ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคประมวลภาพ

AUTOMATIC TRAFFIC SIGNAL CONTROL SYSTEM USING IMAGE PROCESSING

ฉัตรมงคล ลิ้มแดงสกุล

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

บทคัดย่อ

สารนิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ โดยหาปริมาณความหนาแน่นของการจราจรเพื่อตัดสินใจในการกำหนดสัญญาณไฟที่เหมาะสมที่ทางแยกเดี่ยว โดยโปรแกรมสัญญาณไฟจราจรนี้สามารถปรับเปลี่ยนระบบสัญญาณไฟได้ 3 ส่วน เพื่อให้สัญญาณไฟที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่สุดส่วนที่หนึ่ง ประเภทกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจรโดยเจ้าหน้าที่ ส่วนที่สองประเภทกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ และส่วนที่สามประเภทกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร โดยระบบจะมีการจัดเก็บข้อมูลปริมาณความหนาแน่นของการจราจรเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใช้ในการเดินทางของผู้ใช้ถนน และการตั้งค่าเวลาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของเจ้าหน้าที่ ในขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้วิจัยได้ใช้ภาษา Visual Basic โดยอาศัย Visual Studio.Net 2008 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งมี Microsoft Access 2003 เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ใช้กล้อง Web Camera สำหรับตรวจจับยานพาหนะบนท้องถนน และใช้เทคนิคประมวลผลภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบโดยระบบที่พัฒนาขึ้นได้นำไปทำการทดสอบซึ่งสามารถปฏิบัติงานได้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ตั้งไว้ โดยผลการทดสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้

คำสำคัญ สัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ การประมวลผลภาพ

Abstract

This study presents a development of Automatic Traffic Control System using Image Processing Technique by identifying traffic congestion in order to assign appropriate traffic signal at single intersection. This traffic signal program can adjust traffic system in three modes as to provide traffic light, which suitable for traffic condition. Firstly, program requires for the traffic control officer. At the secondly, the program requires for fixed traffic duration.Thirdly, vary the traffic light duration with traffic congestion. The system also employs traffic congestion data system for decision making of vehicle drivers on travel route and time control for traffic control. By doing the system development, Visual Basic programming language was employed in Visual Studio.Net 2008 program, the tool for system development. Microsoft Access 2003 was introduced as database management system, web camera to capture image of traffic vehicles, and image processing technique to analyze and test system data of the developed system that can perform in accordance to predetermined objectives and scopes. In conclusion, the developed system can be applied to the actual traffic control environment.

Keywords: Automatic Traffic Control, image processing

1. คำนำ

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าการจราจรและขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากปัจจุบันภาคธุรกิจและการบริการได้ขยายตัวขึ้นมาจนทำให้เกิดการขยายตัวทางด้านการคมนาคม ซึ่งยังไม่รวมไปถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ เหตุผลเหล่านี้ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลัก ๆ ที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณของรถยนต์และยานพาหนะบนท้องถนนที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนส่งผลให้เกิดสภาพการจราจรที่หนาแน่นและติดขัด หลายฝ่ายที่ต้องการแก้ปัญหาต้องอาศัยการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรเพื่อคอยควบคุมการเคลื่อนตัวของรถยนต์และยานพาหนะให้เป็นไปอย่างราบรื่นและสะดวก

ระบบสัญญาณไฟจราจรกลายเป็นเทคโนโลยีขั้นพื้นฐานในการบริหารจัดการการคมนาคมบนท้องถนน ด้วยเหตุผลที่ว่าระบบสัญญาณไฟจราจรสามารถสื่อความหมายต่อผู้ขับขี่รถยนต์และยานพาหนะให้เข้าใจความหมายได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ตำรวจคอยควบคุมรถยนต์บนท้องถนน แต่อย่างไรก็ตามแม้ระบบสัญญาณไฟจราจรจะมีประสิทธิภาพมากแค่ไหนก็ยังต้องอาศัยเจ้าหน้าที่เกี่ยวข้องคอยควบคุมดูแลหรือใช้การตั้งเวลาเป็นตัวคอยควบคุมการทำงานของระบบไฟจราจร

