจุดปลายด้านคู่ขนานที่ยาวที่สุดของสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วน b และ c เป็นจุดปลายด้านคู่ขนานที่สั้นที่สุด

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a = 0$ $b = 2$ $c = 8$ และ $d = 10$ จะได้กราฟฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

3.3.4.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function)

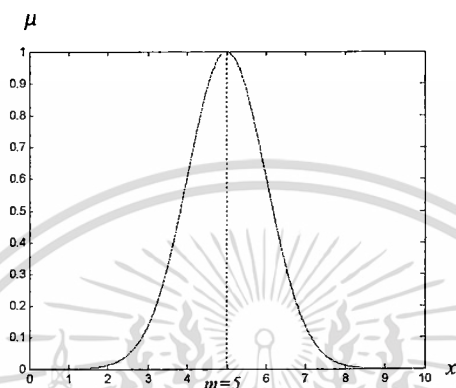
ฟังก์ชันเกาส์เซียนเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ $\{m, \sigma\}$ ดังสมการที่ 3.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{gaussian}(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.36)$$

โดย m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $m=5$ และ $\sigma=1$ จะได้กราฟฟังก์ชันเกาส์เซียนดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันเกาส์เซียน

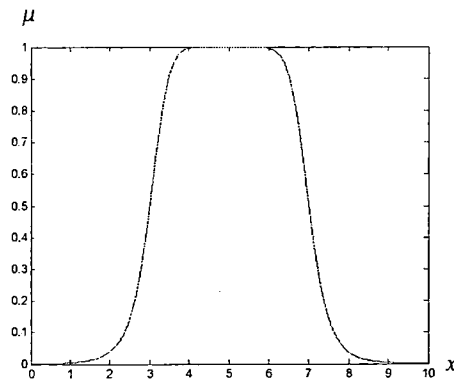
3.3.4.4 ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ตัว คือ $\{a, b, c\}$ ดังสมการที่ 3.37

$$\text{bell-shaped}(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (3.37)$$

โดย a เป็นตัวกำหนดความกว้างของกราฟ ส่วน b เป็นตำแหน่ง Cross-point ซึ่งมักจะมีค่าเป็นบวก และ c เป็นตำแหน่งจุดกึ่งกลางของกราฟ

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a=2$ $b=4$ และ $c=5$ จะได้กราฟฟังก์ชันรูประฆังคว่ำดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปประฆังคว่ำ

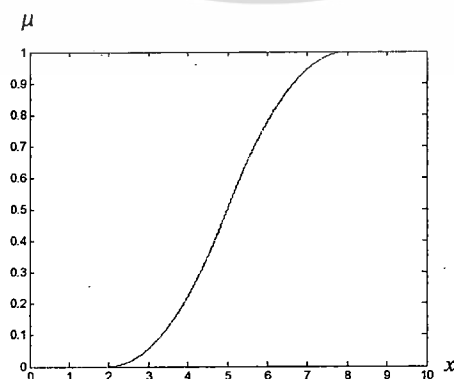
3.3.4.5 ฟังก์ชันรูปตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ $\{a, b\}$
 ดังสมการที่ 3.38

$$S(x:a,b) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & ; a \leq x < \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & ; \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \quad (3.38)$$

โดย a และ b เป็นตัวกำหนดจุด Cross-point ต่ำสุดและสูงสุด หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟ

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a = 2$ และ $b = 8$ จะได้กราฟฟังก์ชันรูปตัวเอสดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปตัวเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

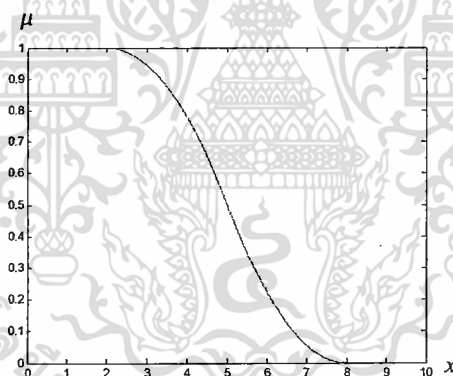
3.3.4.6 ฟังก์ชันรูปตัวแซด (Z-Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวแซดเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ $\{a, b\}$ ดังสมการที่ 3.39

$$Z(x:a,b) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & ; a \leq x < \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2 & ; \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 0 & ; x \geq b \end{cases} \quad (3.39)$$

โดย a และ b เป็นตัวกำหนดจุด Cross-point สูงสุดและต่ำสุด หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟ

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a = 2$ และ $b = 8$ จะได้กราฟฟังก์ชันรูปตัวแซดดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันรูปตัวแซด

3.3.4.7 ฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวก (Positive Linear Membership Function)

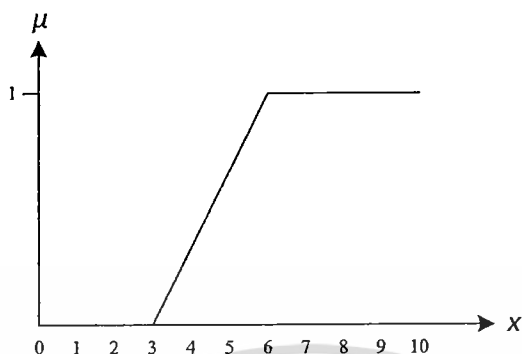
ฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวกเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ $\{a, b\}$ ดังสมการที่ 3.10

$$\text{poslinear}(x:a,b) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ (x-a)/(b-a) & ; a \leq x < b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \quad (3.10)$$

โดย a และ b เป็นตัวกำหนดความชันของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a = 3$ และ $b = 6$ จะได้กราฟฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวก ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวก

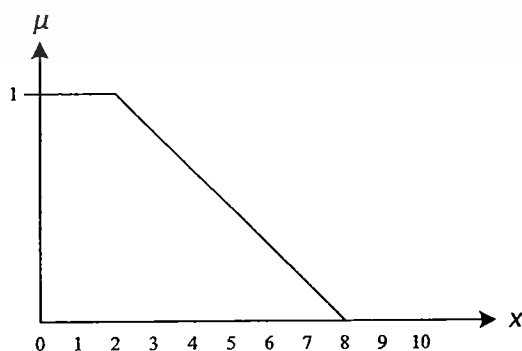
3.3.4.8 ฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบ (Negative Linear Membership Function)

ฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ $\{a, b\}$ ดังสมการที่ 3.11

$$\text{neglinear}(x: a, b) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ (a-x)/(b-a) & ; a \leq x < b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \quad (3.11)$$

โดย a และ b เป็นตัวกำหนดความชันของกราฟ

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ $a = 2$ และ $b = 8$ จะได้กราฟฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

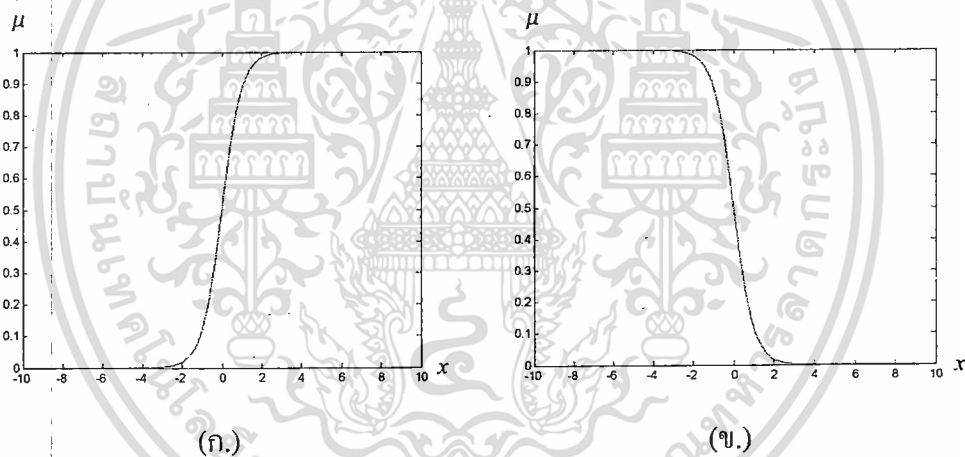
3.3.4.9 ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoidal Membership Function)

ฟังก์ชันซิกมอยด์เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ $\{a, b\}$ ดังสมการที่ 3.12

$$\text{sigmoid}(x; a, b) = \frac{1}{1 + \exp(-a(x-b))} \quad (3.12)$$

โดย a เป็นพารามิเตอร์ควบคุมความชัน ถ้าเลือกค่า a ที่มีขนาดน้อยจะทำให้ความชันต่ำ แต่ถ้าเลือก a ที่มีขนาดมากจะทำให้ความชันสูง ส่วน b เป็นตำแหน่งค่ากลางที่มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

ตัวอย่าง กราฟฟังก์ชันซิกมอยด์เมื่อกำหนดให้ $a = 2$ และ $b = 0$ จะได้กราฟดังรูปที่ 3.21 (ก.) และเมื่อกำหนดให้ $a = -2$ และ $b = 0$ จะได้กราฟดังรูปที่ 3.21 (ข.)



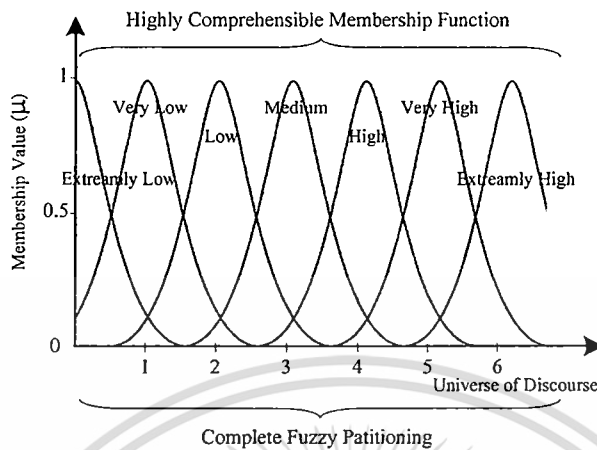
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันซิกมอยด์

3.3.5 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม อาทิ ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัย สามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็น หรือ Temperature Quantity is Cold ตัวแปร Temperature Quantity เป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี เนื่องจากตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพโดยใช้พจน์ภาษา (Linguistic Term) และในรูปปริมาณโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function) ซึ่งพจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (Composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4’) ตัวแปรเชิงตัวเลขจะมีใช้กันในสาขาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่น ๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงตัวเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน รูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

3.3.6 กฎฟัซซี (Fuzzy Rules)

กฎฟัซซีสามารถให้คำจำกัดความในรูปของเงื่อนไขดังนี้

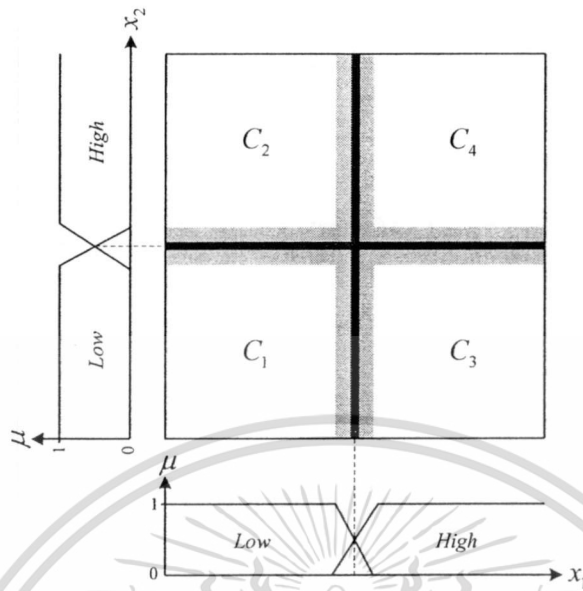
ถ้า x คือ A

แล้ว y คือ B

เมื่อ x และ y เป็นตัวแปรภาษา และ A กับ B เป็นค่าของตัวแปรภาษาที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งได้จากเซตฟัซซี X และ Y ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การจัดกลุ่มข้อมูลในปริภูมิ 2 มิติด้วยกฎฟuzzy



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟuzzy

จากรูปที่ 3.23 สามารถเขียนเป็นกฎฟuzzyในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

- กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า Low และ x_2 มีค่า Low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1
- กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า Low และ x_2 มีค่า High แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2
- กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า High และ x_2 มีค่า Low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3
- กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า High และ x_2 มีค่า High แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

โดย x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1 x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2 Low และ High เป็นพจน์ภาษา (Linguistic Terms) ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

สมมติให้มีกฎฟuzzy L ข้อ โดยที่ $l = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ และให้ข้อมูลเป็น $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล อีกทั้งให้ A_i เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น C_k โดยที่ $k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟuzzyสามารถเขียนได้ดังนี้

- กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ ... และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า A_{21} และ x_2 มีค่า A_{22} และ ... และ x_n มีค่า A_{2n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_2
- ⋮
- กฎข้อ k : ถ้า x_1 มีค่า A_{k1} และ x_2 มีค่า A_{k2} และ ... และ x_n มีค่า A_{kn} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_k

3.3.7 ฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ (Fuzzy Inference)

ฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ คือ กระบวนการแปลงอินพุตให้กลายเป็นเอาต์พุตตามที่ต้องการโดยอาศัยทฤษฎีฟัซซีเซต รูปแบบพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ที่มีถูกนำมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ ฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์แบบ Mamdani ซึ่งถูกนำเสนอโดย Mamdani และ Assilian ในปี 1975 โดยรูปแบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ดังกล่าวจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก กล่าวคือ การหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification) การประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี (Rule Evaluation) 3.3.7.3 การรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อ (Aggregation of Rule Output) และ การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Defuzzification)

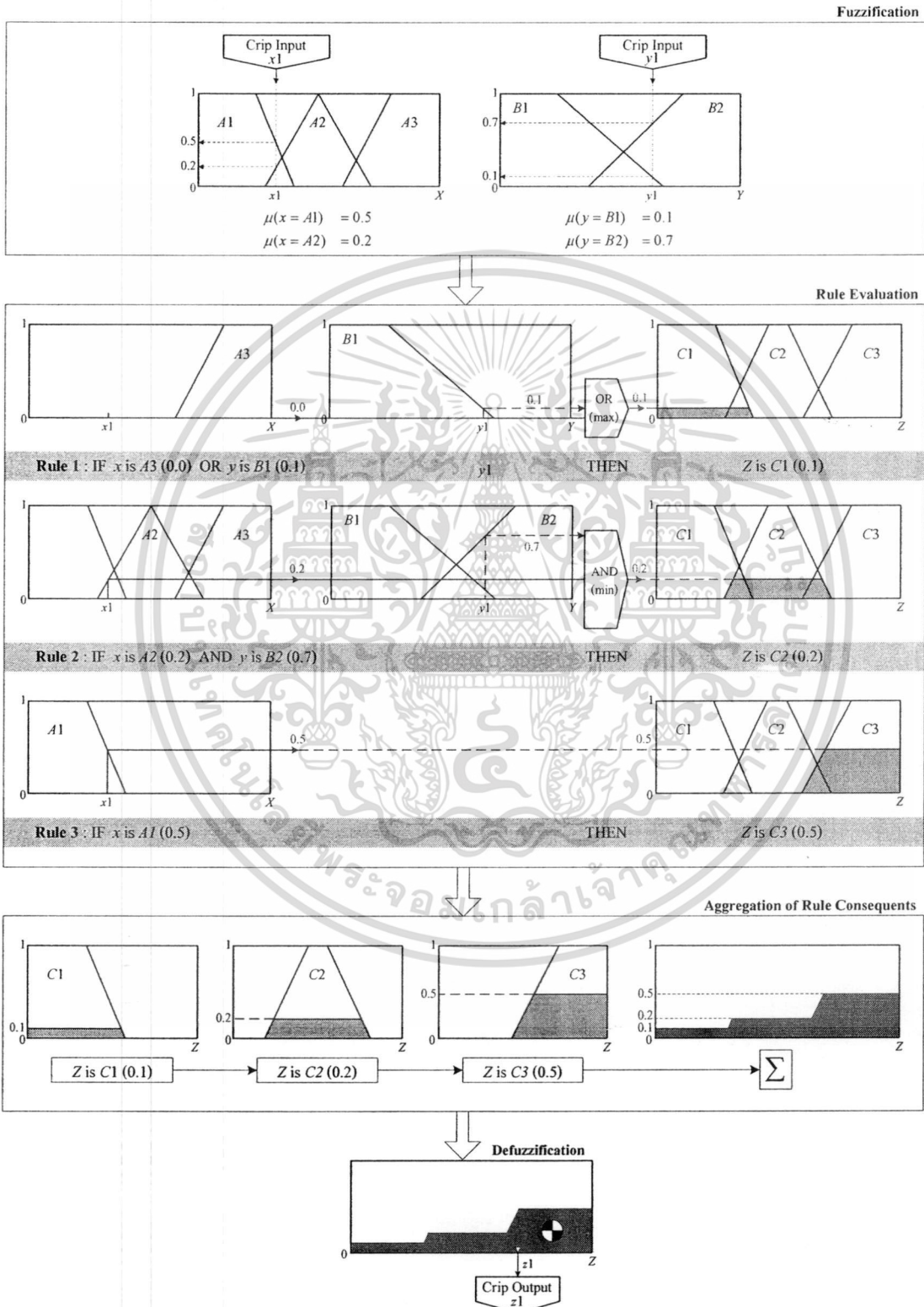
ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นรายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนจึงยกตัวอย่าง ปัญหาแบบ 2 อินพุต (x และ y) 1 เอาต์พุต (z) ที่ประกอบไปด้วยกฎการพิจารณา 3 ข้อ ดังนี้

| | |
|---|--|
| <p>กฎข้อ 1</p> <p>ถ้า x คือ $A3$</p> <p>หรือ y คือ $B1$</p> <p>แล้ว z คือ $C1$</p> | <p>กฎข้อ 1</p> <p>ถ้า เงินสนับสนุน โครงการเพียงพอ</p> <p>หรือ กลุ่มคนทำโครงการเป็นกลุ่มเล็ก</p> <p>แล้ว ความเสี่ยงต่ำ</p> |
| <p>กฎข้อ 2</p> <p>ถ้า x คือ $A2$</p> <p>และ y คือ $B2$</p> <p>แล้ว z คือ $C2$</p> | <p>กฎข้อ 2</p> <p>ถ้า เงินสนับสนุน โครงการเกือบไม่พอ</p> <p>และ กลุ่มคนทำโครงการเป็นกลุ่มใหญ่</p> <p>แล้ว ความเสี่ยงปานกลาง</p> |
| <p>กฎข้อ 3</p> <p>ถ้า x คือ $A1$</p> <p>แล้ว z คือ $C3$</p> | <p>กฎข้อ 3</p> <p>ถ้า เงินสนับสนุน โครงการไม่เพียงพอ</p> <p>แล้ว ความเสี่ยงสูง</p> |

เมื่อ x y และ z (เงินสนับสนุนโครงการ กลุ่มคนทำโครงการ และความเสี่ยง) เป็นตัวแปรฟัซซี $A1$ $A2$ และ $A3$ (เพียงพอ เกือบเพียงพอ ไม่เพียงพอ) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซีที่เป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ X (เงินสนับสนุนโครงการ) $B1$ และ $B2$ (กลุ่มเล็กและกลุ่มใหญ่) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซีที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ Y (กลุ่มคนทำโครงการ) $C1$ $C2$ และ $C3$ (ต่ำ กลาง และสูง) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซีที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ Z (ความเสี่ยง)



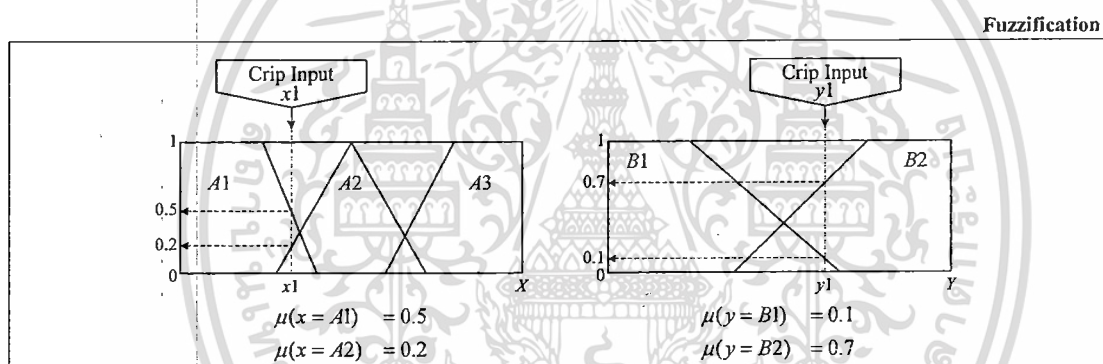
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์แบบ Mamdani

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani สำหรับตัวอย่างปัญหาที่ได้กล่าวถึงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.7.1 การหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification)

ขั้นตอนแรกเป็นการแปลงอินพุทแบบทวินัยหรือคริปอินพุท (Crisp Input) ให้อยู่ในรูปของค่าหรือระดับความเป็นสมาชิกที่สัมพันธ์กับแต่ละฟัซซีเซต ซึ่งคริปอินพุทในที่นี้หมายถึง ค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ที่สนใจ ตัวอย่างเช่น ค่า x_1 และ y_1 ในรูปที่ 3.25 ซึ่งเป็นคริปอินพุทที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X และ Y ตามลำดับ ส่วนขอบเขตของคริปอินพุทนั้นขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญระบบ อาทิ การจัดสรรเงินสนับสนุนโครงการ ทีมผู้บริหารอาจกำหนดให้ตัวเลข (ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์) 0 ถึง 100 แทนปริมาณเงินทุนของโครงการ เป็นต้น



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างการหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification)

จากรูปที่ 3.25 คริปอินพุท x_1 (เงินสนับสนุนโครงการที่ถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญให้มีค่าเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์) จะให้ค่าหรือระดับความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต A_1 (เพียงพอ) และ A_2 (เกือบไม่เพียงพอ) เท่ากับ 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ ส่วนคริปอินพุท y_1 (กลุ่มคนทำโครงการที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์) จะให้ค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต B_1 (กลุ่มเล็ก) และ B_2 (กลุ่มใหญ่) เท่ากับ 0.1 และ 0.7 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากการคริปอินพุทแต่ละตัวในขั้นตอนนี้จะถูกนำไปประมวลผลโดยกฎฟัซซีในขั้นตอนต่อไป

3.3.7.2 การประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี (Rule Evaluation)

ในขั้นตอนที่สอง ค่าความความเป็นสมาชิกที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า กล่าวคือ $\mu_{(x=A1)} = 0.5$, $\mu_{(x=A2)} = 0.2$, $\mu_{(y=B1)} = 0.1$ และ $\mu_{(y=B2)} = 0.7$ จะถูกนำมาประมวลผลตามกฎฟัซซีของระบบ เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตของกฎฟัซซีแต่ละข้อ ถ้ากฎฟัซซีประกอบด้วยเงื่อนไขหลายข้อ ตัวดำเนินการฟัซซี (AND หรือ OR) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณค่าผลลัพธ์ของกฎ ตัวอย่างเช่น

กฎข้อ 1

ถ้า x คือ $A3$ (0.0)

หรือ y คือ $B1$ (0.1)

แล้ว z คือ $C1$ (0.1)

ดังนั้น

$$\mu_{C1}(z) = \max(\mu_{A3}(x), \mu_{B1}(y)) = \max(0.0, 0.1) = 0.1$$

กฎข้อ 2

ถ้า x คือ $A2$ (0.2)

และ y คือ $B2$ (0.7)

แล้ว z คือ $C2$ (0.2)

ดังนั้น

$$\mu_{C2}(z) = \min(\mu_{A2}(x), \mu_{B2}(y)) = \min(0.2, 0.7) = 0.2$$

กฎข้อ 3

ถ้า x คือ $A1$ (0.5)

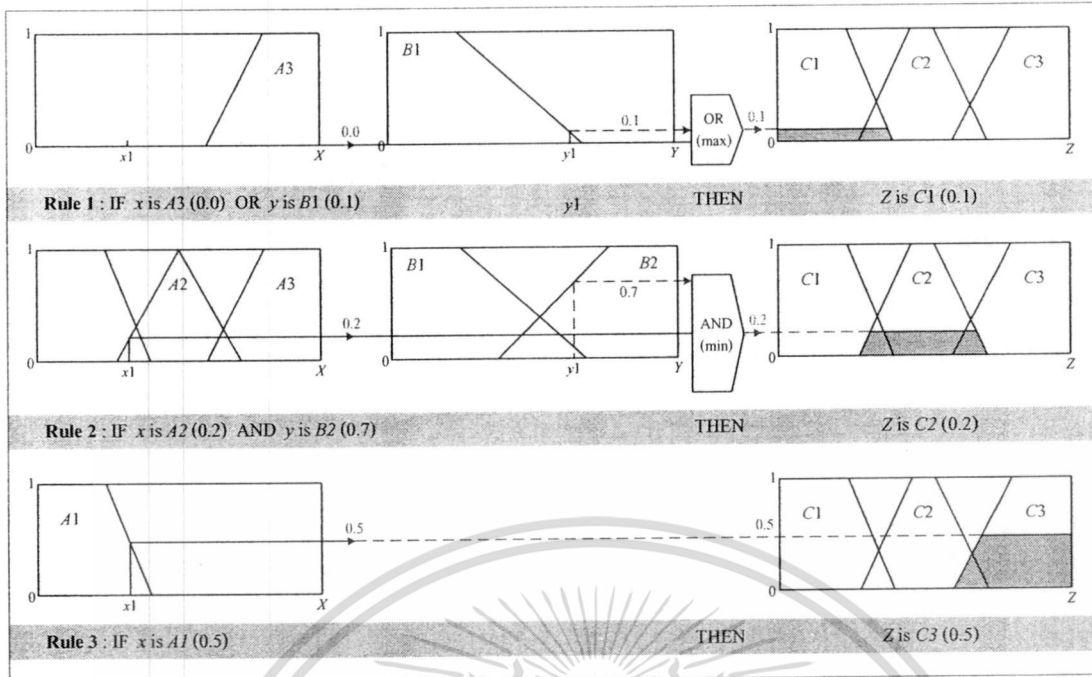
แล้ว z คือ $C3$ (0.2)

ดังนั้น

$$\mu_{C3}(z) = 0.5$$

จากตัวอย่างข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพการหาค่าเอาต์พุตของกฎฟัซซีได้ดังรูปที่ 3.26

Rule Evaluation



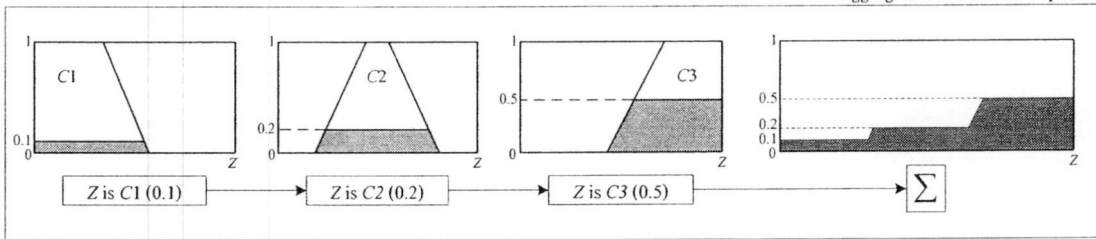
รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี

3.3.7.3 การรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อ (Aggregation of Rule Output)

ขั้นตอนนี้เป็นกรรวบรวมค่าผลลัพธ์หรือค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อในขั้นตอนที่แล้ว ให้กลายเป็นค่าฟัซซีเอาท์พุทของระบบเพียงค่าเดียว สำหรับวิธีการรวบรวมค่าความเป็นสมาชิกที่ไม่ขึ้นกับลำดับการพิจารณานั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการหาค่าสูงสุด (Maximum Method) ดังสมการที่ 3.13 หรือผลรวมพื้นที่ที่ได้กราฟดังรูปที่ 3.27

$$\mu_C(z) = \max(\mu_{C1}(z), \mu_{C2}(z), \dots, \mu_{Cl}(z)) \tag{3.13}$$

โดย $\mu_C(z)$ เป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเอาท์พุท Z และ $\mu_{C1}(z), \mu_{C2}(z), \dots, \mu_{Cl}(z)$ เป็นค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกฎฟัซซีข้อ 1, 2, ..., l ตามลำดับ



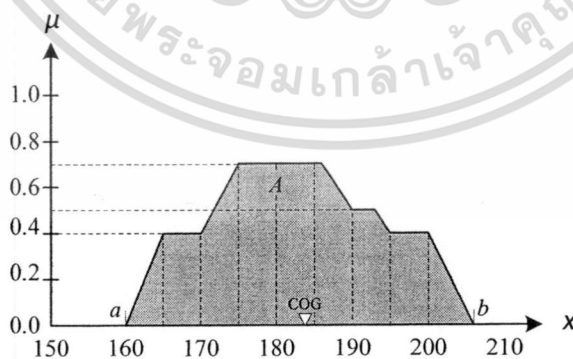
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างการรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซี

3.3.7.3 การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Defuzzification)

การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Crip Output) หรือค่าตัวเลขที่อยู่ในโดเมนคำตอบที่ต้องการ สามารถทำได้หลายวิธี แต่สำหรับระบบฟัซซีอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani จะอาศัยวิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) แบบประมาณเป็นหลัก ดังสมการที่ 3.14

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (3.14)$$

โดย x หมายถึงค่าหรือตำแหน่งของฟัซซีเอาต์พุต A ส่วน $\mu_A(x)$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเอาต์พุต (ที่ตำแหน่ง) x ในขณะที่ a และ b เป็นขอบเขตของฟัซซีเอาต์พุต A แสดงดังรูปที่ 3.28



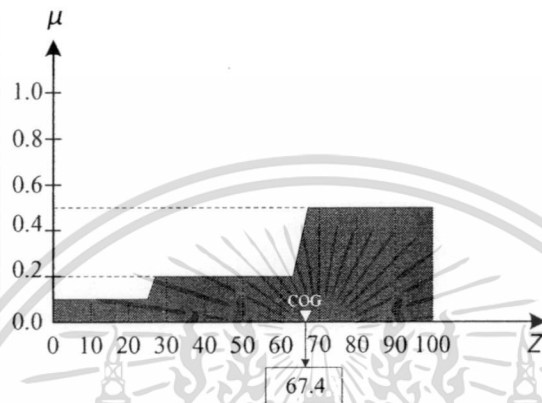
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างจุดศูนย์กลางถ่วง (COG) และขอบเขต (a และ b) ของฟัซซีเอาต์พุต A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง รูปที่ 3.29 แสดงพีชชีเอาท์พุทผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า สามารถแปลงเป็นค่าปกติโดยการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลางได้ดังนี้

$$COG = \frac{(0+10+20) \times 0.1 + (30+40+50+60) \times 0.2 + (70+80+90+100) \times 0.5}{0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5+0.5}$$

$$= 67.4 \quad (3.15)$$



รูปที่ 3.29 พีชชีเอาท์พุท Z และจุดศูนย์กลาง (COG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

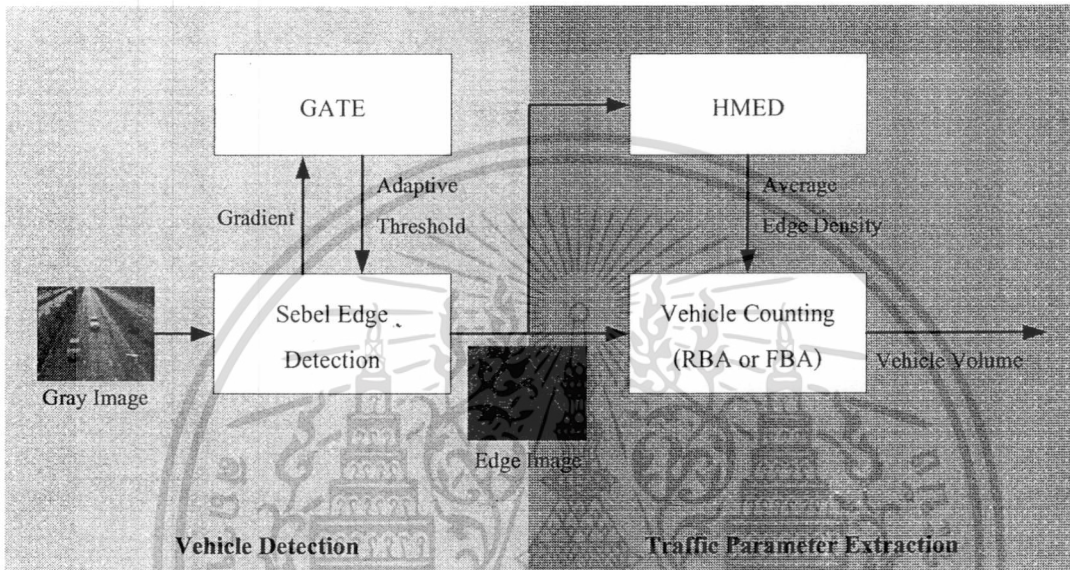
บทที่ 4

ระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ

ระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญหลักๆ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพถ่าย และ ขั้นตอนการติดตามยานพาหนะเพื่อดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพการจราจรจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนแรก เช่น ปริมาณยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะ และความหนาแน่นของยานพาหนะ เป็นต้น สำหรับระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่อาศัยเทคนิคการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล เพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง และเทคนิคกรอบหน้าต่างการตรวจจับเพื่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะเป็นหลัก เนื่องจากเทคนิคการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบลนั้นเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจจับยานพาหนะจากภาพถ่ายการจราจรภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ ส่วนเทคนิคกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ถูกเลือกใช้ควบคู่กันนั้น เป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่ถูกตรวจจับด้วยเทคนิคการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล สำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะด้วยวิธีการของโซเบลในงานวิจัยนี้จะอาศัยค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย (Gradient-based Adaptive Threshold Estimation: GATE) ส่วนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่อาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) และวิธีที่อาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA) อีกทั้งระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ยังได้มีการแก้ไขปัญหาการตรวจจับยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอโดยอาศัยค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริธึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (Horizontal Moving Edge Detection: HMED) โดยรายละเอียดโครงสร้างและลำดับขั้นการทำงานของระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ภาพรวมของระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ

ระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลักที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การตรวจจับยานพาหนะเพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง และการติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพรวมของระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่นำเสนอ

กล่าวคือ ภาพถ่ายการจราจรที่เป็นภาพระดับเทา (Gray Image) จะถูกนำมาตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบล (Sobel Edge Detection) เพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง โดยอาศัยค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสถานะแสงในภาพถ่าย (GATE) หลังจากนั้นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกนี้จะถูกส่งไปยังขั้นตอนถัดไป เพื่อติดตามและตรวจนับปริมาณยานพาหนะในภาพถ่าย สำหรับวิธีการติดตามและตรวจนับปริมาณยานพาหนะที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (RBA) และการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (FBA) โดยอัลกอริทึม RBA และ FBA ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องอาศัยค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED ด้วย ทั้งนี้เพื่อแก้ไขปัญหาความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะ โดยเฉพาะยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถบรรทุก รถประจำทาง รถพ่วง เป็นต้น ที่มักจะก่อให้เกิดปัญหาการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด

รายละเอียดและขั้นตอนการทำงานต่างๆ ของอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้ อัตโนมัติตามสภาวะแสงในภาพถ่าย (GATE) อัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (RBA) อัลกอริทึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (HMED) และอัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (FBA) นั้นจะมีรายละเอียดโครงสร้างและขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.2 อัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสภาวะแสงในภาพถ่าย (Gradient-based Adaptive Threshold Estimation: GATE) สำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะแบบไซเบล

การเลือกค่าขีดแบ่งสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของไซเบลนั้นเป็นส่วนที่สำคัญยิ่งต่อความสมบูรณ์ของเส้นขอบภาพของยานพาหนะและปริมาณจุดรบกวนที่จะเกิดขึ้นในภาพผลลัพธ์ ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมจะส่งผลให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะมีความสมบูรณ์มากและปรากฏจุดรบกวนในภาพผลลัพธ์ปริมาณน้อย แต่ในทางกลับกันค่าขีดแบ่งที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะในภาพผลลัพธ์ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดจุดรบกวนในภาพผลลัพธ์จำนวนมากอีกด้วย จากผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในสภาวะแสงที่แตกต่างกันที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3 พบว่าภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงที่แตกต่างกันนั้น นอกจากจะมีความคมชัดและค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง (Gradient) ที่แตกต่างกันแล้วยังต้องการค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อ 5.3.1 และ 5.3.2 ชี้ให้เห็นว่าค่าผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอน ($\max(|gv| + |gh|)$) สามารถบ่งบอกลักษณะหรือสภาวะแสงในภาพถ่ายได้ว่าเป็นภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงสลัว แสงปานกลาง หรือแสงจ้า โดยภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงสลัวจะมีค่า $\max(|gv| + |gh|)$ น้อยกว่า 0.55 ภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงปานกลางจะมีค่า $\max(|gv| + |gh|)$ อยู่ในช่วง [0.55-0.7] และภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงจ้าจะมีค่า $\max(|gv| + |gh|)$ มากกว่า 0.7 ตามลำดับ ส่วนค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะจากภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงสลัว แสงปานกลาง และแสงจ้าควรมีค่าเป็น 0.02 0.025 และ 0.03 ตามลำดับ แต่เนื่องจากบางครั้งค่า $\max(|gv| + |gh|)$ ของภาพถ่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจรรยาในสถานะแสงสว่างอาจมีค่าสูงผิดปกติ จนกระทั่งอาจมีค่าอยู่ในช่วงของภาพถ่าย การจรรยาในสถานะแสงปานกลาง ดังนั้นการพิจารณาค่า $\max(|gv| + |gh|)$ ที่ได้จากภาพถ่ายเพียงเฟรมเดียวอาจไม่สามารถบ่งบอกถึงสถานะแสงในภาพถ่ายที่แท้จริงได้ ด้วยเหตุนี้เองการพิจารณาค่าเฉลี่ย $\max(|gv| + |gh|)$ ของเฟรมปัจจุบันร่วมกับเฟรมข้างเคียงเพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอน (AMG: Average Maximum Gradient) จึงถูกประยุกต์ใช้เพื่อการเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะจากภาพถ่ายในสถานะแสงต่างๆ ของอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสถานะแสงในภาพถ่าย (GATE) ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$threshold = 0.02 + 0.005 \left(\text{floor} \left[\frac{AMG - 0.4}{0.15} \right] \right) \quad (4.1)$$

AMG (Average Maximum Gradient) คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอนซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

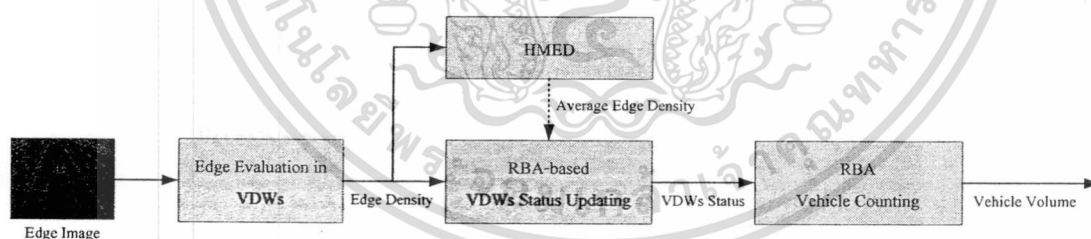
$$AMG(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \max(|gv(x-i)| + |gh(x-i)|) \quad (4.2)$$

- x คือ หมายเลขเฟรมที่ต้องการพิจารณา
 $gv(x)$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในแนวแกนตั้งของเฟรมหมายเลข x
 $gh(x)$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในแนวแกนนอนของเฟรมหมายเลข x
 N คือ จำนวนเฟรมเฉลี่ย

สำหรับจำนวนเฟรมเฉลี่ย (N) ที่ใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอนสำหรับงานวิจัยนี้ ควรมีค่าเท่ากับ 5 เฟรม เนื่องจากเป็นค่าจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึม GATE ดังแสดงผลการทดลองไว้ในหัวข้อ 5.3.3

4.3 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยอัลกอริธึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA)

การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยอัลกอริธึม RBA ประกอบด้วยขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน โดยมีโครงสร้างและลำดับขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.2 ขั้นตอนแรกคือ การคำนวณค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉพาะที่อยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ (Edge Evaluation in Vehicle Detection Windows : Edge Evaluation in VDWs) ขั้นตอนที่สองคือ การพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (RBA-based VDWs Status Updating) โดยการเปรียบเทียบปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (ค่าขอบเขตบน (Upper Bound) และค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) และในบางครั้งที่ค่าปริมาณเส้นขอบภาพไม่ชัดเจนเพียงพออาจมีการพิจารณาค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริธึม HMED ในขั้นตอนนี้ด้วยเพื่อแก้ไขปัญหาค่าความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะ ส่วนขั้นตอนสุดท้ายคือ การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริธึม RBA (RBA Vehicle Counting and Tracking) ดังมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.3.1 4.3.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของอัลกอริธึม RBA

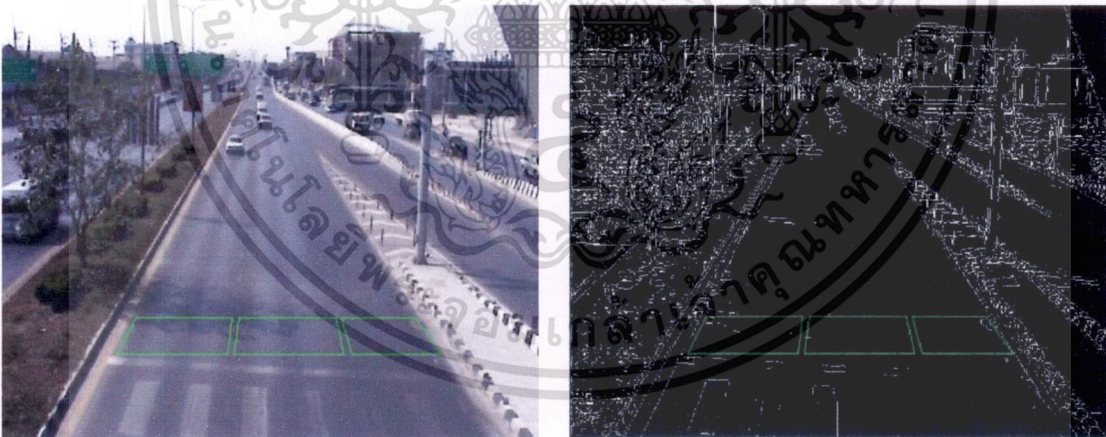
4.3.1 การคำนวณค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ (VDWs Edge Evaluation)

สำหรับการติดตามและตรวจนับยานพาหนะในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การติดตามและตรวจนับยานพาหนะบริเวณถนนที่มีช่องทางเดินรถสามช่องทาง โดยอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ (VDWs: Vehicle Detection Windows) ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทั้งนี้เพื่อความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการตรวจจับยานพาหนะจากภาพถ่ายการจราจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณถนนต่างๆ ซึ่งมักจะมีขนาด ตำแหน่ง และจำนวนช่องทางเดินรถที่แตกต่างกัน กรอบหน้าตาการตรวจจับ 1 กรอบจะใช้สำหรับการตรวจจับยานพาหนะใน 1 ช่องทางเดินรถเท่านั้น ขนาดของกรอบหน้าตาการตรวจจับแต่ละกรอบควรมีความยาวเท่ากับ ความกว้างของช่องทางเดินรถในภาพถ่าย และความกว้างประมาณ 2 ใน 5 ของความยาวของยานพาหนะขนาดกลางที่ปรากฏในภาพถ่าย เช่น รถเก๋ง รถกระบะ รถตู้ เป็นต้น ดังนั้นปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับ (E_{vdw}) จึงหมายถึงผลรวมของพิกเซลสีขาวทั้งหมดเฉพาะที่อยู่ในกรอบหน้าตาการตรวจจับ ($E(i)$) ถ้าเส้นขอบภาพในภาพผลลัพธ์จากการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบลถูกแทนด้วยพิกเซลสีขาว และส่วนที่ไม่ใช่เส้นขอบภาพถูกแทนด้วยพิกเซลสีดำดังแสดงในรูป 4.3 (ข.) แล้วปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3

$$E_{vdw} = \sum_{i=1}^{i=n} E(i) \quad (4.3)$$

n คือ จำนวนพิกเซลรวมของกรอบหน้าตาการตรวจจับ
 $E(i)$ คือ พิกเซลในกรอบหน้าตาการตรวจจับตำแหน่งที่ i



ก.

