

การออกแบบและสร้างระบบจำแนกยานพาหนะโดยอัตโนมัติด้วยม่านแสงอินฟราเรด

The Design and Implementation of an Automatic Vehicle Classification

System Using Infrared Light Curtain Equipment

ภาวศี สมภักดี

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิชาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

ณัฐวุฒิ ประพารายา

บัณฑิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิชาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การจำแนกประเภทยานพาหนะโดยอัตโนมัติ (Automatic Vehicle Classification หรือ AVC) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการกำหนดอัตราค่าธรรมเนียมค่าผ่านทางที่ผู้ขับขี่จะต้องชำระเพื่อใช้งานด่วนหรือทางพิเศษต่างๆ โดยทั่วไปแล้วรถแต่ละคันจะแล่นผ่านช่องจราจรซึ่งล้ำหัวรับน้ำเงินแบบอัตโนมัติจะมีอุปกรณ์และระบบแยกประเภทรถนั้นติดตั้งอยู่ การกำหนดประเภทของรถขึ้นกับผู้ให้บริการ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์จำแนกประเภทยานพาหนะโดยใช้ม่านแสงอินฟราเรดและวิธีการจำแนกประเภทรถโดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากม่านแสงดังกล่าว เพื่อคิดตั้งและใช้งานในประเทศไทย โดยได้ออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ ถนน และลักษณะของถนนที่ใช้ตั้งด่านเก็บเงิน อุปกรณ์ดังกล่าวจะส่งคืนอินฟราเรดจากเสาด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ซึ่งลักษณะต่างๆของรถ ได้แก่ จำนวนเพลา ความสูง และ ความยาวของรถ จะมีผลต่อสัญญาณที่ได้รับกลับมา สัญญาณได้รับกลับมาเนี้ยะถูกส่งไปประมวลผลโดยโปรแกรมที่ติดตั้งในเครื่องพีซีเพื่อแยกประเภท ซึ่งในการใช้งานจริงกำหนดให้มีการจำแนกรถทั้งหมดเป็นสามประเภท ได้แก่ รถ 4 ล้อ รถ 6-10 ล้อ และรถที่มีมากกว่า 10 ล้อ ระบบนี้ได้ติดตั้งใช้งานจริงบนเส้นทางมอเตอร์เวย์ และวงแหวนตะวันออก ในการทดสอบระบบพบว่าระบบที่ออกแบบมานี้สามารถแยกรถได้ถูกต้องมากกว่า 90%

Abstract

Automatic Vehicle Classification (AVC) is the most important process of the toll collection system. It requires various hardware components installed on both sides of the lane that each vehicle has to pass through. This automatic system determines the configuration of each vehicle for the purpose of charging the appropriate toll to the customer. How to classify classes depends on user requirements. This paper presents an AVC system that is designed to fit the weather, road conditions as well as tollbooth areas in Thailand. The infrared light curtain equipment is used as the sensor device to record the physical characteristics of a vehicle, that is, the number of axles, height and length. This aggregated input is sent to our software system installed on a PC to interpret and assign a class to a vehicle. There are three possible classes: 4 wheels, 6-10 wheels, and more than 10 wheels. This system has been installed and it is being used at the tollbooths along the motor way and the eastbound ring roads. The testing results have shown the accuracy of this system to be more than 90%.

1. บทนำ

การใช้ทางด่วนหรือการจัดสร้างทางพิเศษแบบต่างๆที่จะช่วยอ่อนวยความสะดวก หรือเพื่อความรวดเร็วในการเดินทาง เป็นวิธีการแก้ปัญหาการจราจรแบบหนึ่งซึ่งมีผู้นิยมใช้เป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะมีผลในแง่การให้บริการแล้ว ยังเป็นประโยชน์ในการควบคุมรายได้จากการจัดเก็บค่าธรรมเนียมอีกด้วย

ระบบการจัดเก็บค่าธรรมเนียมค่าผ่านทางจำแนกออกได้สองประเภทคือ ระบบปิด (Close System) ที่จัดเก็บค่าผ่านทางตามระยะทางที่ใช้งานโดยมีจุดรับค่าธรรมเนียม (Pay point) ที่ปลายทาง และระบบปิด (Open System) ซึ่งเก็บค่าธรรมเนียมโดยจำแนกตามประเภทของรถยนต์ และมีจุดรับค่าธรรมเนียมที่ต้นทาง

สำหรับวิธีการจ่ายค่าธรรมเนียมนั้น ในปัจจุบันมีวิธีการชำระส่วนตัว คือ ผู้ขับขี่อาจต้องหยุดยานพาหนะ (Stop Toll Collection) หรือไม่ต้องหยุดยานพาหนะ (Non-Stop Toll Collection) ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็วกว่าวิธีแรก แต่ยังแยกกันมา กเนื่องจากต้องเป็นระบบที่มีการจัดการอัตโนมัติ และจะต้องมีสื่อที่ใช้สำหรับแสดงตัวและชำระเงินค่าธรรมเนียมค่าผ่านทาง เช่น แบบข้อมูล (Barcode) หรือ บัตรที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ (Tag Microwave) สำหรับเก็บข้อมูลของยานพาหนะหรือมูลค่าของเงินที่มีไว้ภายในบัตร

การจำแนกประเภทของรถยนต์นั้นเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการจัดเก็บค่าธรรมเนียมค่าผ่านทาง เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราค่าธรรมเนียมค่าผ่านทางที่ผู้ขับขี่จะต้องชำระ โดยทั่วไป การจำแนกประเภทจะต้องอาศัยข้อมูลต่างๆของยานพาหนะน้ำหนัก จำนวนแพล้อ ขนาดและมิติของยานพาหนะ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมาช่วยในการเก็บข้อมูลเหล่านี้จากยานพาหนะที่เข้ามาในระบบ

ในประเทศไทย ในการจัดการจัดการจัดการกับชุดข้อมูลที่ได้มีการสร้างระบบอัตโนมัติขึ้นมาใช้งานโดยใช้เทคโนโลยีต่างๆที่มาช่วยในการเก็บข้อมูลและจำแนกประเภท ได้แก่ การใช้ Treadles ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่วัดแรงกดของรถ การใช้ Light Beam ซึ่งเป็นลำแสงอินฟราเรดลำแสงเดียวเพื่อทากความสูงของยานพาหนะ การใช้ Light Curtain ที่เกิดจากการนำ Light

Beam มาเรียงต่อกันเพื่อสร้างภาพด้านข้างของยานพาหนะ เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วการเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางจะเป็นระบบปิด โดยใช้พนักงานเป็นผู้จำแนกประเภทของรถยนต์ และตรวจสอบโดยใช้วิธีการ Post System กล่าวคือ จะมีการนำอุปกรณ์ประเภท Resistive Rubber Treadles และใช้ Light Beam ช่วยในการแบ่งแยกยานพาหนะแต่ละคันที่เคลื่อนที่ออกจากจุดชำระค่าผ่านทาง