จากเหตุผลดังกล่าวพบว่าที่ผู้ขับขี่รถยนต์และยานพาหนะต้องประสบกับปัญหาจราจรที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป โดยส่วนหนึ่งมาจากการควบคุมไฟจราจรที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบแบบตั้เวลาจะไม่สามารถปรับตัวตามสภาพการจราจรในปัจจุบัน หรือการควบคุมไฟจราจรที่มีการปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อมในระดับหนึ่ง แต่ต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนการทำงานจนทำให้หลายครั้งก็ไม่สามารถแก้ปัญหาการจราจรที่ติดขัดหรือในบางกรณีกลายเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรที่ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาต่างๆ

จากเหตุผลดังกล่าวพบว่าที่ผู้ขับขี่รถยนต์และยานพาหนะต้องประสบกับปัญหาจราจรที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป โดยส่วนหนึ่งมาจากการควบคุมไฟจราจรที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบแบบตั้งเวลาจะไม่สามารถปรับตัวตามสภาพการจราจรในปัจจุบัน หรือการควบคุมไฟ

จราจรที่มีการปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อมในระดับหนึ่ง แต่ต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนการทำงานจนทำให้หลายครั้งก็ไม่สามารถแก้ปัญหาการจราจรที่ติดขัดหรือในบางกรณีกลายเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรที่ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและเทคนิคการประมวลผลภาพมาปรับประยุกต์ใช้ อาทิ เช่น ทวี วิชัยเมธาวี (2545) ได้พัฒนาระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัว แสดงให้เห็นว่า การปรับสัญญาณไฟจราจรที่เวลาที่เหมาะสมตั้งแต่ปริมาณจราจรเริ่มเพิ่มมากขึ้นสามารถช่วยบรรเทาการจราจรติดขัดได้ดี ส่วนเกรียงศักดิ์ บุญรักษ์(2546) ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อออกแบบการตั้งเวลาของสัญญาณไฟจราจรของ ทำให้ทราบว่ามีการวิเคราะห์การติดตั้งต่ของสัญญาณไฟจราจรเป็นแบบสุ่ม

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทางผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะพัฒนาระบบการควบคุมไฟจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานให้เป็นไปตามสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและเป็นระบบอัตโนมัติที่ไม่ต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ในการควบคุมการทำงาน เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการทำงานของระบบไฟจราจรแบบเก่า ซึ่งอาจส่งผลให้สามารถแก้ไขปัญหาในส่วนของการจัดการการจราจรที่ติดขัดในปัจจุบัน

2. ความมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร
2. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสัญญาณไฟจรจรอัตโนมัติ
3. ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพเพื่อแก้ไขปัญหาการจราจร

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่พัฒนาขึ้นเป็นการจำลองสถานการณ์การจราจร
2. ระบบต้นแบบสามารถควบคุมไฟจราจรได้ไม่เกิน 1 สี่แยก และมีเพียง 4 เสาสัญญาณไฟ
3. กล้อง Web Camera ที่ใช้ตรวจสภาพจราจรต้องมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 5 ล้านพิกเซล
4. ระบบตรวจวัดสภาพจราจรสามารถตรวจวัดได้ในช่วงที่มีทัศนะวิสัยที่ดีเท่านั้น
5. ในการทำงานของระบบควบคุมไฟจราจรกำหนดให้รถเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาจะต้องรอสัญญาณไฟและรถยนต์จะต้องวิ่งภายในช่องทางของตนเองเท่านั้น
6. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมไฟจราจร เป็นข้อมูลที่จำลองขึ้น

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้พัฒนาระบบได้รับความรู้และเทคนิคการประมวลภาพ เพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร
2. ได้รับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ.
3. เจ้าหน้าที่สามารถใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
4. เจ้าหน้าที่ได้รับรายงานสนับสนุนการตัดสินใจในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร
5. ผู้ขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนนได้รับข้อมูลการคาดการปริมาณการจราจรในวันถัดไป เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเดินทาง
6. ลดกำลังพลเจ้าหน้าที่ตำรวจอันเนื่องมาจากการใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ
7. ลดการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น
8. แบ่งเบาภาระค่าใช้จ่ายในการเดินทาง
9. เพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางให้บรรลุเป้าหมายตามเวลาที่คาด

5. การศึกษาและวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน

ระบบสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบันเป็นระบบสัญญาณไฟแบบมาตรฐานสากลที่ประกอบไปด้วย 3 สีหลักคือ แดง เหลือง และเขียว ซึ่งเป็นสีที่ทำให้ผู้ใช้ยานพาหนะบนท้องถนนเข้าใจความหมายได้ง่าย แม้ระบบสัญญาณไฟในปัจจุบันจะทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพที่ช่วยลดภาระให้กับเจ้าหน้าที่ได้ แต่ในหลายส่วนของระระบบก็ยังต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ในการควบคุมและสั่งการอยู่เป็นประจำ ทำให้ระบบสัญญาณไฟจราจรยังเป็นระบบที่ทำงานตามเจ้าหน้าที่กำหนดไว้เท่านั้น ไม่สามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้

ลักษณะปัญหาของระบบงานปัจจุบัน

1. สัญญาณไฟจราจรจะทำงานตามเวลาที่เจ้าหน้าที่เป็นผู้กำหนดไว้เท่านั้น
2. ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรไม่สามารถนำภาพจากกล้องวงจรปิดไปใช้ให้เกิดประโยชน์นอกเหนือจากการติดตามปริมาณความหนาแน่นของการจราจร
3. ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลสถิติความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละช่วงเวลาได้
4. ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรไม่สามารถออกรายงานเพื่อช่วยในการบริหารจัดการระบบให้แก่เจ้าหน้าที่ได้

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบ

1. ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรในแต่ละสถานการณ์ได้เหมาะสม โดยไม่ต้องอาศัยเจ้าหน้าที่เป็นผู้สั่งการ
2. ระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลสถิติความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละช่วงเวลาได้
3. ระบบสามารถออกรายงานเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการระบบให้แก่เจ้าหน้าที่ได้
4. ระบบสามารถออกรายงานการคาดการปริมาณการจราจรล่วงหน้าให้กับผู้ขับขี่ยานพาหนะทั่วไปเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกเส้นทาง

6. การวิเคราะห์และออกแบบระบบงานใหม่

จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบสามารถแบบการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการหาปริมาณความหนาแน่นของการจราจร และส่วนการกำหนดสัญญาณไฟจราจร

1. การหาปริมาณความหนาแน่นของการจราจร

เมื่อระบบได้รับภาพมาจากกล้องจะนำภาพที่ได้มานั้นแปลงจากภาพ RGB ให้เป็น Binary Bitmap โดยทำที่ละ Pixel เริ่มด้วยการหาความเข้มของแสงของแต่ละจุด หากต่ำกว่าเกณฑ์หรือเท่ากับที่กำหนดให้เปลี่ยนเป็นสีดำ แต่หากมากกว่าให้เปลี่ยนเป็นสีขาว หลังจากได้ภาพมาแล้วจะนำมาลบ Noise โดยการกำหนดความต่อเนื่องของจุดดำ หากมีจุดดำอยู่ติดกันน้อยกว่า 5 Pixel ให้ถือว่าเป็น Noise แล้วแปลงให้เป็นสีขาว เมื่อได้ภาพที่กำจัด Noise แล้วจะนำภาพนั้นมาใช้ทฤษฎีการตีเส้นตรงของ Bresenham มาหาขอบบนและขอบล่างแล้วทำการแบ่งเป็น 8 ส่วน