ข.

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกรอบหน้าตาการตรวจจับยานพาหนะที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้

หลังจากที่ได้คำนวณหาปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับจากภาพผลลัพธ์ของการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำค่าปริมาณเส้นขอบภาพที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิง สำหรับการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับ เพื่อพิจารณาว่า ณ ขณะนั้นมียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าตาการตรวจจับหรือไม่ โดยรายละเอียดของการพิจารณาค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับจะพิจารณาจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับ ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

4.3.2 การพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับของอัลกอริธึม RBA (RBA-based VDWs Status Updating)

ค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับ (S_{vdw}) สำหรับอัลกอริธึม RBA จะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในหน้าตาการตรวจจับหรือไม่ ซึ่งค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับ (E_{vdw}) ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 4.3 ในหัวข้อ 4.3.1 กับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงสำหรับการพิจารณาสถานะกรอบหน้าตาการจับสองค่าคือ ค่าขอบเขตบน (Upper Bound) และค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ที่มีค่าเท่ากับ 5 และ 3 เปรอเซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าตาการตรวจจับตามลำดับ การเลือกใช้ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่แปรผันตามขนาดของกรอบหน้าตาการตรวจจับจะส่งผลให้อัลกอริธึม RBA มีความยืดหยุ่นและคงประสิทธิภาพไว้ในระดับที่สม่ำเสมอ แม้ขนาดกรอบหน้าตาการตรวจจับที่ถูกกำหนด โดยผู้ใช้จะมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแตกต่างจากการใช้ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่ในงานวิจัยที่ [2] ที่ไม่มีความยืดหยุ่นต่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับที่กำหนดโดยผู้ใช้ (ซึ่งมักจะมีขนาดไม่คงที่) ทั้งนี้ค่าขอบเขตบนจะถูกใช้เพื่อพิจารณาสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับขั้นต้นว่า มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าตาการตรวจจับหรือไม่ ส่วนค่าขอบเขตล่างจะถูกใช้เพื่อตรวจสอบความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะ ที่มีปริมาณน้อยกว่าปกติ กล่าวคือ

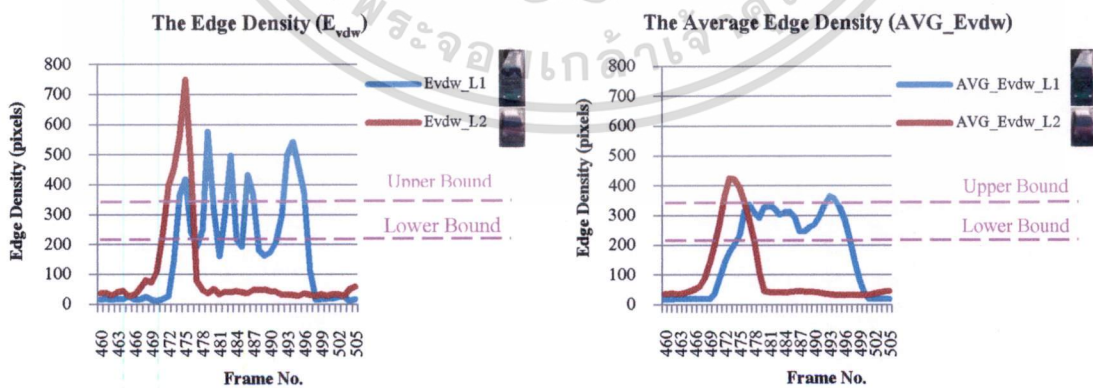
- ถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับมีค่ามากกว่าค่าขอบเขตบนแล้ว แสดงว่าขณะนั้นมียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าตาการตรวจจับ และให้แทนค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับด้วย 1
- แต่ถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับมีค่าน้อยกว่าค่าขอบเขตบน แต่ค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (สมการที่ 4.3) ยังคงมากกว่าค่าขอบเขตล่างอยู่ แสดงว่าในขณะนั้นมียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าตาการตรวจจับ แต่เป็นช่วงที่ยานพาหนะมีปริมาณเส้นขอบภาพน้อยกว่าปกติ ดังนั้นค่าสถานะในช่วงนี้จึงถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 1
- และถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับมีค่าน้อยกว่าค่าขอบเขตบน และค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (สมการที่ 4.3) มีค่าน้อยกว่าค่าขอบเขตล่างแล้ว แสดงว่าในขณะนั้นไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าตาการตรวจจับ และให้กำหนดค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับเป็น 0

การพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ได้กล่าวไปข้างต้น มีการนำค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยมาพิจารณาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจนับยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น รถบัส ดังแสดงรูปที่ 4.4 (ก.) เนื่องจากยานพาหนะดังกล่าวจะทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพบางช่วงเฟรมขณะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ มีค่าต่ำกว่าทั้งค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่าง ดังกราฟเส้นสีน้ำเงินในรูปที่ 4.4 (ค.) ช่วงเฟรมที่ 478 481 484 และ 489 ดังนั้นถ้าพิจารณาเพียงค่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะ โดยมิได้นำค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยมาพิจารณาร่วมด้วย จะส่งผลให้ค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงเฟรมเหล่านี้ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายความว่าช่วงเฟรมดังกล่าวไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ด้วยเหตุนี้เองยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอในลักษณะดังกล่าวจึงมักก่อให้เกิดปัญหาการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด (เกิดกรณีการตรวจนับยานพาหนะเกิน)



ก.

ข.



ค.

ง.

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายการจราจรจากชุดภาพถ่ายที่ 1.1.7 เฟรมที่ 469 (ก.) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงค่าปริมาณเส้นขอบภาพ (E_{vdw}) และค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (E_{vdw}) ในช่วงเฟรมที่ 460-505 (ค.-ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัญหาการติดตามและตรวจนับยานพาหนะดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (HMED) มาร่วมพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ดังแสดงในสมการที่ 4.4 เนื่องจากการเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพของอัลกอริทึม HMED นั้นจะทำให้ค่าปริมาณเส้นขอบภาพในช่วงเฟรมที่ 478 481 484 และ 489 จากเดิมที่มีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างนั้น กลับมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าค่าขอบเขตล่างดังแสดงในกราฟเส้นสีฟ้ารูปที่ 4.4 (ง.) ซึ่งการพิจารณาค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED นั้น จะทำก็ต่อเมื่อต้องการตรวจสอบให้แน่ใจว่าปริมาณเส้นขอบภาพที่น้อยกว่าค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างนั้นยังคงเป็นช่วงที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ช่วงเฟรมที่มีการเปลี่ยนค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะจาก 1 เป็น 0 นั้นเอง

$$S_{vdr}(i) = \begin{cases} 1 & UpperBound < E_{vdr}(i) | ((0 < S_{vdr}(i-1)) \wedge (LowerBound < AvgE_{vdr}(i))) \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (4.4)$$

จากสมการที่ 4.4 *Upper Bound* และ *Lower Bound* คือ ค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างที่มีค่าเท่ากับ 5% และ 3% ของขนาดกรอบหน้าต่างตรวจจับตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าเปรียบเทียบอ้างอิงสำหรับการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม RBA ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.4 ส่วน $AvgE_{vdr}$ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างตรวจจับยานพาหนะที่ได้จากอัลกอริทึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (HMED) ดังแสดงในสมการที่ 4.5

$$AvgE_{vdr}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} E_{vdr}(x+i) \quad (4.5)$$

สำหรับจำนวนเฟรมเฉลี่ย (N) ของอัลกอริทึม HMED ที่ใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณเส้นขอบภาพในงานวิจัยนี้ใช้ค่าจำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 7 เฟรม เนื่องจากเป็นค่าจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม HMED ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.5 และการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในเฟรมก่อนหน้า ($S_{vdr}(i-1)$) ในสมการที่ 4.4 ในงานวิจัยนี้ จะทำก่อนการพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพ ($AvgE_{vdr}$) ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของเฟรมปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการประมวลผลในส่วนการเฉลี่ยค่าปริมาณเส้นขอบภาพของอัลกอริทึม HMED ในเฟรมที่ไม่จำเป็น กล่าวคือ ถ้าค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในเฟรมก่อนหน้ามีค่าเป็น 0 แล้วแสดงว่าในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟรมก่อนหน้านั้นยังไม่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับมาก่อน ดังนั้นคงเป็นไปได้ที่จะเกิดความไม่สม่ำเสมอของเส้นขอบภาพของยานพาหนะในเฟรมถัดมา

หลังจากได้ค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับมาพิจารณาเพื่อตรวจนับจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับ ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.4.3

4.3.3 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับ (RBA Vehicle Counting)

การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับอัลกอริธึม RBA ซึ่งมีหน้าที่สำคัญที่จะรายงานจำนวนยานพาหนะ (V_{vdw}) ที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับแต่ละกรอบ โดยการติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับในขั้นตอนนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ การตรวจจับหมายเลขเฟรมแรก (*FrameIn*) และหมายเลขเฟรมสุดท้าย (*FrameOut*) ที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับ และการนับจำนวนยานพาหนะ (V_{vdw}) ที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับแต่ละกรอบจากผลต่างหมายเลขเฟรมแรกและสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนแรก ดังมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับจะทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับเกิดการเปลี่ยนแปลงและส่งผลให้ค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 ณ เฟรมแรกที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เข้ามาในกรอบหน้าตาการตรวจจับ (*FrameIn*) และในทางกลับกันค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับจะเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 หลังจากเฟรมสุดท้ายที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับ (*FrameOut*) จากลักษณะการเปลี่ยนค่าสถานะของกรอบหน้าตาการตรวจจับดังกล่าวจึงสามารถสรุปเป็นสมการพิจารณาหมายเลขเฟรมแรกและเฟรมสุดท้ายที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับได้ดังแสดงในสมการที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

$$FrameIn = i ; S_{vdw}(i) - S_{vdw}(i-1) < 0 \quad (4.6)$$

$$FrameOut = i ; S_{vdw}(i) - S_{vdw}(i-1) > 0 \quad (4.7)$$

โดย i คือ หมายเลขเฟรมปัจจุบันของภาพถ่ายการจราจรที่กำลังติดตามและตรวจนับยานพาหนะอยู่

หลังจากที่หมายเลขเฟรมแรกและหมายเลขเฟรมสุดท้ายของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับได้ถูกตรวจนับแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ (V_{veh}) ที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับจากการพิจารณาค่าผลต่างหมายเลขเฟรมแรกและหมายเลขเฟรมแรกสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนแรก ซึ่งค่าผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมแรกและหมายเลขเฟรมแรกสุดท้ายคือ ระยะเวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับในรูปของจำนวนเฟรม (F_V) ดังแสดงในสมการที่ 4.8

$$F_V = FrameOut - FrameIn \quad (4.8)$$

ทั้งนี้จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับของระบบมาจากจำนวนยานพาหนะในแต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจนับนั้นตรวจนับได้ (V_{veh}) โดยจำนวนยานพาหนะในแต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจนับจะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1 หลังจากเฟรมสุดท้ายที่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับนั้นๆ ไปแล้ว อีกทั้งการเพิ่มจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับในงานวิจัยนี้จะต้องมีการพิจารณาถึงจำนวนเฟรมที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับ (F_V) และปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจนับข้างเคียง ($N_{E_{veh}}$) ร่วมด้วยดังแสดงในสมการที่ 4.9

$$V_{veh} = V_{veh} + 1 ; MFC \leq F_V | N_{E_{veh}} \leq UpperBound \quad (4.9)$$

| | |
|---------------|--|
| V_{veh} | คือ จำนวนยานพาหนะของแต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจนับ |
| F_V | คือ จำนวนเฟรมที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับ |
| MFC | คือ จำนวนเฟรมที่น้อยที่สุดที่ยานพาหนะใช้เพื่อเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับ (ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า $MFC = 2$) |
| $N_{E_{veh}}$ | คือ ปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจนับข้างเคียง |

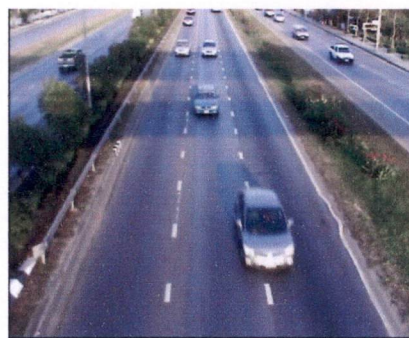
สาเหตุที่จำเป็นต้องมีการพิจารณาจำนวนเฟรมที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับ เนื่องจากจำนวนเฟรมที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจนับนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้หรือเป็นตัวตรวจสอบอีกครั้งว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจนับที่ทำให้ค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจนับมีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงนั้น แท้จริงแล้วมาจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ หรือมาจากจุดบริเวณที่มากเกินปกติของระบบกันแน่ เพราะ โดยปกติแล้วยานพาหนะที่วิ่งด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยโดยประมาณไม่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 2 เฟรม ซึ่งค่าข้อมูลเชิงสถิติดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จำนวนเฟรมที่น้อยที่สุดที่ยานพาหนะใช้เพื่อเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4 สำหรับชุดภาพถ่ายการจราจรที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น เป็นชุดภาพถ่ายที่ถูกบันทึกด้วยกล้องวิดีโอที่มีอัตราการแสดงภาพ 25 เฟรมต่อวินาที จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของยานพาหนะนั้น จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าสถานะเป็น 1 ต่อเนื่องกันอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 2 เฟรม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ยานพาหนะใช้เพื่อเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (F_V) นั้น มีค่าเท่ากับ 2 เฟรม

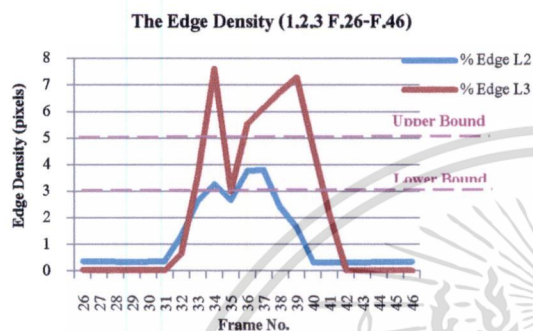
สำหรับการพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของช่องทางเดินรถข้างเคียง (N_{Edw}) เพื่อการตรวจนับจำนวนยานพาหนะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจตามสมการที่ 4.9 ที่ได้นำเสนอไปข้างต้นนั้น เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาการตรวจนับยานพาหนะขาด ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางของยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพน้อย เพราะยานพาหนะดังกล่าวจะถูกตรวจจับได้ในช่วงเฟรมสั้นๆ เท่านั้น กล่าวคือน้อยกว่า 2 เฟรม ซึ่งเป็นจำนวนเฟรมที่น้อยกว่าค่า MFC สาเหตุที่ทำให้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถถูกตรวจจับในช่วงเฟรมสั้นๆ นั้นมาจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนนั่นเอง โดยปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ถูกแบ่งนี้อาจมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันหรือไม่ใกล้เคียงกันเลยก็ได้ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเคลื่อนที่และปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในแต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ทั้งนี้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับทั้งสองแตกต่างกันมาก และกลุ่มที่มีปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองใกล้เคียงกัน โดยปัญหาการตรวจจับยานพาหนะขาดที่ได้กล่าวนำไปข้างต้นนั้นจะเกิดกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางในกลุ่มที่สองเท่านั้น โดยที่ยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางในแบบแรกจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการตรวจนับยานพาหนะขาดแต่อย่างใด ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



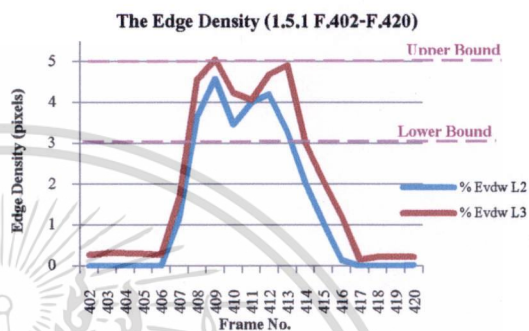
ก.



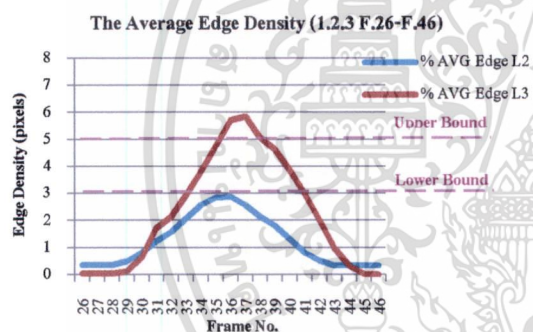
ง.



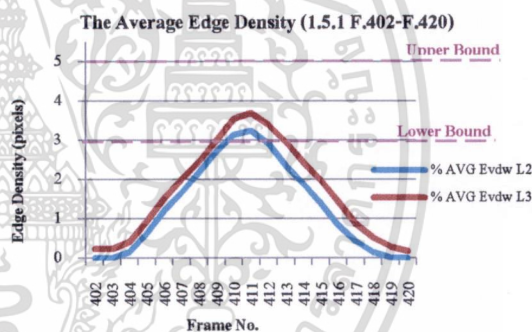
จ.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพถ่าย ปริมาณเส้นขอบภาพและปริมาณเส้นของภาพเฉลี่ยในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางกลุ่มที่ 1 (ก.-ค) และกลุ่มที่ 2 (ง.-จ.)

รูปที่ 4.5 (ก.) แสดงตัวอย่างภาพถ่ายยานพาหนะที่เคลื่อนที่ที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางกลุ่มแรก ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองแตกต่างกันมาก เมื่อพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ข.) จะเห็นได้ว่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 (กราฟเส้นสีแดง) นั้นจะมีค่ามากกว่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 (กราฟเส้นสีฟ้า) มาก และปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 มักจะมีค่ามากกว่าค่า Upper Bound เสมอ 1 ถึงแม้ว่าเฟรมที่ 35 จะมีค่าต่ำกว่าค่า Upper Bound แต่เมื่อพิจารณาค่าปริมาณเส้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบภาพเฉลี่ย ณ เฟรมดังกล่าวในรูปที่ 4.5 (ค.) จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย ณ เฟรมดังกล่าวยังคงมีค่ามากกว่าค่า Upper Bound อยู่ดี ซึ่งค่าปริมาณเส้นขอบภาพที่มากกว่าค่า Upper Bound นี้จะทำให้สถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 มีค่าเป็น 1 และถ้าตรวจนับจำนวนเฟรมที่ยานพาหนะคันดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 จะพบว่ายานพาหนะดังกล่าวมีจำนวนเฟรมรวมที่ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (F_V) มากกว่าค่า MFC ที่มีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถคันดังกล่าวจึงถูกตรวจนับที่กรอบการตรวจจับที่ 3 ในขณะเดียวกัน จะไม่ถูกตรวจนับซ้ำในกรอบการตรวจจับที่ 2 เนื่องจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 จะมีค่าน้อยกว่าค่า Upper Bound เสมอ อีกทั้งปริมาณเส้นขอบภาพส่วนใหญ่ยังมีค่าน้อยกว่าค่า Lower Bound อีกด้วย เมื่อพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับตามสมการที่ 4.4 ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จะพบว่าค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 นี้ มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายถึงการไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั่นเอง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางในกลุ่มที่มีค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองแตกต่างกันมาก ถูกตรวจนับอย่างถูกต้องเพียงครั้งเดียวในกรอบการตรวจจับที่มีปริมาณเส้นขอบภาพมากกว่า ฉะนั้นจึงส่งผลให้ยานพาหนะในกลุ่มนี้ไม่ก่อให้เกิดการตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาดนั่นเอง

รูปที่ 4.5 (ง.) แสดงภาพตัวอย่างยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางกลุ่มที่สอง ที่มีปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ใกล้เคียงกัน จากกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 และ 3 ที่ยานพาหนะดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านดังแสดงในรูปที่ 4.5 (จ.) ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบการตรวจจับที่ 2 (กราฟเส้นสีฟ้า) และปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบการตรวจจับที่ 3 (กราฟเส้นสีแดง) นั้นมีปริมาณและการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วค่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบการตรวจจับทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่าค่า Upper Bound เสมอ ยกเว้นเพียงเฟรมเดียวคือ เฟรมที่ 409 ซึ่งเป็นเฟรมที่มีปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 มีค่ามากกว่าค่า Upper Bound ดังนั้นเฟรมที่ 409 จึงเป็นเพียงเฟรมเดียวที่ค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 มีค่าเป็น 1 หรืออาจกล่าวได้ว่ายานพาหนะคันนี้จะถูกตรวจจับเพียงครั้งเดียว ณ เฟรมที่ 409 โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 อย่างไรก็ตามการที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสถานะเป็น 1 เพียงเฟรมเดียวนั้น ไม่เพียงพอที่จะสรุปว่ามียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับแล้ว เพราะมีความเป็นไปได้ที่การเปลี่ยนแปลงค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับเป็น 1 เพียงแค่เฟรมเดียวนั้น อาจมาจากเส้นขอบภาพส่วนเกินบางส่วนที่เกิดจากมุมมองของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถข้างเคียงก็เป็นได้ แต่สิ่งที่จะบ่งบอกความแตกต่างระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าสถานะกรอบหน้าต่างการตรวจจับเพียงแค่เฟรมเดียวที่มาจากเส้นขอบภาพส่วนเกินของยานพาหนะในช่องทางเดินรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

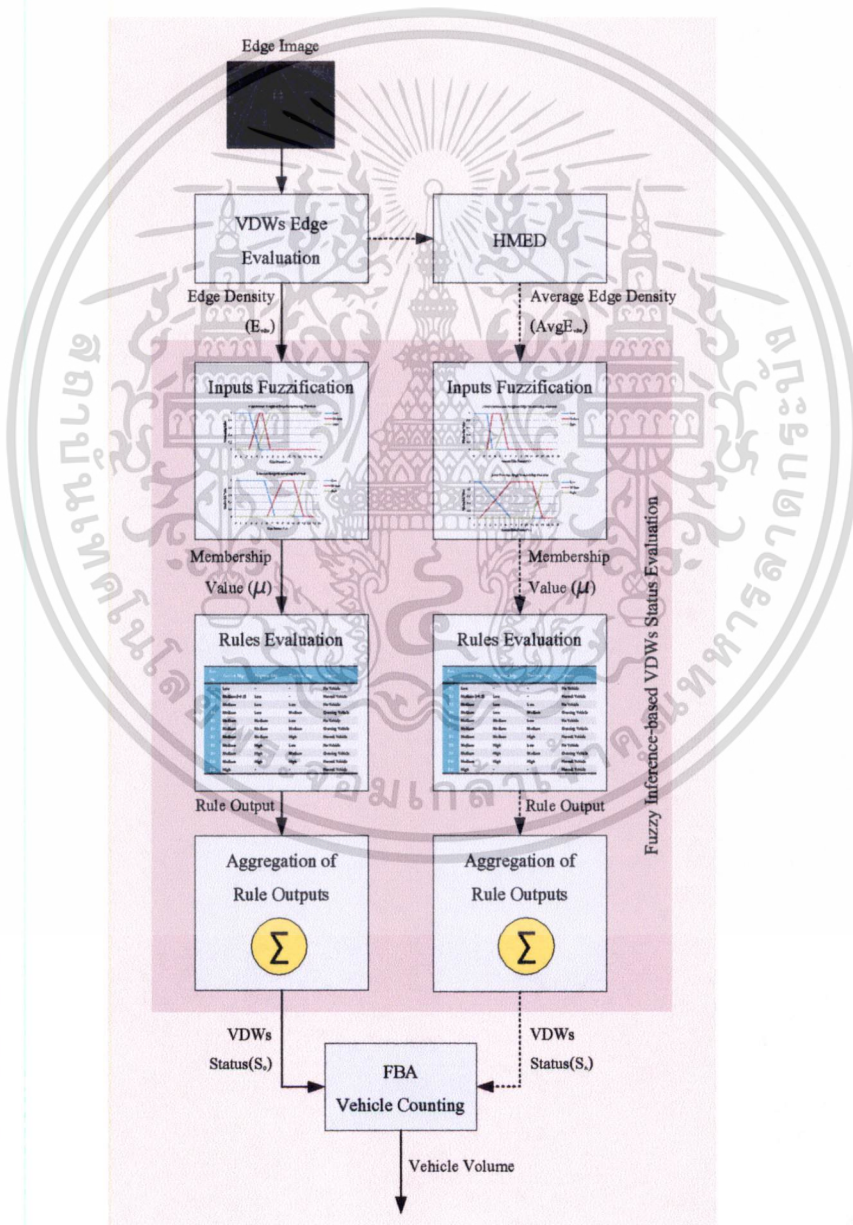
ข้างเคียง กับที่มาจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินสองช่องทางในกลุ่มที่สองนี้ คือ การพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะเฟรมข้างเคียง (N_{Edw}) ร่วมด้วย เพราะจากรูปที่ 4.5 (จ.) ซึ่งให้เห็นว่า ณ เฟรมที่ 409 ซึ่งเป็นเฟรมที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 เป็น 1 นั้น ปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 ซึ่งเป็นกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 นั้นจะมีปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะน้อยกว่าค่า Upper Bound เสมอ ในทางกลับกันถ้าการเปลี่ยนแปลงสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับเป็น 1 เพียงแค่เฟรมเดียวมาจากเส้นขอบภาพส่วนเกินบางส่วนที่เกิดจากมุมกล้องของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถข้างเคียงแล้ว ปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงนั้นจะต้องมีค่ามากกว่าค่า Upper Bound เสมอ เพราะปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวนั้นจะมีค่ามากกว่าค่า Upper Bound เสมอนั่นเอง

ด้วยเหตุผลนี้เองจึงต้องมีการพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงก่อนเสมอ ถ้าค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจมีค่าเป็น 1 เพียงแค่เฟรมเดียว หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้ากรอบหน้าต่างการตรวจจับสามารถตรวจนับจำนวนเฟรมที่ยานพาหนะใช้เพื่อเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับได้น้อยกว่าค่า MFC แล้ว จะต้องพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงก่อนเสมอว่ามีค่าน้อยกว่าค่า Upper Bound หรือไม่ ก่อนจะพิจารณาให้เพิ่มจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจนั้น

4.4 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยอัลกอริธึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA)

การพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับด้วยการเปรียบเทียบค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิง (ค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) และค่าขอบเขตบน(Upper Bound)) ของอัลกอริธึม RBA เพียงอย่างเดียวอาจไม่มีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับเมื่อมียานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ เนื่องจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนตามลักษณะการเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้ค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับสองกรอบที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านนั้นมีค่ากำลังอยู่ระหว่างช่วงที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่กับช่วงที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ตกอยู่ในแต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ด้วยเหตุนี้เองยานพาหนะดังกล่าวจึงมักจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกตรวจนับขาดถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านมีค่าอยู่ในช่วงที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ (มีค่าน้อยกว่าค่า Lower Bound) และในทางกลับกัน ถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองกรอบที่ยานพาหนะดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่าน มีค่าอยู่ในช่วงที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ (มีค่ามากกว่าค่า Upper Bound) แล้วจะทำให้ยานพาหนะคันดังกล่าวถูกตรวจนับมากกว่า 1 ครั้ง หรือที่เรียกว่าการตรวจนับยานพาหนะเกินนั่นเอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference System) เพื่อแก้ไขปัญหาความคลุมเครือของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่เกิดจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางดังกล่าว



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของอัลกอริทึม FBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยอัลกอริธึม FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะประกอบด้วยขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน โดยมีโครงสร้างและลำดับขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 สำหรับขั้นตอนแรก คือ การคำนวณค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่าง การตรวจจับ (VDWs Edge Evaluation) ขั้นตอนที่สอง คือ การพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่าง การตรวจจับบนรากฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference-based VDW Status Evaluation) และขั้นตอนสุดท้าย คือ การติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริธึม FBA (FBA Vehicle Counting and Tracking) สำหรับการคำนวณค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับในขั้นตอนแรกของอัลกอริธึม FBA นั้นจะเหมือนกับการคำนวณค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริธึม RBA ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.1 ทุกประการ ส่วนรายละเอียดในขั้นตอนที่สองและสามของอัลกอริธึม FBA นั้นจะถูกกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อ 4.4.2 และ 4.4.3 ตามลำดับ

สำหรับการติดตามและตรวจนับจำนวนยานพาหนะด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ จะต้องอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) และกฎการพิจารณา (Rule) โดยเงื่อนไขทั้งสองเป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงหน้าที่และประสิทธิภาพของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ถูกต้องแบบ ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎการพิจารณาของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครืออื่นนั้น จะได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบอย่างละเอียดโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎการพิจารณาที่เหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หลักของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแต่ละระบบ เนื่องจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎการพิจารณาที่เหมาะสมจะส่งผลให้การประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ได้สร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎการพิจารณาของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ถูกใช้เพื่อพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริธึม FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ จึงได้มาจากการวิเคราะห์ปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงเฟรมต่างๆ ทั้งที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ ที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ และมียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวปรากฏอยู่ ดังจะกล่าวต่อไป

4.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) และกฎการพิจารณาที่เหมาะสมของอัลกอริธึม FBA (Fuzzy-based algorithm with adaptive parameters)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) สำหรับอัลกอริธึม FBA เป็นตัวบ่งชี้สถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะในแต่ละกรอบจากปริมาณเส้นขอบภาพ ว่ามี

ยานพาหนะปรากฏอยู่หรือไม่ ถ้ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าตาต่างการตรวจจับแล้ว ยานพาหนะที่ปรากฏอยู่นั้นเป็นยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางหรือเป็น ยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางเดียว ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ อัลกอริทึม FBA นั้นจะประกอบด้วย

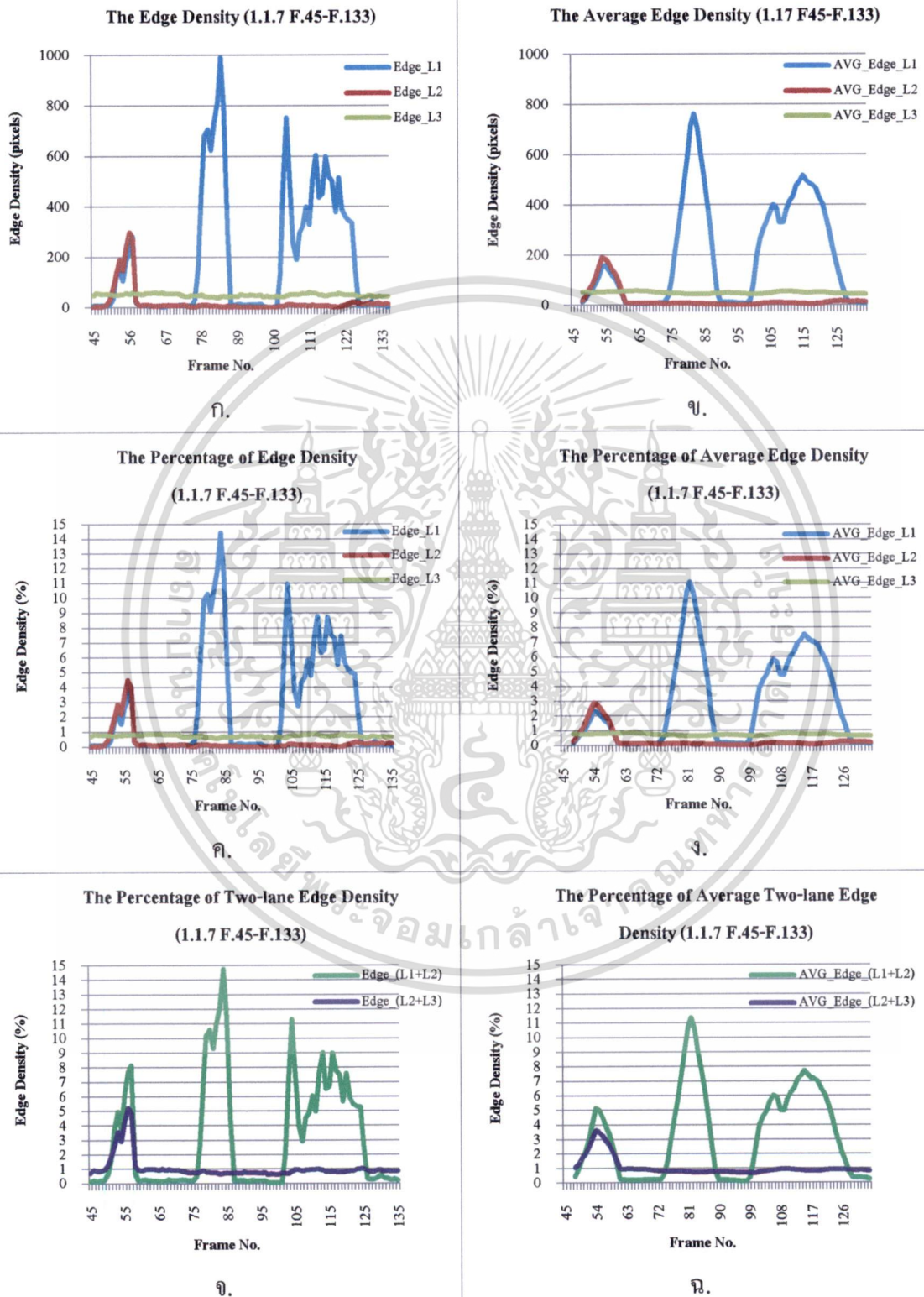
- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าตาต่างการตรวจจับ จากปริมาณเส้นขอบภาพ ซึ่งได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของ โซเบล
- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟังก์ชันสำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าตาต่างการ ตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED

ทั้งนี้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้งสอง เป็นฟังก์ชันสมาชิกที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณ เส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาต่างการตรวจจับขณะที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ ขณะที่มียานพาหนะที่ เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ และขณะที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ใน ช่องทางเดินรถเพียงช่องทางปรากฏอยู่ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าตาต่างการ ตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพซึ่งได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วย วิธีการของโซเบล

เมื่อพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาต่างการตรวจจับ ณ ช่วงเฟรมที่ มียานพาหนะปรากฏอยู่ทั้งแบบที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางและที่ เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก.) ช่วงเฟรมที่ 45-56 และช่วงเฟรมที่ 78-89 ตามลำดับ พบว่าปริมาณเส้นขอบภาพภายในกรอบหน้าตาต่างการ ตรวจจับที่มียานพาหนะเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ โดยจะมี ค่าโดยประมาณอยู่ในช่วง 100-400 พิกเซล หรือคิดเป็นร้อยละที่สัมพันธ์กับขนาดกรอบ หน้าตาต่างการตรวจจับได้ประมาณ 1.5-6 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ค.) และสำหรับ ปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาต่างการตรวจจับ ณ ช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่ เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางปรากฏอยู่จะมีค่าปริมาณเส้นขอบภาพ โดยประมาณมากกว่า 400 พิกเซล หรือมากกว่าร้อยละ 6 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป นอกจากนี้ จากกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าตาต่างการตรวจจับที่สาม (กราฟเส้นสี เขียวอ่อน) ซึ่งไม่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านเลยดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก.) และ

รูปที่ 4.7 (ค) ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับที่ไม่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านนั้นจะมีค่าน้อยกว่า 100 พิกเซล หรือประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพและปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของภาพถ่ายการจราจรชุด

ที่ 1.1.7 ช่วงเฟรมที่ 45-135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

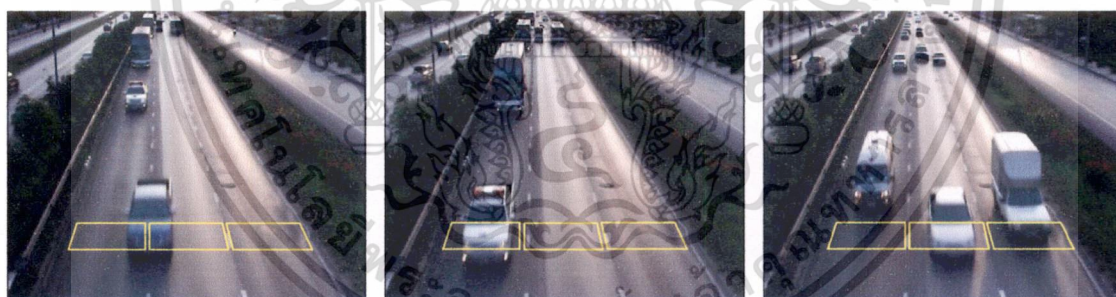
จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงเฟรมที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ทั้งสองลักษณะและในช่วงเฟรมที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และจากผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะในลักษณะเดียวกันของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 นั้นสามารถนำมาสรุปและสร้างเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะในแต่ละกรอบจากปริมาณเส้นขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก.) กล่าวคือ ปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับช่วงเฟรมที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์เส้นขอบภาพน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ (กลุ่ม Low) ส่วนช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์เส้นขอบภาพอยู่ในช่วง 2.5-6.5 (กลุ่ม Medium) และสำหรับช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์เส้นขอบภาพมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ (กลุ่ม High) อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟังก์ชันในรูปที่ 4.9 (ก.) แต่เพียงตัวเดียวนั้นยังไม่เพียงพอที่จะพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับได้ ในกรณีที่ในกรอบการตรวจจับนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์เส้นขอบภาพอยู่ในช่วง 2.5-6.5 ซึ่งเป็นช่วงที่คลุมเครือระหว่างกลุ่ม Low กลุ่ม Medium และกลุ่ม High ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเส้นขอบภาพในช่วงดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นปริมาณเส้นขอบภาพในช่วงเฟรมที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่แต่กลับมีจุดรบกวนมากจนกระทั่งทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพนั้นเข้าใกล้ช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ในขณะเดียวกันก็มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นปริมาณเส้นขอบภาพในช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางแบบ ไม่ได้อยู่กึ่งกลางช่องทางเดินรถทั้งสอง โดยปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของช่องทางเดินรถที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านด้านที่มากกว่าจะมีค่าสูงจนใกล้เคียงกับช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางเดียว ในทางกลับกันปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของช่องทางเดินรถที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านด้านที่น้อยกว่า จะมีค่าน้อยจนใกล้เคียงกับช่วงเฟรมที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่แต่มีจุดรบกวนมาก ด้วยเหตุนี้เองจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอีกหนึ่งตัวเพื่อมาช่วยพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่มีปริมาณเส้นขอบภาพอยู่ในช่วงที่คลุมเครือดังกล่าว

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวที่สองที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงที่มีความคลุมเครือ นั่นคือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในรูปที่ 4.9 (ข.) ซึ่งเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่พิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ จากค่าผลรวมปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบการตรวจจับที่อยู่ติดกัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าผลรวมของเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบ ที่ยานพาหนะเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่นั้นมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องเดี่ยวเสมอไม่ว่ายานพาหนะจะเคลื่อนที่ครอบคลุมช่องทางเดินรถในรูปแบบใดก็ตามดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2 ซึ่งคุณสมบัตินี้จะช่วยจำแนกปริมาณเส้นขอบภาพในช่วงเฟรมที่มีและไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ออกจากกันได้อย่างชัดเจนมากขึ้น กล่าวคือ

- ถ้าผลรวมเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบที่อยู่ติดกันมีค่าอยู่ในช่วง 6-13 เพอร์เซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับเฉลี่ยแล้ว แสดงว่าช่วงเฟรมนั้นมียานพาหนะที่เคลื่อนที่ครอบคลุมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ดังแสดงดังรูปที่ 4.8 (ก.) หรืออาจมียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดี่ยวปรากฏอยู่ในช่องทางเดินรถช่องใดช่องหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ข.)
- แต่ถ้าผลรวมเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบที่อยู่ติดกันมีค่ามากกว่า 11 เพอร์เซ็นต์ขึ้นไปแล้ว แสดงว่ามียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดี่ยวปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ค.)
- และถ้าผลรวมเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบที่อยู่ติดกันมีค่าน้อยกว่า 7.5 เพอร์เซ็นต์แล้ว แสดงว่าไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองกรอบนั่นเอง



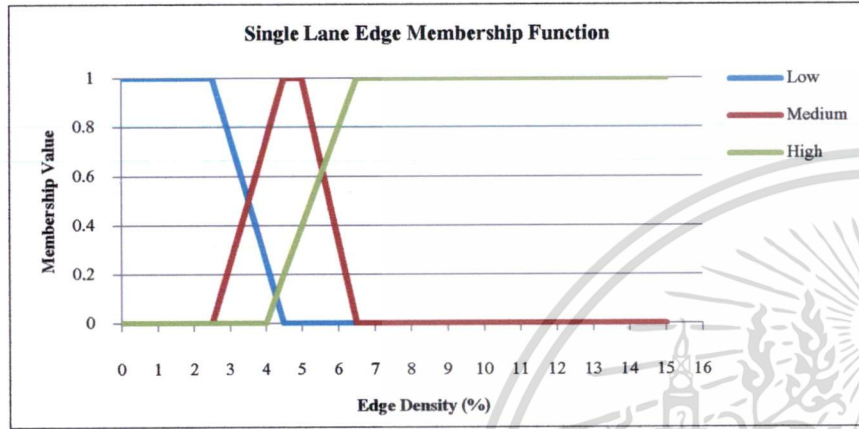
ก.

ข.

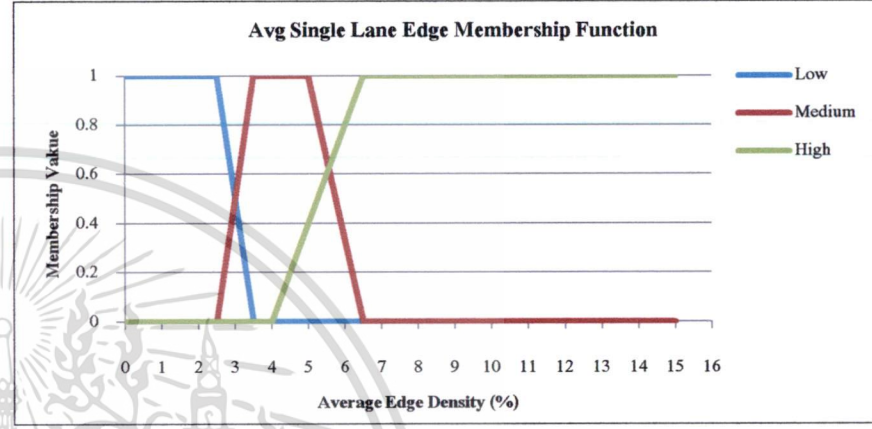
ค.

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1.7 เฟรมที่ 50 (ก.) เฟรมที่ (79) และเฟรมที่ 520 (ค.)

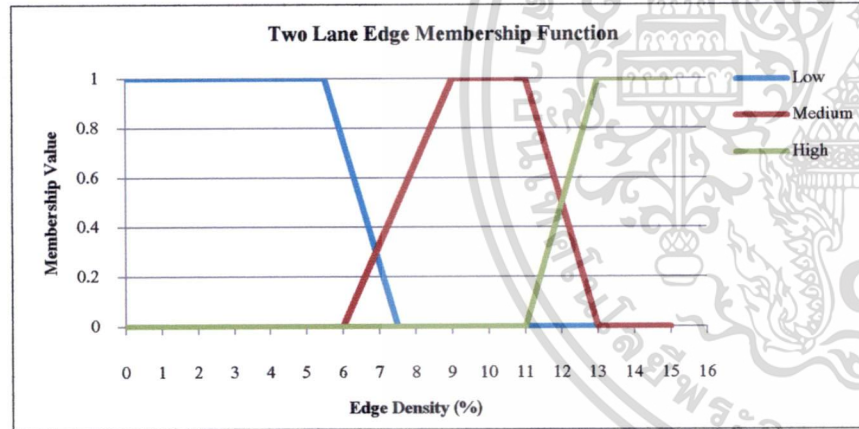
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



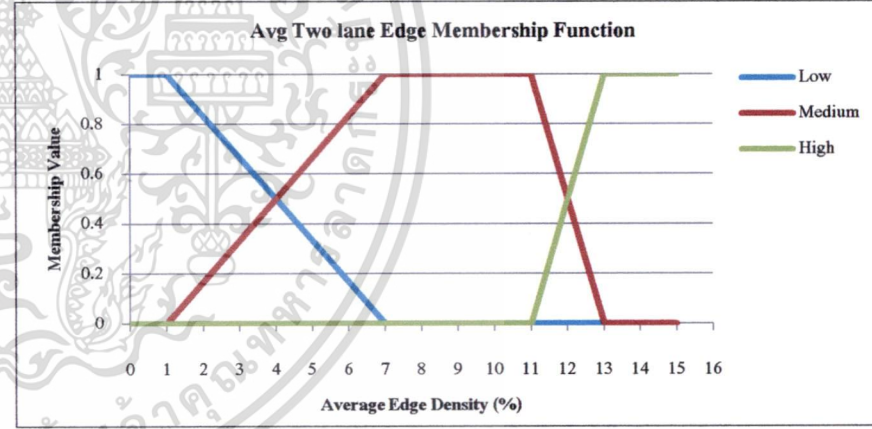
ก.



ค.



ข.



ง.

รูปที่ 4.9 Single Lane Edge Membership Function (ก.) Two Lane Edge Membership Function (ข.) Average Single Lane Edge Membership Function (ค.) และ Average Two Lane Edge Membership Function (ง.) ของอัลกอริทึม FBA

4.4.1.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED

ปริมาณเส้นขอบภาพที่ไม่สม่ำเสมอของยานพาหนะกลุ่มที่ 2 และ 3 ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2.1 ดังตารางที่ 5.7 อาจก่อให้เกิดปัญหาการตรวจจับยานพาหนะเกินได้ถ้าใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในรูปที่ 4.9 (ก.) และ (ข.) ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.2.1.1 สำหรับพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับขณะที่ยานพาหนะกลุ่มนี้เคลื่อนที่ผ่าน เนื่องจากค่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะดังกล่าวในบางช่วงเฟรมจะมีค่าต่ำกว่าปกติมากจนกระทั่งมีค่าเข้าใกล้ปริมาณเส้นขอบภาพในช่วงเฟรมที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่ หรืออาจมีค่าเข้าใกล้ช่วงเฟรมที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่เลยก็เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก.) (ค.) และ (จ.) ช่วงเฟรมที่ 110 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED มาช่วยพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ เพราะปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED นั้นจะมีค่าสม่ำเสมอมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ข) (ง.) และ (ฉ) โดยเฉพาะช่วงเฟรมที่ 110 จะเห็นได้ว่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED นั้นมีค่าสูงขึ้นและอยู่ในช่วงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพในรูปที่ 4.7 (ก.) (ง.) และ (ฉ.) จะพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพที่ได้จากอัลกอริทึม HMED นั้นมีค่าน้อยกว่าปริมาณเส้นขอบภาพตั้งต้นก่อนการเฉลี่ยในรูปที่ 4.7 (ก.) (ค.) และ (จ.) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับเมื่อมียานพาหนะปรากฏอยู่จะมีค่าอยู่ในช่วง 1-4 เปอร์เซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ง.) ช่วงเฟรมที่ 45-63 และจะมีค่ามากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์สำหรับยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ข.) ช่วงเฟรมที่ 12-90 และ 99-126 และค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับจะมีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์เมื่อไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ดังแสดงในกราฟเส้นสีเขียวรูปที่ 4.7 (ง.) สำหรับค่าเฉลี่ยผลบวกของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางปรากฏอยู่นั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 1-6 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ฉ) ช่วงเฟรมที่ 45-63

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED ข้างต้น ร่วมกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นขอบภาพเพิ่มเติมในลักษณะเดียวกันนี้ของ

ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 สามารถนำมาสรุปและสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก สำหรับการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED ดังแสดงในรูปที่ รูปที่ 4.9 (ค.) และ (ง.) ตามลำดับ

4.4.1.3 กฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับยานพาหนะจากปริมาณเส้นขอบภาพสำหรับอัลกอริทึม FBA

กฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริทึม FBA จะทำหน้าที่เป็นตัวตัดสินสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับตัวสุดท้ายจากค่าความน่าจะเป็นหรือค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value) ที่ได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้ง 4 ตัวที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.4.1.1 และ 4.4.1.2 หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั่นเอง เมื่อทดลองพิจารณาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้ง 4 ตัวของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในขณะที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ ในขณะที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องปรากฏอยู่ และในขณะที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวปรากฏอยู่ เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเป็นสมาชิกที่จะสามารถบ่งบอกสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในแต่ละสถานะที่แตกต่างกันได้ จากผลการทดลองและวิเคราะห์ดังกล่าวกับชุดภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1 สามารถสรุปเป็นกฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริทึม FBA จากค่าความเป็นสมาชิกที่แตกต่างกันของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้ง 4 ได้ทั้งสิ้น 11 ข้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้กฎที่นำเสนอจะใช้ร่วมกับกฎการพิจารณาแบบมีเงื่อนไข If-then และ โอเปอร์เรเตอร์ AND ตัวอย่างเช่น กฎข้อที่ R2 ถ้าค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จาก Current Edge Membership Function อยู่ในกลุ่ม Medium มีค่ามากกว่า 0.5 และมีค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จาก Neighbor Edge Membership Function อยู่ในกลุ่ม Low แล้วให้พิจารณาว่าในขณะที่มียานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวปรากฏอยู่ เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 กฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริทึม FBA

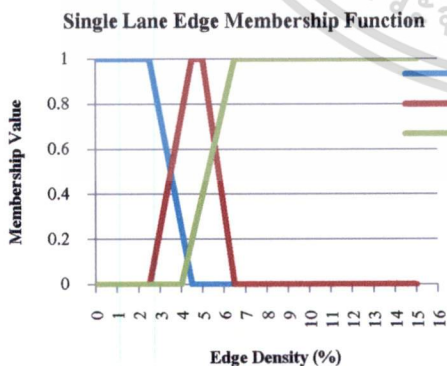
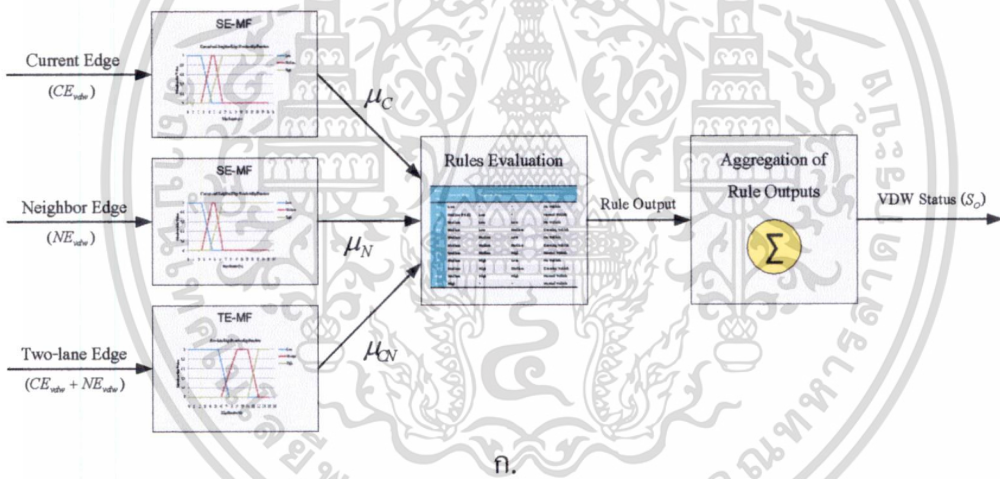
| Rule No. | Current Edge | Neighbor Edge | Two-lane Edge | Output |
|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| R1 | Low | - | - | No Vehicle |
| R2 | Medium (>0.5) | Low | - | Normal Vehicle |
| R3 | Medium | Low | Low | No Vehicle |
| R4 | Medium | Low | Medium | Crossing Vehicle |
| R5 | Medium | Medium | Low | No Vehicle |
| R6 | Medium | Medium | Medium | Crossing Vehicle |
| R7 | Medium | Medium | High | Normal Vehicle |
| R8 | Medium | High | Low | No Vehicle |
| R9 | Medium | High | Medium | Crossing Vehicle |
| R10 | Medium | High | High | Normal Vehicle |
| R11 | High | - | - | Normal Vehicle |

4.4.2 การพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับบนรากฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference-based VDW Status Evaluation)

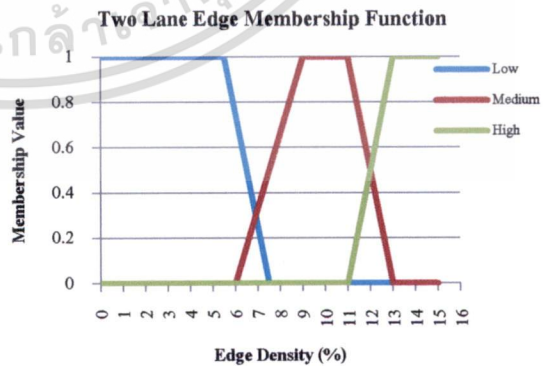
การพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม FBA ในงานวิจัยนี้จะอาศัยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (FIS: Fuzzy Inference System) ที่มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ก.) และ 4.11 (ก.) เพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ โดยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในรูปที่ 4.10 (ก.) นั้นจะพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบโซเบลโดยตรง ในขณะที่ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่แสดงในรูปที่ 4.11 (ก.) นั้นจะพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED ซึ่งสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตัวที่สองนี้ จะถูกเรียกใช้เพื่อตรวจสอบความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในบางเฟรมเท่านั้น ดังจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.4.3 ส่วนองค์ประกอบของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแต่ละตัวจะมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

4.4.2.1 ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบที่ได้จากการตรวจจ็บบเส้นขอบภาพแบบไซเบล

ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบที่ได้จากการตรวจจ็บบเส้นขอบภาพแบบไซเบลโดยตรงในงานวิจัยนี้ จะมีอินพุตทั้งสิ้น 3 ตัว คือ ปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบที่สนใจ (CE_{vdw}) ปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบข้างเคียง (NE_{vdw}) และผลรวมปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างที่สนใจกับปริมาณเส้นขอบภาพข้างเคียง ($CE_{vdw} + NE_{vdw}$) และมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้สำหรับพิจารณาค่าความเป็นสมาชิก 2 ฟังก์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข.-ค.) (ซึ่ง ได้มาจากกรวิเคราะห์ลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึม FBA ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.1)



ข.



ค.

รูปที่ 4.10 โครงสร้าง (ก.) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ข.-ค.) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจ็บบจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ได้จากการตรวจจ็บบเส้นขอบภาพแบบไซเบล

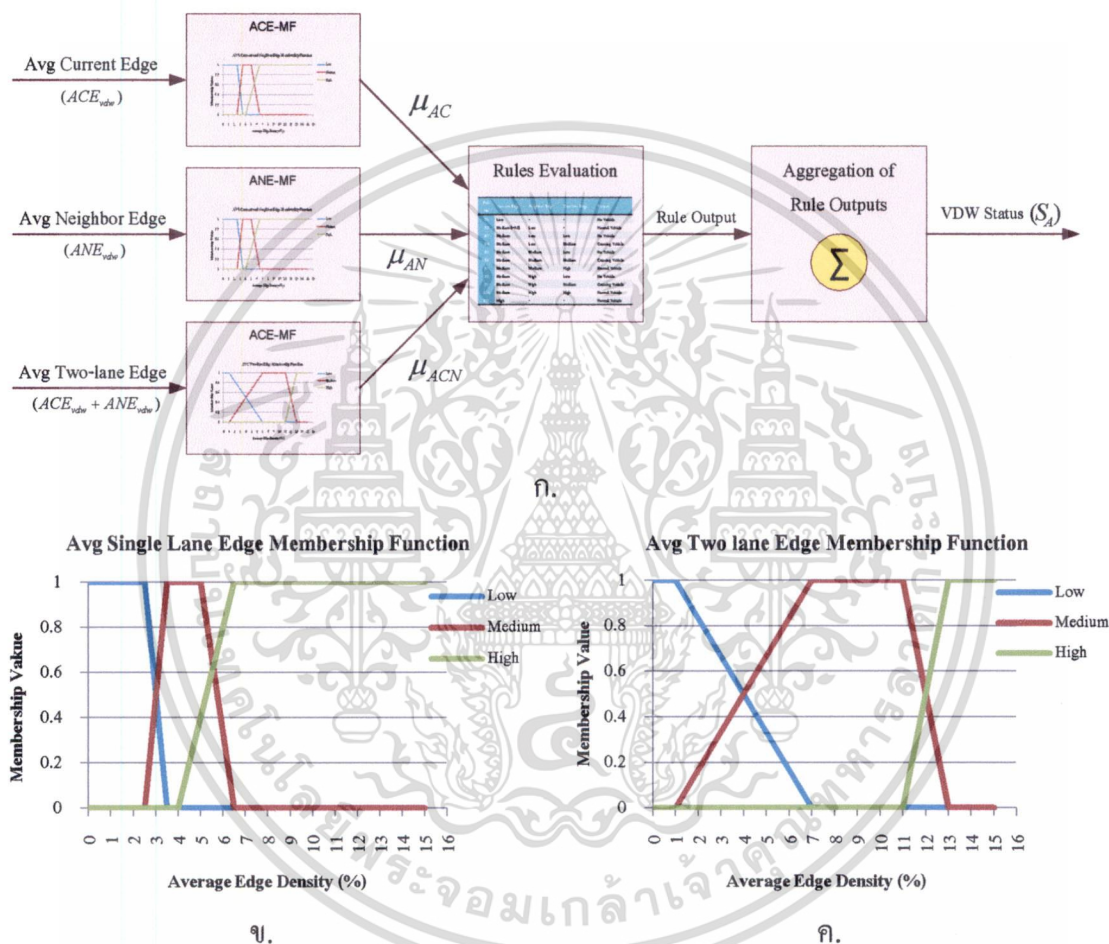
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพหนึ่งช่องทางเดินรถที่แสดงในรูปที่ 4.10 (ข.) นั้นจะถูกใช้เพื่อพิจารณาค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจ (μ_C) และค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียง (μ_N) ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพของสองช่องทางเดินรถที่ติดกันดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ค.) นั้นจะถูกใช้เพื่อพิจารณาค่าความเป็นสมาชิกของผลรวมปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจกับปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับข้างเคียง (μ_{CN}) ซึ่งเป็นค่าผลลัพธ์ที่ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาความคลุมเครือที่เกิดขึ้นในช่วง Low-Medium และ Medium-High ของค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสองตัวแรก หลังจากนั้นค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้ง 3 ตัว จะถูกนำไปประมวลผลตามกฎการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริทึม FBA ที่แสดงในตารางที่ 4.1

4.4.2.2 ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED

สำหรับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED ในงานวิจัยนี้ จะมีโครงสร้างและองค์ประกอบหลักดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ก.) ซึ่งคล้ายคลึงกับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตัวแรกดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ก.) แต่สิ่งที่แตกต่างกับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตัวแรกที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น คือ ประเภทของอินพุตและฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยอินพุตของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตัวที่สองนี้ คือ ค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยในกรอบหน้าต่างที่สนใจ (ACE_{vdw}) ค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยในกรอบหน้าต่างข้างเคียง (ANE_{vdw}) และผลรวมปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยในกรอบหน้าต่างที่สนใจกับปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของกรอบหน้าต่างข้างเคียง ($ACE_{vdw} + ANE_{vdw}$) โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตัวที่สองนี้จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ข.-ค.) (ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม FBA ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.1) ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในกรอบการตรวจจับหนึ่งช่องทางเดินรถดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ข.) จะถูกใช้เพื่อพิจารณาค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยในกรอบการตรวจจับที่สนใจ (μ_{AC}) และค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับข้างเคียง (μ_{AN}) ส่วนฟังก์ชันความเป็น

สมาชิกของปริมาณเส้นขอบภาพของสองช่องทางเดินรถที่ติดกันดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ค.) นั้นจะถูกใช้เพื่อพิจารณาค่าสถานะของผลรวมปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจกับปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยในกรอบการตรวจจับข้างเคียง (μ_{ACN}) ส่วนกฎการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้งสาม ยังคงเหมือนกับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตัวแรกดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.11 โครงสร้าง (ก.) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ข.-ค.) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้จากอัลกอริทึม HMED

สำหรับค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในงานวิจัยนี้มีอยู่ด้วยกัน 3 สถานะคือ ไม่มียานพาหนะ (No Vehicle) มียานพาหนะที่เคลื่อนที่ที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียว (Normal Vehicle) และมียานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง (Crossing Vehicle) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะแทนค่าสถานะ No Vehicle Normal Vehicle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Crossing Vehicle ด้วยตัวเลข 0 1 และ 2 ตามลำดับเพื่อความสะดวกในการติดตามและตรวจนับจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม FBA ในหัวข้อ 4.4.3

4.4.3 การติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม FBA

การติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม FBA จะติดตามและตรวจนับยานพาหนะจากหมายเลขเฟรมเข้า (FrameIn) และเฟรมออก (FrameOut) ร่วมกับการพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของยานพาหนะด้วยว่า เป็นการเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางหรือไม่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันและกำจัดปัญหาการตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง ที่ซ้ำซ้อนกันมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการติดตามและตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึม FBA จะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะ การพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และการตรวจนับยานพาหนะแบบมีเงื่อนไข ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

4.4.3.1 การตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและหมายเลขเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ

การตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับสำหรับอัลกอริทึม FBA จะพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ($S_F(i)$) เนื่องจาก ณ เฟรมแรกที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั้น ค่า $S_F(i)$ จะเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 หรือ 2 โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในขณะนั้น และเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับไปแล้ว ค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจะเปลี่ยนจาก 1 หรือ 2 เป็น 0 จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับดังกล่าว จึงสามารถสรุปเป็นสมการการตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก ที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับได้ดังแสดงในสมการที่ 4.10 และสมการที่ 4.11 ตามลำดับ

$$FrameIn = i \quad ; (S_F(i-1) = 0) \wedge (0 < S_F(i)) \quad (4.10)$$

$$FrameOut = i \quad ; (0 < S_F(i-1)) \wedge (S_F(i) = 0) \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------------|-----|--|
| i | คือ | หมายเลขเฟรมภาพที่กำลังพิจารณา |
| $S_F(i)$ | คือ | ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในเฟรมภาพที่ i |
| $S_F(i-1)$ | คือ | ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในเฟรมภาพที่ $i-1$ |

สำหรับค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ($S_F(i)$) เป็นค่าที่ได้จากการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับซึ่งได้จากระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพซึ่งได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบไซเบล ($S_O(i)$) และค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการพิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยซึ่งได้จากอัลกอริทึม HMED ($S_A(i)$) ดังแสดงในสมการที่ 4.12

$$S_F(i) = \begin{cases} S_A(i) & ; (S_O(i) = 0) \wedge (0 < S_A(i)) \\ S_O(i) & ; \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4.12)$$

เนื่องจากค่า $S_O(i)$ จะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2 ในขณะที่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ โดยขึ้นอยู่กับประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และค่า $S_O(i)$ จะมีค่าเท่ากับ 0 ก็ต่อเมื่อไม่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ หรือเมื่อมียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ แต่ ณ เฟรมที่พิจารณานั้นเป็นเฟรมที่ปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะมีค่าไม่สม่ำเสมอและน้อยกว่าปกติมาก จนกระทั่งทำให้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่พิจารณาค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับจากปริมาณเส้นขอบภาพซึ่งได้จากการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบไซเบลโดยตรงนั้น พิจารณาค่า $S_O(i)$ ให้มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น ในกรณีนี้จึงต้องมีการพิจารณาค่า $S_A(i)$ ร่วมด้วย เนื่องจากค่า $S_A(i)$ จะมีค่าเท่ากับ 0 เพียงกรณีเดียว คือในกรณีที่ไม่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวค่า $S_F(i)$ จึงถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่า $S_O(i)$ เสมอ ยกเว้นอยู่กรณีเดียวที่ $S_F(i)$ จะมีค่าเท่ากับ $S_A(i)$ คือในกรณีที่ $S_O(i)$ มีค่าเท่ากับ 0 แต่ $S_A(i)$ มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2

4.4.3.2 การพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

การพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในขั้นตอนนี้ เพื่อตรวจสอบหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้จากขั้นตอนที่แล้วว่า เป็นของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางเดียว หรือเป็นของยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง เนื่องจากหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง จะต้องถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำเพียงครั้งเดียว โดยกรอบการตรวจจับใดกรอบการตรวจจับหนึ่งที่ยานพาหนะดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่าน อีกทั้งในความเป็นจริงนั้นค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางเดียว และ ที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางนั้น มิได้มีค่าเป็น 1 หรือ 2 ใดๆอย่างหนึ่งตลอดทุกเฟรมที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ แต่กลับมีค่าสถานะเป็น 1 และ 2 เกิดขึ้นปะปนกัน โดยยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางนั้นจะทำให้ค่าสถานะสุดท้ายตลอดช่วงเฟรมที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าเป็น 1 มากกว่า ค่าสถานะที่เป็น 2 โดยค่าสถานะที่เป็น 2 จะเกิดขึ้นเพียงไม่กี่เฟรมในช่วงแรกและช่วงสุดท้ายที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ซึ่งตรงกันข้ามกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางที่มักจะทำให้ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองกรอบตลอดช่วงเฟรมที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านมีค่าเป็น 2 มากกว่าค่าสถานะที่เป็น 1 ด้วยเหตุนี้เองจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจนับจำนวนครั้งที่สถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าเป็น 1 (T_N) และที่มีค่าเป็น 2 (T_C) ในขณะที่มียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

การพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสำหรับอัลกอริทึม FBA นั้น จะอาศัยการเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่สถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงเฟรมเข้าถึงเฟรมออกว่า มีค่าเป็น 1 หรือ 2 มากกว่ากัน ถ้าในช่วงดังกล่าวมีจำนวนครั้งที่ค่าสถานะสุดท้ายมีค่าเป็น 1 (T_N) มากกว่า ให้พิจารณายานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงดังกล่าว เป็นยานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องทางเดียว ในทางกลับกันถ้าในช่วงดังกล่าวมีค่าสถานะสุดท้ายเป็น 2 (T_C) มากกว่า ให้พิจารณายานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงดังกล่าว เป็นยานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง ซึ่งการตรวจนับจำนวนครั้งที่ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าเป็น 1 และที่มีค่าเป็น 2 จากการพิจารณาค่าสถานะสุดท้ายของกรอบ

หน้าตาการตรวจจับ ($S_F(i)$) ในช่วงเฟรมเข้าถึงเฟรมออกนั้น สามารถตรวจนับได้ดังแสดงในสมการที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

$$T_N = \begin{cases} T_N + 1 & ; (0 < S_F(i) < 2) \\ 0 & ; (0 < S_F(i-1)) \wedge (S_F(i) = 0) \\ T_N & ; \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4.13)$$

$$T_C = \begin{cases} T_C + 1 & ; (1 < S_F(i)) \\ 0 & ; (0 < S_F(i-1)) \wedge (S_F(i) = 0) \\ T_C & ; \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4.14)$$

$S_F(i)$ คือ ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าตาการตรวจจับที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.12 ของเฟรมภาพที่ i

T_N คือ จำนวนครั้งที่ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าตาการตรวจจับมีค่าเป็น 1

T_C คือ จำนวนครั้งที่ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าตาการตรวจจับมีค่าเป็น 2

4.3.3.3 การตรวจนับยานพาหนะแบบมีเงื่อนไข

การตรวจนับยานพาหนะแบบมีเงื่อนไขสำหรับอัลกอริทึม FBA เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะรายงานจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับต่างๆ ให้กับระบบ ซึ่งการตรวจนับยานพาหนะในขั้นตอนนี้จะตรวจนับจำนวนยานพาหนะจากจำนวนครั้งที่หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ ซึ่งการจัดเก็บหมายเลขเฟรมดังกล่าวในงานวิจัยนี้จะมีการพิจารณาเงื่อนไขความซ้ำซ้อนในจัดเก็บด้วย เพื่อป้องกันมิให้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางถูกตรวจนับซ้ำกันมากกว่า 1 ครั้ง โดยการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกในงานวิจัยนี้ จะจัดเก็บหมายเลขดังกล่าวลงหน่วยความจำแยกกันตามหมายเลขกรอบหน้าตาการตรวจจับ และประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ กล่าวคือ หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ 1 2 และ 3 เพียงช่องทางเดียว จะถูกแยกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1 L2 และ L3 ตามลำดับ ส่วนหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1-2 และ 2-3 จะถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 และ L2L3

ตามลำดับ ซึ่งเงื่อนไขและขั้นตอนการจัดเก็บเฟรมเข้าและเฟรมออกจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.3.3.1 เงื่อนไขการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก

สำหรับเงื่อนไขการพิจารณาการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจาก ค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้ากับเฟรมออก และค่าความไม่ซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กำลังจะจัดเก็บ กับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกเดิมที่มีอยู่ในหน่วยความจำ ซึ่งแต่ละเงื่อนไขจะมีรายละเอียดดังนี้

- เงื่อนไขการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกจากค่าขนาดผลต่างของหมายเลขทั้งสอง

ค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้ากับเฟรมออก เป็นค่าที่ใช้จำแนกความแตกต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ กับที่เกิดจากจุดรบกวนต่างๆ ในกรอบการตรวจจับ เนื่องจากค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้ากับเฟรมออกเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงระยะเวลาในรูปของจำนวนเฟรมที่ยานพาหนะใช้เพื่อเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 พบว่าโดยปกติแล้วค่าขนาดผลต่างที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะมักจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 เฟรม แต่ถ้าหากค่าขนาดผลต่างดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 2 เฟรมแล้ว แสดงว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับของยานพาหนะ แต่เป็นหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของจุดรบกวนในช่วงเฟรมสั้นๆ เท่านั้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปเป็นสมการเงื่อนไขการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกจากค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้ากับเฟรมออก (ΔF) ได้ดังแสดงในสมการที่ 4.15

$$\Delta F = \begin{cases} 1 & ; MFC < (1 + |FrameIn - FrameOut|) \\ 0 & ; Otherwise \end{cases} \quad (4.15)$$

จากสมการข้างต้น $|FrameIn - FrameOut|$ คือ ค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้ากับเฟรมออก ส่วน MFC (Minimum Frame Count) คือ ค่าขอบเขตต่ำ

ที่สุดที่ใช้ตรวจสอบหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้ว่า เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับจริงหรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า MFC เท่ากับ 2

สำหรับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ทำให้สมการเงื่อนไข ΔF มีค่าเป็นจริงแล้ว ($\Delta F = 1$) แสดงว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกดังกล่าวเกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับจริง โดยหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ผ่านการตรวจสอบจากสมการเงื่อนไขข้างต้น จะถูกนำไปตรวจสอบความไม่ซ้ำซ้อนในขั้นถัดไป เพื่อตรวจสอบว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่พิจารณาอยู่นั้น เคยถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำมาแล้วหรือไม่ ซึ่งเงื่อนไขการตรวจสอบความไม่ซ้ำซ้อนดังกล่าวจะมีรายละเอียดดังนี้

- เงื่อนไขการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกจากรายความไม่ซ้ำซ้อน

สำหรับเงื่อนไขการพิจารณาความไม่ซ้ำซ้อน (Non-overlap Status : NOS) ในการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาจากค่าขนาดผลต่างของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กำลังจะจัดเก็บลงหน่วยความจำ กับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกตัวก่อนหน้าที่เพิ่งถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ ถ้าค่าขนาดผลต่างดังกล่าวมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 4 เฟรมแล้ว จะถือว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กำลังพิจารณาเพื่อรอจัดเก็บนั้น เป็นหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะคนละคันกับ หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกตัวก่อนหน้าที่เพิ่งถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ ซึ่งเงื่อนไขความไม่ซ้ำซ้อนดังกล่าวสามารถพิจารณาในรูปของสมการเงื่อนไขความไม่ซ้ำซ้อน (NOS) ได้ดังแสดงในสมการที่ 4.14

$$NOS(x, m) = \begin{cases} 0 & ; (|\Delta FrameIn(x, m)| < DFC) \vee (|\Delta FrameOut(x, m)| < DFC) \\ 1 & ; Otherwise \end{cases} \quad (4.14)$$