ปัญหาที่เกิดขึ้นคือความเสียหายที่เกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ สำหรับจำแนกประเภท เมื่ออุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้อีกต่อไป มีประสิทธิภาพจะส่งผลให้ขั้นตอนในการจำแนกประเภทเกิดความผิดพลาด การใช้เทคโนโลยีแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ รวมทั้งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและดูแลรักษา และอาจไม่สามารถใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ เนื่องจาก อุปกรณ์ที่นำเข้าอาจเกิดการเสียหายขณะใช้งานได้ ซึ่งเกิดจากปัญหาสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่เป็นเขตต้อนชื้น มีน้ำท่วมชั่ว และถนนที่รุดตัวทำให้พื้นผิวน้ำนันไม่เรียบ

ด้วยเหตุนี้จึงได้เสนอการออกแบบอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นม่านแสงอินฟราเรด (Infrared Light Curtain) อุปกรณ์นี้สามารถใช้งานทดแทนระบบที่ใช้งานในปัจจุบัน มีวิธีการติดตั้ง และการใช้งานง่าย สามารถผลิตภายใต้ประเทศไทย และไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและดูแลรักษา นอกจากนี้อุปกรณ์นี้ไม่ได้ติดตั้งที่ผิวน้ำทำให้ไม่ได้รับผลกระทบใดๆในกรณีที่เกิดความเสียหายกับสภาพพื้นผิวน้ำ

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการวิจัยออกเป็นสามส่วนหลักๆ สามส่วน ส่วนแรกคือส่วนของอุปกรณ์ (Hardware) ที่จะกล่าวถึง แนวคิดในการนำเอาลำแสงอินฟราเรดมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด โดยพิจารณาข้อดีและข้อด้อยหรือข้อจำกัดของลำแสงอินฟราเรด ในส่วนที่สองจะเป็นส่วนของชุดคำสั่งที่ติดตั้งบนอุปกรณ์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ (Firmware) โดยจะนำเสนองานทางการจัดการกับชุดข้อมูลที่ได้จากการน้ำท่วมข้ามมาเพื่อให้การเก็บข้อมูลและส่งข้อมูล มีประสิทธิภาพสูงสุด ในส่วนสุดท้ายจะได้อธิบายเกี่ยวกับชุดคำสั่งสำหรับการประมวลผลของชุดข้อมูล (Software) โดยจะครอบคลุมถึงการถอดรหัสของข้อมูล การตรวจสอบชุดข้อมูล การ

ดึงเอาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ รวมถึงการพิจารณาจำแนกประเภทของยานพาหนะ

2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันมีการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมยานพาหนะสามรูปแบบคือ ในรูปแบบแรกเป็นการใช้เครื่องตรวจส่องข้อมูลเฉพาะของรถยนต์แต่ละคัน ในระบบเหล่านี้ จะมีการออกแบบอุปกรณ์และวิธีการต่างๆมาใช้ในการจำแนกรถ [20,22] โดยทั่วไปมักใช้การส่องสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุไปที่สื่อ เช่น แบบข้อมูล (Barcode) [1,2,14] หรือແນວสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดอยู่ที่ตัวรถ และແນບสัญญาณนั้นจะส่องข้อมูลกลับมาเพื่อตรวจสอบกับข้อมูลที่ใช้สำหรับอ้างอิงในฐานข้อมูลเพื่อตัดยอดผิบสำหรับผู้ทาง

รูปแบบที่สองคือการจำแนกประเภทซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การจำแนกประเภทโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงกด (Weight-on-motion Devices)[21] ที่ติดตั้งบนพื้นถนน เพื่อประมาณค่าน้ำหนักรถ และนำค่าน้ำหนักรถที่คำนวณได้นี้มาจำแนกประเภทรถ นอกจากรถที่ใช้ Induction Loop [3,4,17,23] ซึ่งเป็นมาตรฐานไฟฟ้าสำหรับมีไว้ให้พื้นผิวนานและใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเมื่อมียานพาหนะผ่านเข้ามาในบริเวณของชุดสายไฟ ก็เป็นอีกวิธีที่ใช้กันแพร่หลายในขณะนี้ ในงานวิจัย [3] ใช้ Inductive Loop สองอันห่วงในการวิเคราะห์ซึ่งมีข้อดีคือช่วยให้รู้ความเร็วและความยาว นอกจากนี้ยังมีการนำหลักการของ Artificial Neural Network (ANN) มาช่วยในการวิเคราะห์ตัดสินใจ [4] เพื่อจำแนกประเภทรถที่มีเพียงสองเพลา

การใช้การวิเคราะห์จากรูปภาพ (Image Processing) นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการยอมรับ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยากและไม่ต้องอุปกรณ์มาก โดยหลักการจะเป็นลักษณะของการตรวจจับวัตถุในภาพ (Object Detection) และใช้วิธีการหาด้านต่างๆของวัตถุ (Edge Detection) เพื่อให้ได้ขอบเขตของรูปสำหรับนำมาใช้ในการจำแนกประเภท [8,18] ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ใช้เป็นภาพขาว-ดำ [7,19] หรือใช้วิธีตัดพื้นหลังออก [17] หรืออาจนำรูปแบบมาเบรี่ยนเพิ่ยบให้หายตัว去ในภาพ หรือตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหวมาเบรี่ยนเพิ่ยบกับรูปแบบที่มีอยู่ [9, 11]

สำหรับ [6] เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการจำแนกประเภทของยานพาหนะโดยใช้กระบวนการแยกส่วนและรวมส่วนของพื้น

ที่ (Split-Merge Segmentation) และภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นภาพที่มีค่าสีกำกันโดยใช้ระบบ RGB ซึ่งช่วยลดเวลาในการประมวลผลลงได้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมที่สุด เพราะง่ายและมีประสิทธิภาพในการจำแนก แต่ใช้เวลาสูงในการคำนวณ ในปี ค.ศ. 1997 ได้มีการเสนอวิธีการนำ Kalman filter มาใช้ตรวจสอบหาตัวแท่งที่มีการเคลื่อนไหวได้รวดเร็ว [11] แต่วิธีการนี้ไม่สามารถจำแนกประเภทรถได้ ในปี ค.ศ. 2000 Kasesawa [15] จำแนกประเภทรถ โดยใช้ภาพถ่ายอินฟาเรด และใช้วิธีสร้าง Eigen-Window สำหรับแบ่งรายละเอียดของรูปภาพออกเป็นโครงสร้างของส่วนย่อยระดับต่างๆ วิธีนี้สามารถตรวจสอบยานพาหนะได้แม่น้ำบางส่วนจะถูกบดบังอยู่ ถ้าส่วนที่ไม่ถูกบดบังมีรายละเอียดมากพอที่จะตรวจสอบกับรูปแบบที่มีได้และใน [25] ใช้ภาพถ่ายที่ถ่ายจากกล้องที่ติดตั้งไว้ในมุมสูงพร้อมทั้งการใช้ Kalman Filter ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และBlobs Tracking Technique ช่วยในการกำหนดขอบเขตของยานพาหนะบนภาพถ่าย