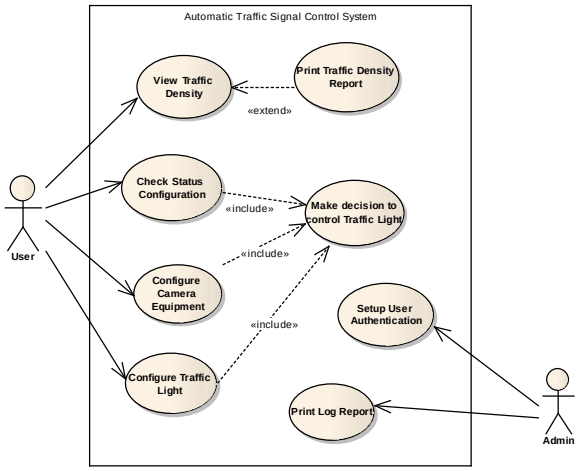
2. การกำหนดสัญญาณไฟจราจร

เมื่อระบบได้รับภาพมาจากกล้อง จะตรวจสอบว่าทุกช่องทางจราจรอยู่ในเกณฑ์วิกฤตหรือไม่ ถ้าทุกช่องทางจราจรอยู่ในเกณฑ์วิกฤตระบบจะแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ให้มาควบคุมสัญญาณไฟจราจรเอง และระบบจะควบคุมสัญญาณไฟจราจรด้วยระบบเวลาจนกว่าเจ้าหน้าที่จะมาปรับควบคุมระบบเอง แต่ถ้าทุกช่องจราจรไม่อยู่ในเกณฑ์วิกฤตระบบจะทำการตรวจสอบว่าช่องการจราจรนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ได้ถูกกำหนดไว้ในตัว Configuration หรือไม่ หากปรากฏว่าอยู่ในเกณฑ์จะทำการตัดช่องการจราจรนั้นทิ้งจากการจัดอันดับการปล่อย การจัดลำดับการปล่อยของแต่ละเลนโดยเทียบค่าจากเลนความหนาแน่นของเลนซ้าย เลนมากไปก่อนเลนน้อยปล่อยทีหลัง

6.1 ยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram)

เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบการกำหนดค่าคอนฟิกต่าง ๆ โฟลเดอร์ที่ใช้สำหรับเก็บรูปภาพและความพร้อมของกล้องวงจรปิด, ตั้งค่ากล้องและรูปภาพ, ตั้งค่าระยะเวลาสัญญาณไฟ, เรียกดูข้อมูลความหนาแน่นของการจราจร, สั่งพิมพ์รายงานที่ได้จากการเก็บบันทึกข้อมูลความหนาแน่นของการจราจร

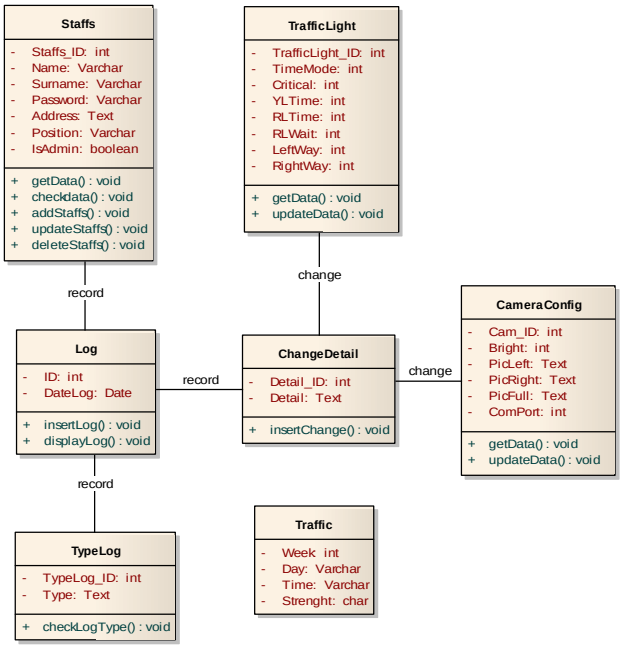
ส่วนผู้ดูแลระบบสามารถพิมพ์รายงานการตั้งค่าระบบ รายงานบันทึกการพิมพ์ และรายงานการเพิ่มผู้ใช้ระบบและ จัดการกับข้อมูลของผู้ใช้งานระบบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Use Case Diagrams

6.2. คลาสไดอะแกรม

คลาสไดอะแกรมจะแสดงความสัมพันธ์และโครงสร้างทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งจะทำให้สามารถรู้ว่ามีคลาสไหนบ้างและไดอะแกรมอื่น ๆ ที่มีในระบบเพื่อความเข้าใจในระบบงานดังรูปที่ 2