$NOS(x, m)$ คือ ค่าสถานะความไม่ซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้

$|\Delta FrameIn(x, m)|$ คือ ค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้า (x) กับหมายเลขหน่วยความจำ (m)
($|FrameIn(x) - FrameIn(m)|$)

| | | |
|---------------------------|-----|---|
| $ \Delta FrameOut(x, m) $ | คือ | ค่าขนาดผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมออก (x) กับหมายเลขหน่วยความจำ (m) $(FrameOut(x) - FrameOut(m))$ |
| DFC | คือ | ค่าขนาดความแตกต่างสูงสุดของ $ \Delta FrameIn(x, m) $ หรือ $ \Delta FrameOut(x, m) $ |

โดยที่ x เป็นหมายเลขกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สามารถตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กำลังพิจารณาอยู่ได้ ส่วน m เป็นหมายเลขหน่วยความจำที่ต้องพิจารณาความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้ สำหรับค่า $NOS(x, m)$ ที่มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่า หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้โดยกรอบหน้าต่าง x ยังไม่เคยถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ m มาก่อน และสำหรับค่า DFC (Different Frame Count) ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้จะมีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 แล้วว่า หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง ซึ่งถูกตรวจจับได้โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่าน มักจะมีค่าขนาดความแตกต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้า ($|\Delta FrameIn(x, m)|$) และหมายเลขเฟรมออก ($|\Delta FrameOut(x, m)|$) ไม่เกิน 4 เฟรม

ในขั้นตอนสุดท้าย หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการจัดเก็บทั้งสองที่ได้กล่าวไปข้างต้น จะถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำที่แยกตามประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ตรวจจับได้ ซึ่งการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกลงหน่วยความจำ มีรายละเอียดดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.3.3.3.2 การจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก

การจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกลงหน่วยความจำในงานวิจัยนี้ จะแยกจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกลงหน่วยความจำตามประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ตรวจจับได้ โดยหน่วยความจำที่ใช้สำหรับจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของแต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจจับ รวมทั้งหน่วยความจำที่แต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจจับต้องตรวจสอบเงื่อนไขความซ้ำซ้อนก่อนการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่

ตรวจจับได้ลงหน่วยความจำนั้น สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 4.2 ส่วนลำดับขั้นตอนการจับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 1 3 และ 2 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12

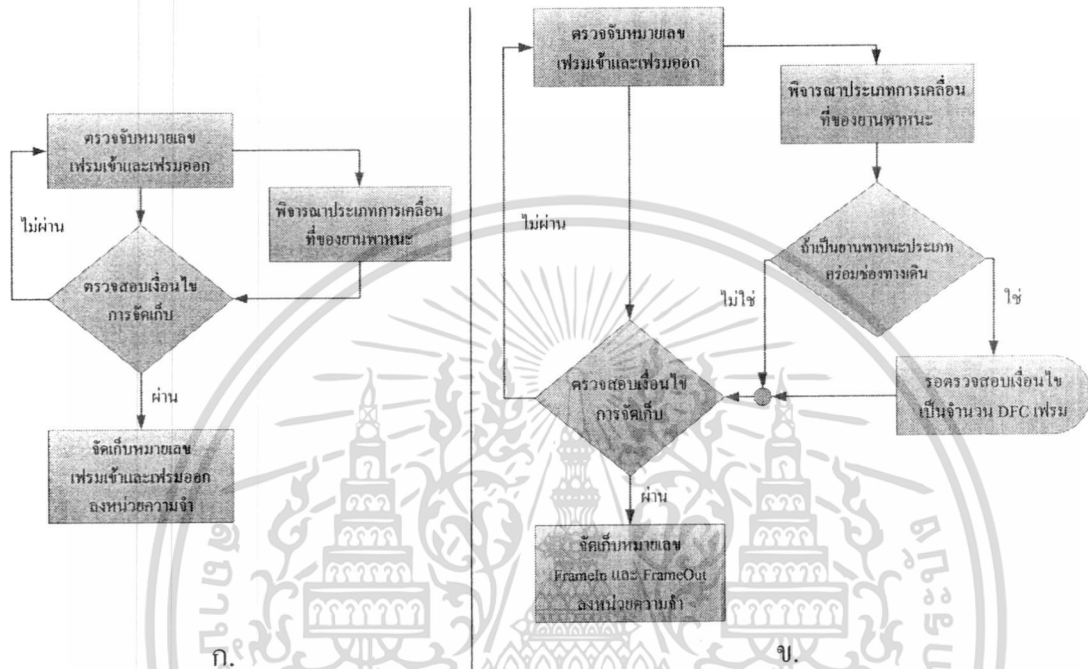
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงหน่วยความจำที่ใช้จับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก และหน่วยความจำที่ต้องพิจารณาความซ้ำซ้อนของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 1 2 และ 3

| ช่องทางเดินรถที่ (x) | ยานพาหนะประเภท Normal ($T_C < T_N$) | | ยานพาหนะประเภท Crossing ($T_N < T_C$) | |
|----------------------|--|----------------------|--|----------------------|
| | หน่วยความจำที่ต้องพิจารณาความซ้ำซ้อน (m) | หน่วยความจำที่จับกุม | หน่วยความจำที่ต้องพิจารณาความซ้ำซ้อน (m) | หน่วยความจำที่จับกุม |
| 1 | - L1L2 | L1 | - L1L2 - L2 | L1L2 |
| 2 | - L1L2 - L2L3 | L2 | - L1 - L1L2 - L3 - L2L3 | L1L2 |
| 3 | - L2L3 | L3 | - L2 - L2L3 | L2L3 |

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการจับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 2 ในรูปที่ 4.12 (ข.) จะเห็นได้ว่าหลังจากที่ตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านได้แล้ว จะยังไม่ทำการพิจารณาเงื่อนไขเพื่อการจับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้ทันที แต่จะรอตรวจสอบเงื่อนไขดังกล่าวเป็นระยะเวลา DFC เฟรมถ้าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกตรวจจับได้เป็นของยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง เนื่องจากไม่ทราบแน่ชัดว่ายานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง ที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 ตรวจจับได้นั้นแท้จริงแล้วยานพาหนะดังกล่าวเคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1 กับ 2 หรือเคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถที่ 2 กับ 3 กันแน่ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความสับสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการตรวจนับที่ซ้อนทับกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลื่อนการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะดังกล่าวออกไปก่อนเป็นจำนวน DFC เฟรม เพื่อให้การจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะดังกล่าวเป็นหน้าที่ของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ 1 หรือ 3 โดยอัตโนมัติ ดังจะแสดงให้เห็นในตัวอย่างที่ 1 และ 2 ที่จะกล่าวต่อไปนี้



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก สำหรับกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ 1 3 (ก.) และ 2 (ข.)

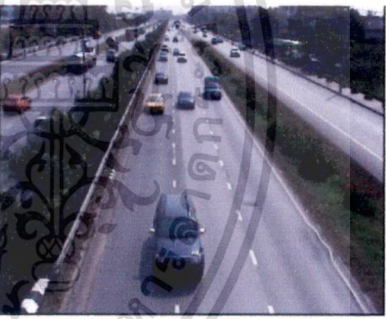
ตัวอย่างที่ 1 ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ที่คร่อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1 กับ 2

สำหรับตัวอย่างแรกนี้เป็นตัวอย่างการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ที่คร่อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1 กับ 2 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงภาพรวม ขั้นตอน และรายละเอียดการพิจารณาเงื่อนไขการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ได้นำเสนอไว้ข้างต้นว่า จะสามารถป้องกันหรือแก้ไขปัญหาการตรวจนับยานพาหนะที่ซ้ำซ้อนกันมากกว่า 1 ครั้งได้อย่างไร

ตารางที่ 4.3 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายจราจรและค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ได้จากระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในช่วงเฟรมที่มียานพาหนะเคลื่อนที่ที่คร่อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1 กับ 2 เมื่อพิจารณาค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 1 (L1) และ 2 (L2) เพื่อตรวจจับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะ จะพบว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกที่ถูกตรวจจับได้โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 และ L2 จะมีค่าเท่ากับ (43, 48) และ (43, 48) ตามลำดับ เนื่องจากค่าสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 1 (L1) และ 2 (L2) เปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 2 และเปลี่ยนแปลงจาก 2 เป็น 0 ในเฟรมที่ 43 และ 48 ตามลำดับ เมื่อทราบหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่แต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจจับได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขการจับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้ ทั้ง 2 เงื่อนไข เพื่อจับกุมลงหน่วยความจำ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างภาพถ่ายและค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 1 และ 2 ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.2.1 ช่วงเฟรมที่ 42-49

| เฟรมที่ | ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (S_F) | | ตัวอย่างภาพถ่าย |
|---------|--|----|--|
| | L1 | L2 | |
| 42 | 0 | 0 |  |
| 43 | 2 | 2 | |
| 44 | 2 | 1 | |
| 45 | 2 | 2 | |
| 46 | 2 | 1 | |
| 47 | 2 | 2 | |
| 48 | 2 | 2 | |
| 49 | 0 | 0 | |

การตรวจสอบเงื่อนไขและการจับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้ จะเริ่มพิจารณาที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สามารถตรวจจับหมายเลขเฟรมออกได้ก่อน แต่ถ้าสองกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านสามารถตรวจจับหมายเลขเฟรมออกได้ในเฟรมเดียวกันอย่างกรณีนี้ ก็จะพิจารณาไล่ไปที่แต่ละกรอบหน้าต่างการตรวจจับ โดยเริ่มที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขการจับกุมหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก จะเริ่มจากการพิจารณาค่าขนาดผลผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (ΔF) ตามสมการที่ 4.15 ต่อด้วยการตรวจสอบเงื่อนไขความไม่ซ้ำซ้อน (NOL) ตามสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 ที่อาศัยการพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะร่วมด้วย ตามตารางที่ 4.2 กล่าวคือ

- การตรวจสอบเงื่อนไขการจัดเก็บสำหรับกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้วว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 ตรวจจับได้คือ (43, 48) ซึ่งค่าขนาดผลผลต่างระหว่างหมายเลขเฟรมเข้า (43) กับเฟรมออก (48) มีค่าเท่ากับ 6 เฟรม ดังนั้นหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่พิจารณาอยู่นี้ จึงตรงตามสมการเงื่อนไขที่ 4.15 เนื่องจากมีค่าขนาดผลต่างมากกว่าค่า MFC ที่มีค่าเท่ากับ 2 เฟรม ทั้งนี้สมการเงื่อนไขดังกล่าวเป็นการตรวจสอบว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับจริง ขึ้นต่อไปจะเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขความไม่ซ้ำซ้อนก่อนการจัดเก็บลงหน่วยความจำ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องอาศัยการพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะร่วมด้วย สำหรับการพิจารณาประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จะพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าเป็น 1 (T_N) และ 2 (T_C) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.3.2 เมื่อพิจารณาค่า T_N และ T_C ในช่วงเฟรมที่ 43 ถึง 48 จะพบว่าช่วงเฟรมดังกล่าวมีค่า T_C (6 เฟรม) มากกว่า ค่า T_N (0 เฟรม) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้นี้ เป็นของยานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง

ส่วนการพิจารณาความซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้นี้ จะพิจารณาจากสมการเงื่อนไขความไม่ซ้ำซ้อน (NOL) ตามสมการที่ 4.14 ซึ่งหน่วยความจำที่ใช้จัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก และหน่วยความจำที่ต้องพิจารณาค่าความไม่ซ้ำซ้อนนั้น สามารถดูได้จากตารางที่ 4.2 กล่าวคือ (43, 48) ซึ่งเป็นหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ถูกตรวจจับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 จะถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 ก็ต่อเมื่อ ไม่ซ้ำซ้อนกับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกตัวก่อนหน้าที่ยังถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 และหน่วยความจำ L2 สำหรับตัวอย่างนี้ สมมุติให้หน่วยความจำ L1L2 และ L2 นั้นยังไม่เคยถูกใช้เพื่อจัดเก็บค่าเฟรมเข้าและเฟรมออกใดๆ มาก่อน ดังนั้นหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (43, 48) ที่ตรวจจับได้โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 จึงถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 ทันที

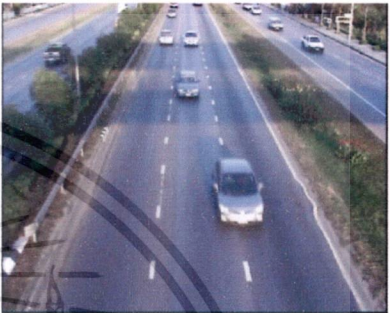
- การตรวจสอบเงื่อนไขการจัดเก็บของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2

สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (43, 48) ที่ถูกตรวจจับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 นั้น จะคล้ายกับการการตรวจสอบเงื่อนไขการจัดเก็บของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 ที่ได้กล่าวไปทุกประการ จะแตกต่างกันที่ขั้นตอนการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเพียงขั้นตอนเดียวเท่านั้นที่จะกระทำหลังจากที่ตรวจจับหมายเลขเฟรมออกได้แล้วเป็นจำนวน DFC เฟรม กล่าวคือ เริ่มแรก (43, 48) จะถูกตรวจสอบเงื่อนไขค่าขนาดผลต่างของตามสมการที่ 4.15 ซึ่งจะพบว่า (43, 48) นั้นมีค่าขนาดผลต่างเท่ากับ 6 เฟรม ซึ่งมากกว่าค่า MFC จึงทำให้ (43, 48) สอดคล้องกับสมการเงื่อนไขดังกล่าว และเมื่อตรวจนับจำนวนครั้งที่ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่าเป็น 1 (T_N) และ 2 (T_C) ในช่วงเฟรมที่ 43 ถึง 48 จะพบว่าช่วงเฟรมดังกล่าวมีค่า T_C (4 เฟรม) มากกว่าค่า T_N (2 เฟรม) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ตรวจจับได้นี้ เป็นของยานพาหนะประเภทที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง เมื่อทราบประเภทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแล้ว ต่อไปจะเป็นการตรวจสอบความไม่ซ้ำซ้อนตามสมการที่ 4.14 กับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกตัวล่าสุดที่เพิ่งถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1 L1L2 L3 และ L2L3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในหน่วยความจำที่ L1L2 นั้นเพิ่งจัดเก็บ (43, 48) ที่ถูกตรวจจับได้โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 ไป ดังนั้นค่าความซ้ำซ้อนที่พิจารณาตามสมการที่ 4.14 จึงมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึงหมายเลข (43, 48) ที่ถูกตรวจจับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 นั้นซ้ำซ้อน หรือเป็นของยานพาหนะคันเดียวกันกับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่เพิ่งถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 ดังนั้น (43, 48) ที่ถูกตรวจจับ โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 จึงไม่ถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2

ตัวอย่างที่ 2 ยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 2 กับ 3

สำหรับตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกของยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 2 กับ 3 ที่จะแสดงให้เห็นว่าเหตุใดจึงจำเป็นต้องเลื่อนการตรวจสอบเงื่อนไขความไม่ซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ถูกตรวจจับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 ออกไปก่อนเป็นจำนวน MFC เฟรม โดยการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกในตัวอย่างนี้จะขอกกล่าวถึงส่วนการพิจารณาความซ้ำซ้อนก่อนการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกลงหน่วยความจำเท่านั้น

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างภาพถ่ายและค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถช่องที่ 2 และ 3 ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.2.1 ช่วงเฟรมที่ 407-415

| เฟรมที่ | ค่าสถานะสุดท้ายของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (S_P) | | ตัวอย่างภาพถ่าย |
|---------|--|----|--|
| | L2 | L3 | |
| 407 | 0 | 0 |  |
| 408 | 2 | 2 | |
| 409 | 2 | 2 | |
| 410 | 2 | 2 | |
| 411 | 2 | 2 | |
| 412 | 2 | 2 | |
| 413 | 2 | 2 | |
| 414 | 0 | 2 | |
| 415 | 0 | 0 | |

จากตารางที่ 4.4 หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 และ L3 ตรวจจับได้ในช่วงเฟรมที่ 407-415 คือ (408, 413) และ (408, 414) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 นั้นสามารถตรวจจับหมายเลขเฟรมออกได้ก่อนกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L3 จึงสมควรที่จะตรวจสอบเงื่อนไขความซ้ำซ้อนก่อนกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L3 แต่เนื่องจากหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 413) ที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 ตรวจจับได้นั้นเป็นของยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง จึงต้องเลื่อนการตรวจสอบความซ้ำซ้อนออกไปก่อนเป็นจำนวน MFC (ที่มีค่าเท่ากับ 4) เฟรม ซึ่งในระหว่างที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 รอการตรวจสอบความซ้ำซ้อนอยู่นั้น กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L3 ก็ได้ตรวจสอบความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 414) ตามสมการที่ 4.14 แล้วว่า ไม่ซ้ำซ้อนกับค่าที่อยู่ในหน่วยความจำ L2L3 ดังนั้นหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 414) จึงถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L2L3 และเมื่อถึงเฟรมที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 จะต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนเพื่อจัดเก็บหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 413) ลงหน่วยความจำ L1L2 ตามสมการที่ 4.14 จะพบว่าหมายเลข (408, 413) ที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 กำลังพิจารณาอยู่นั้น ซ้ำซ้อนกับหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 414) ที่เพิ่งถูกจัดเก็บลงในหน่วยความจำ L2L3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหมายเลข (408, 413) ที่ถูกตรวจจับได้โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 จึงไม่ถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 นั่นเอง

ในทางกลับกันถ้าไม่มีการเลื่อนการตรวจสอบความซ้ำซ้อนของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 ไปก่อนเป็นจำนวน MFC เฟรมจะทำให้หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่ถูกตรวจจับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 และ L3 ถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำทั้งคู่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางซ้ำกันมากกว่า 1 ครั้ง เนื่องจากหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 413) ที่ถูกตรวจจับ โดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L2 นั้นจะถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2 ในขณะที่การตรวจสอบความซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 414) ที่ถูกตรวจจับโดยกรอบหน้าต่างการตรวจจับ L3 จะพิจารณาความซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่อยู่ในหน่วยความจำ L2 และ L2L3 เท่านั้น จึงทำให้หมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 414) ถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L2L3 ทั้งที่หมายเลขดังกล่าวเป็นของยานพาหนะคันเดียวกันกับหมายเลข เฟรมเข้าและเฟรมออก (408, 413) ที่เพิ่งถูกจัดเก็บลงหน่วยความจำ L1L2

สาเหตุที่กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L3 ไม่ทำการพิจารณาความซ้ำซ้อนของหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกที่เพิ่งถูกจัดเก็บในหน่วยความจำ L1L2 ด้วย เพราะถ้ามียานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1-2 เคลื่อนที่มาพร้อมกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 2-3 แล้ว จะทำให้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 2-3 นั้น ไม่ถูกตรวจนับ เนื่องจากมีหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกซ้ำซ้อนกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถช่องที่ 1-2 นั่นเอง และด้วยเหตุผลเดียวกันจึงทำให้กรอบหน้าต่างการตรวจจับ L1 นั้นไม่ตรวจสอบความซ้ำซ้อนของค่าเฟรมเข้าและเฟรมออกที่เพิ่งถูกจัดเก็บในหน่วยความจำ L2L3 ด้วยเช่นกัน

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายในสภาพแสงต่างๆ ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบกับระบบการตรวจตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอในงานวิจัยที่ [2] ซึ่งเป็นระบบการตรวจตราสภาพการจราจรที่อาศัยเทคนิคการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ โซเบลร่วมกับค่าขีดแบ่งแบบคงที่ เพื่อแยกยานพาหนะออกจากภาพพื้นหลัง และอาศัยเทคนิคกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับค่าเปรียบเทียบอ้างอิงแบบคงที่เพื่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ ในขณะที่ระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะอาศัยค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย (GATE) เพื่อแยกยานพาหนะจากภาพพื้นหลัง ส่วนการติดตามและตรวจนับยานพาหนะในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่อาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับเพื่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ (RBA: Rule-based vehicle detection window with adaptive parameters) และวิธีที่อาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือเพื่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ (FBA: Fuzzy-based vehicle detection window with adaptive parameters) ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ และระบบการตรวจตราสภาพการจราจรที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยที่ [2] นั้นจะถูกทดสอบกับชุดภาพถ่ายการจราจรภายใต้สภาวะแสงที่หลากหลายในช่วงเวลากลางวัน โดยประสิทธิภาพของระบบจะถูกประเมินออกมาอยู่ในรูปของความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับพาหนะรวม (Detection Rate: D%) และในรูปของอัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด (Error Rate: R%)

นอกจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่จะถูกกล่าวถึงในส่วนสุดท้ายแล้ว ในบทนี้ยังได้มีการอภิปรายถึง ลักษณะของภาพถ่ายการจราจร การวิเคราะห์ลักษณะปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะ การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในสภาวะแสงที่แตกต่างกัน การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างของอัลกอริธึม RBA การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึม HMED และการทดลองเพื่อวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึม RBF [2] RBA และ FBA ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ลักษณะของภาพถ่ายการจราจร

ภาพถ่ายการจราจรสำหรับการทดลองต่างๆ ในงานวิจัยนี้มีทั้งสิ้น 3 ชุด คือ ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 และชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 ลักษณะของภาพถ่ายการจราจรทั้ง 3 ชุดเป็นภาพถ่ายมุมมองที่ได้จากกล้องวิดีโอที่ถูกติดตั้งบนสะพานลอยคนข้าม ภาพถ่ายมีความละเอียด (Resolution) 720x576 พิกเซล อัตราการแสดงผลภาพ (Frame rate) เป็น 25 เฟรมต่อวินาที (frames/second) ชุดภาพถ่ายแต่ละชุดเป็นชุดภาพถ่ายการจราจรในบริเวณถนนที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะแสงที่หลากหลายในเวลากลางวัน โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

5.1.1 ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1

ชุดภาพถ่ายชุดที่ 1 เป็นชุดภาพถ่ายการจราจรบริเวณถนนบรมราชชนนีช่วงแยกต่างระดับถนนพุทธมณฑลสายสี่ ภายใต้สภาวะแสงที่หลากหลายตั้งแต่แสงสลัว แสงปานกลาง ไปจนกระทั่งแสงจ้า ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 นี้ประกอบด้วยชุดภาพถ่ายย่อยๆ 5 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีลักษณะของแสงและเงาในภาพที่แตกต่างกันดังมีรายละเอียดและตัวอย่างภาพถ่ายแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดแสง เงา และค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ยของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1


| ชุดที่ | ลักษณะแสง | ลักษณะเงา | ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ย (Average Gradient) |
|--------|---|--|---|
| 1.1 | แสงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจากมืดสลัวไปจนกระทั่งเริ่มสว่าง นอกจากนั้นยังปรากฏแสงสะท้อนบนพื้นถนนที่เกิดจากไฟหน้าของยานพาหนะและแสงสะท้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ | ปรากฏเงาของยานพาหนะต่างๆ ทอดยาวเฉียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือในช่วงเวลาที่แสงเริ่มสว่าง | 0.572 |
| 1.2 | แสงปานกลางค่อนข้างมืดสลัว บางช่วงสว่างน้อยกว่าปกติ เนื่องจากเมฆเคลื่อนตัวบดบังดวงอาทิตย์ | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มีความเข้มปานกลางทอดตัวเฉียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือ | 0.649 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) รายละเอียดแสงเงา และ ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ยของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1







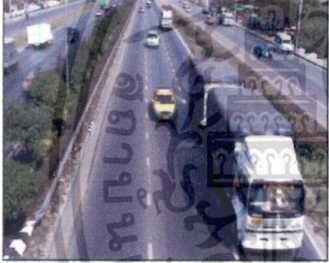


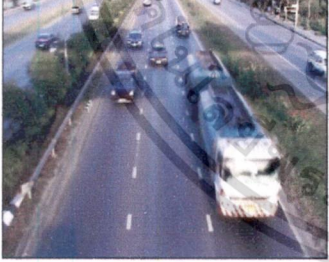
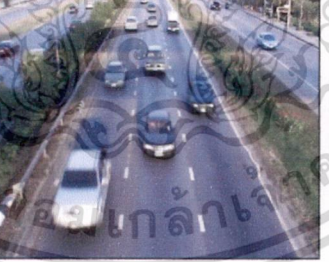

| ชุดที่ | ลักษณะแสง | ลักษณะเงา | ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ย (Average Gradient) |
|--------|---|--|---|
| 1.3 | แสงปานกลาง บางช่วงสว่างน้อยกว่าปกติเนื่องจากเมฆเคลื่อนตัวบดบังดวงอาทิตย์ | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มีความเข้มปานกลางทอดตัวเอียงไปทางด้านหลังซ้ายมือ | 0.645 |
| 1.4 | แสงจ้า | ปรากฏเงาของยานพาหนะสั้นๆ ที่มีความเข้มมากทอดตัวเอียงไปทางด้านหลังซ้ายมือ | 0.725 |
| 1.5 | แสงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจากแสงปานกลางแสงน้อย ไปจนกระทั่งเริ่มมีดิสถัว | ปรากฏเงาของยานพาหนะจางๆ ทอดยาวไปทางด้านหลัง อีกทั้งยังปรากฏเงาที่เกิดจากสะพานลอยคนข้ามพาดผ่านถนนในช่วงเวลาที่แสงปานกลาง ซึ่งเงาดังกล่าวจะหายไปเมื่อแสงเริ่มน้อยลงจนกระทั่งมีดิสถัว | 0.597 |

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 1.1 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ | | |
|--------|---|---|--|
| 1.2 |  |  |  |
| 1.3 |  |  |  |
| 1.4 |  |  |  |
| 1.5 |  |  |  |

5.1.2 ชุดภาพถ่ายการจราจรที่ 2







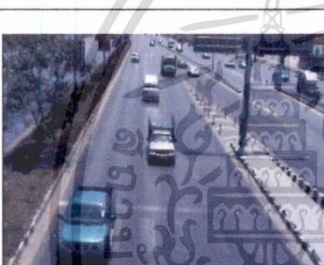
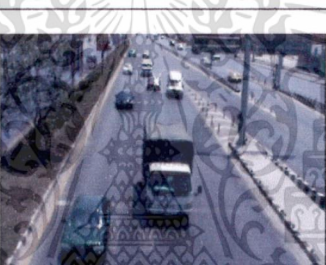
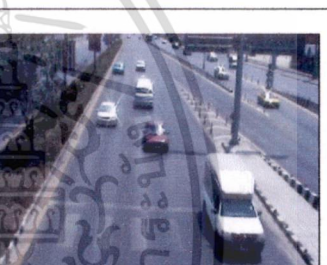

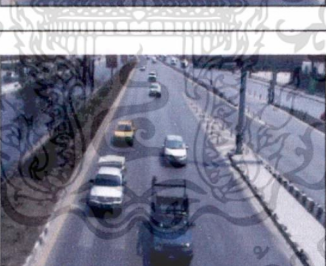

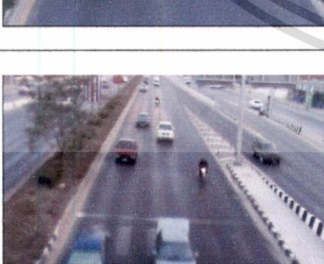

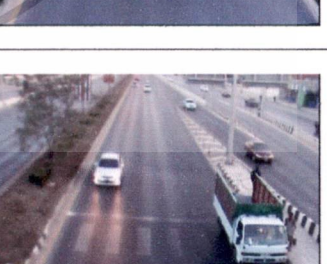
ชุดภาพถ่ายชุดที่ 2 เป็นชุดภาพถ่ายการจราจรบริเวณถนนพุทธศาสตร์ช่วงสะพานข้ามแยกสาครเกษม ภายใต้สภาวะแสงที่หลากหลายตั้งแต่แสงสัว แสงปานกลาง ไปจนกระทั่งแสงมาก ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 นี้ประกอบด้วยชุดภาพถ่ายย่อยๆ 5 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีลักษณะของแสงและเงาในภาพที่แตกต่างกันดังมีรายละเอียดและตัวอย่างภาพถ่ายแสดงในตารางที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 รายละเอียดแสงเงา และ ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ยของชุดภาพถ่าย
การจราจรชุดที่ 2

| ชุด ที่ | ลักษณะแสง | ลักษณะเงา | ค่าการเปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงเฉลี่ย (Average Gradient) |
|------------|--|---|--|
| 2.1 | แสงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาจากมืดสลัว เริ่มสว่าง ไปจนกระทั่งมีแดดอ่อนๆ | ปรากฏเงาของยานพาหนะต่างๆ ทอดยาวเอียงไปทางด้านขวามือ และมีเงาของเสาไฟฟ้าและ ต้นไม้บนพื้นถนน | 0.52 |
| 2.2 | แสงปานกลาง | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มี ความเข้มปานกลางทอดตัวเอียง ไปทางด้านหน้าขวามือ และมี เงาของเสาไฟฟ้าและต้นไม้บน พื้นถนน | 0.62 |
| 2.3 | แสงจ้า และมีแสงสะท้อน กระจกหน้าของยานพาหนะมาก | ปรากฏเงาของยานพาหนะสั้นๆ ที่มีความเข้มมากทอดตัวเอียงไป ทางด้านหน้าซ้ายมือ และมีเงา ของเสาไฟฟ้าบนพื้นถนน | 0.61 |
| 2.4 | แสงปานกลาง และมีแสง สะท้อนกระจกหน้าของ ยานพาหนะปานกลาง | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มี ความเข้มปานกลางทอดตัวเอียง ไปทางด้านหน้าซ้ายมือ และมี เงาของเสาไฟฟ้าบนพื้นถนน | 0.59 |
| 2.5 | แสงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาจากแสงปานกลาง แสงน้อย ไปจนกระทั่งเริ่มมืด สลัว | ปรากฏเงาของยานพาหนะต่างๆ ทอดยาวไปทางด้านหลังซ้ายมือ และเงาดังกล่าวจะหายไปเมื่อ แสงเริ่มน้อยลงจนกระทั่งมืด สลัว | 0.54 |

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ | | |
|--------|---|---|--|
| 2.1 |  |  |  |
| 2.2 |  |  |  |
| 2.3 |  |  |  |
| 2.4 |  |  |  |
| 2.5 |  |  |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

ชุดภาพถ่ายชุดที่ 3 เป็นชุดภาพถ่ายการจราจรบริเวณถนนปิ่นเกล้านครชัยศรี ได้ทางต่างระดับบรมราชชนนีช่วงแยกตัดถนนพุทธมณฑลสายสาม (ทางหลวงพิเศษหมายเลข 338) ภายใต้สภาวะแสงที่หลากหลายตั้งแต่แสงสลัว แสงปานกลาง ไปจนกระทั่งแสงมาก และเนื่องจากภาพถ่ายชุดนี้เป็นภาพถ่ายบริเวณถนนได้ทางต่างระดับจึงทำให้แสงที่ตกกระทบพื้นถนนในชุดภาพถ่ายนี้ไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งภาพ บางส่วนมืด บางส่วนสว่าง โดยถนนส่วนที่อยู่ได้ทางต่างระดับจะมีคกกว่าส่วนที่ไม่ได้อยู่ได้ทางต่างระดับ ชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 นี้ประกอบด้วยชุดภาพถ่ายย่อยๆ 5 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีลักษณะของแสงและเงาในภาพที่แตกต่างกันดังมีรายละเอียดและตัวอย่างภาพถ่ายแสดงในตารางที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 รายละเอียดแสง เงา และค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ลักษณะแสง | ลักษณะเงา | ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ย (Average Gradient) |
|--------|---|---|---|
| 3.1 | แสงน้อย บริเวณถนนตรงกลางจะสว่างน้อยกว่าปกติและค่อนข้างมืดสลัวเนื่องจากอยู่ได้ทางต่างระดับ อีกทั้งมีแสงสะท้อนหน้ากระจกยานพาหนะและแสงสะท้อนบนพื้นถนนที่เกิดจากไฟหน้าของยานพาหนะ | ปรากฏเงาของยานพาหนะสั้นๆ ไม่ชัดเจนมากนักทอดตัวเอียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือ | 0.60 |
| 3.2 | แสงปานกลาง แต่บริเวณถนนตรงกลางสว่างน้อยกว่าปกติและค่อนข้างมืดสลัวเนื่องจากอยู่ได้ทางต่างระดับ | ปรากฏเงาของยานพาหนะสั้นๆ ไม่ชัดเจนมากนักทอดตัวเอียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือ | 0.68 |
| 3.3 | แสงปานกลาง แต่บริเวณถนนตรงกลางสว่างน้อยกว่าปกติและค่อนข้างมืดสลัวเนื่องจากอยู่ได้ทางต่างระดับ | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มีความเข้มปานกลาง ทอดตัวเอียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือ | 0.66 |

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) รายละเอียดแสงเงา และ ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3









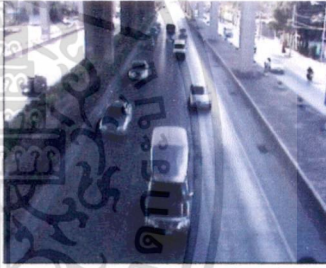


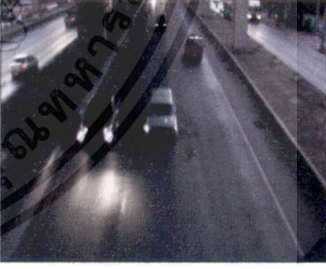
| ชุดที่ | ลักษณะแสง | ลักษณะเงา | ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉลี่ย (Average Gradient) |
|--------|---|--|---|
| 3.4 | แสงสว่างมาก แต่บริเวณถนนตรงกลางสว่างน้อยกว่าปกติและค่อนข้างมืดสลัวเนื่องจากอยู่ใต้ทางต่างระดับ อีกทั้งมีแสงสะท้อนบนพื้นถนนปริมาณมาก โดยเฉพาะในเลนที่ 3 | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มีความเข้มมาก ทอดตัวยาวเฉียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือ | 0.64 |
| 3.5 | แสงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจากสว่างน้อย ไปจนกระทั่งเริ่มมืดสลัว บริเวณถนนตรงกลางมืดสลัวมากกว่าปกติ เนื่องจากอยู่ใต้ทางต่างระดับ อีกทั้งมีแสงสะท้อนหน้าบนพื้นถนนที่เกิดจากไฟหน้าของยานพาหนะ | ปรากฏเงาของยานพาหนะที่มีความเข้มมาก ทอดตัวเฉียงไปทางด้านหน้าซ้ายมือ และเงาดังกล่าวจะหายไปเมื่อแสงเริ่มน้อยลงจนกระทั่งมืดสลัว | 0.57 |

ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 3.1 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ | | |
|--------|---|---|--|
| 3.2 |  |  |  |
| 3.3 |  |  |  |
| 3.4 |  |  |  |
| 3.5 |  |  |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การวิเคราะห์ลักษณะเส้นขอบภาพของยานพาหนะในภาพถ่าย

5.2.1 ลักษณะเส้นขอบภาพของยานพาหนะเมื่อเคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถหรือกรอบหน้าตาการตรวจจับเพียงช่องเดียว

ยานพาหนะที่สัญจรไปมาบนท้องถนนในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกันหลากหลายประเภท แต่ในงานวิจัยนี้เราจะสนใจเฉพาะยานพาหนะประเภทที่มีล้อตั้งแต่ 4 ล้อขึ้นไปเท่านั้น ได้แก่ รถเก๋ง รถกระบะปกติ รถกระบะที่ต่อเติมหลังคา รถอเนกประสงค์ (SUV-Sport Utility Vehicle) รถตู้ รถบัส รถบรรทุก รถพ่วง 1 ตอน และรถพ่วง 2 ตอน เป็นต้น เมื่อนำภาพถ่ายการจราจรที่มียานพาหนะดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียว ไปตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยอาศัยค่าขีดแบ่งจากอัลกอริทึม GATE แล้วจะพบว่ายานพาหนะประเภทรถเก๋ง 4 ที่นั่ง และรถกระบะที่ไม่ต่อเติมหลังคาซึ่งเป็นกลุ่มยานพาหนะขนาดกลางนั้นจะมีลักษณะภาพและลักษณะของเส้นขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ก.) และ 5.1 (ข.) ตามลำดับ เมื่อนำเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาการตรวจจับ ณ ช่วงเฟรมที่ยานพาหนะคันดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับ มาแสดงกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ค.) แล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าตาการตรวจจับนั้นจะมีค่ามากกว่าค่าขอบเขตบน (Upper Bound) และค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ที่ใช้พิจารณาการมีอยู่ของยานพาหนะในกรอบการตรวจจับอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบการตรวจจับ ซึ่งเส้นขอบภาพของยานพาหนะในลักษณะนี้เรียกว่า เส้นขอบภาพของยานพาหนะมีความสม่ำเสมอ

ส่วนยานพาหนะประเภทรถกระบะที่ต่อเติมหลังคา รถอเนกประสงค์ (SUV-Sport Utility Vehicle) และรถตู้ นั้นจะมีลักษณะภาพ เส้นขอบภาพ และปริมาณเส้นขอบภาพขณะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับดังแสดงในรูปที่ 5.3 เมื่อพิจารณากราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพในรูปที่ 5.3 (ค) จะเห็นว่าเส้นขอบภาพของยานพาหนะจะไม่สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาการตรวจจับ โดยมีบางช่วงเวลาหรือบางเฟรมที่ค่าเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าตาการตรวจจับมีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตบนแต่ยังคงสูงกว่าค่าขอบเขตล่างอยู่ เช่น เฟรมที่ 249 เป็นต้น ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะในช่วงเฟรมดังกล่าวมีค่าไม่สม่ำเสมอและต่ำกว่าค่าขอบเขตบนก็คือ บริเวณหลังคาของยานพาหนะนั้นเอง เพราะส่วนหลังคาเป็นส่วนที่ราบเรียบและไม่ค่อยมีรายละเอียด จึงทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพบริเวณนี้มีค่าน้อยกว่าส่วนอื่นๆของยานพาหนะนั้นเอง

สำหรับยานพาหนะประเภทรถบัส รถบรรทุก รถพ่วง 1 ตอน และรถพ่วง 2 ตอนนั้นจัดได้ว่าเป็นกลุ่มยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้เส้นขอบภาพมีปริมาณมากและมากกว่าเส้นขอบภาพของยานพาหนะกลุ่มอื่นๆที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 5.5 อย่างไรก็ตามจากกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะกลุ่มนี้ดังแสดงในรูปที่ 5.5 (ค.) จะเห็นได้ว่าเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบภาพของยานพาหนะกลุ่มนี้ถึงแม้จะมีปริมาณมากก็จริง แต่ก็ไม่สามารถสอดคลองเฟรมที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ อีกทั้งในบางช่วงเฟรมจะมีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตบนและยังมีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตล่างอีกด้วย เช่นในเฟรมที่ 206 เป็นต้น ทั้งนี้บริเวณที่เส้นขอบภาพของยานพาหนะในช่วงเฟรมดังกล่าวมีค่าไม่สม่ำเสมอมากจนกระทั่งต่ำกว่าค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างได้แก่ บริเวณหลังคาของยานพาหนะ เนื่องจากส่วนหลังคาเป็นส่วนที่ราบเรียบบ้างไม่ราบเรียบบ้างสลับกันเป็นช่วงๆ จึงทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพบริเวณนี้มีค่าสูงๆ ต่ำๆ ขึ้นๆ ลงๆ อยู่ตลอดเวลานั่นเอง