รูปแบบสุดท้ายคือการเก็บข้อมูลของยานพาหนะด้วยภาพถ่ายของรถหรือแผ่นป้ายทะเบียน หรือภาพวิดีโอบน จุดผ่านทางเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบ

นอกจากเทคนิคที่ใช้ในการเก็บค่าผ่านทางแล้ว ยังมีผลงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการใช้ยานพาหนะอีก นั่นคือการนำหลักการการวิเคราะห์รูปภาพ (Image Processing) มาประยุกต์ เช่น การใช้ตัวแท่งของรถในแต่ละเฟรมมาคำนวณค่าอัตราความเร็วรถเพื่อตรวจจับความเร็ว [9] การตรวจสอบบรรทุกที่บรรทุกซึ่งค่อนເຫັນເວັບຜ່ານເຂົາອຸກໃນบริเวณທ່າເຮືອ [12] และใช้ช่วยในการตรวจสอบเส้นขอบถนนกับตัวรถขณะขับขี่ยานพาหนะ [15] เพื่อค่อยเตือนในกรณีที่มีภาวะเสี่ยงอันตราย การใช้กระบวนการวิเคราะห์รูปภาพมาช่วยในการจำแนกประเภทนั้น [6,11,25] จะมีความยุ่งยากขึ้นซึ่งในการคำนวณทั้งนี้ต้องต้องการผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง และจะต้องใช้รูปแบบจำแนกมากมาใช้ในการเบรี่ยนเพิ่ยบทำความแตกต่าง

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ที่เข้ามามีบทบาทในการช่วยในการจำแนกประเภท เทคโนโลยีนี้จะประยุกต์เข้ากับดีไซน์การใช้ Induction Loop และกระบวนการวิเคราะห์รูปภาพ มารวมกันนั่นคือการใช้ม่านแสง ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์นี้จะมี

ลักษณะเป็นภาพสามมิติ หรือภาพตัดขวางสองมิติขึ้นอยู่กับ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีรูปแบบที่วิเคราะห์ได้ง่าย ทำ ให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยลง [14] แต่อุปกรณ์เหล่านี้มีราคา สูง และผู้ผลิตไม่เผยแพร่รายละเอียดเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ใน การสร้าง เนื่องจากมีการแข่งขันเชิงพาณิชย์ ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัย นี้จึงได้นำเสนอ แนวทางและวิธีการออกแบบสำหรับการประยุกต์ ใช้งานแสงอินฟราเรดเพื่อจำแนกประเภทของพากะ เพื่อเผยแพร่ แนวความคิดดังกล่าว

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของพากะ ที่ออกแบบ นั้นมีลักษณะเป็นม่านแสง (Light Curtain) ของล่ามแสง อินฟราเรด โดยตั้งเสาสูงประมาณ 2.5 เมตร รองต้นที่ส่องไฟ ของช่องทางท้าให้เกิดม่านล้ำแสงพากะในช่องทางของyan พากะ ต้นหนึ่งจะตัดตั้งตัวก้านนิดแสงอักตันจะติดตั้งตัวรับ สัญญาณแสง โดยติดตั้งในแนวตั้งตามความสูงของสา

การเลือกใช้คลื่นอินฟราเรดนี้มีข้อดี คือเป็นคลื่นที่ ความยาวคลื่นพอดีกับความกว้างของจุดที่ใช้ควบคุมการส่องและรับข้อมูลมาค่าไม่สูงมากนัก แต่มีปัญหาที่ต้องมาน่อจากในแสงตาม ธรรมชาติจะมีคลื่นแสงอินฟราเรดอยู่ด้วยตั้งใจต้องทำการผสาน สัญญาณความถี่ลงไปเพื่อให้ได้แสงที่ส่องออกมามีความถี่ที่แตกต่างไปจากความถี่ตามธรรมชาติ และลักษณะของแสงที่ออกจาก ตัวก้านนิดแสงนี้มีมุมกว้างไม่ใช่ล่ามแสงที่เป็นเล้นตรง เพื่อให้ตัว ก้านนิดแสงสามารถทำงานทดสอบกันได้ นั่นคือ ในกรณีที่ตัว ก้านนิดแสงบางตัวเกิดความเสียหาย ก็สามารถใช้สัญญาณแสง จากตัวก้านนิดแสงที่อยู่ข้างเคียงได้

ตัวรับสัญญาณสามารถรับสัญญาณได้ในมุมกว้าง 120 องศา ทำให้มีความยืดหยุ่นในการติดตั้งและใช้งาน และช่วยลด ปัญหาที่เกิดจากการเมืองเบนของล่ามแสงไปจากปกติได้ แต่ขณะเดียวกันอาจทำให้เกิดการแทนที่ของสัญญาณและข้อมูลที่ได้ ก็เกิดความผิดพลาด ดังนั้น จึงได้แบ่งความสูงของyanในช่องทาง ด้านตัวก้านนิดสัญญาณออกเป็น 3 ส่วน โดยในแต่ละส่วนจะ ผสานสัญญาณความถี่ที่แตกต่างกันลงไป ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการรบกวนกันของสัญญาณแสงอินฟราเรด

ในส่วนของตัวก้านนิดสัญญาณนั้นจะมีหลอดก้านนิด สัญญาณ 104 หลอด ในส่วนของตัวรับสัญญาณจะใช้ทั้งหมด

จำนวน 208 ตัว และมีการผสานสัญญาณที่แตกต่างกันไป 3 สัญญาณความถี่คือ 32, 38 และ 45 kHz ข้อมูลที่ได้จากการรับ สัญญาณจะเป็นสถานะของตัวรับสัญญาณ โดยจะมีแค่เพียงสถานะ 0 และ 1 โดยข้อมูลทั้งหมดนี้จะถูกตรวจสอบในเมื่อง ต้น และส่งต่อไปประมวลผล โดยใช้ชุดโปรแกรมคำสั่งบนหน่วย ประมวลผลที่ติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์เป็นตัวจัดการ

4. ชุดโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการ ประมวลผลชุดโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ที่ใช้ โดยในชั้นตอนแรกจะเป็นการอ่านค่าสถานะของตัวรับ สัญญาณ โดยข้อมูลที่อ่านได้จะอยู่ในรูปของชุดข้อมูล ที่มีความ ยาว 208 ตัว

ข้อมูลดังกล่าวจะถูกตรวจสอบ โดยจะทำการเปรียบ เทียบชุดข้อมูลที่ได้มากับชุดข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ (ค่า เริ่มต้นจะกำหนดให้เป็น 0 ทั้งหมด) โดยใช้ตัวดำเนินการ Exclusive-OR (XOR) เมื่อได้ชุดข้อมูลที่ไม่เข้าช้อน จะเก็บชุด ข้อมูลที่อ่านได้เข้าไปในหน่วยความจำ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ครั้งต่อไป และทำการตรวจสอบเมื่อต้นว่าชุดข้อมูลที่ได้นั้น มีข้อ บกพร่องพอกอต่อกราน่าไปพิจารณาในการตัดสินใจจำแนก ประเภทของyanพากะได้หรือไม่

ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามตำแหน่งของ ตัวรับสัญญาณ นั่นคือ ส่วนแรกอยู่ที่ต่าแท่งที่ 1-20 ส่วนที่ 2 และ 3 อยู่ที่ต่าแท่งที่ 21-100 และ 101-208 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลในส่วนแรกจะเป็นข้อมูลบริเวณล้อของyanพากะ ข้อมูลส่วน ที่สองเป็นข้อมูลบริเวณส่วนหน้าลำทารับyanพากะขนาดเล็กและ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับส่วนพ่วงต่อสำหรับyanพากะขนาดใหญ่ ใน ส่วนสุดท้ายเป็นข้อมูลในส่วนหน้าของyanพากะขนาดใหญ่เพื่อ หาผลรวมของค่าสถานะของตัวรับสัญญาณในแต่ละส่วน หากนั้น นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เป็นค่าที่กำหนดไว้เป็นค่าต่ำสุดของการ ยอมรับข้อมูลของในแต่ละส่วน และจะยอมรับชุดของข้อมูลเมื่อ พบร่วมกันได้ร่วงหนึ่ง ($\sum (IR_i) > L_j$) โดยที่ IR_i และ L_j คือค่า สถานะของตัวรับสัญญาณ และ ค่าต่ำสุดของการยอมรับข้อมูล ของในส่วนที่ i ตามลำดับ

การทำหนดค่าต่ำสุดของการยอมรับข้อมูลในแต่ละส่วน นั้นคือต่อการทำงานของระบบ ที่มีการกำหนดค่าที่ต่ำกว่าเป้า

ทำให้ไม่สามารถกำจัดชุดข้อมูลที่ไม่มีความจำเป็นออกไปได้กลับ จะเพิ่มเวลาทำงานให้ระบบ และในทางกลับกันถ้ามีการกำหนดค่าที่สูงจนเกินไป จะทำให้เกิดชุดของข้อมูลน้อยลง ส่งผลให้เวลาลดลงแต่อุ่นทำให้ระบบไม่สามารถจำแนกประเภทของยานพาหนะได้ จากการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับ L_1 , L_2 และ L_3 คือ 2, 25 และ 40 ตามลำดับ

ชุดของข้อมูลที่ผ่านการกรองของเมืองทั้งหมดแล้ว จะถูกส่งต่อไปเพื่อประมวลผลซึ่งในการส่งผ่านข้อมูลจะส่งผ่านสายสัญญาณโดยจัดกลุ่มของข้อมูลกลุ่มละ 8 ค่า ในรูปแบบของ Packed decimal เพื่อลดจำนวนครั้งในการส่งข้อมูลทั้งหมด ซึ่งทำให้ลดเวลาในการส่งข้อมูลลงด้วย

อย่างไรก็ได้ ในการส่งข้อมูลแต่ละชุดนั้นมีโอกาสที่จะเกิดการสูญเสีย หรือการผิดพลาดได้ดังนี้ จึงมีการกำหนดคุณภาพแบบโปรโตคอลของชุดข้อมูลที่ส่งให้มีข้อมูลที่ใช้เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการสื่อสารเพิ่มเติม ได้แก่ ความยาวของการส่ง หมายเลขอของตัวส่ง เป็นต้น เมื่อส่งชุดของข้อมูลแล้วระบบก็จะกลับไปเริ่มต้นทำงานรอบใหม่อีกนึงเรื่อยไปโดยชุดของข้อมูลที่ส่งไปยัง PC จะมีชุดโปรแกรมคำสั่งที่จะใช้ในการจัดการกับชุดข้อมูลเพื่อพิจารณาจำแนกประเภทยานพาหนะเป็นตัวจัดการประมวลผลต่อไป

5. ชุดคำสั่งสำหรับจำแนกประเภทยานพาหนะ

ชุดคำสั่งนี้มีหน้าที่ในการรับชุดข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาวิเคราะห์จำแนกประเภทของยานพาหนะ ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานการทำน้ำออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

5.1 การแยกและตรวจสอบชุดข้อมูล

การทำงานในขั้นตอนนี้รับรู้ตั้งแต่การได้รับชุดข้อมูล ในชั้นแรกจะทำการตรวจสอบค่าโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารว่าชุดข้อมูลที่ได้รับมา มีความถูกต้องหรือไม่ หลังจากผ่านการตรวจสอบแล้วระบบจะทำการดึงเอาเฉพาะส่วนที่เป็นข้อมูลของสถานะของตัวรับสัญญาณออกจากชุดข้อมูล และส่งข้อมูลดังกล่าวต่อไปยังกระบวนการในขั้นตอนต่อไป

5.2 การลดขนาดข้อมูล

โดยทั่วไปแล้วชุดของข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามานั้นจะมีเป็นจำนวนมากแต่อาจไม่จำเป็นต้องนำมามาใช้ในการพิจารณาทั้งหมดทั้งนี้ เนื่องจากรถอาจเคลื่อนที่อย่างช้าๆ ผ่านช่องจ่ายเงิน หรือ

หยุดนิ่ง ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จะแยกพิจารณาข้อมูลทั้งสามส่วนโดยการถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญ จากนั้นจะนำข้อมูลในแต่ละส่วนมาคำนวนเพาเวลรวม

สำหรับส่วนที่ 1 จะต้องมีการถ่วงน้ำหนักให้แก่ข้อมูลทุกๆ จุด เพราะว่าข้อมูลที่อยู่ในส่วนของข้อมูลที่ 1 คือข้อมูลส่วนที่เป็นลักษณะของยานพาหนะ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการช่วยพิจารณาและจำแนกประเภท การถ่วงน้ำหนักจะทำให้สามารถลังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของชุดข้อมูลได้โดยง่าย และค่าที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักควรเป็นเลขชุดที่มีการเรียงลำดับกัน หรือมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักทั้งนี้เพื่อที่เวลาพิจารณาจะรวดเร็วค่าที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีการถ่วงน้ำหนักกับข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ดังในตารางที่ 1 ในส่วนที่ 2 และ 3 กำหนดค่าน้ำหนักเป็น 1 ทุกตำแหน่ง

ตารางที่ 1 แสดงค่าที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่ง	ตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ
1	1, 2, 19, 20
2	3, 4, 16, 17, 18
3	5, 14, 15
4	6, 7, 13
5	8, 9, 10, 11, 12

หลังจากได้ผลรวมแล้ว จะนำมาคำนวณเป็นค่าอัตรายละเอียดของข้อมูลที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วน จากนั้นนำค่าที่ได้ไปบวกกันเพื่อยืนยันค่าร้อยละต่ำสุดที่จะยอมรับการเกิดของข้อมูล โดยจะมีการกำหนดค่าขั้นต่ำของข้อมูลในส่วนที่หนึ่งไว้ที่ 2 หน่วย หากมีการกำหนดมากเกินไปอาจจะทำให้ข้อมูลไม่ลับเอี้ยดเพียงพอ ในส่วนที่สองกำหนดไว้ที่ 5 หน่วย ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าหากมีการลดค่าของส่วนนี้ลงอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในกรณีที่เป็นยานพาหนะต่อพ่วง ทำให้ส่วนที่ส่วนต่อพ่วงถูกตัดทิ้งไป และในส่วนที่สามจะกำหนดไว้ที่ 15 หน่วย ทั้งนี้เพราะจะให้ความสนใจกับส่วนของความลาดชันของส่วนที่เป็นด้านหน้าของยานพาหนะ และหากมีการกำหนดค่าต่ำสุดในแต่ละส่วนน้อยเกินไป ก็จะทำให้ระบบใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น

กรณีที่จะยอมรับชุดข้อมูลนั้นคือ เมื่อมีอย่างน้อยหนึ่งช่วงที่ ($S_i > P_j$) โดยที่ S_i และ P_j คือค่าอัตรายละเอียดของผลรวมของ

ข้อมูลในส่วนที่ i และ ค่าร้อยละต่ำสุดที่จะยอมรับการเกิดของข้อ มูลในส่วนที่ i ตามลำดับ

ถ้ามีคุณสมบัติตามเงื่อนไขจะนำค่าผลรวมของค่าสถานะ ของตัวรับสัญญาณในแต่ละส่วนไปทำการเปรียบเทียบกับค่าของ ชุดข้อมูลก่อนหน้านี้ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยระบบกำหนด ให้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 เมื่อได้ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลสอง ชุดในส่วนต่างๆแล้ว จะนำผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณโดยเป็นค่าร้อย ละของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละส่วน จากนั้นนำค่าที่ได้ไป เปรียบเทียบกับค่าต่ำสุดที่จะยอมรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

โดยค่าต่ำสุดที่จะยอมรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ใน ส่วนที่หนึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หน่วย ทั้งนี้เพื่อระบุว่าระบบให้ความ สำคัญกับข้อมูลในส่วนล่างที่เป็นส่วนของล้อของยานพาหนะถ้ามี การกำหนดค่าที่สูงทำให้ลักษณะของข้อมูลที่ได้มีความละเอียด เพียงพอต่อการวิเคราะห์เช่นเดียวกับในส่วนของข้อมูลส่วนที่สอง มีการกำหนดค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 หน่วย เพราะข้อมูลในส่วนนี้จะ สำคัญในการถือเป็นยานพาหนะขนาดเล็ก ในส่วนที่สามจะ กำหนดค่าต่ำสุดไว้ที่ 5 หน่วยก็จะมีความละเอียดของชุดข้อมูล เพียงพอที่จะวิเคราะห์และประมวลผล ข้อมูลที่ได้หลังจากการ ตรวจสอบถึงแม้ว่าจำนวนชุดของข้อมูลจะถูกลดลง แต่ความ ละเอียดของข้อมูลก็ยังอยู่ในช่วงที่มีความละเอียดมากเพียงพอ ต่อการที่จะวิเคราะห์จำแนกประเภทของยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดิม ดังนั้น จึงมีผลให้เวลาในการประมวลผลชุด ของข้อมูลทั้งหมดลดลง ทำให้การทำงานของระบบสนับสนุนการ ทำงานที่ได้ผลรวดเร็วทันที ดังข้อมูลในรูปที่ 1 เมื่อผ่านการตรวจสอบแล้วได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงข้อมูลทั้งหมดเมื่อมีรถบรรทุกสิบแปดล้อแล่นผ่าน



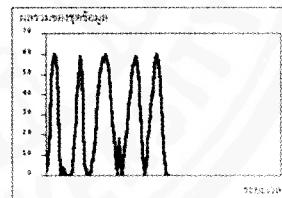
รูปที่ 2 แสดงข้อมูลทั้งหมดในรูปที่ 1 หลังผ่านการตรวจสอบตาม เงื่อนไขของระบบ

เมื่อไหร่ที่จะยอมรับชุดข้อมูลนั้น่าว่ามีการเปลี่ยนแปลงใน ช่วงหนึ่งช่วงใดหรือไม่ ถ้ามีอย่างน้อยหนึ่งช่วงที่ ($W_i > A_j$) โดยที่ W_i และ A_j คือค่าร้อยละของส่วนที่แตกต่างกันของข้อมูลในส่วน ที่ i และ ค่าร้อยละต่ำสุดที่จะยอมรับการเปลี่ยนแปลงของส่วนที่ i ตามลำดับ

ถ้าชุดของข้อมูลที่นำมาตรวจสอบมีคุณสมบัติตามเงื่อน ไขระบบก็ทำการเก็บค่าผลรวมของข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ แทนที่ข้อมูลเดิม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบต่อไป

5.3 การวิเคราะห์และจำแนกประเภท

ในการพิจารณาขั้นแรกจะดูการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ในส่วนล่าง โดยที่จะสังเกตส่วนของชุดข้อมูลที่มีผลรวมของข้อ มูลถึงจุดสูงสุด (Peak) นั้นจะเป็นลักษณะของข้อมูล ณ ตำแหน่ง ที่วัดถูกสัมผัสพื้นซึ่งคือบริเวณส่วนล้อ ดังนั้น หากสังเกตการ เปลี่ยนแปลงจะเห็นได้ว่าส่วนของชุดข้อมูลที่มีการพุ่งขึ้นสู่จุดสูง สุดก็จะถือว่าเป็นส่วนของล้อ(เพลา)นั่นเอง โดยถ้าหากว่าผล รวมของข้อมูลในส่วนที่หนึ่ง ที่มีการถ่วงน้ำหนักแล้วมาแสดงเป็น กราฟจะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้โดยง่าย ดังในรูปที่ 3 ซึ่ง เป็นรูปของกราฟแสดงค่าของยานพาหนะในรูปที่ 1 โดยลักษณะ ของการฟ์ที่ได้จะมีส่วนของข้อมูลที่ขึ้นสู่จุดสูงสุดท้าครั้ง ซึ่งก็คือ เพลาทั้งท้าของรถ

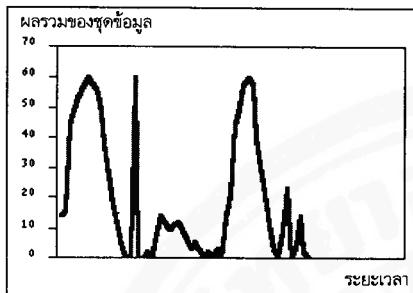


รูปที่ 3 กราฟของข้อมูลของผลรวมในส่วนล่างของชุดข้อมูล จากข้อมูลในรูปที่ 2

ในบางกรณี การที่จะยึดເเอกสารเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่

ขึ้นสู่ Peak เมื่อจำนวนเพลาของยานพาหนะนั้นๆ อาจจะทำให้ การจำแนกประเภทยานพาหนะผิดพลาดได้ เนื่องจากในยาน พาหนะบางคันจะมีการติดตั้งวัตถุบางชนิด เช่น แผ่นบังโคลน ขนาดใหญ่ หรือมีผู้ยังกันการกระเด็นของน้ำที่อยู่ที่ด้านบน หรือมีการต่อสายไฟไว้กับพื้นที่นี้เพื่อถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่ ดิน ทำให้เป็นสาภัยดิน ดังนั้น จึงต้องพิจารณาดูอัตราเร็วในการ