จากข้อเท็จจริงเกี่ยวกับปริมาณและความสม่ำเสมอของเส้นขอบภาพของยานพาหนะประเภทต่างๆ ที่ได้กล่าวไปสามารถสรุปหรือจัดกลุ่มของยานพาหนะตามปริมาณและความสม่ำเสมอของเส้นขอบภาพได้ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 กลุ่มของยานพาหนะที่แบ่งตามปริมาณและความสม่ำเสมอของเส้นขอบภาพ

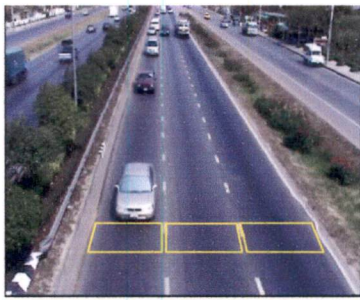
| กลุ่มที่ | ประเภทยานพาหนะ | ขนาด | ปริมาณเส้นขอบ | ความสม่ำเสมอของเส้นขอบ |
|----------|--|------|-------------------|---|
| 1 | - รถเก๋ง 4 ที่นั่ง - รถกระบะไม่ต่อเติม หลังคา | กลาง | ปานกลาง | สม่ำเสมอ |
| 2 | - รถกระบะต่อเติมหลังคา - รถเอนกประสงค์ (SUV) - รถตู้ | กลาง | ปานกลาง | ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (บริเวณหลังคาที่มีรายละเอียดน้อย) |
| 3 | - รถบัส - รถพ่วง 1 ตอน - รถพ่วง 2 ตอน | ใหญ่ | ปานกลาง ถึงสูง | ไม่สม่ำเสมอมาก (บริเวณหลังคาหรือบริเวณกระบะพ่วง หรือบริเวณรอยต่อระหว่างกระบะพ่วง) |

5.2.1 ลักษณะเส้นขอบภาพของยานพาหนะเมื่อเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางหรือกรอบหน้าต่างการตรวจจับสองกรอบ

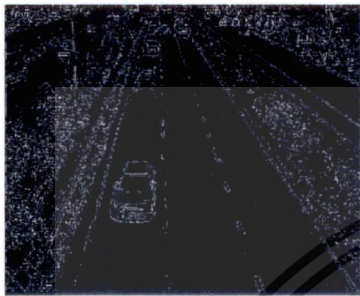
เส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางนั้น จะมีลักษณะปริมาณเส้นขอบภาพที่แตกต่างจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1.1 ทั้งนี้เนื่องจากเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่ใกล้เคียงกันหรือไม่ใกล้เคียงกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ตกอยู่ในกรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างการตรวจจับแต่ละกรอบที่ยานพาหนะเคลื่อนตัวผ่าน สำหรับยานพาหนะที่เคลื่อนตัวอยู่กึ่งกลางระหว่างกรอบหน้าต่างการตรวจจับ 2 กรอบในสัดส่วนที่เท่ากันนั้น จะมีลักษณะภาพ เส้นขอบภาพ และปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับดังแสดงในรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.4 ซึ่งรูปที่ 5.2 (ค) และรูปที่ 5.4 (ค.) จะให้เห็นว่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสองที่ยานพาหนะเคลื่อนตัวผ่าน (กราฟเส้นสีฟ้าและกราฟเส้นสีแดง) นอกจากจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันแล้วยังมีลักษณะหรือค่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นหรือลงที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย แต่ในทางกลับกันถ้ายานพาหนะเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินสองช่องทางแบบเอียงไปในช่องทางใดช่องทางหนึ่งมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 5.6 (ก.) จะมีลักษณะเส้นขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 5.6 (ข.) โดยปริมาณเส้นขอบภาพในช่องทางเดินที่ยานพาหนะเคลื่อนตัวผ่านมากกว่า จะมีปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับมากกว่าเส้นขอบภาพในช่องทางเดินที่ยานพาหนะเคลื่อนตัวผ่านน้อยกว่า อีกทั้งลักษณะการเปลี่ยนแปลงเส้นขอบภาพขึ้นหรือลงก็ยิ่งแตกต่างกันมากอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 5.6 (ค.) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวดังเช่นรูปที่ 5.1 (ค) รูปที่ 5.3 (ค) และ รูปที่ 5.5 (ค) กับปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางทั้งแบบที่ยานพาหนะอยู่กึ่งกลางและไม่ได้อยู่กึ่งกลางระหว่างกรอบหน้าต่างการตรวจจับทั้งสอง ดังเช่นรูปที่ 5.2 (ค) รูปที่ 5.4 (ค) และ รูปที่ 5.6 (ค) จะเห็นได้ว่าค่าผลรวมของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบการตรวจจับของช่องทางเดินรถทั้งสองที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นขอบภาพยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านช่องทางเดินรถเพียงช่องเดียวเสมอ

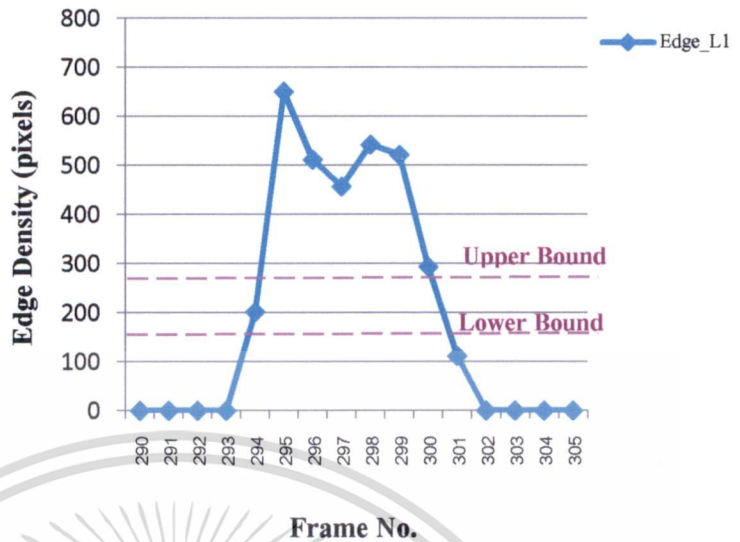


ก.



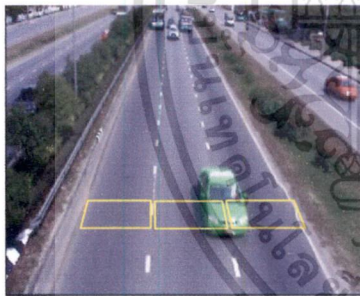
ข.

The Edge Density (1.4.1 F.290-F.305)

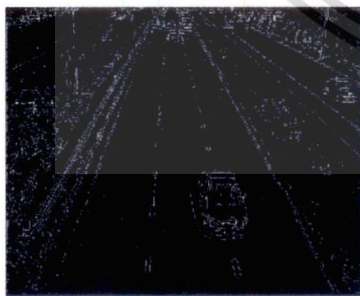


ค.

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 1 ที่วิ่งตรงเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.4.1 เฟรมที่ 290-305 (ค)

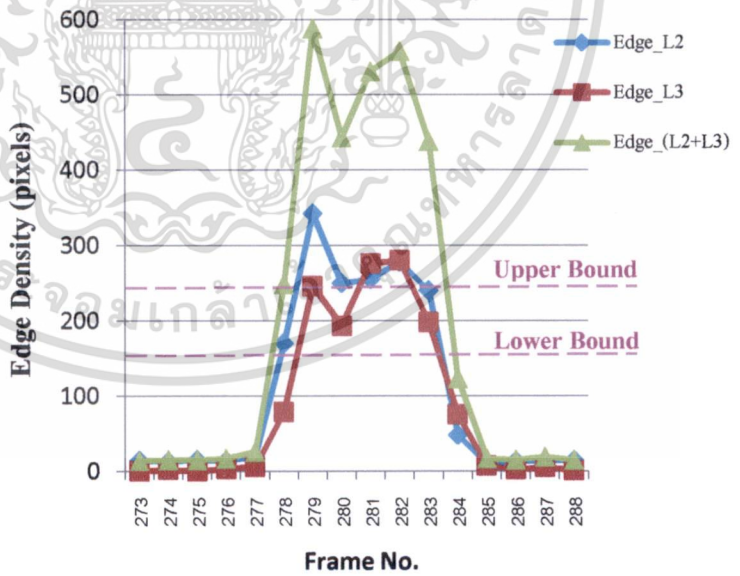


ก.



ข.

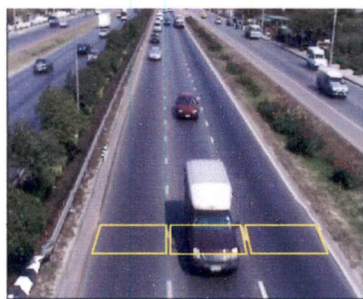
The Edge Density



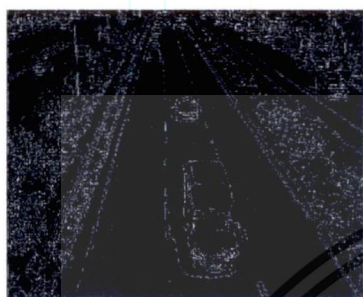
ค.

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 1 ที่วิ่งคร่อมเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.3.3 เฟรมที่ 273-288 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

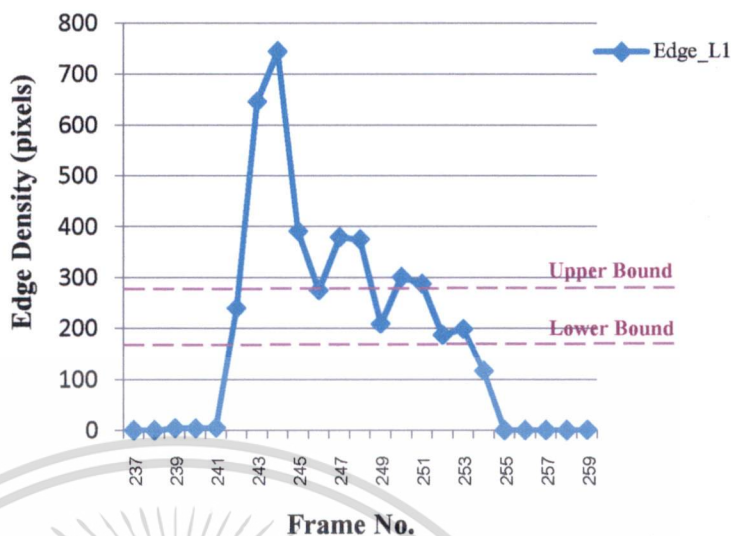


ก.



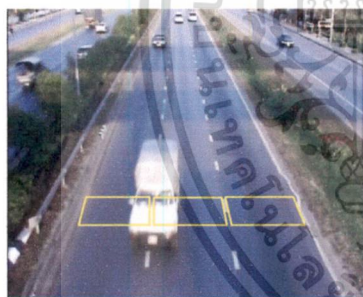
ข.

The Edge Density (1.4.1 F.237-F.259)

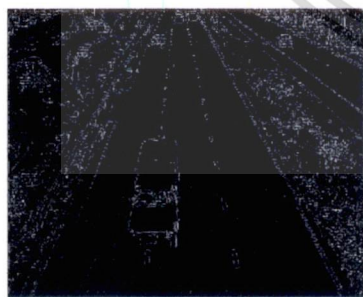


ค.

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 2 ที่วิ่งตรงเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.4.1 เฟรมที่ 237-259 (ค)

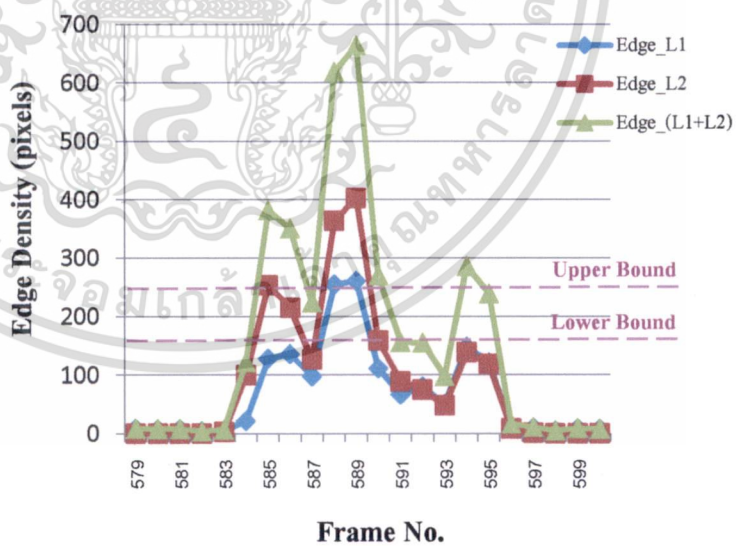


ก.



ข.

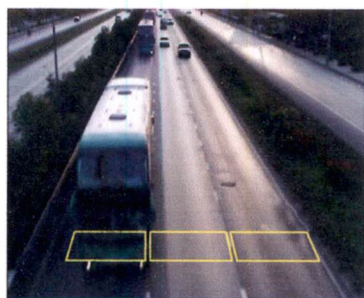
The Edge Density (1.5.1 F.579-F.600)



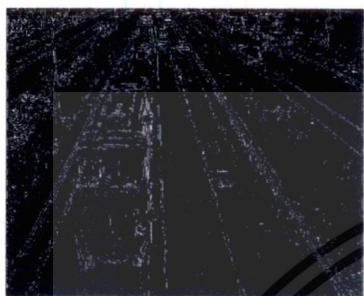
ค.

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 2 ที่วิ่งคร่อมเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.5.1 เฟรมที่ 579-600 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

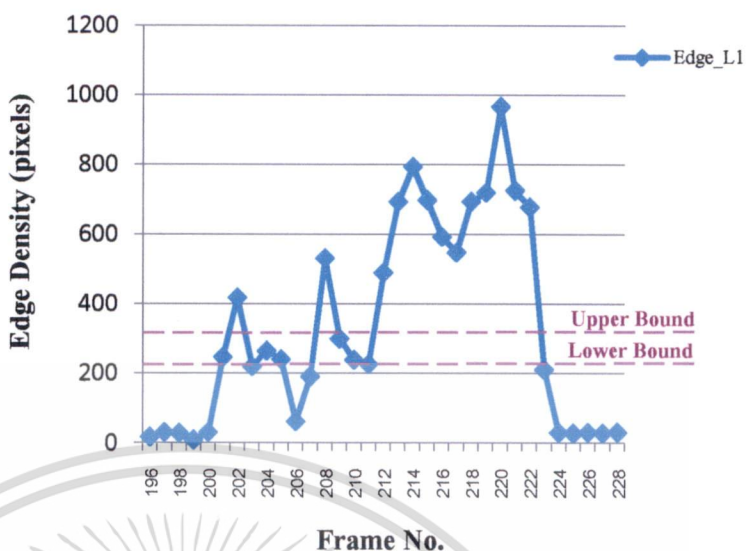


ก.



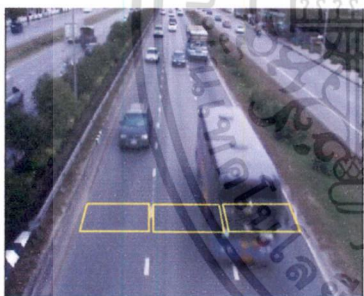
ข.

The Edge Density (1.1.7 F.196-F.228)

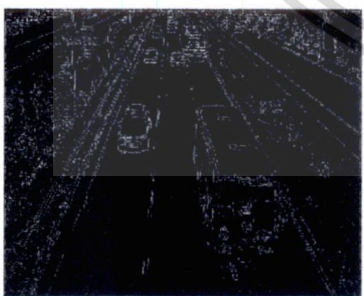


ค.

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 3 ที่วิ่งตรงเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.1.7 เฟรมที่ 196-228 (ค)

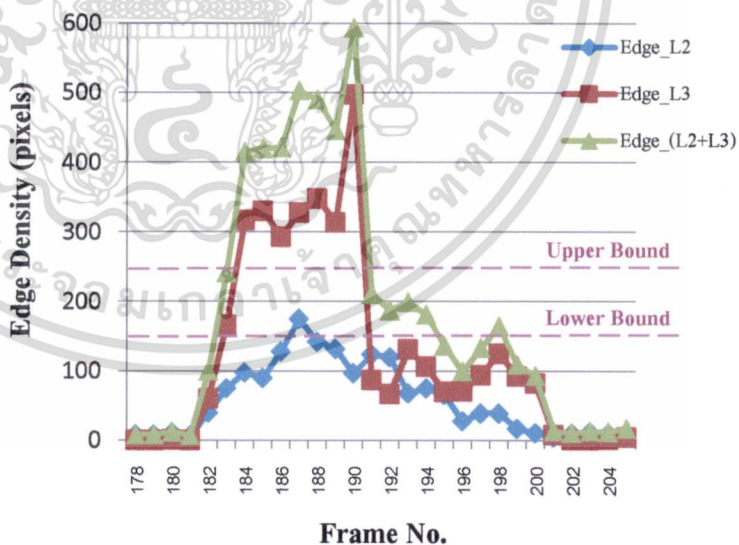


ก.



ข.

The Edge Density (1.3.2 F.178-F.205)



ค.

รูปที่ 5.6 ตัวอย่างภาพยานพาหนะกลุ่มที่ 3 ที่วิ่งคร่อมเลน (ก) ภาพเส้นขอบ (ข) และกราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของชุดภาพถ่ายที่ 1.3.2 เฟรมที่ 178-205 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในสถานะแสงที่แตกต่างกัน

5.3.1 ความคมชัดของภาพถ่ายในสถานะแสงต่างๆ กับค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุด

โดยปกติแล้วความคมชัดของเส้นขอบภาพของยานพาหนะของภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงที่แตกต่างกัน เช่น แสงสลัว แสงน้อย แสงปานกลาง และแสงจ้า เป็นต้น จะมีความคมชัดที่แตกต่างกันตามสถานะแสง กล่าวคือ ภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงสลัว แสงน้อย หรือในสถานะแสงจ้า นั้นจะไม่คมชัดเท่ากับภาพถ่ายในสถานะที่แสงเหมาะสม ไม่มากหรือน้อยจนเกินไปดังแสดงในรูปที่ 5.7 ภาพถ่ายที่มีความคมชัด 5.7 (ค) จะสามารถแสดงรายละเอียดของยานพาหนะได้ดีกว่าภาพถ่ายที่ไม่คมชัด 5.7 (ก.) และ 5.7 (ข.) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณขอบภาพระหว่างยานพาหนะกับพื้นถนนนั้น ภาพถ่ายที่มีความคมชัดจะสามารถแสดงรายละเอียดของเส้นขอบภาพบริเวณดังกล่าว ได้ชัดเจนและสมบูรณ์มากกว่าภาพถ่ายที่ไม่คมชัด จากข้อเท็จจริงนี้เองทำให้เกิดสมมุติฐานที่ว่า ถ้าภาพถ่ายที่มีความคมชัดสามารถแสดงรายละเอียดเส้นขอบภาพได้ชัดเจนกว่าภาพถ่ายที่ไม่คมชัดแล้ว ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดของภาพถ่ายที่มีความคมชัดก็น่าจะมีค่าสูงกว่าภาพถ่ายที่ไม่คมชัดด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพราะค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในภาพถ่ายส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้น ณ บริเวณเส้นขอบภาพ



ก.

ข.

ค.

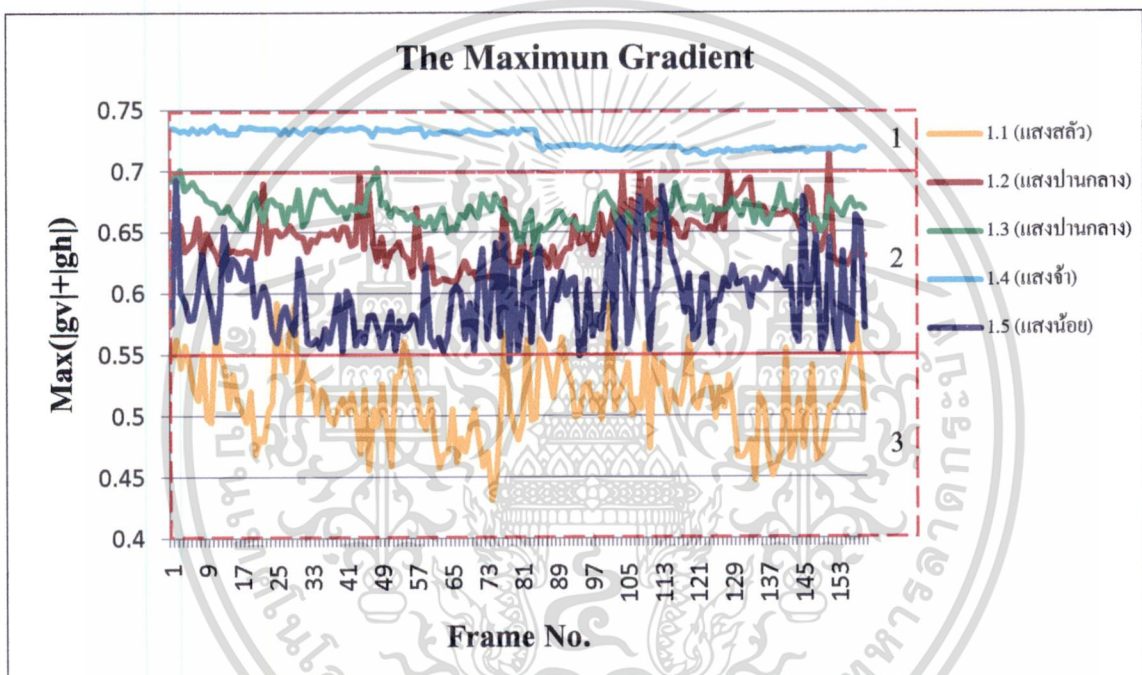
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างภาพถ่ายในสถานะแสงสลัว (ก.) แสงจ้า (ข.) และแสงเหมาะสม (ค.)

เมื่อทดลองนำผลรวมของค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอน ($\max(|gv|+|gh|)$) ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1 ถึง ชุดที่ 1.5 ตั้งแต่เฟรมที่ 1 ถึงเฟรมที่ 160 มานำเสนอในรูปแบบของกราฟเส้นดังแสดงในรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลที่ 1.4 ซึ่งเป็นชุดภาพถ่ายการจราจรในสถานะที่แสงสว่างมากนั้นจะมีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ สูงที่สุด (มากกว่า 0.7) ส่วนชุดข้อมูลที่ 1.1 ซึ่งเป็นชุดภาพถ่ายการจราจรในสถานะที่แสงสลัวนั้นจะมีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ต่ำที่สุด (น้อยกว่า 0.6) สำหรับชุดข้อมูลที่ 1.2 1.3 และ 1.5 ซึ่งเป็นชุดภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจราจรในสภาวะที่แสงสว่างปานกลางนั้นจะมีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ อยู่ในกลุ่มเดียวกันคือมีค่าอยู่ในช่วง 0.55 ถึง 0.7

จากข้อสมมุติฐานและผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าภาพการจราจรในสภาวะแสงสว่างมากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดมากกว่าภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงปานกลางและแสงสลัวตามลำดับ โดยชุดภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงสว่างมากจะมีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ มากกว่า 0.7 ส่วนชุดภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงปานกลางจะมีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ อยู่ในช่วง 0.55 ถึง 0.7 และชุดภาพถ่ายการจราจรในสภาวะแสงสลัวจะมีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ น้อยกว่า 0.55






รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน ($\max(|gv|+|gh|)$) ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1 ถึง 1.5 ตั้งแต่เฟรมที่ 1 ถึงเฟรมที่ 160

5.3.2 ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในสภาวะแสงต่างๆ

การเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะด้วยวิธีการของโซเบล ในสภาวะแสงที่หลากหลายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการเลือกค่าขีดแบ่งที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดจุดรบกวน (noise) ที่ไม่ต้องการในภาพผลลัพธ์ในปริมาณที่มาก ดังแสดงในตารางที่ 5.8 ภาพที่ 1 และ 2 แต่ในทางกลับกันการเลือกค่าขีดแบ่งที่มากเกินไปก็จะทำให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะบางส่วนในภาพผลลัพธ์ขาดหายไปดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


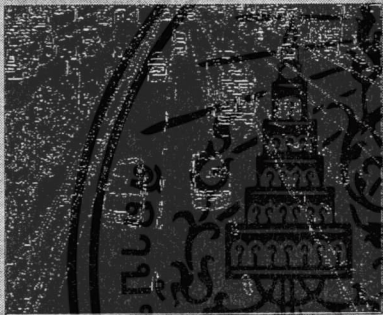

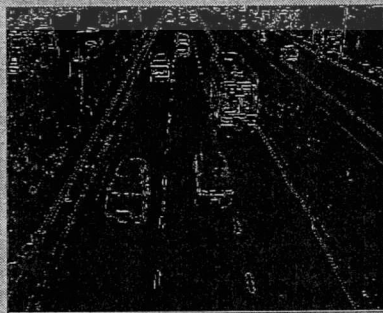
แสดงในตารางที่ 5.8 ภาพที่ 6 ฉะนั้นค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมควรเป็นค่าขีดแบ่งที่ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่มีจุดรบกวนน้อยที่สุด แต่ยังคงความครบถ้วนสมบูรณ์ของเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ดังแสดงในตารางที่ 5.8 ภาพที่ 4

ตารางที่ 5.8 แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.3.2 เฟรมที่ 231 (แสงปานกลาง)

| ภาพที่ | ลักษณะภาพ | ค่าขีดแบ่ง | จุดรบกวนบนพื้นถนน | ความสมบูรณ์ของเส้นขอบของยานพาหนะ | ความเหมาะสม |
|--------|---|------------|-------------------|----------------------------------|-------------|
| 0 |  | RGB | - | - | - |
| 1 |  | 0.01 | มากเกินไป | สมบูรณ์มาก | ไม่เหมาะสม |
| 2 |  | 0.015 | ปานกลาง | สมบูรณ์มาก | ไม่เหมาะสม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

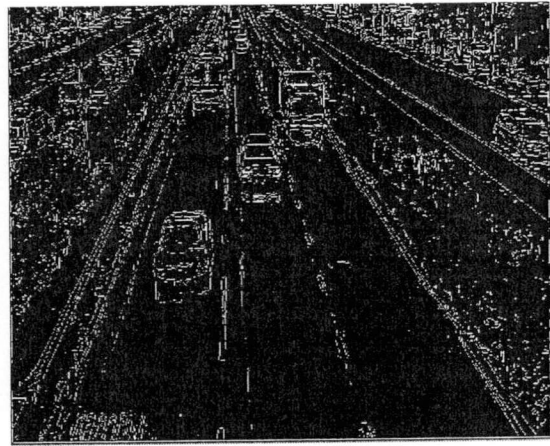
ตารางที่ 5.8 (ต่อ) แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.3.2 เฟรมที่ 231 (แสงปานกลาง)

| ภาพที่ | ลักษณะภาพ | ค่าขีดแบ่ง | จุดรบกวนบนพื้นถนน | ความสมบูรณ์ของเส้นขอบยานพาหนะ | ความเหมาะสม |
|--------|---|------------|-------------------|-------------------------------|---------------|
| 3 |  | 0.02 | น้อย | สมบูรณ์มาก | เหมาะสม |
| 4 |  | 0.025 | ไม่มีจุดรบกวน | สมบูรณ์ | เหมาะสมที่สุด |
| 5 |  | 0.03 | ไม่มีจุดรบกวน | เส้นขอบขาดหายเล็กน้อย | เหมาะสม |
| 6 |  | 0.04 | ไม่มีจุดรบกวน | เส้นขอบขาดหายมาก | ไม่เหมาะสม |

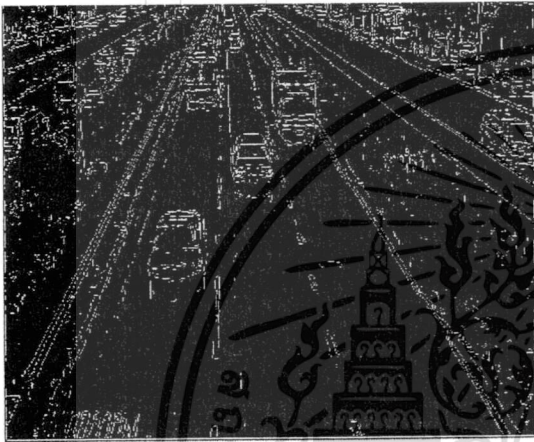
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



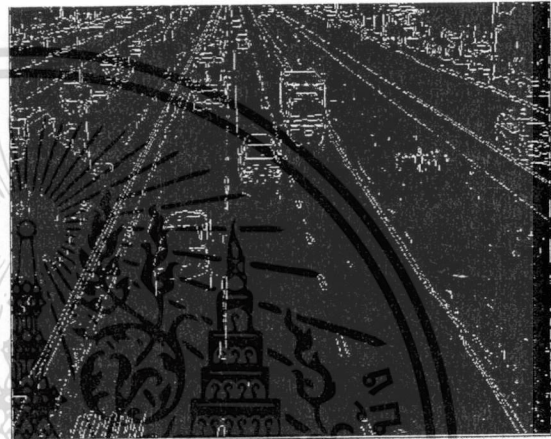
ก. RGB



ข. ค่าขีดแบ่ง = 0.02



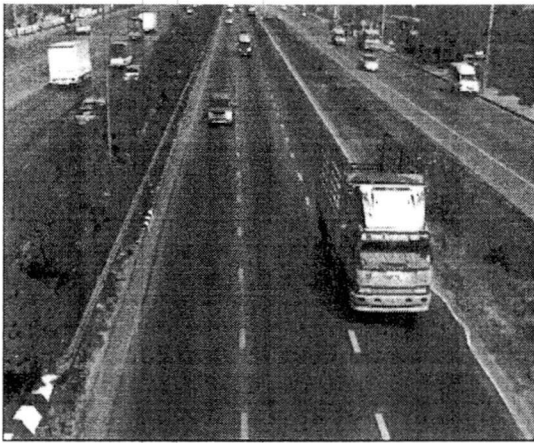
ค. ค่าขีดแบ่ง = 0.025



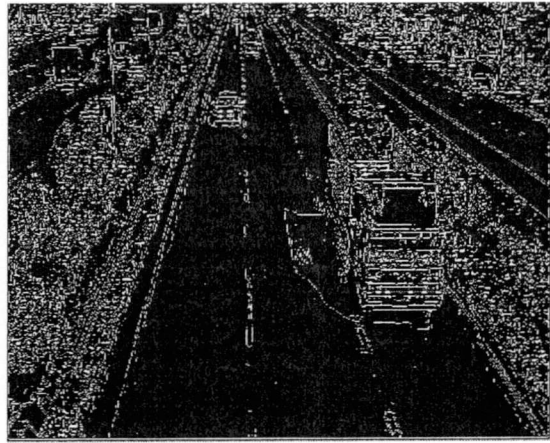
ง. ค่าขีดแบ่ง = 0.03

รูปที่ 5.9 แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.1.3 เฟรมที่ 498 (แสงสลัว)

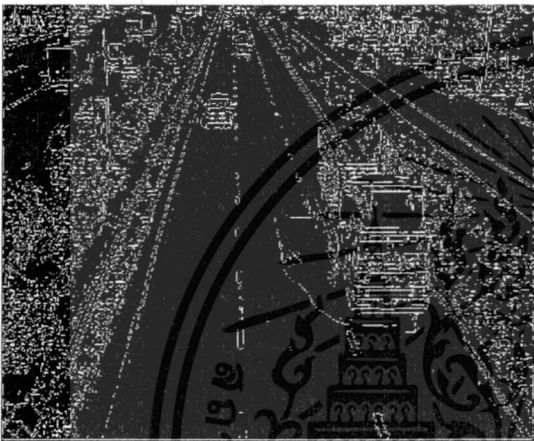
เมื่อทดลองนำชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ในสภาวะแสงสลัว (1.1) แสงปานกลาง (1.2 1.3 และ 1.5) และแสงจ้า (1.4) ไปตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะด้วยค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.07 โดยให้เพิ่มขึ้นทีละ 0.005 เพื่อหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพในแต่ละสภาวะแสง พบว่าค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในสภาวะแสงสลัวมีค่าเท่ากับ 0.02 ดังแสดงในรูปที่ 5.9 (ข.) ส่วนค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในสภาวะแสงจ้ามี่ค่าเท่ากับ 0.03 ดังแสดงในรูปที่ 5.10 (ค.) และสำหรับค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะภาพในสภาวะแสงปานกลางมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.025 ดังแสดงในตารางที่ 5.8 ภาพผลลัพธ์ที่ 4



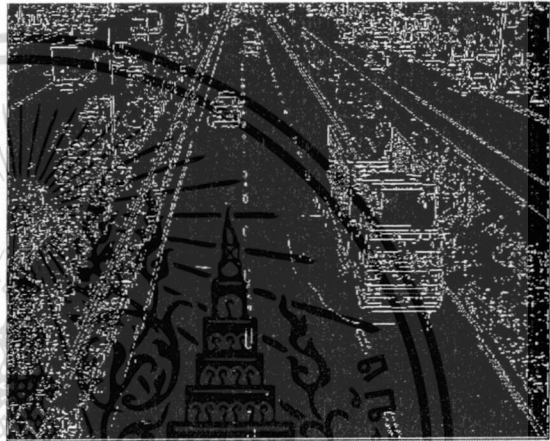
ก. RGB



ข. ค่าขีดแบ่ง = 0.02



ค. ค่าขีดแบ่ง = 0.025



ง. ค่าขีดแบ่ง = 0.03

รูปที่ 5.10 แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของโซเบล โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันของภาพถ่ายจราจรชุดที่ 1.4.1 เฟรมที่ 157 (แสงจ้า)

5.3.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสถานะแสงในภาพถ่าย (GATE: Gradient-based Adaptive Threshold Estimation)

จากค่าข้อมูลเชิงสถิติของผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอนหรือค่า $\max(|gv| + |gh|)$ ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.11 (ก.) พบว่าค่า $\max(|gv| + |gh|)$ ของชุดภาพถ่ายการจราจรบางชุดเช่นชุดที่ 1.1 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงค่อนข้างมากและในบางช่วงเฟรม เช่น ช่วงเฟรมที่ 25 ช่วงเฟรมที่ 105 และช่วงเฟรมที่ 155 เป็นต้น มีค่า $\max(|gv| + |gh|)$ ที่สูงขึ้นผิดปกติและมีค่าสูงเกิน 0.55 ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเปิดไฟหน้าของยานพาหนะบางคัน ดังนั้นถ้ามีการนำค่า $\max(|gv| + |gh|)$ ของช่วงเฟรมดังกล่าวเพียงเฟรมเดียวไปใช้หาค่าขีดแบ่งตามสมการข้างต้น ค่าขีดแบ่งที่คำนวณได้จะมีค่าเป็น 0.025 ซึ่งไม่ใช่ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชุดภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงสว่างอย่างชุดภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจรรยาจรูทที่ 1.1 เพราะจะทำให้รายละเอียดของยานพาหนะไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองเฉลี่ยค่า $\max(|gv|+|gh|)$ โดยใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 2 3 4 5 และ 6 เฟรม เพื่อดูว่าการเฉลี่ยค่า $\max(|gv|+|gh|)$ จะสามารถปรับลดค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ของช่วงเฟรมที่สูงผิดปกติได้หรือไม่ และถ้าได้ควรเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยอย่างน้อยที่สุดกี่เฟรม

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.11 พบว่าการเฉลี่ยค่า $\max(|gv|+|gh|)$ โดยใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 5 เฟรมสามารถปรับลดค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ของช่วงเฟรมที่สูงผิดปกติได้ ยกเว้นช่วงเฟรมที่ 25 ดังนั้นจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ 5 เฟรม เนื่องจากเป็นจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่น้อยที่สุดและเพียงพอที่จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เวลาคำนวณในระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้การเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่มากขึ้นนั้นอาจให้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาข้างต้นได้ดีกว่า แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ ทำให้ต้องจดจำค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ของภาพถ่ายก่อนหน้าเป็นระยะเวลาานมากขึ้น อีกทั้งยังต้องใช้เวลาและสูญเสียภาพถ่ายการจราจรตั้งต้นมากขึ้นเพื่อคำนวณค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ตั้งต้นก่อนที่ระบบจะสามารถเริ่มทำงานได้ ด้วยเหตุนี้เองจึงควรเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่จะสามารถแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ในบางช่วงเฟรมที่สูงหรือต่ำผิดปกติได้เพื่อลดความล่าช้าในการประมวลผลเริ่มต้นของระบบให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

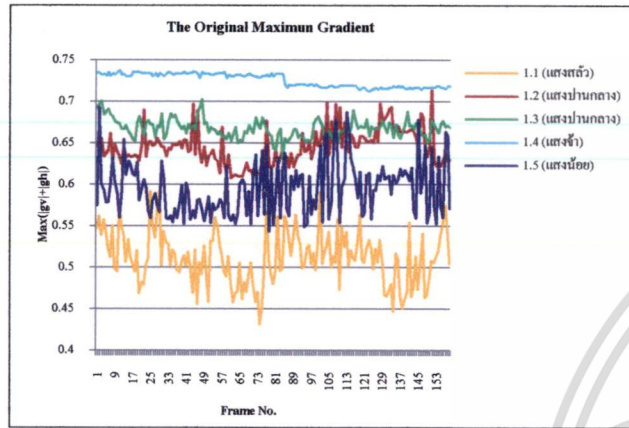
5.3.4. การสรุปค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดระหว่างเฟรมใกล้เคียง

จากการทดลองในหัวข้อ 5.3.1 5.3.2 และ 5.3.3 ซึ่งให้เห็นว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอน ($\max(|gv|+|gh|)$) สามารถบ่งชี้ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะในภาพถ่ายการจราจรภายใต้สถานะแสงที่แตกต่างกันได้ โดยภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงสลัว แสงปานกลาง และแสงจ้าที่มีค่า $\max(|gv|+|gh|)$ อยู่ในช่วง [0.4-0.55] [0.55-0.7] และ [0.7-0.85] ตามลำดับ ควรเลือกใช้ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีการของ โซเบลเป็น 0.02 0.025 และ 0.03 ตามลำดับ แต่เนื่องจากบางครั้งค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ของภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงสลัวอาจมีค่าสูงผิดปกติ จนกระทั่งอาจมีค่าอยู่ในช่วงของภาพถ่ายการจราจรในสถานะแสงปานกลาง ดังนั้นการพิจารณาค่า $\max(|gv|+|gh|)$ ที่ได้จากภาพถ่ายเพียงเฟรมเดียวอาจไม่สามารถบ่งบอกถึงสถานะแสงในภาพถ่ายที่แท้จริงได้ ด้วยเหตุนี้เองการพิจารณาค่าเฉลี่ย $\max(|gv|+|gh|)$ ของเฟรมปัจจุบันร่วมกับเฟรมข้างเคียงเพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งกับแนวแกนนอน (AMG: Average Maximum Gradient) จึงถูกประยุกต์ใช้เพื่อการเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะจากภาพถ่ายในสถานะแสงต่างๆ

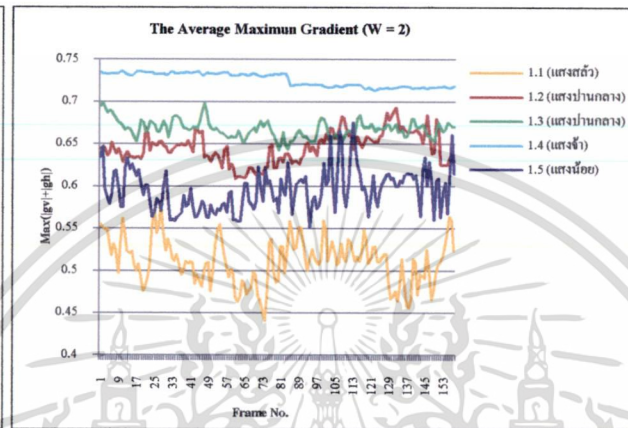
ของอัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติตามสถานะแสงในภาพถ่าย (GATE) ที่
ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้



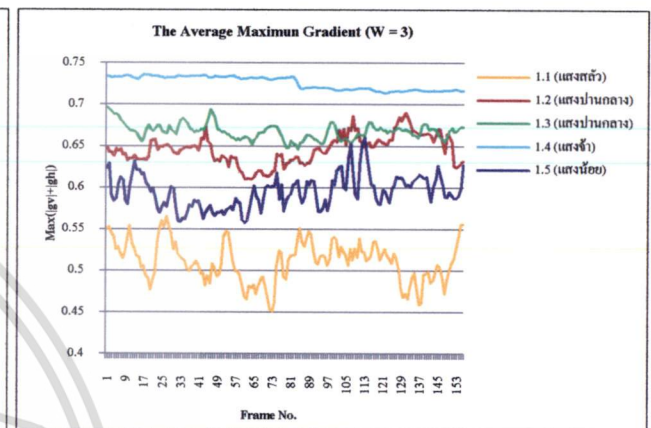
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



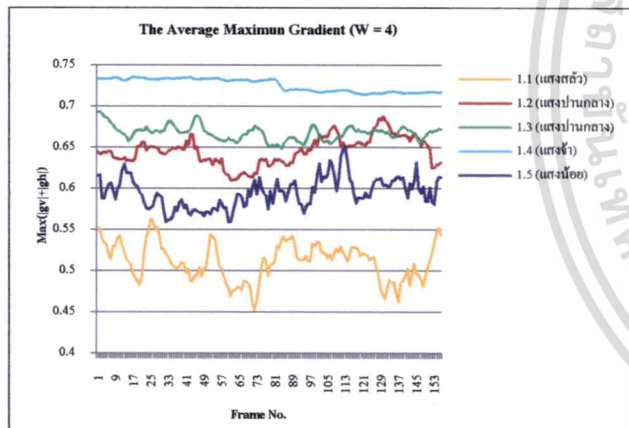
ก.



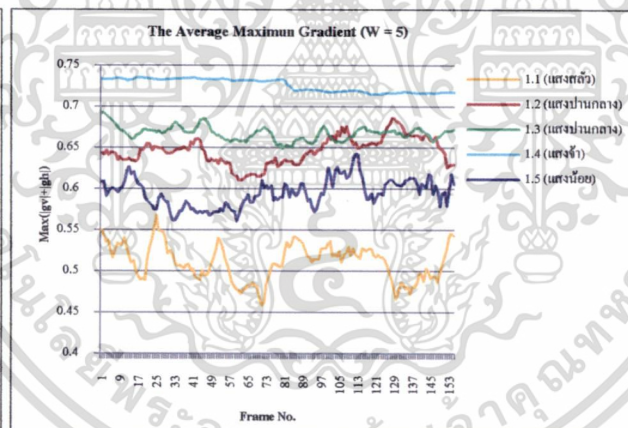
ข.



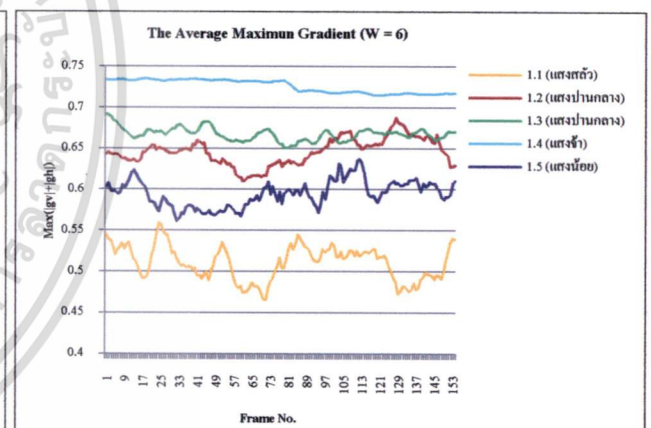
ค.



ง.



จ.



ฉ.

รูปที่ 5.11 กราฟแสดงค่าผลรวมการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1 ถึง 1.5 ตั้งแต่เฟรมที่ 1 ถึงเฟรมที่ 160 (ก.) และกราฟแสดงค่าผลรวมการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสูงสุดเฉลี่ยที่ใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ย (W) เท่ากับ 2 3 4 5 และ 6 เฟรม (ข.-ฉ.)

5.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าขอบเขตบน (Upper Bound) และค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะแบบอาศัยกรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA)

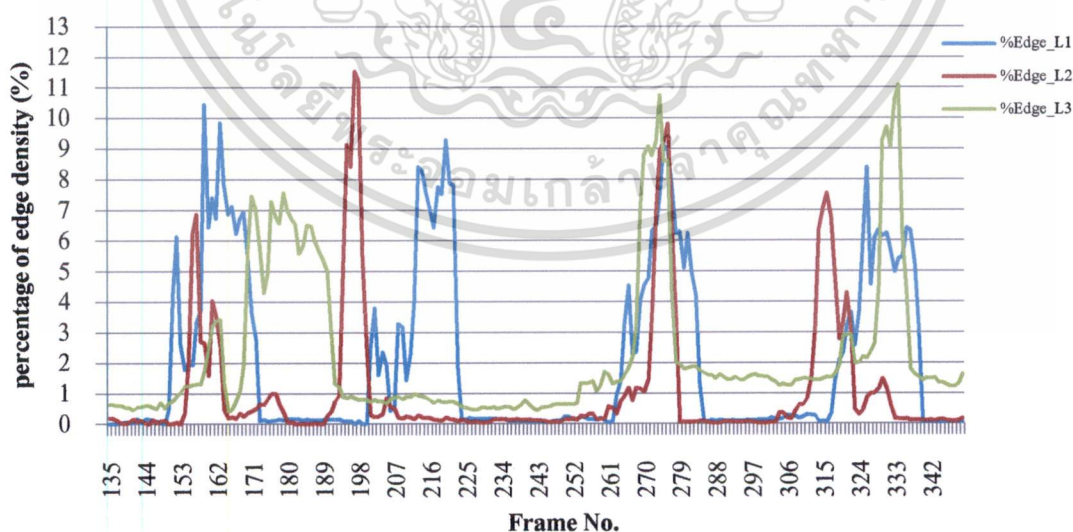
ค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่าง คือ ค่าเปรียบเทียบอ้างอิงสำหรับการพิจารณาสถานะกรอบหน้าต่างการตรวจจับของอัลกอริทึม RBA ว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่หรือไม่ โดยค่าขอบเขตบนคือค่าที่ถูกใช้เพื่อพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับขั้นต้นว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับหรือไม่ ส่วนค่าขอบเขตล่างจะถูกใช้เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าค่าปริมาณเส้นขอบภาพที่น้อยกว่าค่าขอบเขตบนนั้นจะไม่ในช่วงใดช่วงหนึ่งของยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพน้อยกว่าปกติ จากการทดลองพิจารณาปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในขณะที่มีและไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.12 โดยช่วงเฟรมที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 1 ได้แก่ ช่วงเฟรมที่ 150-171 ช่วงเฟรมที่ 198-225 ช่วงเฟรมที่ 261-288 และช่วงเฟรมที่ 315-342 โดยประมาณตามลำดับ ส่วนช่วงเฟรมที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 2 ได้แก่ ช่วงเฟรมที่ 153-162 ช่วงเฟรมที่ 189-198 ช่วงเฟรมที่ 270-279 และช่วงเฟรมที่ 310-333 โดยประมาณตามลำดับ และช่วงเฟรมที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่ 3 ได้แก่ ช่วงเฟรมที่ 153-189 ช่วงเฟรมที่ 261-279 และช่วงเฟรมที่ 315-340 โดยประมาณตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยเฉลี่ยแล้วปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับจะมีค่ามากกว่าร้อยละ 5 ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับเมื่อมียานพาหนะปรากฏอยู่เสมอ เช่น ช่วงเฟรมที่ 189-198 ช่วงเฟรมที่ 270-279 และ 324-342 เป็นต้น แต่ในบางครั้งปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับขณะที่ยังมียานพาหนะปรากฏอยู่อาจมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับ แต่อย่างไรก็ตามยังคงมากกว่าร้อยละ 3 ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับอยู่ อาทิ ช่วงเฟรมที่ 175 และช่วงเฟรมที่ 325 เป็นต้น และในช่วงเฟรมอื่นๆ นอกเหนือจากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น นั่นก็คือช่วงเฟรมที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั้น ซึ่งปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับเมื่อไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับเสมอ

นอกจากนี้จากปริมาณกราฟของกรอบหน้าต่างการตรวจจับในรูปที่ 5.12 ในช่วงเฟรมที่เริ่มมียานพาหนะเคลื่อนที่เข้ามาในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ เช่น ช่วงเฟรมที่ 153-162 ช่วงเฟรมที่ 198-207 หรือช่วงเฟรมที่ 315-324 เป็นต้น นั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการ

ตรวจจับจะมีค่าไม่คงที่และเหวี่ยงขึ้นลงอยู่ในช่วง 1-3 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะเหวี่ยงขึ้นลงในช่วงที่ยานพาหนะเริ่มเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั้นมาจากหลายสาเหตุ อาทิ เงาของยานพาหนะด้านหน้าที่ยังคงปรากฏอยู่บ้างเล็กน้อย หรือความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพบริเวณกันชน กระโปรง และกระจกด้านหน้าของยานพาหนะ เป็นต้น โดยบริเวณที่เป็นเงาหรือกันชนของยานพาหนะจะมีปริมาณเส้นขอบภาพมากกว่าบริเวณกระโปรงหรือกระจกหน้าของยานพาหนะตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ลักษณะปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับเมื่อมีและไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ถ้าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับขึ้นไปแล้วแสดงว่า ขณะนั้นมียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับนั้นแน่นอน และถ้าปริมาณเส้นขอบภาพมีค่าน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับแล้วแสดงว่า ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบหน้าต่างการตรวจจับในขณะนั้น หรืออาจเป็นช่วงที่ยานพาหนะเริ่มเคลื่อนที่เข้ามาในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ แต่เนื่องจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในช่วงเริ่มต้นนี้ยังคงเหวี่ยงขึ้นเหวี่ยงลงอยู่ จึงสมควรให้พิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่มีปริมาณเส้นขอบภาพน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ว่า ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการตรวจจับยานพาหนะเกิน ดังนั้นค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างที่สอดคล้องกับข้อสรุปดังกล่าวจึงควรมีค่าเป็น 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ของขนาดกรอบหน้าต่างการตรวจจับตามลำดับ

The Percentage of Edge Density (1.1.7 F.135-F.350)

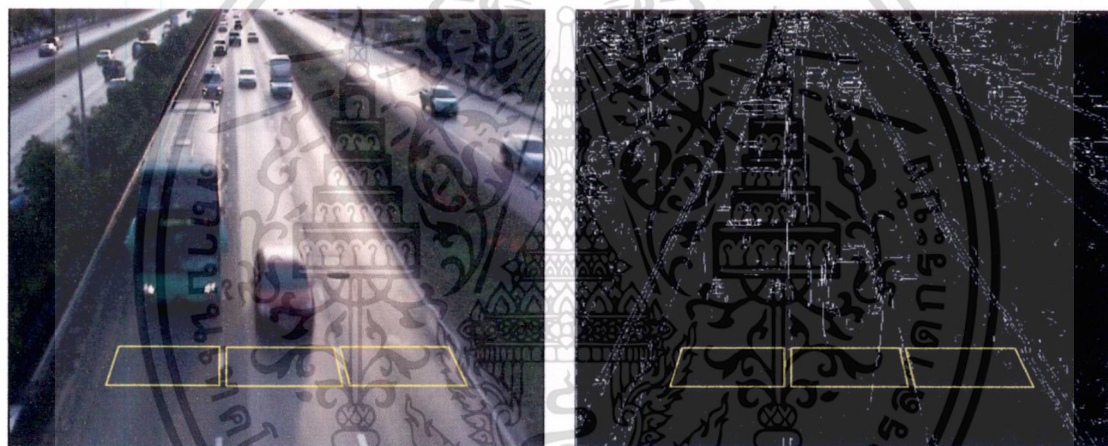


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพของกรอบการตรวจจับที่ 1 2 และ 3 จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1.7 ช่วงเฟรมที่ 135-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (Horizontal Moving Edge Detection: HMED)

จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึม HMED คือ จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่จะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ไม่สม่ำเสมอมากจนมีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างเป็นช่วงๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.14 (ก.) เฟรมที่ 476 482 485 และ 489 เป็นต้น นั่นมีค่าสม่ำเสมอมากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมจะทำให้ค่าปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ณ เฟรมที่มีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตบนและค่าขอบเขตล่างมีค่าสูงขึ้นและสูงขึ้นจนมากกว่าค่าขอบเขตล่าง ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาการตรวจจับยานพาหนะเกินที่มีสาเหตุมาจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะในลักษณะดังกล่าวนั่นเอง



ก.

ข.

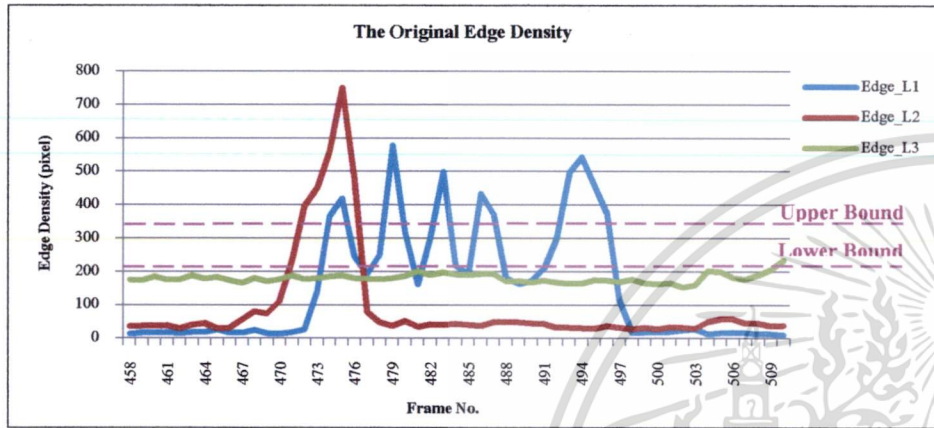
รูปที่ 5.13 ตัวอย่างภาพถ่ายการจราจรจากชุดภาพถ่ายที่ 1.1.7 เฟรมที่ 469 (ก.) และภาพเส้นขอบ (ข) กับกรอบหน้าต่างการตรวจจับ

เมื่อทดลองนำภาพถ่ายประเภทรถบัสดังแสดงในรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอดังแสดงในกราฟเส้นสีฟ้า รูปที่ 5.14 (ก.) ช่วงเฟรมที่ 472-497 ไปหาค่าเฉลี่ยของปริมาณเส้นขอบภาพโดยใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 5 7 และ 9 เฟรมแล้วจะได้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นขอบภาพดังกราฟเส้นสีฟ้าในรูปที่ รูปที่ 5.14 (ข.) (ค.) และ (ง.) ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริธึม HMED นั้นมีค่าเท่ากับ 7 เฟรม เพราะเป็นค่าจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่ให้ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะช่วงเฟรมที่ 476 482 485 และ 489 นั้นมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าค่าขอบเขตล่างได้ทั้งหมด ในขณะที่การเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 5 เฟรมนั้น ไม่สามารถทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพ

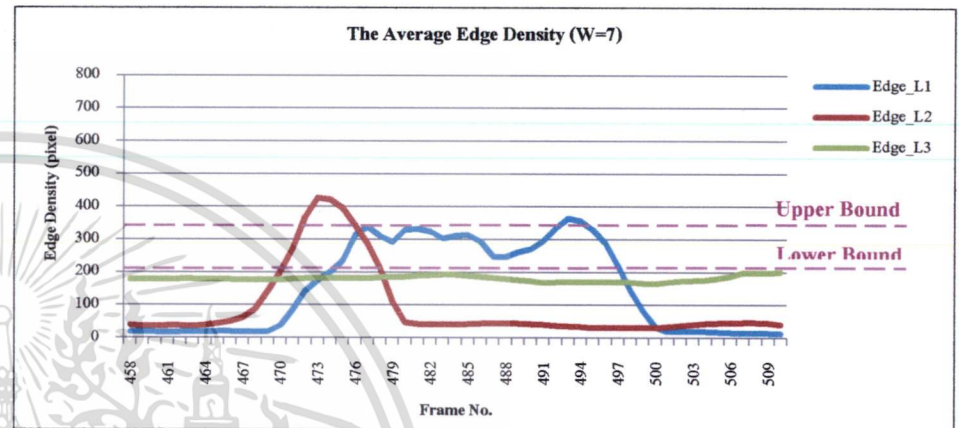
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยสูงขึ้นและสูงมากกว่าเส้นขอบเขตล่างได้หมดทุกจุด โดยเฉพาะในช่วงเฟรมที่ 489 เพราะเป็นช่วงที่ยานพาหนะมีปริมาณเส้นขอบภาพต่ำกว่าค่าขอบเขตล่างมากนั่นเอง

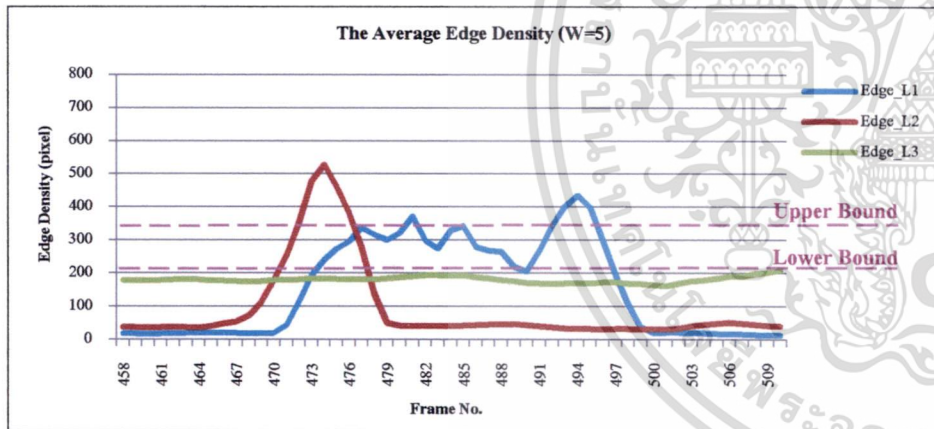
ทั้งนี้การเลือกจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่มีค่ามากกว่า 7 เฟรมนั้นอาจช่วยแก้ไขความไม่สม่ำเสมอของเส้นขอบภาพของยานพาหนะช่วงเฟรมที่มีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตล่างมากได้ดีกว่าจำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 7 เฟรม แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มความล่าช้าให้กับระบบมากขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากการเฉลี่ยค่าปริมาณเส้นขอบภาพในงานวิจัยนี้เกิดจากการนำค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับของเฟรมปัจจุบันไปเฉลี่ยกับค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับของเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไปเป็นจำนวนเท่ากับจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่เลือกใช้ เช่น ถ้าเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 7 เฟรม ค่าเฉลี่ยของเฟรมปัจจุบันจะเกิดจากการนำค่าปริมาณเส้นขอบภาพของเฟรมปัจจุบันไปเฉลี่ยกับค่าปริมาณเส้นขอบภาพของเฟรมก่อนหน้า 3 เฟรม และของเฟรมถัดไป 3 เฟรม ดังนั้นถ้าเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยมากขึ้นระบบจำเป็นต้องเก็บค่าปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับของเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไปจำนวนมากขึ้น นอกจากนั้นการเลือกจำนวนเฟรมเฉลี่ยที่มากขึ้นยังส่งผลให้ปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของยานพาหนะโดยรวมนั้นมีแนวโน้มลดลงจนเข้าใกล้ค่าขอบเขตล่างมากขึ้นด้วย ดังนั้นการเลือกใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยที่มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของยานพาหนะมีค่าน้อยกว่าค่า Lower Bound ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาการตรวจจับยานพาหนะขาดเนื่องยานพาหนะดังกล่าวไม่ได้ถูกตรวจนับนั่นเอง



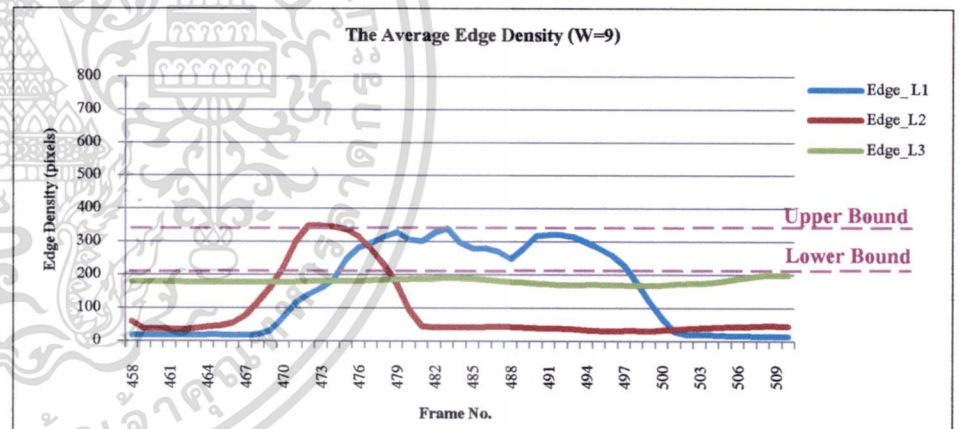
ก.



ก.



ข.



ง.

รูปที่ 5.14 กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบการตรวจจับประจำช่องทางเดินรถที่ 1 2 และ 3 ของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1.1.7 ช่วงเฟรมที่ 458-509 (ก.) และ กราฟแสดงปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ใช้จำนวนเฟรมเฉลี่ยเท่ากับ 5 7 และ 9 ตามลำดับ (ข.-ง.)

5.6 การลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึม RBF [2]

RBA และ FBA

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจนับยานพาหนะจากภาพถ่ายในสถานะแสงต่างๆ ของอัลกอริธึม RBA และ FBA (ซึ่งใช้ค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนตามสภาพแสงในภาพ) ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ และอัลกอริธึม RBF ในงานวิจัยที่ [2] (ซึ่งใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่) โดยทดสอบกับชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งภาพถ่ายทั้งสามชุดนี้เป็นภาพถ่ายการจราจรบริเวณถนนที่แตกต่างกัน ภายใต้สถานะแสงที่หลากหลายดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1 สำหรับประสิทธิภาพของอัลกอริธึม RBA และ FBA นั้นจะถูกทดสอบในรูปของจำนวนยานพาหนะที่อัลกอริธึมตรวจนับได้เทียบกับจำนวนยานพาหนะที่มีอยู่จริงในภาพถ่ายหรือความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะรวม (Detection Rate: %D) ดังแสดงในสมการที่ 5.1

$$\%D = \frac{\text{จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้}}{\text{จำนวนยานพาหนะที่มีอยู่จริง}} \quad (5.1)$$

จำนวนยานพาหนะรวมที่ได้จากอัลกอริธึมที่นำเสนอข้างต้นอาจไม่ใช่จำนวนยานพาหนะจริงๆ ที่ปรากฏอยู่ในภาพถ่ายทั้งหมด แต่อาจมาจากการตรวจนับยานพาหนะเกินหรือขาดก็เป็นไปได้ การตรวจนับยานพาหนะเกินมีสาเหตุมาจากการตรวจนับยานพาหนะคันเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้งหรืออาจมาจากการตรวจนับสิ่งรบกวนเป็นยานพาหนะนั้นเอง และการที่อัลกอริธึมไม่สามารถตรวจนับยานพาหนะในภาพถ่ายได้นั้นเรียกว่าการตรวจนับยานพาหนะขาด ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริธึมการตรวจนับยานพาหนะด้วยอัตราการตรวจนับยานพาหนะรวมเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอที่จะแสดงหรือบ่งบอกประสิทธิภาพที่แท้จริงของอัลกอริธึมได้ โดยเฉพาะกรณีที่มีการตรวจนับยานพาหนะขาดและเกินในปริมาณที่เท่ากันจะทำให้จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้มีค่าเท่ากับจำนวนยานพาหนะจริงที่มีอยู่ในภาพ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงปริมาณยานพาหนะที่ถูกตรวจนับขาดและเกินด้วย โดยจะพิจารณาร่วมกับการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาดทั้งสองในรูปของอัตราการตรวจนับยานพาหนะผิดพลาด (Error Rate: %E) ดังแสดงในสมการที่ 5.2

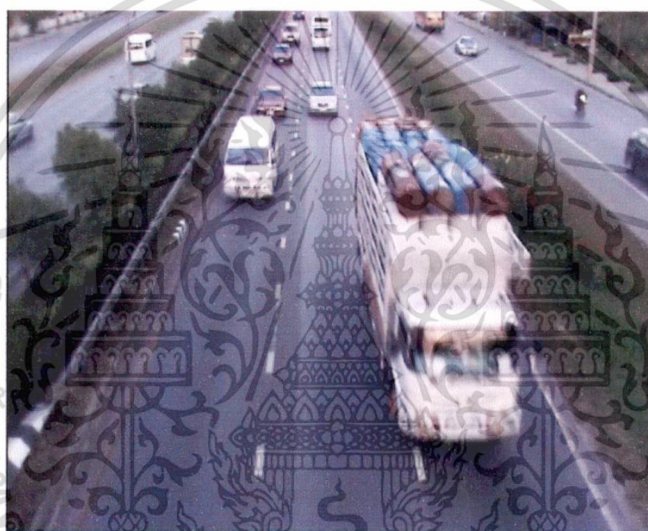
$$\%E = \frac{\text{จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับเกิน} + \text{จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับขาด}}{\text{จำนวนยานพาหนะที่มีอยู่จริง}} \quad (5.2)$$

สำหรับผลการตรวจนับยานพาหนะในสถานะแสงต่างๆ จากภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 2 และ 3 ของอัลกอริธึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ รวมทั้งอัลกอริธึม RBF ในงานวิจัยที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่สิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[2] นั้นมีผลดังแสดงในตารางที่ 5.9 ตารางที่ 5.10 และตารางที่ 5.11 ตามลำดับ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริทึม GATE ซึ่งเป็นค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยน โดยอัตโนมัติตามสถานะแสง และการใช้ค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED เพื่อแก้ไขปัญหาความไม่สม่ำเสมอของเส้นขอบภาพของยานพาหนะในอัลกอริทึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอขึ้นให้ผลการตรวจนับยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึม RBF ในงานวิจัยที่ [2] ซึ่งใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่ตามที่ผู้ใช้กำหนดในทุกสถานะแสง อีกทั้งยังไม่มีกรณีแก้ไขปัญหาความไม่สม่ำเสมอของปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาดอีกด้วย

นอกจากนี้จากผลการทดลองยังชี้ให้เห็นอีกว่าการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Logic) ของอัลกอริทึม FBA เพื่อการพิจารณาสถานะของกรอบหน้าต่างการตรวจนับยานพาหนะที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลการตรวจนับยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้กฎการพิจารณาแบบอาศัยค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ (Upper Bound และ Lower Bound) ของอัลกอริทึม RBA ประมาณ 2.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอัตราการตรวจนับยานพาหนะขาดของอัลกอริทึม RBA และ FBA จะพบว่าอัตราการตรวจนับยานพาหนะขาดของอัลกอริทึม FBA นั้นต่ำกว่าอัตราการตรวจนับยานพาหนะขาดของอัลกอริทึม RBA ประมาณ 2.33 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอัลกอริทึม FBA นั้นสามารถตรวจนับยานพาหนะที่มักจะก่อให้เกิดปัญหาการตรวจนับยานพาหนะขาด เช่น ยานพาหนะเคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง หรือยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพน้อยๆ เป็นต้น ได้ดีกว่าอัลกอริทึม RBA เนื่องจากอัลกอริทึม FBA นั้นมีการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือเพื่อการตรวจนับยานพาหนะที่มีลักษณะดังกล่าว โดยเฉพาะแต่เมื่อพิจารณาอัตราการตรวจนับยานพาหนะเกินของอัลกอริทึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะพบว่าอัตราการตรวจนับยานพาหนะเกินของอัลกอริทึม FBA นั้นจะมากกว่าอัตราการตรวจนับยานพาหนะเกินของอัลกอริทึม RBA อยู่เล็กน้อย เนื่องจากอัลกอริทึม FBA นั้นมีความยืดหยุ่นในการตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางและยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพน้อยๆ ได้ดีกว่าอัลกอริทึม RBA ด้วยความยืดหยุ่นนี้เองจึงทำให้เกิดการตรวจนับยานพาหนะเกินในกรณีที่มียานพาหนะขนาดใหญ่เคลื่อนที่ชิดขอบทางเดินรถมากจนเกินไป จนทำให้มีบางส่วนของยานพาหนะเกินออกมายังช่องทางเดินรถในกรอบการตรวจนับยานพาหนะที่อยู่ติดกันดังแสดงในรูปที่ 5.15 เมื่อพิจารณาเส้นขอบภาพของส่วนที่เกินมาในช่องทางเดินรถข้างเคียงของยานพาหนะขนาดใหญ่ดังกล่าวแล้วจะพบว่าปริมาณเส้นขอบภาพที่ใกล้เคียงกับปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะขนาดปานกลางเช่น รถเก๋ง รถกระบะ ที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้อัลกอริทึม FBA เกิดการตรวจนับยานพาหนะเกินมากกว่าอัลกอริทึม RBA อยู่เล็กน้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สำหรับความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ยของอัลกอริทึม RBF ที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยที่ [2] นั้นมีความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 90.96 เปอร์เซ็นต์และมีอัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาดอยู่ที่ 23.42 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัลกอริทึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะรวมเฉลี่ยสูงถึง 95.84 และ 98.22 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการตรวจนับยานพาหนะผิดพลาดที่ต่ำเพียง 6.18 และ 3.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยอัลกอริทึม FBA และ RBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้ผลการตรวจนับยานพาหนะที่ถูกต้องแม่นยำมากกว่าอัลกอริทึม RBF ที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยที่ [2] ประมาณ 4.88 และ 7.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีอัตราการตรวจนับยานพาหนะผิดพลาดต่ำกว่าอัลกอริทึม RBF ที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยที่ [2] ประมาณ 17.24 และ 19.57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 5.15 ยานพาหนะขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่ชิดขอบช่องทางเดินรถมากจนกระทั่งมีบางส่วนของยานพาหนะล้ำไปยังช่องทางเดินรถข้างเคียง

ตารางที่ 5.9 ผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ของอัลกอริธึม RBF [2] RBA และ FBA

| ชุดที่ | จำนวนเฟรม | จำนวนยานพาหนะจริง (คัน) | ผลการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึม | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| | | | RBF [2] | | | | | RBA | | | | | FBA | | | | |
| | | | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) |
| 1.1 | 3177 | 128 | 129 | 7 | 8 | 99.22 | 11.72 | 124 | 4 | - | 96.88 | 3.13 | 127 | 2 | 1 | 99.22 | 2.34 |
| 1.2 | 910 | 51 | 55 | - | 4 | 92.16 | 7.84 | 52 | - | 1 | 98.04 | 1.96 | 52 | - | 1 | 98.04 | 1.96 |
| 1.3 | 968 | 50 | 58 | 2 | 10 | 84.00 | 24.00 | 51 | - | 1 | 98.00 | 2.00 | 50 | - | - | 100.00 | 0.00 |
| 1.4 | 1074 | 47 | 57 | - | 10 | 78.72 | 21.28 | 47 | 1 | 1 | 100.00 | 4.26 | 47 | 1 | 1 | 100.00 | 4.26 |
| 1.5 | 1448 | 63 | 77 | 2 | 16 | 77.78 | 28.57 | 64 | - | 1 | 98.41 | 1.59 | 66 | - | 3 | 95.24 | 4.76 |
| รวม | 7577 | 339 | 376 | 11 | 48 | 89.09 | 17.40 | 338 | 5 | 4 | 99.71 | 2.65 | 342 | 3 | 6 | 99.12 | 2.65 |

หมายเหตุ

- Sum: จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้ %D: อัตราการตรวจนับยานพาหนะรวม
 Miss: จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับขาด %E: อัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด
 Over: จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับเกิน

ตารางที่ 5.11 ผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA

| ชุดที่ | จำนวนเฟรม | จำนวนยานพาหนะจริง (คัน) | ผลการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึม | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| | | | RBF [2] | | | | | RBA | | | | | FBA | | | | |
| | | | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) |
| 3.1 | 4641 | 186 | 176 | 22 | 12 | 94.62 | 18.28 | 172 | 15 | 1 | 92.47 | 8.60 | 179 | 8 | 1 | 96.24 | 4.84 |
| 3.2 | 4289 | 160 | 138 | 34 | 12 | 86.25 | 28.75 | 142 | 20 | 2 | 88.75 | 13.75 | 152 | 11 | 3 | 95.00 | 8.75 |
| 3.3 | 4514 | 183 | 176 | 29 | 22 | 96.17 | 27.87 | 169 | 15 | 1 | 92.35 | 8.74 | 175 | 9 | 1 | 95.63 | 5.46 |
| 3.4 | 4498 | 201 | 179 | 35 | 13 | 89.05 | 23.88 | 180 | 22 | 1 | 89.55 | 11.44 | 195 | 8 | 2 | 97.01 | 4.98 |
| 3.5 | 3689 | 91 | 74 | 14 | 7 | 81.32 | 34.07 | 80 | 12 | 1 | 87.91 | 14.29 | 87 | 5 | 1 | 95.60 | 6.59 |
| รวม | 21631 | 821 | 743 | 144 | 66 | 90.50 | 28.26 | 743 | 84 | 6 | 90.50 | 10.96 | 788 | 41 | 8 | 95.98 | 5.97 |

หมายเหตุ

Sum: จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้ %D: อัตราการตรวจนับยานพาหนะรวม
 Miss: จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับขาด %E: อัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด
 Over: จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับเกิน

5.7 การทดลองเพื่อวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึม RBF [2] RBA และ FBA

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะที่ได้จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 2 และ 3 ของอัลกอริธึม RBF [2] RBA และ FBA สำหรับการวิเคราะห์สภาพการจราจรโดยทั่วไป [25-29] มักจะพิจารณาจากปริมาณยานพาหนะที่สัญจรไปมาบนท้องถนน ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยรายวันในช่วงระยะเวลาหนึ่งปี (ADT: Average Daily Traffic) หรือปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยรายสัปดาห์ในช่วงระยะเวลาหนึ่งปี (AAWDT: Annual Average Weekday Traffic) เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากเป็นระยะเวลานานแรมปี ดังนั้นการวิเคราะห์สภาพการจราจรในงานวิจัยนี้จึงจะทำการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยต่อวินาที (ATV: Average Total Vehicle) ดังแสดงในสมการที่ 5.3 ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริธึม RBF [2] RBA และ FBA ซึ่งเป็นเพียงชุดข้อมูลการจราจรในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น

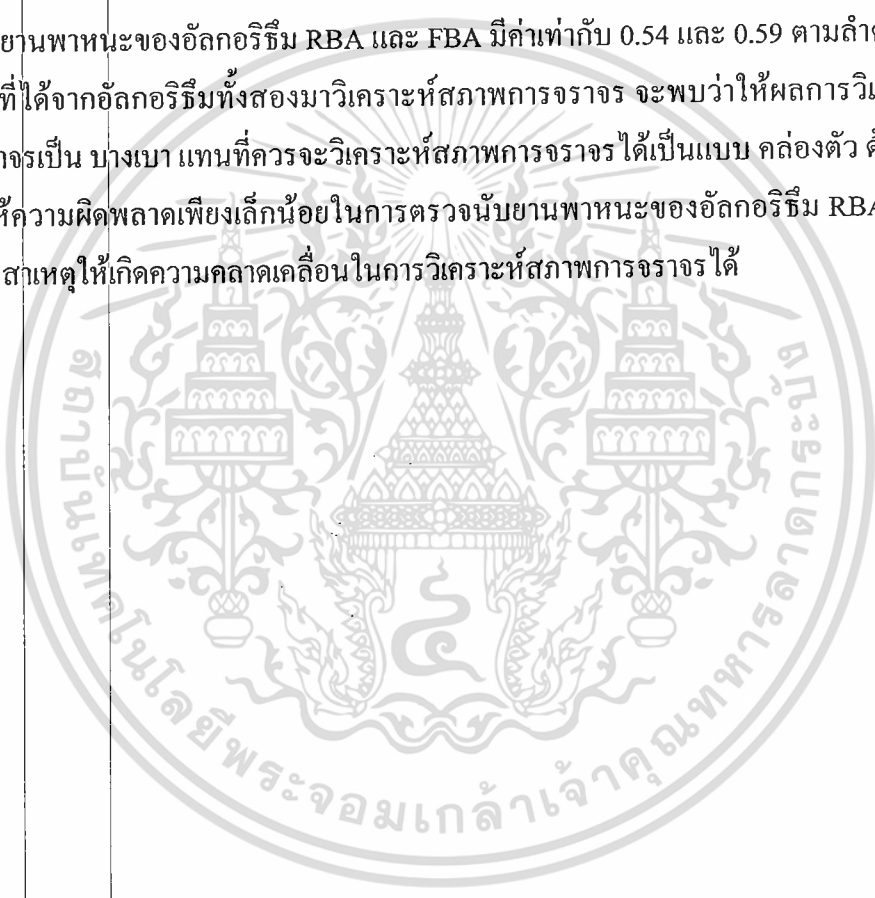
$$ATV = \frac{\text{จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับได้ (คัน)}}{\text{เวลา (วินาที)}} \quad (5.3)$$