เปลี่ยนค่าความชันของค่าพลรวม ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นข้อ
มูลของรอบรุกหลัก หากพิจารณาดูที่จุดเปลี่ยนค่าความชัน



ตำแหน่งที่ส่อง จะพบว่าค่าความลามัดชันเปลี่ยนแปลงมากทั้งทั้ง
ด้านซ้ายและขวาของจุดโถงกลับของเส้นโค้ง แสดงว่าต่อๆ
ตำแหน่งนี้ที่สัมผัสพื้นจะไม่ใช้ล้อของยานพาหนะ ระบบจึงไม่นับ
รวมจุด Peak นี้

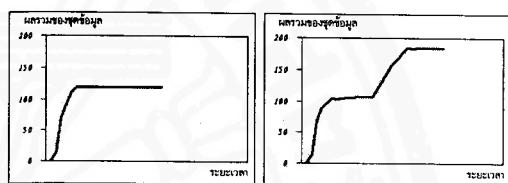
รูปที่ 4 กราฟแสดงข้อมูลของผลรวมของข้อมูลในส่วนล่างรถ
บรรทุกหลักดันที่หนึ่ง

ข้อมูลของจำนวนเพลาของยานพาหนะนั้นยังไม่เพียงพอ
ต่อการจำแนกประเภท เนื่องจากเพลาของยานพาหนะนั้นมีหัว
เพลาคู่และเพลาเดี่ยว ดังนั้น จึงต้องนำเอาข้อมูลอื่นๆมาประกอบ
การพิจารณา ซึ่งข้อมูลที่สำคัญตัวหนึ่งคือข้อมูลความสูงของยาน
พาหนะ

ความสูงของรถสามารถช่วยในการจัดกลุ่มของยาน
พาหนะในเบื้องต้นได้ โดยจะดูจากตำแหน่งของข้อมูลของตัวรับ
สัญญาณในส่วนที่สาม โดยหาตำแหน่งที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งจาก
กลุ่มตัวอย่างพบว่า โดยเฉลี่ยความสูงของยานพาหนะที่มีขนาด
เล็กจะมีความสูงไม่เกินตัวรับสัญญาณในตำแหน่งที่ 120 แต่การ
นำจุดสูงสุดของชุดข้อมูล มาเป็นตัวกำหนดความสูงของยาน
พาหนะน้ำหนาจะเกิดความผิดพลาดได้ เพราะในยานพาหนะ
แต่ละประเภทอาจมีการบรรทุกสิ่งของ ในงานวิจัยนี้จะยึดเอา
ความสูง ณ ตำแหน่งที่เกิด Peak ตำแหน่งแรกของชุดข้อมูล
นั้นๆว่าเป็นความสูงของยานพาหนะ

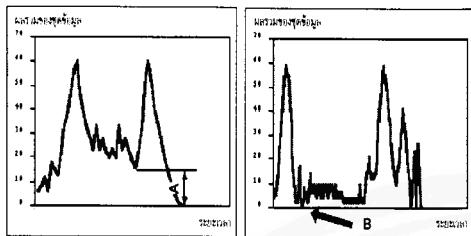
นอกจากความสูงของยานพาหนะแล้ว ยังได้นำค่าการ
เปลี่ยนแปลงค่าความชันของชุดข้อมูลในส่วนกลางและในส่วนบน

ของชุดข้อมูลมาพิจารณาอีกด้วย ทั้งนี้จะพบว่ากรณีของรถ
บรรทุกหลักดันที่เป็นรุนก้าที่มีรูปร่างด้านหน้าเดิมจากจุดเปลี่ยน
ในยานพาหนะขนาดเล็กได้ถ้าพิจารณาเพียงความสูง ดังนั้น การ
นำข้อมูลในส่วนที่สองและในส่วนที่สามมาดูรักษณะการเปลี่ยน
แปลงของความชันของค่าสูงสุดของชุดข้อมูลที่เกิดขึ้นจะสามารถ
แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุด
ของชุดข้อมูลจะคงที่ถ้าเป็นยานพาหนะขนาดเล็กจำพวกรถวน แต่
จะเพิ่มขึ้นถ้าเป็นยานพาหนะที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ ดัง
แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุดของรถวน
(ซ้าย) และรถลิบล้อรุนก้า (ขวา)

องค์ประกอบสุดท้ายที่ใช้ในการจำแนกยานพาหนะของ
ระบบนี้ คือความสูงจากพื้นถนนซึ่งมีส่วนช่วยในการจำแนก
ยานพาหนะขนาดเล็ก เช่นในกรณีที่เป็นรถวนและมีการบรรทุก
สัมภาระบริเวณหลังคาซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้ลักษณะของกราฟ
ของการเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุดของชุดข้อมูลไปคล้ายคลึงกับ
กราฟของการเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุดของรถบรรทุกหลักดันที่รุน
ก้า ทำให้เกิดการจำแนกประเภทผิดพลาดได้ ดังนั้น จึงใช้ค่า
ความสูงจากพื้นถนนช่วยในการพิจารณา ค่านี้ได้จากการคำนวณผล
รวมของข้อมูลในชุดล่างที่มีการถ่วงน้ำหนักแล้ว โดยจะดูค่าที่
น้อยที่สุดที่อยู่ในชุดของข้อมูลในส่วนล่างที่ผ่านการถ่วงน้ำหนัก
แล้วโดยเอาช่วงของข้อมูลระหว่างตำแหน่งของ Peak แรกและ
Peak ที่สองมาพิจารณา ซึ่งค่านี้มีความสัมพันธ์แบบผิดกันค่า
ของความสูง ในรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบของกราฟของผล
รวมของข้อมูลในชุดล่างที่มีการถ่วงน้ำหนักแล้วของรถวน และ
รถบรรทุก 6 ล้อ



รูปที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของข้อมูลรถแวน (ซ้าย)
และรถบรรทุก 6 ล้อ (ขวา)

จากรูปจะพบว่าค่าของ A จะมากกว่า B และด้วยว่าระยะห่างจากพื้นของ A จะน้อยกว่า B ด้วยวิธีการนี้ระบบจะสามารถตรวจสอบความสูงโดยประมาณของyanพาหนะ โดยพบว่าถ้าเป็นyanพาหนะขนาดกลางและขนาดใหญ่จะมีค่าความสูงต่ำสุดของข้อมูลไม่มากกว่า 10 โดยประมาณ และถ้าเป็นyanพาหนะขนาดเล็กจะมีค่าความสูงต่ำสุดของข้อมูลมากกว่า 10 ขึ้นไป

เมื่อนำมาจัดเรียงที่มีในด้านต่างๆที่ระบบได้พิจารณา มาวิเคราะห์โดยพิจารณาจากรูปแบบของyanพาหนะประเภทต่างๆที่มีในปัจจุบัน ระบบก็จะสามารถทำการจำแนกประเภทของyanพาหนะออกเป็นประเภทต่างๆ โดยอ้างอิงข้อมูลเดลเพลจั้งทั้งสี่ประเภท ได้แก่ จำนวนเพล雅ของรถ ความสูง การเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุด และ ความสูงจากพื้นถนน