สำหรับชุดภาพถ่ายการจราจรที่มีปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยต่อวินาทีหรือค่า ATV น้อยกว่า 0.6 จะถูกกำหนดให้เป็นชุดภาพถ่ายที่มีสภาพการจราจรเบาบาง ส่วนชุดภาพถ่ายการจราจรที่มีค่า ATV อยู่ในช่วง [0.6, 1.2) จะถูกกำหนดให้เป็นชุดภาพถ่ายที่มีสภาพการจราจรคั่งตัว และชุดภาพถ่ายการจราจรที่มีค่า ATV มากกว่าหรือเท่ากับ 1.2 จะถูกกำหนดให้เป็นชุดภาพถ่ายที่มีสภาพการจราจรหนาแน่น จากการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า ATV และสภาพการจราจรดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะของชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 2 และ 3 ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.12 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะที่ได้จากอัลกอริธึม RBF [2] RBA และ FBA ดังแสดงในตารางที่ 5.12 ชุดทดสอบที่ 1.4 และ 1.5 และตารางที่ 5.13 ชุดทดสอบที่ 2.1 ซึ่งให้เห็นว่าการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะที่ได้จากอัลกอริธึม RBA และ FBA ซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรที่มีความถูกต้องแม่นยำและใกล้เคียงกับสภาพการจราจรที่แท้จริง มากกว่าการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะที่ได้จากอัลกอริธึม RBF ซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยที่ [2] ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าอัลกอริธึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้เหมาะสมสำหรับการนำไป

ประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจนับยานพาหนะและวิเคราะห์สภาพการจราจรจริงมากกว่าอัลกอริธึม RBF ที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยที่ [2] นั้นเอง

แม้ว่าอัลกอริธึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นอัลกอริธึมที่มีความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะสูง แต่ก็ยังคงมีความผิดพลาดอยู่บ้างเล็กน้อย จึงอาจส่งผลให้การวิเคราะห์สภาพการจราจรในบางชุดข้อมูลที่มีค่า ATV อยู่ในช่วงขอบของการพิจารณาสภาพการจราจรแบบ เบาบาง-คล่องตัว ($ATV \approx 0.6$) หรือ คล่องตัว-หนาแน่น ($ATV \approx 1.2$) นั้นเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.14 ชุดข้อมูลที่ 3.5 กล่าวคือ ค่า ATV (ที่คำนวณได้ปริมาณจากยานพาหนะจริง) ของชุดข้อมูลที่ 3.5 มีค่าเท่ากับ 0.62 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงขอบของการพิจารณาสภาพการจราจรแบบ เบาบาง-คล่องตัว ในขณะที่ค่า ATV ซึ่งคำนวณได้จากการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึม RBA และ FBA มีค่าเท่ากับ 0.54 และ 0.59 ตามลำดับ เมื่อนำค่า ATV ที่ได้จากอัลกอริธึมทั้งสองมาวิเคราะห์สภาพการจราจร จะพบว่าให้ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรเป็น บางเบา แทนที่ควรวิเคราะห์สภาพการจราจรได้เป็นแบบ คล่องตัว ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยในการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึม RBA และ FBA นั้นเป็นสาเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์สภาพการจราจรได้



ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA

| ชุด ที่ | จำนวน เฟรม | จำนวน ยานพาหนะ จริง (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพ การจราจร จริง | ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรของอัลกอริทึม | | | | | | | | |
|------------|---------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|---|---------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------|
| | | | | | RBF [2] | | | RBA | | | FBA | | |
| | | | | | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร |
| 1.1 | 3177 | 128 | 1.01 | คล่องตัว | 129 | 1.02 | คล่องตัว | 124 | 0.98 | คล่องตัว | 127 | 1.00 | คล่องตัว |
| 1.2 | 910 | 51 | 1.40 | หนาแน่น | 55 | 1.51 | หนาแน่น | 52 | 1.43 | หนาแน่น | 52 | 1.43 | หนาแน่น |
| 1.3 | 968 | 50 | 1.29 | หนาแน่น | 58 | 1.50 | หนาแน่น | 51 | 1.32 | หนาแน่น | 50 | 1.29 | หนาแน่น |
| 1.4 | 1074 | 47 | 1.09 | คล่องตัว | 57 | 1.33 | หนาแน่น | 47 | 1.09 | คล่องตัว | 47 | 1.09 | คล่องตัว |
| 1.5 | 1448 | 63 | 0.81 | คล่องตัว | 77 | 1.33 | หนาแน่น | 64 | 1.10 | คล่องตัว | 66 | 1.14 | คล่องตัว |
| รวม | 7577 | 339 | 1.12 | คล่องตัว | 376 | 1.24 | หนาแน่น | 338 | 1.12 | คล่องตัว | 342 | 1.13 | คล่องตัว |

หมายเหตุ

ATV: ปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยต่อวินาที

Sum: จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA

| ชุด ที่ | จำนวน เฟรม | จำนวน ยานพาหนะ จริง (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพ การจราจร จริง | ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรของอัลกอริทึม | | | | | | | | |
|------------|---------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|---|---------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------|
| | | | | | RBF [2] | | | RBA | | | FBA | | |
| | | | | | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร |
| 2.1 | 3588 | 98 | 0.68 | คloggedตัว | 81 | 0.56 | เบาบาง | 93 | 0.65 | คloggedตัว | 95 | 0.66 | คloggedตัว |
| 2.2 | 3996 | 71 | 0.44 | เบาบาง | 73 | 0.46 | เบาบาง | 71 | 0.44 | เบาบาง | 72 | 0.45 | เบาบาง |
| 2.3 | 3563 | 77 | 0.54 | เบาบาง | 74 | 0.52 | เบาบาง | 77 | 0.54 | เบาบาง | 79 | 0.55 | เบาบาง |
| 2.4 | 3737 | 92 | 0.62 | คloggedตัว | 97 | 0.65 | คloggedตัว | 90 | 0.60 | คloggedตัว | 93 | 0.62 | คloggedตัว |
| 2.5 | 5252 | 109 | 0.52 | เบาบาง | 92 | 0.44 | เบาบาง | 104 | 0.50 | เบาบาง | 110 | 0.52 | เบาบาง |
| รวม | 19025 | 447 | 0.59 | เบาบาง | 417 | 0.55 | เบาบาง | 435 | 0.57 | เบาบาง | 449 | 0.59 | เบาบาง |

หมายเหตุ

ATV: ปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยต่อวินาที

Sum: จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้

ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรจากผลการตรวจนับยานพาหนะจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA

| ชุด ที่ | จำนวน เฟรม | จำนวน ยานพาหนะ จริง (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพ การจราจร จริง | ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรของอัลกอริทึม | | | | | | | | |
|------------|---------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|---|---------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------|
| | | | | | RBF [2] | | | RBA | | | FBA | | |
| | | | | | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร | Sum (คัน) | ATV (คัน/วินาที) | สภาพการ จราจร |
| 3.1 | 4641 | 186 | 1.00 | คloggedตัว | 176 | 0.95 | คloggedตัว | 172 | 0.93 | คloggedตัว | 179 | 0.96 | คloggedตัว |
| 3.2 | 4289 | 160 | 0.93 | คloggedตัว | 138 | 0.80 | คloggedตัว | 142 | 0.83 | คloggedตัว | 152 | 0.89 | คloggedตัว |
| 3.3 | 4514 | 183 | 1.01 | คloggedตัว | 176 | 0.97 | คloggedตัว | 169 | 0.94 | คloggedตัว | 175 | 0.97 | คloggedตัว |
| 3.4 | 4498 | 201 | 1.12 | คloggedตัว | 179 | 0.99 | คloggedตัว | 180 | 1.00 | คloggedตัว | 195 | 1.08 | คloggedตัว |
| 3.5 | 3689 | 91 | 0.62 | คloggedตัว | 74 | 0.50 | เบาบาง | 80 | 0.54 | เบาบาง | 87 | 0.59 | เบาบาง |
| รวม | 21631 | 821 | 0.95 | คloggedตัว | 743 | 0.86 | คloggedตัว | 743 | 0.86 | คloggedตัว | 788 | 0.91 | คloggedตัว |

หมายเหตุ

ATV: ปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยต่อวินาที

Sum: จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้

บทที่ 6

บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนออัลกอริทึมการวิเคราะห์ภาพถ่ายสำหรับระบบตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายภายใต้สภาพแสงที่หลากหลายในเวลากลางวัน ซึ่งสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนออัลกอริทึมการเลือกค่าขีดแบ่งที่ปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแสงในภาพถ่าย (Gradient-based Adaptive Threshold Estimation: GATE) สำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวิธีของโซเบล ทั้งนี้เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ของเส้นขอบยานพาหนะมากที่สุด และปรากฏจุดรบกวนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในทุกๆ สภาพแสง โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใดๆ จากผู้ใช้ และไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเพิ่มเติมใดๆ ในการพิจารณา นอกจากค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ซึ่งเป็นค่าที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ โซเบลอยู่แล้ว

ส่วนที่สองวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการติดตามและตรวจนับยานพาหนะ 2 รูปแบบ กล่าวคือ อัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับกฎการพิจารณาและค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (Rule-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: RBA) และอัลกอริทึมการติดตามและตรวจนับยานพาหนะด้วยวิธีการใช้กรอบหน้าต่างการตรวจจับร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy-based Vehicle Detection Window with Adaptive Parameters: FBA) ซึ่งอัลกอริทึมที่นำเสนอทั้งสองเป็นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจนับยานพาหนะผิดพลาด ซึ่งมีสาเหตุมาจากยานพาหนะขนาดใหญ่ที่มักมีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอ เช่น รถบัส รถบรรทุก และรถพ่วง เป็นต้น โดยอาศัยการประยุกต์ใช้ค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย ที่ได้จากอัลกอริทึมการหาปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ย (Horizontal Moving Edge Detection: HMED) นอกจากนี้ อัลกอริทึมที่นำเสนอทั้งสองยังถูกพัฒนาให้สามารถติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการพิจารณาปริมาณเส้นภาพที่ได้จากกรอบหน้าต่างการตรวจจับข้างเคียงร่วมด้วย นอกเหนือจากปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจ

6.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอทั้งสองส่วน โดยอาศัยชุดภาพถ่ายการจราจรภายใต้สภาพแสงที่หลากหลายในช่วงเวลากลางวัน จำนวน 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด ซึ่งแต่ละชุดเป็นภาพถ่ายการจราจรจากบริเวณถนนที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ถนนบรมราชชนนี ถนนพหลโยธินสายสี่ และถนนปิ่นเกล้า ตามลำดับ สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปเพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย [2] ได้ดังนี้

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึม GATE ร่วมกับอัลกอริทึม HMED และ RBA กับการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม GATE ร่วมกับอัลกอริทึม HMED และ RBA ให้อัตราความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะรวมสูงกว่างานวิจัย [2] ประมาณ 4.88 และ 7.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และให้อัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาดน้อยกว่างานวิจัย [2] ประมาณ 17.27 และ 19.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากเหตุผล 3 ประการ

1. เนื่องจากค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตรวจจับเส้นขอบภาพแบบ โซเบลในแต่ละสภาพแสงเป็นค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นการตรวจจับเส้นขอบภาพภายใต้สภาพแสงที่หลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยอาศัยค่าขีดแบ่งเพียงค่าเดียว จึงไม่อาจทำให้ภาพผลลัพธ์หรือประสิทธิภาพในการตรวจจับดีเทียบเท่าการเลือกใช้ค่าขีดแบ่งแบบปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพแสงจริงในภาพถ่าย จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้เส้นขอบภาพของยานพาหนะในงานวิจัยที่นำเสนอ ซึ่งได้จากการตรวจจับที่เลือกใช้ค่าขีดแบ่งแบบปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแสงจากอัลกอริทึม GATE มีความสมบูรณ์มากกว่า เส้นขอบภาพของยานพาหนะที่ได้จากการตรวจจับซึ่งเลือกใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่ของงานวิจัย [2]
2. เนื่องจากค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยของยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอ มักจะมีค่าสูงกว่าค่าเปรียบเทียบอ้างอิงที่ใช้ในการตรวจนับยานพาหนะ ดังนั้นการนำค่าปริมาณเส้นขอบภาพเฉลี่ยที่ได้จากอัลกอริทึม HMED มาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจนับยานพาหนะในงานวิจัยนี้ จึงส่งผลให้วิธีการตรวจนับยานพาหนะที่นำเสนอทั้งสองแบบสามารถตรวจนับยานพาหนะที่มีปริมาณเส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิภาพมากกว่างานวิจัย [2] ซึ่งไม่มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว
3. เนื่องจากปริมาณเส้นขอบภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง มักถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนตามลักษณะการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ ดังนั้นการนำปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างข้างเคียงมาพิจารณา ร่วมกับปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าต่างการตรวจจับที่สนใจ ของอัลกอริทึม RBA และ FBA จึงทำให้วิธีการติดตามและตรวจนับยานพาหนะที่นำเสนอทั้งสองรูปแบบสามารถแก้ไขปัญหาคารตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่คร่อมช่องทางเดินรถสองช่องทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะงานวิจัย [2] ไม่มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการที่ได้นำเสนอทั้งสองแบบ กล่าวคือ แบบที่อาศัย อัลกอริทึม RBA กับแบบที่อาศัยอัลกอริทึม FBA จะพบว่า แบบที่ใช้อัลกอริทึม FBA ให้อัตราความ ถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะรวมสูงกว่าแบบ RBA ประมาณ 2.38 เปอร์เซ็นต์ และให้ อัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาดน้อยกว่าแบบ RBA ประมาณ 2.33 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการติดตามและตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึม FBA ทำงานบนหลักการพิจารณาด้วยทฤษฎี ฟิสิกส์หรือตรรกศาสตร์คลุมเครือ ซึ่งมีความยืดหยุ่นมากกว่า อัลกอริทึม RBA ที่ทำงานบนหลักการ ของการพิจารณาด้วยกฎที่ตายตัวเป็นหลัก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัลกอริทึม FBA สามารถแก้ไขปัญหา การตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง และยานพาหนะที่มีปริมาณ เส้นขอบภาพไม่สม่ำเสมอได้มีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึม RBA ทั้งนี้เพราะสาเหตุที่แท้จริง ของปัญหาดังกล่าวเกิดจากความไม่สามารถจำแนกช่วงของปริมาณเส้นขอบได้อย่างชัดเจนว่าควร พิจารณาให้ปริมาณเส้นขอบภาพช่วงใดเป็นช่วงที่มีหรือไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบ หน้าต่างการตรวจจับ และถ้ามีควรพิจารณาให้เป็นยานพาหนะที่เคลื่อนที่ปกติทั่วไปหรือ ยานพาหนะที่เคลื่อนที่พร้อมช่องทางเดินรถสองช่องทาง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ

6.2.1 แนวทางในการพัฒนาเพื่อการตรวจตราสภาพการจราจรในเวลากลางคืน

จากบทสรุปที่ได้กล่าวไปจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อการตรวจตราสภาพการจราจรภายใต้สภาพแสงที่หลากหลายในเวลากลางคืนได้อย่างมี ประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามเมื่อนำอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอทั้งสองรูปแบบไปประยุกต์ใช้เพื่อการ ตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายในเวลากลางคืน (ภาพถ่ายอย่างและผลการตรวจนับแสดงใน ภาคผนวก ข.) จะทำให้ความถูกต้องแม่นยำในการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึมที่นำเสนอ ลดลง และปรากฏความผิดพลาดในการตรวจนับเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ แสงไฟหน้ารถที่ยาวและสะท้อนบนพื้นถนน อาจทำให้ยานพาหนะสองคันถูกเชื่อมต่อเข้า ด้วยกัน หรือแสงไฟสะท้อนขนาดใหญ่ที่มีปริมาณเส้นขอบมากอาจถูกพิจารณาเป็นยานพาหนะคัน หนึ่งหรือมากกว่านั้น รวมทั้งค่าขีดแบ่งที่ได้จากอัลกอริทึม GATE นั้นยังไม่เหมาะสมต่อการ ตรวจจับเส้นขอบภาพในเวลากลางคืน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจจับเส้นขอบภาพของยานพาหนะได้ หรือถ้าตรวจจับได้ก็เป็นเส้นขอบภาพที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ตรวจจับได้เฉพาะไฟหน้า เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางในการพัฒนาต่อ เพื่อให้ระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ทำงานบน รากฐานของวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายในเวลากลางคืนได้อย่างมี ประสิทธิภาพ กล่าวคือ พัฒนาอัลกอริทึม GATE ให้สามารถเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการ ตรวจตราสภาพการจราจรในเวลากลางคืนได้ โดยการทดลองและเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมกับค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง (Gradient) หรือค่าระดับความเข้มแสง (Intensity) ในรูปแบบต่างๆ เพื่อสร้างเป็นสมการเงื่อนไขเพิ่มเติมให้กับอัลกอริธึม GATE รวมทั้งพัฒนาอัลกอริธึม RBA โดยการปรับปรุงกฎการพิจารณา และพัฒนาอัลกอริธึม FBA โดยการปรับปรุงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎฟัซซี ให้สามารถติดตามตรวจนับยานพาหนะในเวลา กลางคืน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2.2 แนวทางในการพัฒนาการอัลกอริธึม GATE เพื่อการตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายที่แสงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ

เมื่อพิจารณาผลการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริธึมที่นำเสนอ ซึ่งได้จากการทดสอบด้วยชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 2 และ 3 จะพบว่า อัตราความถูกต้องในการตรวจนับยานพาหนะรวมที่ได้จากชุดทดสอบที่ 3 มีค่าน้อยกว่า อัตราความถูกต้องที่ได้จากการทดสอบด้วยชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เนื่องจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3 เป็นภาพถ่ายการจราจรบริเวณถนนปิ่นเกล้าช่วงที่อยู่ใต้ทางต่างระดับ จึงทำให้สภาพแสงในภาพไม่สม่ำเสมอเท่ากันทั่วทั้งภาพ จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้การเลือกค่าขีดแบ่งของอัลกอริธึม GATE ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร แต่จากการวิเคราะห์พบว่าค่าขีดแบ่งที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมอย่างแท้จริงเพียงเล็กน้อย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอมานัก อย่างไรก็ตาม เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของอัลกอริธึม GATE งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางในการพัฒนาอัลกอริธึม GATE ให้สามารถพิจารณาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับการตรวจตราสภาพการจราจรจากภาพถ่ายภายใต้สภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ การพัฒนาอาจทำได้โดยเปลี่ยนการพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแบบทั้งภาพ เป็นการพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉพาะส่วนที่สนใจแทน หรืออาจนำค่าระดับความเข้มแสงมาพิจารณาร่วมด้วยก็ได้

6.2.3 แนวทางในการพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถอื่นๆ ให้กับระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอ

การตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ โดยการประยุกต์ใช้อัลกอริธึม RBA และ FBA ถือได้ว่าเป็นหน้าที่และความสามารถหลักของระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งความสามารถดังกล่าวเป็นเพียงความสามารถเบื้องต้นของระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอเท่านั้น เนื่องจากระบบตรวจตราสภาพการจราจรที่ได้นำเสนอโดยเฉพาะในส่วนของอัลกอริธึมการตรวจนับยานพาหนะ RBA และ FBA มิได้ถูกออกแบบมาเพื่อการตรวจนับหรือรายงานปริมาณยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการ

ตรวจจับเท่านั้น แต่อัลกอริธึมดังกล่าวยังถูกออกแบบให้สามารถรายงานหมายเลขเฟรมเข้า (Frame In) และหมายเลขเฟรมออก (FrameOut) ของยานพาหนะแต่ละคันที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับได้อีกด้วย ดังนั้นระบบที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้จึงรองรับและง่ายต่อการพัฒนาให้กลายเป็นระบบที่สามารถรายงานข้อมูลการจราจรในรูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากปริมาณยานพาหนะ อาทิ ความเร็วเฉลี่ย ประเภท และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เป็นต้น สำหรับแนวทางในการพัฒนาระบบโดยการนำข้อมูลหมายเลขเฟรมเข้าและเฟรมออกไปใช้เพื่อวิเคราะห์ ความเร็วเฉลี่ย ประเภท และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.2.3.1 แนวทางการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

โดยทั่วไปความเร็วเฉลี่ย หมายถึง อัตราส่วนของระยะทางที่วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับในช่วงเวลาตั้งแต่เฟรมเข้าถึงเฟรมออก จึงสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$Velocity = \frac{Distance(m) \times FrameRate(frame / s)}{|FrameOut - FrameIn + 1|(frame)} \quad (6.1)$$

| | | |
|------------------|-----|--|
| <i>Velocity</i> | คือ | ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละคันขณะที่เคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (หน่วยเมตรต่อวินาที) |
| <i>Distance</i> | คือ | ความกว้างของกรอบหน้าต่างการตรวจจับ (หน่วยเมตร) |
| <i>FrameRate</i> | คือ | อัตราการแสดงภาพของกล้องวิดีโอที่นำมาบันทึกภาพ |
| <i>FrameIn</i> | คือ | หมายเลขเฟรมเข้า |
| <i>FrameOut</i> | คือ | หมายเลขเฟรมออก |

6.2.3.1 แนวทางการวิเคราะห์ประเภทของยานพาหนะ

สำหรับแนวทางการวิเคราะห์ประเภทของยานพาหนะจากหมายเลขเฟรมเข้า และหมายเลขเฟรมออกที่ได้จากอัลกอริธึม RBA หรือ FBA สามารถทำได้โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะแต่ละประเภทว่า โดยเฉลี่ยแล้วใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าต่างการตรวจจับเป็นระยะเวลาเท่าใด (ในรูปของจำนวนเฟรม) และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์และสร้างเป็นสมการเงื่อนไขหรืออัลกอริธึมเพื่อพิจารณาประเภทของยานพาหนะ ทั้งนี้ควรนำข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วเฉลี่ยของ

ยานพาหนะ (ที่ได้จากหัวข้อ 6.2.3.1) มาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ เนื่องจากความเร็วของยานพาหนะแต่ละคัน แต่ละประเภท เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับของยานพาหนะ

6.2.3.1 แนวทางการวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

การตรวจติดตามและตรวจนับยานพาหนะ โดยอาศัยเทคนิคกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับรวมกับอัลกอริธึม RBA และ FBA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะยานพาหนะจะเคลื่อนที่ผ่านกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับในทิศทางใดก็ตาม ทั้งนี้เพราะอัลกอริธึมที่นำเสนอจะอาศัยเพียงข้อมูลปริมาณเส้นขอบภาพในกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับ เพื่อนำมาวิเคราะห์การมีอยู่ของยานพาหนะเท่านั้น ซึ่งโดยปกติจะอาศัยกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับ 1 กรอบต่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะใน 1 ช่องทางเดินรถเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มความสามารถในการระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะให้กับระบบ อาจทำได้โดยการเพิ่มกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับให้มากขึ้นอย่างน้อยที่สุด 2 กรอบต่อการติดตามและตรวจนับยานพาหนะใน 1 ช่องทางเดินรถ แล้วนำหมายเลขเฟรมเข้าหรือเฟรมออกของแต่ละกรอบหน้าตาंतरการตรวจจับสามารถตรวจจับได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อพิจารณาว่ากรอบใดสามารถตรวจจับยานพาหนะได้ก่อน และนำผลการเปรียบเทียบดังกล่าวมาสรุปเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในแต่ละช่องทางเดินรถ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kiratiratanapruk K., Dubey P., Siddhichai S. "A Gradient-based Foreground Detection Technique for Object Tracking in a Traffic Monitoring System". IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Sept 2005. Pp. 377-381.
- [2] Yew Liam Ng, Kim Siah Ang, Chee Chung Chong and Ming Kun Gu. "Image Processing Techniques for A Video based Traffic Monitoring System and Methods Therefore," Patent Cooperation Treaty (PCT). International Application No. PCT/SG99/00115. May 2001.
- [3] Fathy M., Siyal M.Y. "An Image Detection Technique based on Morphological Edge Detection and Background Differencing for Real-time Traffic Analysis". Pattern Recognition Letters. Vol.16, Issue 12. Dec 1995. Pp. 1321-1330.
- [4] Fathy M., Siyal M.Y. "A Window-based Edge Detection Technique for Measuring Road Traffic Parameters in Real-Time". Real-Time Imaging 1. Vol.1, Issue 4. Oct 1995. Pp. 297-305.
- [5] Li Li., Fei-Yue Wang. Advanced Motion Control and Sensing for Intelligent Vehicles. Springer US. 2007. Pp.135-184.
- [6] Kastrinaki V., Zervakis M. and K. Kalaitzakis. "A Survey of Video Processing Techniques for Traffic Applications". Image And Vision Computing. Vol.21, Issue 4. April 2003. Pp. 359-381.
- [7] Cucchiara R., Piccardi M. and Mello P. "Image Analysis and Rule-based Reasoning for a Traffic Monitoring System". International Conference on Intelligent Transportation Systems. 1999 . Pp.758-763.
- [8] Kun A.J., Vamossy Z. "Traffic Monitoring with Computer Vision". 7th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics. Jan 2009. Pp. 131-134.
- [9] Gupte S., Masoud O., Martin R.F.K., Papanikolopoulos N.P. "Detection and Classification of Vehicles" IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 3, Issue 1. Mar 2002. Pp.37-47.
- [10] Kiratiratanapruk K., Siddhichai S. "Vehicle Detection and Tracking for Traffic Monitoring System". TENCON 2006, 2006 IEEE Region 10 Conference. Nov 2006. Pp. 1-4.
- [11] Yuan-Kai Wang, Shao-Hua Chen. "A Robust Vehicle Detection Approach". IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Sept 2005. Pp.117-122.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Robert Fisher. 2007. Optical Flow CVonline : Motion and Time Sequence Analysis. [Online]. Available : <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/motion.htm>.
- [13] รศ.ดร. ชูชาติ ปิ่นทิวรุจน์. การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย C++. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์วีเจ. 2552.
- [14] ผศ.ดร. อรรถกร จิตต์โสภักดิ์. ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัท สงวนกิจ พรินท์ แอนด์ มีเดีย. 2552.
- [15] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing. 3rd ED. New Jersey : Pearson Education, Inc. 2010
- [16] John Canny, "A Computational Approach to Edge Detection". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. PAMI-8, No. 6. Nov 1986. Pp.679-698.
- [17] Bill Green. 2002. Canny Edge Detection Tutorial. [Online]. Available : http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.html.
- [18] ศิวพร หุณหวิริยะธีระ. "การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่โดยใช้เทคนิคการแปลงข้อมูลแบบฮัฟเฟิลโคสตีเรชั่น และวิธีการค้นหาแบบเลือกค่าที่ดีที่สุดก่อน". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [19] จารวี ฉันทสิทธิ์พร. "การจำแนกชนิดยาเม็ดจากภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคเครือข่ายประสาท". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2547.
- [20] รศ.ดร. ชูชาติ ปิ่นทิวรุจน์. การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย MATLAB. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์วีเจ. 2551.
- [21] ดร.พยุง มีสัง. 2553. "แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก". [Online]. Available : <http://suanpalm.3kmitnb.ac.th/teacher/phayung/powerpoint.asp?pno=1>.
- [22] แคทลียา ดวงเกตุ. "การใช้ค่าในการค้นคืนรูปภาพ". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [23] The MathWorks, Inc. "User's Guide: Fuzzy Logic Toolbox". [Online]. Available : <http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/fp243dup9.html>.
- [24] Michael Negnevitsky. "Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems". 2nd ED. Addison Wesley. 2005.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่สิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


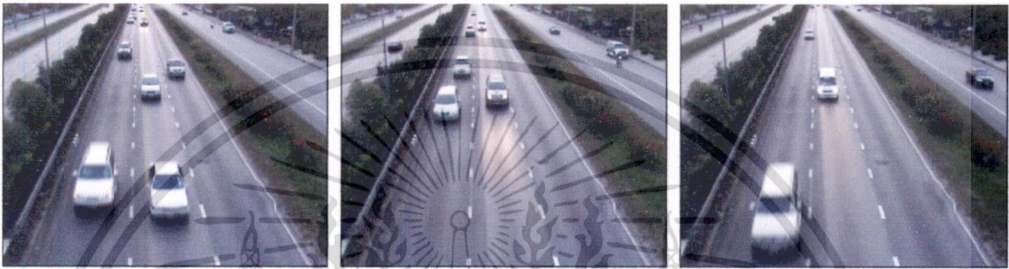
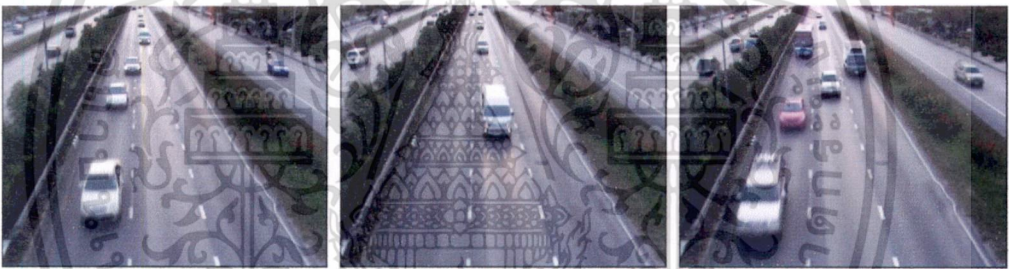




ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1 2 และ 3





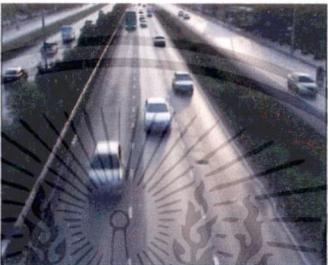










เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 1.1 |  |
| | 1.1.1 เฟรมที่ 86 149 และ 237 |
| |  |
| | 1.1.2 เฟรมที่ 73 154 และ 271 |
| |  |
| | 1.1.3 เฟรมที่ 49 101 และ 491 |
| |  |
| | 1.1.4 เฟรมที่ 105 149 และ 212 |
| |  |
| | 1.1.5 เฟรมที่ 25 139 และ 277 |












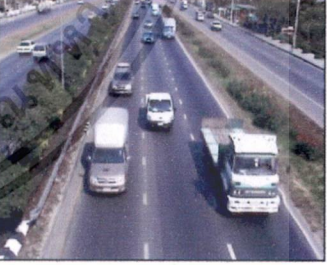
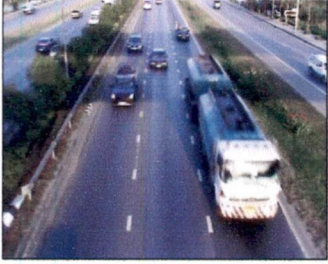
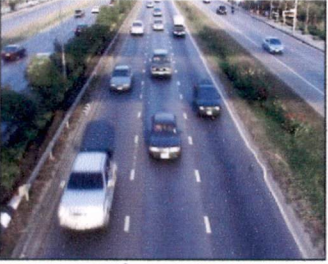
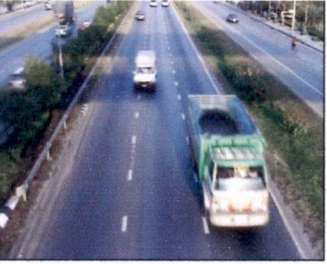
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 1.1 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.1.6 เฟรมที่ 13 225 และ F393</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.1.7 เฟรมที่ 149 367 และ 729</p> |
| 1.2 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.2.1 เฟรมที่ 41 81 และ 141</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.2.2 เฟรมที่ 119 173 และ 301</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.2.3 เฟรมที่ 27 109 และ 223</p> |

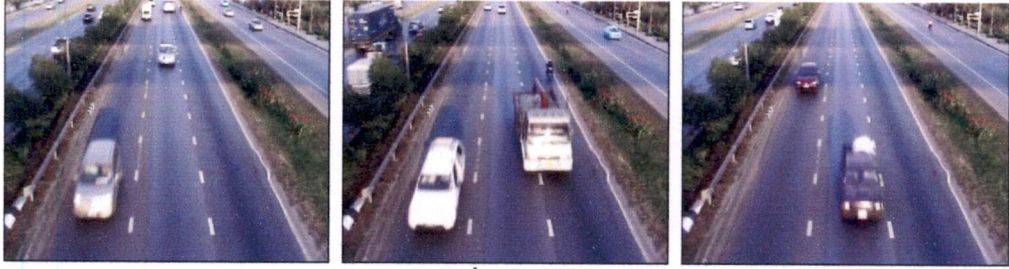

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1


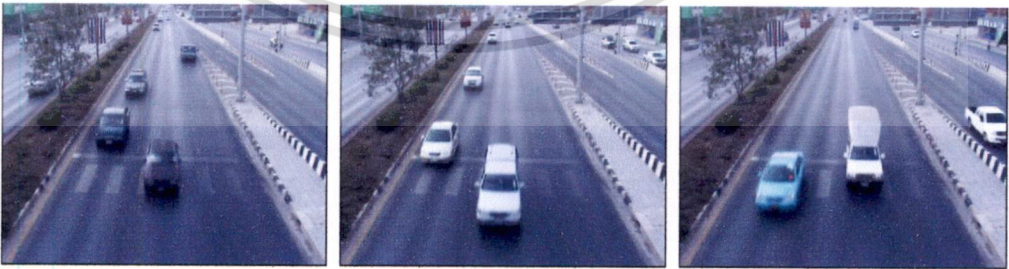
| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 1.3 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.3.1 เฟรมที่ 51 135 และ 239</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.3.2 เฟรมที่ 45 115 และ 253</p> |
| 1.4 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.4.1 เฟรมที่ 65 241 และ 377</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.4.2 เฟรมที่ 109 563 และ 469</p> |
| 1.5 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">1.5.1 เฟรมที่ 145 315 และ 367</p> |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 1


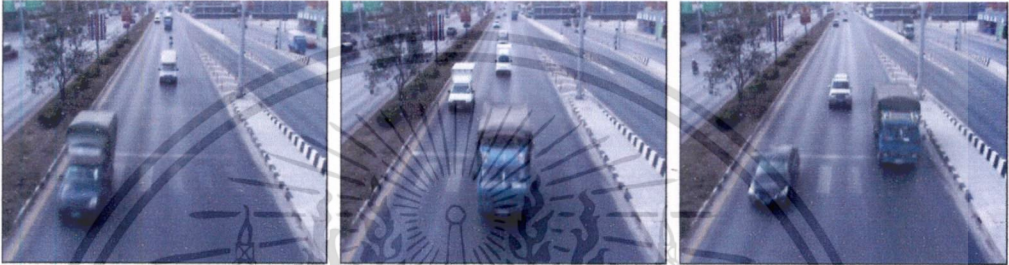
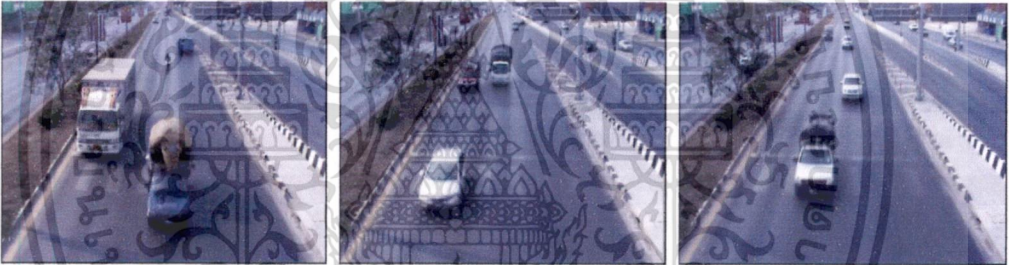


| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 1.5 |  <p data-bbox="617 607 943 651">1.5.2 เฟรมที่ 77 161 และ 443</p> |
| |  <p data-bbox="608 927 952 972">1.5.3 เฟรมที่ 101 155 และ 265</p> |

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 2.1 |  <p data-bbox="608 1458 937 1503">2.1.1 เฟรมที่ 81 303 และ 487</p> |
| |  <p data-bbox="608 1778 937 1823">2.1.2 เฟรมที่ 19 171 และ 361</p> |






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 2.1 |  |
| | 2.1.3 เฟรมที่ 169 309 และ 587 |
| |  |
| | 2.1.4 เฟรมที่ 27 141 และ 307 |
| |  |
| | 2.1.5 เฟรมที่ 45 225 และ 515 |
| 2.2 |  |
| | 2.1.6 เฟรมที่ 49 227 และ 427 |
| |  |
| | 2.2.1 เฟรมที่ 85 423 และ 583 |


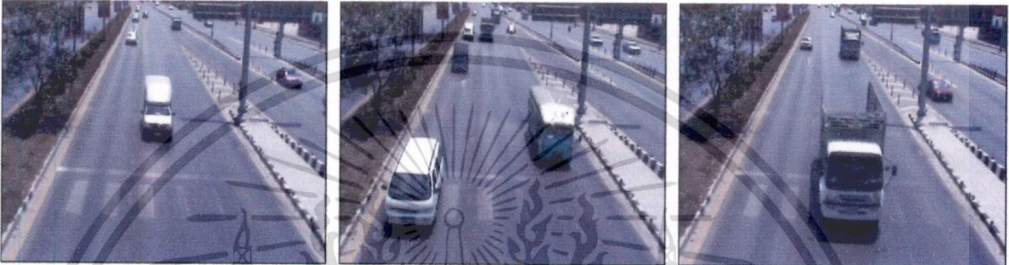



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 2.2 |  |
| | 2.2.2 เฟรมที่ 39 373 และ 657 |
| |  |
| | 2.2.3 เฟรมที่ 57 111 และ 551 |
| |  |
| | 2.2.4 เฟรมที่ 101 157 และ 327 |
| |  |
| | 2.2.5 เฟรมที่ 135 477 และ 705 |
| |  |
| | 2.2.6 เฟรมที่ 215 367 และ 591 |


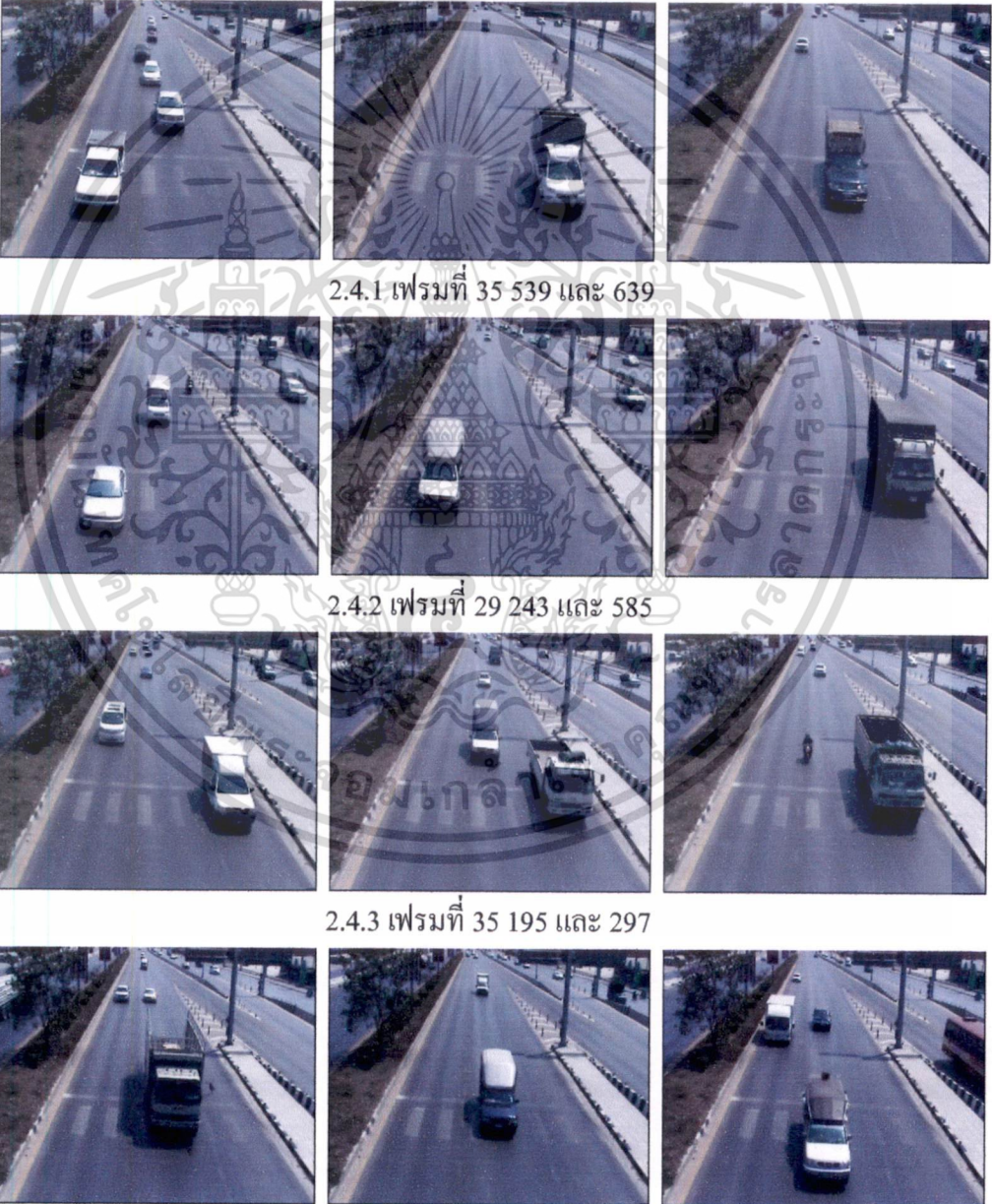
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 2.3 |  |
| | <p data-bbox="620 600 957 645">2.3.1 เฟรมที่ 99 255 และ 405</p>  |
| | <p data-bbox="620 920 957 965">2.3.2 เฟรมที่ 117 487 และ 593</p>  |
| | <p data-bbox="620 1240 957 1285">2.3.3 เฟรมที่ 31 121 และ 539</p>  |
| | <p data-bbox="620 1561 957 1606">2.3.4 เฟรมที่ 233 275 และ 651</p>  |
| | <p data-bbox="620 1881 957 1926">2.3.5 เฟรมที่ 79 235 และ 505</p> |


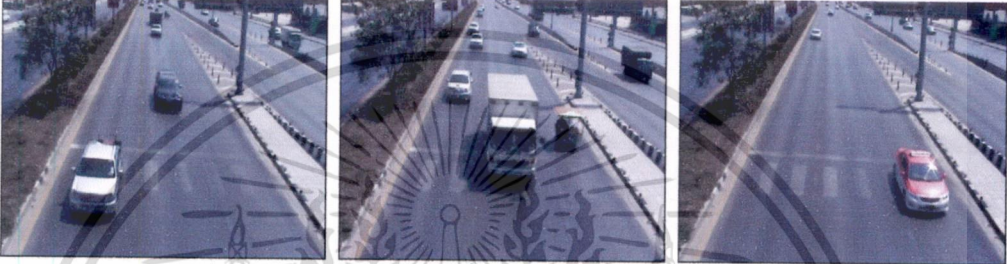



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 2.3 |  <p data-bbox="624 607 961 645">2.3.6 เฟรมที่ 69 215 และ 335</p> |
| 2.4 |  <p data-bbox="624 965 961 1003">2.4.1 เฟรมที่ 35 539 และ 639</p> <p data-bbox="624 1283 961 1321">2.4.2 เฟรมที่ 29 243 และ 585</p> <p data-bbox="624 1601 961 1639">2.4.3 เฟรมที่ 35 195 และ 297</p> <p data-bbox="624 1921 961 1960">2.4.4 เฟรมที่ 59 177 และ 453</p> |



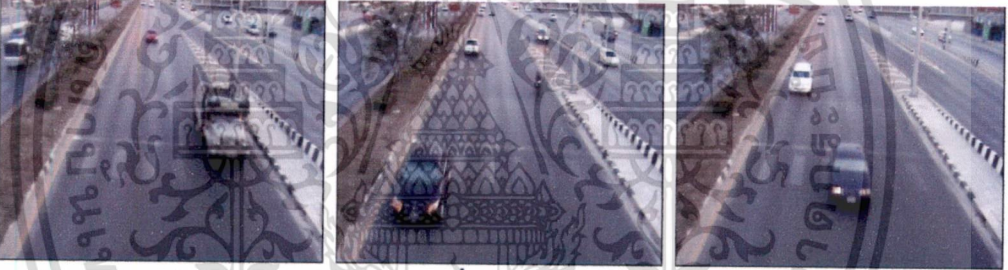

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ | |
|--|--|--|
| 2.4 |  | |
| | 2.4.5 เฟรมที่ 25 353 และ 497 | |
| |  | |
| | 2.4.6 เฟรมที่ 73 245 และ 477 | |
| | 2.5 |  |
| | | 2.5.1 เฟรมที่ 121 205 และ 341 |
|  | | |
| 2.5.2 เฟรมที่ 57 387 และ 497 | | |
|  | | |
| 2.5.3 เฟรมที่ 201 283 และ 563 | | |






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 2.5 |  |
| | <p>2.5.4 เฟรมที่ 45 187 และ 427</p> |
| |  |
| | <p>2.5.5 เฟรมที่ 93 165 และ 501</p> |
| |  |
| | <p>2.5.6 เฟรมที่ 151 383 และ 515</p> |
| |  <p>2.5.11 เฟรมที่ 169 361 และ 529 (ปรากฏกรณีพิเศษ รถจอดส่งคน)</p> |



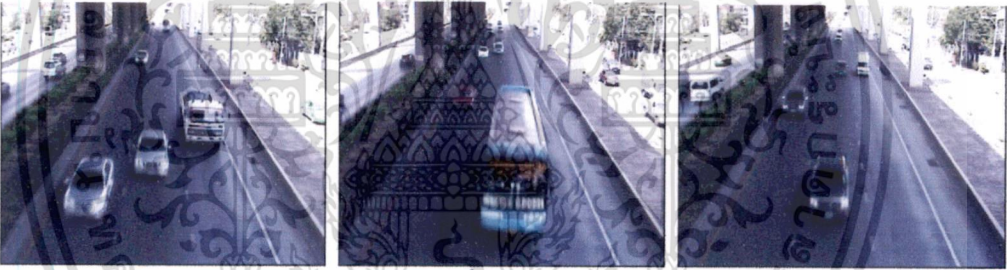

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 3.1 |  <p data-bbox="630 607 966 645">3.1.1 เฟรมที่ 17 289 และ 625</p> |
| |  <p data-bbox="630 927 966 965">3.1.2 เฟรมที่ 33 223 และ 635</p> |
| |  <p data-bbox="630 1247 966 1285">3.1.3 เฟรมที่ 33 173 และ 559</p> |
| |  <p data-bbox="630 1568 966 1606">3.1.4 เฟรมที่ 19 317 และ 539</p> |
| |  <p data-bbox="630 1888 966 1926">3.1.5 เฟรมที่ 75 345 และ 485</p> |






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 3.1 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">3.1.6 เฟรมที่ 39 127 และ 423</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">3.1.7 เฟรมที่ 39 271 และ 359</p> |
| 3.2 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">3.2.1 เฟรมที่ 39 175 และ 485</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">3.2.2 เฟรมที่ 133 583 และ 717</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">3.2.3 เฟรมที่ 33 199 และ 613</p> |





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 3.2 |  |
| | <p data-bbox="617 595 966 640">3.2.4 เฟรมที่ 123 323 และ 545</p>  |
| | <p data-bbox="617 920 966 965">3.2.5 เฟรมที่ 231 303 และ 467</p>  <p data-bbox="617 1245 966 1290">3.2.6 เฟรมที่ 110 321 และ 559</p> |
| 3.3 |  |
| | <p data-bbox="617 1592 966 1637">3.3.1 เฟรมที่ 95 231 และ 395</p>  <p data-bbox="617 1917 966 1962">3.3.2 เฟรมที่ 73 441 และ 753</p> |




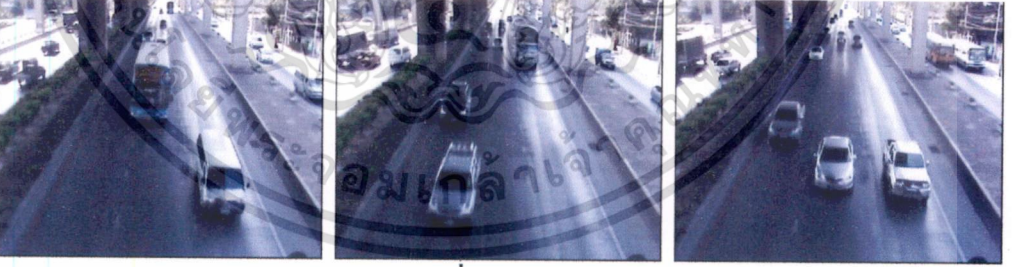

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 3.3 |  |
| | <p data-bbox="624 607 958 640">3.3.3 เฟรมที่ 27 155 และ 373</p>  |
| | <p data-bbox="624 931 958 965">3.3.4 เฟรมที่ 39 287 และ 479</p>  |
| | <p data-bbox="624 1256 958 1290">3.3.5 เฟรมที่ 27 133 และ 581</p>  |
| | <p data-bbox="624 1581 958 1615">3.3.6 เฟรมที่ 21 319 และ 591</p> |
| | 3.4 |



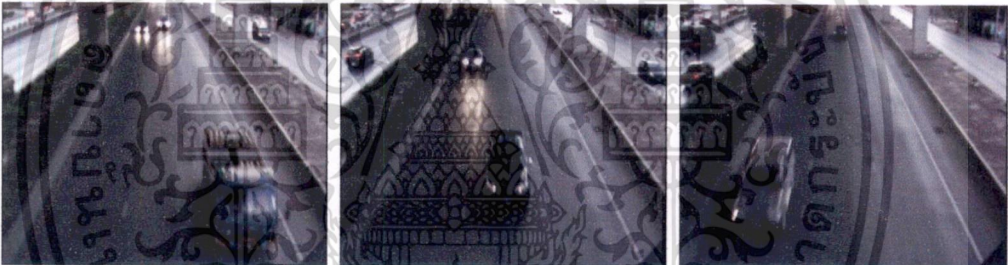


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 3.4 |  |
| | <p data-bbox="635 613 970 651">3.4.2 เฟรมที่ 33 311 และ 497</p>  |
| | <p data-bbox="635 934 970 972">3.4.3 เฟรมที่ 33 191 และ 395</p>  |
| | <p data-bbox="635 1254 970 1292">3.4.4 เฟรมที่ 117 169 และ 613</p>  |
| | <p data-bbox="635 1574 970 1612">3.4.5 เฟรมที่ 137 303 และ 615</p>  |
| | <p data-bbox="635 1895 970 1933">3.4.6 เฟรมที่ 75 147 และ 673</p> |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|--|
| 3.5 |  <p data-bbox="615 607 967 645">3.5.1 เฟรมที่ 103 143 และ 373</p> |
| |  <p data-bbox="615 927 967 965">3.5.2 เฟรมที่ 33 183 และ 597</p> |
| |  <p data-bbox="615 1247 967 1285">3.5.3 เฟรมที่ 53 267 และ 409</p> |
| |  <p data-bbox="615 1568 967 1606">3.5.4 เฟรมที่ 17 153 และ 539</p> |
| |  <p data-bbox="615 1888 967 1926">3.5.5 เฟรมที่ 39 407 และ 533</p> |

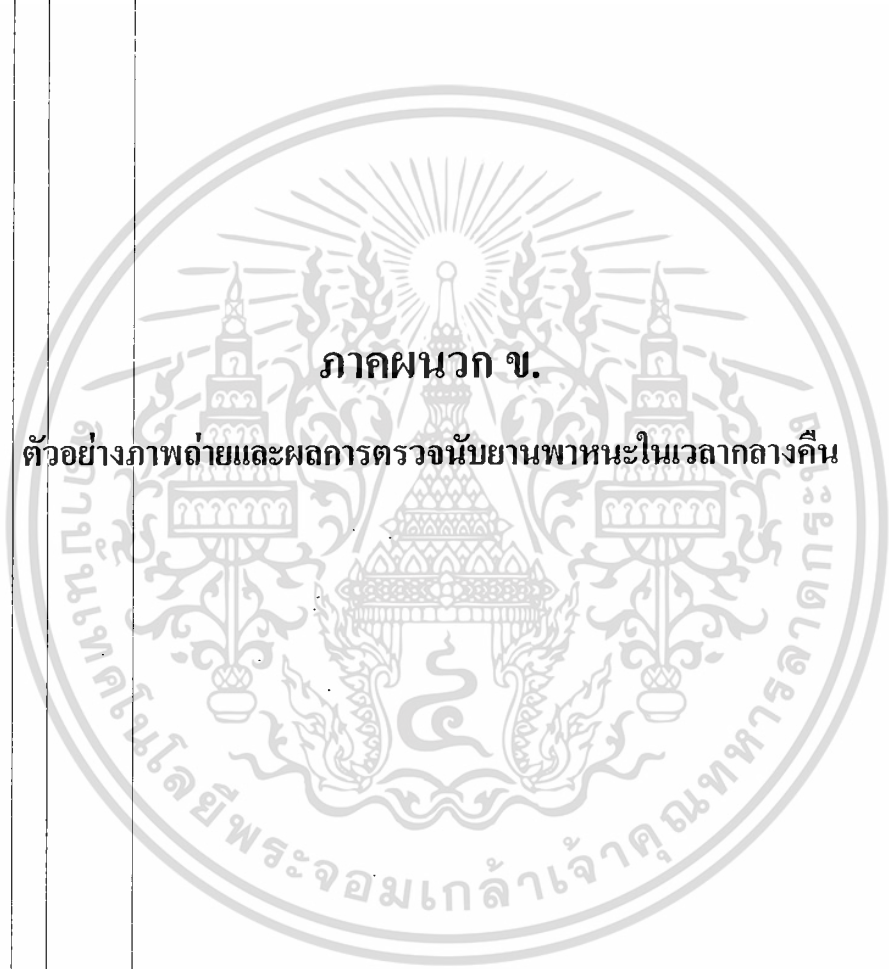
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตัวอย่างภาพจากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 3.5 |  <p data-bbox="620 600 967 645">3.5.6 เฟรมที่ 181 265 และ 595</p> |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้








ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างภาพถ่ายและผลการตรวจนับยานพาหนะในเวลากลางคืน




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างภาพถ่ายการจราจรในเวลากลางคืน จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| |  |
| | <p data-bbox="635 611 954 645">2.5.7 เฟรมที่ 31 74 และ 264</p>  |
| 2.5 | <p data-bbox="620 936 969 969">2.5.8 เฟรมที่ 150 421 และ 525</p>  |
| | <p data-bbox="627 1261 961 1294">2.5.9 เฟรมที่ 95 264 และ 555</p>  |
| | <p data-bbox="612 1585 976 1619">2.5.10 เฟรมที่ 83 121 และ 573</p>  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตัวอย่างภาพถ่ายการจราจรในเวลากลางคืน จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 3

| ชุดที่ | ตัวอย่างภาพ |
|--------|---|
| 3.5 | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p data-bbox="620 622 970 663">3.5.7 เฟรมที่ 125 166 และ 332</p> |
| | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p data-bbox="620 947 970 987">3.5.8 เฟรมที่ 108 150 และ 581</p> |
| | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p data-bbox="620 1272 970 1312">3.5.9 เฟรมที่ 197 495 และ 589</p> |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการตรวจนับยานพาหนะในเวลากลางคืน จากชุดภาพถ่ายการจราจรชุดที่ 2 และ 3 ของอัลกอริทึม RBF [2] RBA และ FBA

| ชุด ที่ | จำนวน เฟรม | จำนวนยานพาหนะจริง (คัน) | ผลการตรวจนับยานพาหนะของอัลกอริทึม | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | RBF [2] | | | | | RBA | | | | | FBA | | | | |
| | | | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) | Sum (คัน) | Miss (คัน) | Over (คัน) | %D (%) | %E (%) |
| 2 | 2919 | 66 | 62 | 18 | 14 | 93.94 | 48.48 | 58 | 9 | 1 | 87.88 | 12.37 | 63 | 7 | 4 | 95.45 | 16.67 |
| 3 | 2028 | 55 | 72 | 8 | 25 | 69.09 | 45.83 | 58 | 10 | 13 | 94.54 | 41.82 | 66 | 8 | 17 | 80.00 | 45.45 |
| รวม | 4947 | 121 | 134 | 26 | 39 | 81.56 | 47.16 | 116 | 19 | 14 | 91.21 | 27.10 | 129 | 15 | 21 | 87.73 | 31.06 |

หมายเหตุ

- Sum: จำนวนยานพาหนะรวมที่ตรวจนับได้ %D: อัตราการตรวจนับยานพาหนะรวม
 Miss: จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับขาด %E: อัตราการตรวจนับยานพาหนะที่ผิดพลาด
 Over: จำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับเกิน



ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Editors:

Dr. V. Mahadevan and Dr. Zhou Jianhong

2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering

Singapore

February 26 - 28, 2010



IEEE



IEEE
Computational
Intelligence
Society



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Video-based Traffic Monitoring System based on the Novel Gradient-Edge and Detection Window Techniques

Pipatphon Laparmonpinyo

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
pipatphon1@yahoo.com

Orachat Chitsobhuk

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kcoracha@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents the novel algorithms for a video-based traffic monitoring system. In the video-based traffic monitoring system, the vehicle detection and traffic parameter extraction are the main processes of the traffic monitoring system. The vehicles will be extracted in the first process, and the result will be fed as an input to the next process in order to evaluate the traffic information. The proposed vehicle detection technique employs the gradient-based adaptive threshold estimation (GATE) to estimate the proposed threshold values, which are automatically adapted to the changes of various illumination conditions throughout the day. In addition, the horizontal moving edge detection (HMED) is proposed for traffic parameter extraction. The experimental results indicate that the proposed GATE algorithm yield the proper threshold value for each illuminated condition in the vehicle detection process while the proposed HMED algorithm can effectively resolve the uneven edge density of vehicles.

Keywords: traffic monitoring; detection window; vehicle detection; traffic parameters extraction; traffic scene analysis.

I. INTRODUCTION

Traffic monitoring plays a significant role in an intelligent transport system (ITS) by providing the valuable information related to road traffic parameters. Such information not only benefits to traffic management, but also assists travelers to reach their destinations with the least time and energy consumption. Road traffic parameters can be obtained using several techniques such as magnetic loop detectors, radars and video cameras. A video camera-based technique is another approach for traffic parameter extraction, which provides more potential advantages than compared to the others, since video images contain the amount of precious traffic information [2, 3].

Generally, a video camera-based traffic monitoring system consists of two main processes, namely vehicle detection and traffic parameter extraction. The foreground moving objects, which tend to be vehicles, will be extracted in the former process. It will then be evaluated in the later process in order to calculate traffic parameters such as vehicle quantity, vehicle speed, vehicle density and flow rates, etc. There were several vehicle detection approaches for a video camera-based traffic monitoring system such as background subtraction [3- 5] inter-frame differencing [2, 5] and edge detection [1, 4-7]. However, the edge based

method provides the superior performance for traffic monitoring in practice. It is not only more effective but also highly robust to different ambient illumination condition.

The gradient-edge and morphological-edge based detection techniques have been widely applied to video camera-based traffic monitoring systems during recent decades [1, 5-7]. The gradient-edge based technique is less complex, thus requires lower computational cost. Fathy et al. [6] proposed SMED algorithm for morphological edge detection technique in order to reduce computational requirement. However, this operator always produces undesired edges from undesired objects such as damaged roads, white marks on the road surfaces and shadows of the trees and buildings. These problems were resolved by the selective averaging background algorithm proposed in [5]. During the initial stage of the algorithm, a background is created by averaging 100 frames of the current scene. The traffic scenes are divided into a number of blocks in background updating process. The blocks are classified into stationary, moving, and no vehicle blocks. The stationary blocks are referred to the unmoving vehicle. Only the no vehicle moving blocks are used for updating the background frame. This algorithm not only yields a less noise background but also improves the performance of the traffic monitoring. Nevertheless, the drawback of these algorithms is that it still takes long computation time. Another approach is a gradient-based foreground detection technique using canny edge detection for video sequences proposed in [7]. However, the edge pixels resulted from this algorithm are mostly disconnected. For these reasons, it requires post-processing based on morphological operation to connect disjointed objects and separate noise before grouping them. NG et al. [1] discussed the techniques for a video-based traffic monitoring system including its problems, and proposed a traffic parameter acquisition method based on a detection window technique. The sobel edge detection was employed to provide gradient-edge information. The notable advantages of the mentioned method are less complexity, low computational time and high efficiency. Nonetheless, such method has two main serious drawbacks. First of all, it requires proper threshold value for the edge detection in several ambient illumination conditions. Second, it is useless to detect the periodically unclear edge vehicles.

Therefore, this paper proposed a vehicle detection technique based on the gradient-based adaptive threshold estimation (GATE) and the horizontal moving edge detection (HMED) algorithms. The GATE algorithm automatically provides a suitable threshold value for vehicle detection in diverse ambient illumination conditions. The HMED algorithm was designed to improve the performance of the traffic parameter extraction based on window technique.

The rest of this paper is organized as follows. Section II describes the proposed traffic monitoring system and details the proposed GATE and HMED algorithms. The experimental results and the conclusion are presented in Section III and IV respectively.

II. THE PROPOSED TRAFFIC MONITORING SYSTEM

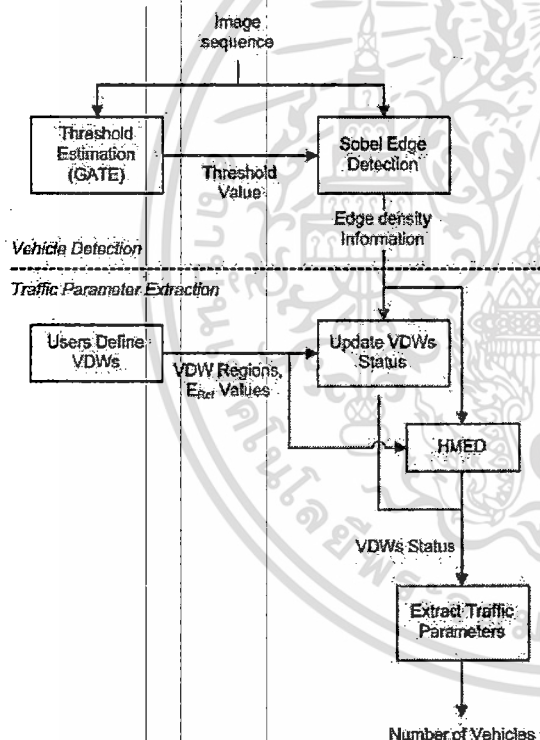


Figure 1. Block diagram of the proposed traffic monitoring system.

Fig. 1 illustrates the block diagram of the proposed traffic monitoring system. The proposed system consists of two main processes: vehicle detection and traffic parameter extraction. In the first process, the vehicle will be extracted from background by Sobel edge detection, which is implemented based on the adaptive threshold value estimated from the GATE algorithm (Section II-A). The

result images are fed as an input to the next process, which applies window-based technique and HMED algorithm (Section II-B) to calculate the number of vehicles passing through the window based on the VDW status.

A. Vehicle Detection

Vehicle detection based on gradient-edge information requires a proper threshold value for converting a gradient image to a binary edge image. The threshold values may be assigned by a user or by the threshold selection algorithms. User's defined threshold is not flexible and insufficient for vehicle detection in diverse ambient illumination conditions, since the fixed threshold value could not be able to adapt to all the illumination conditions. Moreover, it is not convenient for users to adjust the threshold value according to the variation of lighting condition, which always changes through times.

Consequently, this paper proposed the gradient-based adaptive threshold estimation (GATE) suitable for vehicle detection under various ambient illumination conditions. The video recording under moderate illumination yields the clear images. On the contrary, the recording under obscure or strong illumination produces the blur images. According to the experiments, the gradient values of blur images are higher than that of the clear images. This leads to a selection of a lower threshold value to the blur images.

For these reasons, the GATE algorithm employs the gradient gain from Sobel edge detection $[G, H]$ to estimate the proper threshold values. The estimated threshold will be adapted to the changes of various illumination conditions throughout the day. The proposed GATE can be expressed as followed:

$$threshold = floor \left[\frac{(max(|g_v| + |g_h|) - 0.4)}{0.015} \right] \quad (1)$$

where g_v and g_h are vertical and horizontal gradient values respectively.

The GATE algorithm not only provides a proper threshold as finely tuned by users, but also offers the more suitable threshold value than assigned by users in some cases. In addition, the advantage of the GATE algorithm is that it requires only the pre-calculated gradient values obtained from the edge detection process, thus leads to a reduction of the computational time.

B. Traffic Parameter Extraction

A window-based technique is conventionally used to extract traffic parameters, since it is simple and efficient [1, 5, 6]. The vehicles will be detected when they pass through the vehicle detection windows (VDW) defined by user as illustrated in Fig. 2. The edge density in each detection window will be compared with the reference value to represent the status of the detection window. If the edge density is more than the reference value, a vehicle status bit

is set to '1' in order to indicate the current status of the detection window; otherwise a '0' is stored instead. The group of 1s means the length of vehicle passing through the VDW.

In the ordinary window-based method, the reference value comes from user definition. A fixed reference value is normally assigned. However, it is inefficient for various sizes of the user's defined VDW. Moreover, it cannot be used to solve for the case of the uneven edge density, especially for the long-sized vehicles as shown in range (a) on fig. 3(a). Such vehicles will cause the over detection due to the abrupt changes during its pass through the VDW.

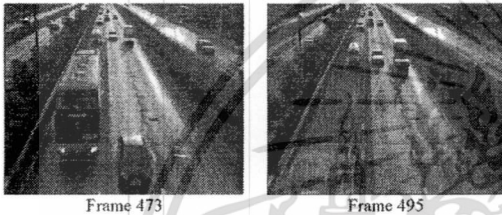


Figure 2. The vehicle detection windows (VDWs) in each lane are represent in the green rectangles.

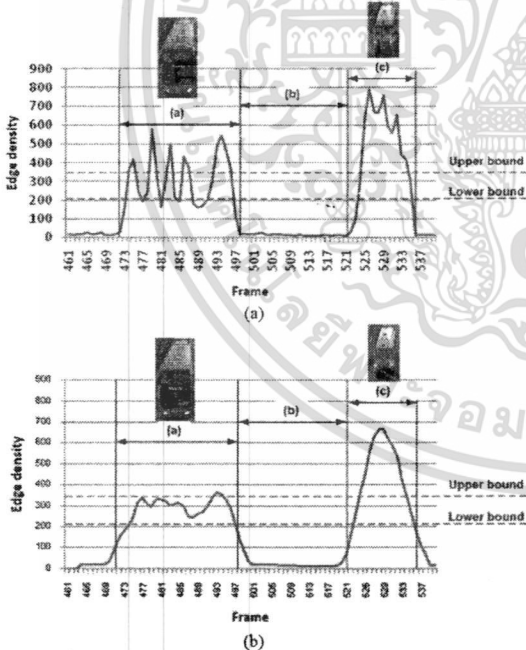


Figure 3. The original edge density of the left VDW during frame 461 to 537 (a), and the result edge density of the same lane during the sometime obtained from the proposed HMED (b).

Accordingly, the horizontal moving edge detection (HMED) algorithm is proposed in this paper to solve the

previous mentioned problems. Moreover, the upper and lower bound are also proposed as the reference values for traffic parameter extraction based on the HMED algorithm. The upper bound and lower bound will be automatically adjusted to the size of VDWs. In HMED algorithm, the average edge density of current and neighbor frames is calculated and used as a criterion to evaluate the VDW's status. The status of VDWs based on the proposed HMED algorithm can be expressed as followed:

$$Status = \begin{cases} 1, & E_{vdw} > UpperBound \ \& \ AvgE_{vsh} > LowerBound \\ 0, & Otherwise \end{cases} \quad (1)$$

where E_{vdw} is edge density of a VDW, $UpperBound$ and $LowerBound$ are 5% and 3% of the VDW's size respectively. The $AvgE_{vsh}$ is a substitute for edge density value obtained from equation (2).

$$AvgE_{vsh}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} E_{vsh}(x+i) \quad (2)$$

where N is the size of averaging edge density values, in this paper N is assigned by 7.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed algorithms were implemented in MATLAB programming language on an Intel Core2 1.66 GHz CPU 1.5 GB Ram. The performance of the proposed algorithms was evaluated on various ambient illumination conditions during daytime. Five video sequences recorded by a video camera set up on a pedestrian bridge of the Baromrajchonnancee rd., Bangkok, Thailand were used in the experiments. The resolution and frame rate of the five video sequences are 720x576 pixels, 25 frames per second respectively. The other details of each video sequence were described in TABLE I.

TABLE I. THE DETAILS OF EACH VIDEO SEQUENCES

| Video No. | Ambient Illumination Condition | Vehicle Shadow Appearance | Average Gradient |
|-----------|---|------------------------------|------------------|
| 1 | Obscure illumination and sunlight reflection | Soft long vehicle shadow | 0.572 |
| 2 | Moderate illumination | Mild vehicle shadow | 0.649 |
| 3 | Steady Moderate illumination | Imperceptible vehicle shadow | 0.645 |
| 4 | Bright illumination, Sometimes sunlight is shaded by cloud abruptly | Mild vehicle shadow | 0.725 |
| 5 | Mild illumination | Soft long vehicle shadow | 0.597 |

Fig. 5(c), (l) show that the vehicle detection using the threshold values from GATE algorithm provides the better results than fixed threshold based method. Fig. 5(f), (i), (o)

portray that the vehicle detection using the threshold values from GATE algorithm provides the same results as fixed threshold based method.

Fig. 3(b) illustrates that the result edge density values gain from the HMED algorithm is not only more even than the original values shown in Fig. 3(a).

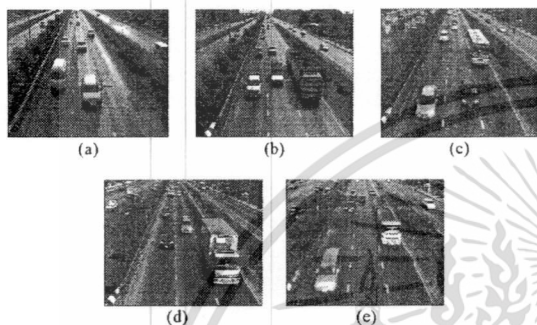


Figure 4. Example images of video sequences No.1-5. (a) – (e)

TABLE II. THE EXPERIMENTAL RESULTS

| Video No. | Number of Frames | Number of vehicles | Methods | |
|--------------|------------------|--------------------|------------|----------------|
| | | | [1] Count | Proposed Count |
| 1 | 3184 | 127 | 149 | 127 |
| 2 | 913 | 52 | 65 | 52 |
| 3 | 971 | 50 | 68 | 51 |
| 4 | 1076 | 47 | 66 | 47 |
| 5 | 1451 | 63 | 79 | 64 |
| Total | 7595 | 339 | 427 | 341 |

| Video No. | Number of Frames | Number of vehicles | Proposed Count | Miss Detection | Over Detection | Accuracy Rate (%) |
|--------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1 | 3184 | 127 | 127 | 1 | 1 | 98.43 |
| 2 | 913 | 52 | 52 | 0 | 0 | 100 |
| 3 | 971 | 50 | 51 | 0 | 1 | 99.99 |
| 4 | 1076 | 47 | 47 | 1 | 1 | 95.74 |
| 5 | 1451 | 63 | 64 | 0 | 1 | 98.41 |
| Total | 7595 | 339 | 341 | 2 | 4 | 98.51 |

The experimental results in TABLE II demonstrate that the proposed algorithm offers impressive accuracy at 98.51%, which outperforms the other method [1] about 1.33 times (24.5%). The superior results indicate that the proposed GATE algorithm yield the proper threshold value for each illuminated condition in the vehicle detection process while the proposed HMED algorithm can effectively resolve the uneven edge density of vehicles. Even though the proposed algorithm provides admirable performance for vehicle detection, a few miss and over

detection cases still remain. The detection problems may occur due to the changes of the vehicle between two lanes or the extended length of uneven edge density.

IV. CONCLUSION

This paper proposed the GATE and HMED algorithms for traffic monitoring in various ambient illumination conditions during daytime. The proposed GATE algorithm employs the pre-calculated gradient values obtained from the edge detection process to automatically estimate the proper threshold value. This leads to a reduction of the computational time, since no extra information is needed. The advantage of the GATE algorithm is that it is adapted to the changes of various illuminations without any assistance. The HMED algorithm has been also proposed to solve the over detection problem caused by the vehicles with uneven edge density. The experimental results reveal that the traffic monitoring system based on the proposed GATE and HMED algorithm offers the high accuracy rate (98.51%). It can be seen that the proposed algorithms are less complex yet effective for vehicle detection and traffic parameter extraction.

REFERENCES

- [1] [G] Yew Liam Ng, Kim Siah Ang, Chee Chung Chong and Ming Kun Gu, "Image Processing Techniques for A Video based Traffic Monitoring System and Methods Therefor," Patent Cooperation Treaty (PCT), International Application No. PCT/SG99/00115, May 2001.
- [2] [B] R. Cucchiara, M. Piccardi and P. Mello, "Image Analysis and Rule-Based Reasoning for a traffic Monitoring system," IEEE Transactions on Intelligent Transportation systems, vol. 1, June 2000, pp. 119-130.
- [3] [C] J. Zhou, D. Gao and D. Zhang, "Moving Vehicle Detection for Automatic Traffic Monitoring," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 56, January 2007, pp. 51-59.
- [4] [A] D.M. Ha, J.-M. Lee, Y.-D. Kim, "Neural-edge-based vehicle detection and traffic parameter extraction," Image and vision computing, vol. 22, September 2004, pp. 899-907.
- [5] [E] M. Fathy and M. Y. Siyal, "Image Processing Techniques For Real-Time, Qualitative Road Traffic Data Analysis," Real-Time Imaging, vol 5, August 1999, pp. 271-278.
- [6] [D] M. Fathy and M. Y. Siyal, "A Window-based Edge Detection Technique for Measuring Road Traffic Parameters in Real-Time," Real-Time Imaging, vol 1, October 1995, pp. 297-305.
- [7] [F] K. Kiratiranapruk, P. Dubey, and S. Siddhichai, "A gradient-based foreground detection technique for object tracking in a traffic monitoring system," IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, September 2005, pp.377-381.
- [8] [H] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, 3rd ed., Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2010.

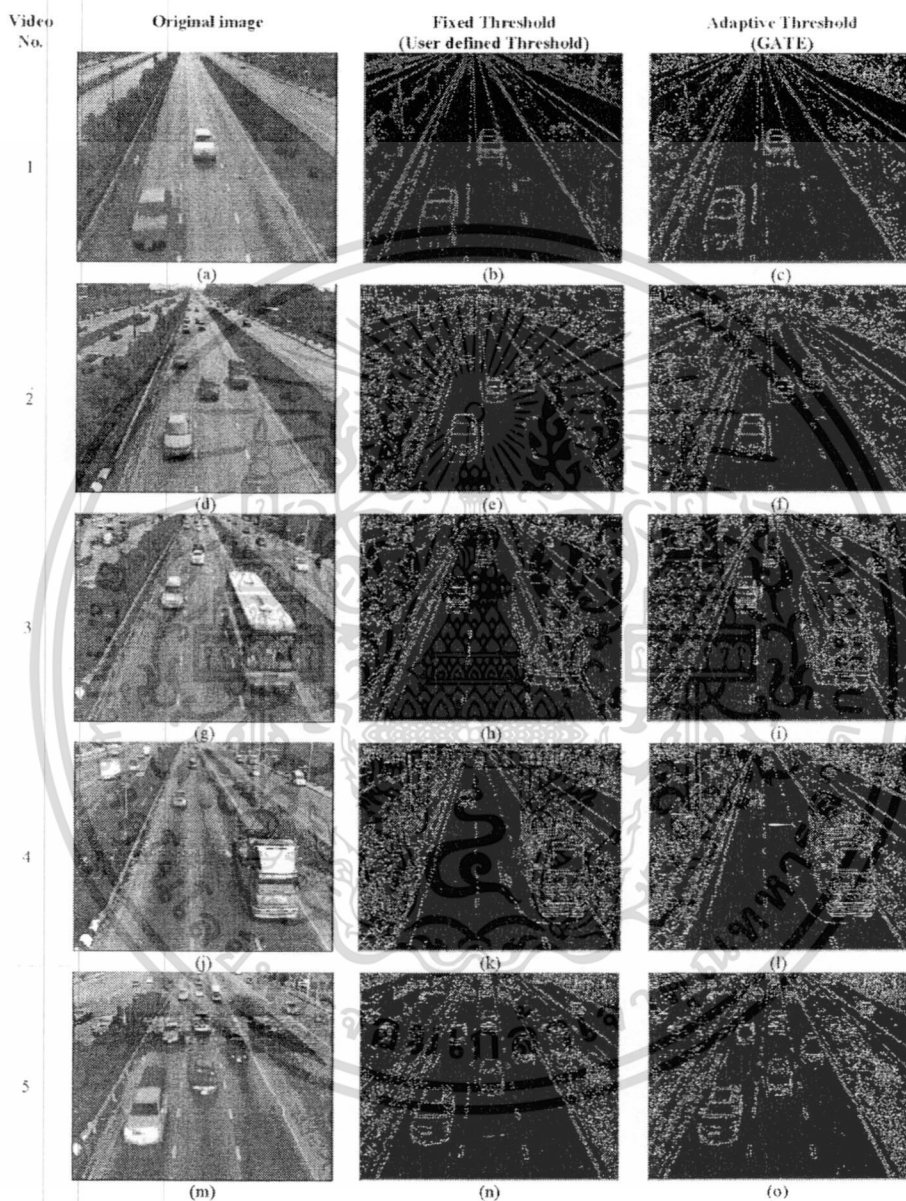


Figure 5. The original and result images of edge detection using fixed and adaptive threshold values

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ
วัน เดือน ปีเกิด 25 มิถุนายน 2529
ที่อยู่ 26/206 หมู่ 3 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กทม. 10160
ประวัติการศึกษา 2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (เกียรตินิยม
อันดับ 2) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้