โดยเมื่อนำค่าปัจจัยต่างๆมาจัดกลุ่ม โดยอาศัยรูปแบบของyanพาหนะต่างๆที่มีในปัจจุบันเป็นข้อเปรียบเทียบจะสามารถจัดกลุ่มจำแนกyanพาหนะออกเป็นประเภทต่างๆได้ดังตารางที่ 2

6. ผลการทดลองและสรุปผล

ในการทดสอบอุปกรณ์ ได้ทำการทดสอบ 2 ครั้ง คือครั้งแรกจะทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์เพียง 1 ชุดในการทดสอบ และใช้เวลาในการทดสอบ 24 ชั่วโมงโดยไม่มีการพักเครื่อง เพื่อทดสอบความถี่ยภาพของอุปกรณ์และระบบถ้าต้องทำงานติดต่อันเป็นระยะเวลานาน รวมถึงทดสอบการทำงานในช่วงเวลาต่างๆที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน ในเรื่องของแสง อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น โดยแบ่งการทดสอบเป็น 8 รอบ โดยในแต่ละรอบจะเดินทางท่องเที่ยวทั่วทุกๆ 3 ชั่วโมง ในการทดสอบในแต่ละรอบจะทำการสังเกตyanพาหนะที่แล่นผ่านจำนวน 10 - 50 คัน

และในการจำแนกประเภทของyanพาหนะจะจำแนกเป็นประเภทหลักๆ สามประเภทคือ yanพาหนะที่มี 4 ล้อ, yanพาหนะที่มี 6 - 10 ล้อ และ yanพาหนะที่มีล้อมากกว่า 10 ล้อ จากการสังเกต yanพาหนะทั้งหมดจำนวน 250 คัน พบร่วมกัน สามารถจำแนกประเภทของyanพาหนะได้ถูกต้องเป็นจำนวน 237 คัน โดยมีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 94.8 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบครั้งที่สองใช้อุปกรณ์จำนวน 24 ชุดติดตั้งในสถานที่แตกต่างกัน 4 สถานที่ โดยติดตั้งสถานที่ละ 6 ชุด ช่วงเวลาในการทดสอบตั้งแต่ 08.00 น. - 20.00 น. โดยในการทดสอบจะทำการสังเกตyanพาหนะจำนวน 100 คัน ต่อ 1 ชุด อุปกรณ์ และในการจำแนกประเภทของyanพาหนะจะจำแนกเป็นประเภทหลักๆสามประเภทเช่นกัน จากการสังเกตyanพาหนะในแต่ละชุดอุปกรณ์พบว่าค่าความถูกต้องสูงสุดที่ทำได้คิดเป็นร้อยละ 98 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถูกต้องต่ำสุดที่ทำได้คิดเป็นร้อยละ 74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรวมจำนวนค่าความถูกต้องจากทุกชุด อุปกรณ์มีจำนวนyanพาหนะทั้งสิ้น 2400 คัน พบร่วมกัน สามารถจำแนกประเภทได้อย่างถูกต้องเป็นจำนวน 2198 คัน คิดเป็นค่าร้อยละของความถูกต้องได้ถึง 91.58 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบพบว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกิดจากประเภทของyanพาหนะมีความคลุมเครือ ซึ่งในบางประเภทจะมีความคล้ายคลึงกันได้ยังกันหรือแตกต่างกันอย่างมาก เช่นในกรณีของรถกล้อขนาดเล็กบางประเภทที่มีขนาดเล็กกว่ารถแรง หลังคาสูงสุดล้อหน้ารุนแรงทำให้การวิเคราะห์ที่ได้ผิดพลาดซึ่งรวมถึงในกรณีของyanพาหนะที่มีการตัดแปลงสภาพ หรือติดตั้งอุปกรณ์อื่น ในการแก้ไขเมื่อมีการลดระยะเวลาท่าระหว่างเส้นัญญาณในช่องทางจะทำให้ค่าความสูงที่ได้มีความเน้นอยู่ที่เส้นแต่ในกรณีของรถกล้อขนาดเล็กที่มีขนาดเล็กกว่ารถล้อ ต้องถือเป็นหัวข้อยกเว้นของระบบยอมรับข้อมูลเดลเพลจั้งกล่าว ในกรณีนี้ใช้เจ้าหน้าที่ประจำด่านเก็บเงินแก้ไขปัญหา

7. ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบพบว่าในการใช้อุปกรณ์ที่เป็นม่านแสงอินฟราเรดถ้ามีการจำแนกความกว้างของมุ่งของลำแสงอินฟราเรดทั้งมุ่งในการส่งและมุ่งในการรับ ให้มีขนาดแคบลง ซึ่งการจะทำเช่นนี้จะสามารถลดปัญหาที่เกิดจากการรบกวนของสัญญาณ

และการลงทะเบียนของลัญญาณแล้วได้ รวมถึงทำให้เกิดความถูกต้อง
แม่นยำของรถข้อมูลที่ได้รับอีกด้วย

นอกจากการนำเทคโนโลยีม่านแสงมาใช้ในการจำแนก
ประเภทของยานพาหนะแล้ว ยังสามารถนำเทคโนโลยีไป
ประยุกต์ใช้งานได้อีกนิด ตัวอย่างเช่น ให้เป็นอุปกรณ์เพื่อการ
ตรวจสอบ และตรวจสอบได้ และแสงอินฟราเรดสามารถนำไป
ประยุกต์ใช้งานในลักษณะเดียวกับลำแสงอินฟราเรดที่ได้ใช้กัน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Asad Khattak, Hisham Noeimi, Haitham Al-Deek and Randolph Hall, Advance Public Transportation System: A Taxonomy and Commercial Availability, California PATH Program Institute of Transportation studies University of California Berkeley, p.98, August 1993.
- [2] ASELSAN A.S., A-Pass Electronic Toll Collection System Description Document, Microwave and Systems Division Ankara Turkey, p.12, 2001.
- [3] Carlos Sun, AnInvestigation in the Use of Inductive Loop Signatures for Vehicle Classification, California PATH Program University of California Berkeley, p.129, March 2000.
- [4] Carlos Sun, Stephen G.Ritchie and Seri Oh, Inductive Classifying Artificial Network of Vehicle Type Categorization, Institute of Transportation Studies University of California Irvine USA, 22 p, December 2000.
- [5] Cheng Song and Lawrence H.Landweber, Optimizing Bulk Data Transfer Performance: A Packet Train Approach, Symposium proceedings on Communications architectures and protocols :pp.134-145, 1998.
- [6] Chunrui Zhang, M.Y. Siyal, A New Segmentation Technique for Classification of Moving Vehicles, IEEE :pp.323-326, 2000.
- [7] Constantine P. Papageorgiou, Michale Oren and Tomaso Poggio, A General Framework for Object Detection, Proceedings of International Conference on Computer Vision Bombay India January, : p.8, 1998.
- [8] Constantine P.Papageorgiou and Tomaso Poggio, A Pattern Classification Approach to Dynamical Object Detection, Proceedings of International Conference on Computer Vision Corfu Greece September, :p.6, 1999.
- [9] D.J. Dailey and L.Li, Video Image Processing to Create a Speed Sensor, Final Research Report, University of Washington, Seattle, March 1999.
- [10] Ewa Kubicka, Grzegorz Kubicki and Ignatios Vakalis, Using Graph Distance in Object Recognition, Proceedings of the 1990 ACM annual conference on Cooperation :pp.43-48, 1990.
- [11] Frank Dellaert and Chuck Thorpe, Robust Car Tracking using Kalman filtering and Bayesian templates, in Proceedings of SPIE: Intelligent Transportation Systems, vol. 3207; p.8, October 1997.
- [12] Guha, T Walton, CM, Intermodal Container Port: Application of Automatic Vehicle Classification System for Collecting trip generation data, Transportation Research Record Vol. 1383 :pp.17-23, 1993.
- [13] Jiro Takezaki, Nobuyuki Ueki, Toshimichi Minowa and Hiroshi Kondoh, Ph.D., Support System for Safe Driving, Hitachi Review Vol. 49 No.3 :pp107-114, 2000.

- [14] John A. Halkias, Ph.D., P.E., Advanced Transportation Management Technologies Participant Reference Guide, United States Department of Transportation - Federal Highway Administration Publication No.FHWA-SA-97-058, p.657, April 1997.
- [15] Masataka Kagesawa, Arihiro Nakamura, Katsushi Ikeuchi and Hiroaki Saito, Local-feature Based Vehicle Class Recognition in Infra-red Images Using IMAP Parallel Vision Board, 2000 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings Dearborn (MI) USA October 1-3 :pp.334-339, 2000.
- [16] Michael Magee and Sue Englert, An Interdisciplinary Course in Digital Image Processing, Proceedings of the twenty-third technical symposium on Computer science education :pp.197-201, 1992.
- [17] N.Ayland and P. Davies, Automatic Vehicle Identification for Heavy Vehicle Monitoring, Castle Rock Consultants UK :pp.52-55, 1997.
- [18] Nevenka Dimitrova and Forouzan Golshani, Motion Recovery for Video Content Classification, ACM Transactions on Information Systems Vol. 13 No.4 October :pp.408-439, 1995.
- [19] Paul Suetens, Pascal Fua and Andrew J.Hanson, Computational Strategies for Object Recognition, ACM Computing Surveys (CSUR) Vol 24 No.1 :pp.5-62, March 1992.
- [20] Richard M.Ingle, Bryan D.Williams and Nazemeh Sobhi, An Advance Traffic Management System Simulator for Intelligent Vehicle_Highway System Research, Proceeding of the 1994 Winter Simulation Conference :pp.1455-1460, 1994.
- [21] Rick Schmoyer, Patricia S.Hu and Patty Swank, Analysis of Vehicle Classification and Truck Weight Data of the New England States, Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge Tennessee, p.125, September 1998.
- [22] Shahram Malek, Ph.D., P.E., Rick Denney, P.E. and John A. Halkias, Ph.D., P.E., Advanced Transportation Management Technologies Participant Notebook, United States Department of Transportation - Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-97-060, p.79, April 1997.
- [23] Stephen G. Ritchie, Carlos Sun, Section Related Measures of Traffic System Performance: Final Report, California PATH Research Report, University of California, Berkeley, November 1998.
- [24] Surendra Gupte, Osama Masoud and Nikolaos P.Papanikopoulos, Vision-Based Vehicle Classification, 2000 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings Dearborn (MI) USA October 1-3 :pp.46-51, 2000.

ตารางที่ 2 แสดงการจำแนกประเภทน้ำพานะโดยพิจารณาจากค่าบัวจัยต่างๆ

จำนวน Peak ที่เกิดขึ้น	สถานะค่าส่วนสูง เปลี่ยนค่าสูงลง	ลักษณะของการเปลี่ยน แปลงค่าสูงลง	สถานะความสูง จากพื้น	จำแนกอยู่ในประเภท
1	Low / High	Change / No Change	Low / High	ไม่สามารถระบุประเภทได้
2	Low	Change	Low	ระดับต่ำเล็ก, ระดับปานกลาง
2	Low	Change	High	ระดับรวมทุกหลักอ่อน(รุ่นเก่า)
2	Low	No Change	Low	ระดับโดยสารขนาดเล็ก, ระดับแวน
2	Low	No Change	High	ระดับรวมทุกหลักอ่อนขนาดเล็ก
2	High	Change	Low	-
2	High	Change	High	ระดับรวมทุกหลักอ่อนขนาดใหญ่
2	High	No Change	Low	ระดับโดยสารหลักอ่อน
2	High	No Change	High	ระดับรวมทุกหลักอ่อน
3	Low	Change	Low	ระบบระดับเปล่ง
3	Low	Change	High	ระบบรวมหลักอ่อน(รุ่นเก่า)
3	Low	No Change	Low	-
3	Low	No Change	High	-
3	High	Change	Low	ระบบรวมหลักอ่อน
3	High	Change	High	ระบบรวมหลักอ่อน
3	High	No Change	Low	ระดับโดยสารแปดหลัก
3	High	No Change	High	ระบบรวมหลักอ่อน
4	High	Change	High	ระบบรวมพ่วงหลักอ่อน(รุ่นเก่า)
4	High	No Change	High	ระบบรวมพ่วงหลักอ่อน
5	High	Change	High	ระบบรวมพ่วงหลักแปดหลัก(รุ่นเก่า)
5	High	No Change	High	ระบบรวมพ่วงหลักแปดหลัก

หมายเหตุ -

- ๑ ไม่สามารถจำแนกประเภทได้ เพราะไม่มีรูปแบบลักษณะของยานพาหนะแบบนี้ในบัวจุบัน
- ๒ จำนวนของล้อของยานพาหนะที่มี Peak มากกว่า 3 ตัวແเนื่องสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{จำนวนล้อ} = 2 + (4*(P-1))$$
 โดย P คือ จำนวน Peak ที่เกิดขึ้นหั้งหมด
- ๓ จะพบว่าถ้า_yanพาหนะ_ใดที่มีจำนวน Peak ที่เกิดขึ้นมากกว่า 3 จะมีสถานะค่าส่วนสูงเป็น High เท่านั้นเนื่องจากเป็นยานพาหนะขนาดใหญ่ และค่าสถานะความสูงจากพื้นจะมีค่าสถานะเป็น High เช่นกันเพรา_yanพาหนะ_ที่มีขนาดใหญ่จะต้องใช้ล้อที่มีขนาดใหญ่เพื่อรับน้ำหนัก แต่มี_yanพาหนะ_บางประเภทที่มีค่าสถานะความสูงเป็น Low ได้เช่นระบบรวมรถแทรกเตอร์ เป็นต้น
- ๔ ไม่ครอบคลุมในกรณีที่เป็น_yanพาหนะ_ที่มีการต่อพ่วง