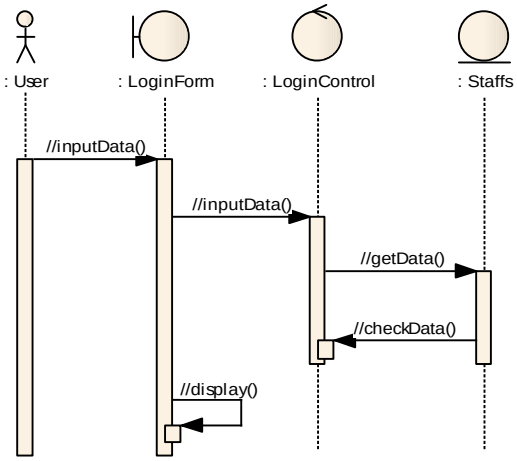


รูปที่ 2 คลาสไดอะแกรม

6.3. คลาสไดอะแกรม

6.3.1 การการตรวจสอบการเข้าใช้งานของผู้ใช้งาน

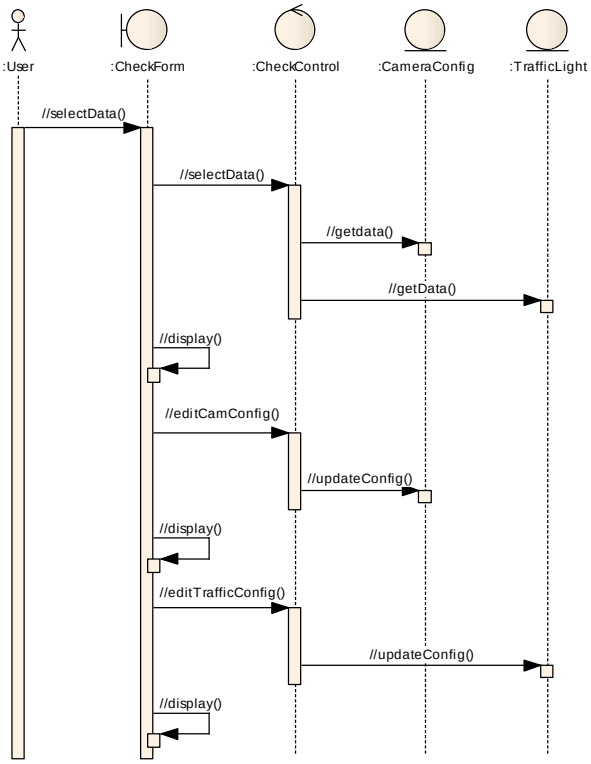
ซีเควนส์ไดอะแกรมการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานจะกล่าวถึงการล็อคอินของผู้ใช้โดยการใส่ชื่อของผู้ใช้งาน (Username) และรหัสของผู้ใช้งาน (Password) จากนั้นระบบจะตรวจสอบทั้งชื่อและรหัสผ่านของผู้ใช้งานโดยนำข้อมูลมาจากฐานข้อมูลมาใช้ในการตรวจสอบก่อนที่จะอนุญาตให้ผู้ใช้งานระบบสามารถเข้าใช้งานได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การตรวจสอบการเข้าใช้งานของผู้ใช้งาน

6.3.2 การตรวจสอบสถานะของการตั้งค่าของระบบ

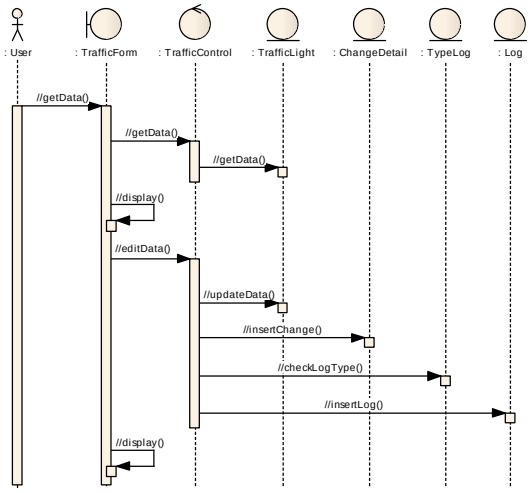
ซีเควนซ์ไดอะแกรมการตรวจสอบสถานะของการตั้งค่าของระบบจะกล่าวถึงการตรวจสอบสถานะการตั้งค่าของระบบและการปรับแต่งแก้ไขค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การตรวจสอบสถานะของการตั้งค่าของระบบ

6.3.3 การควบคุมสัญญาณไฟจราจร

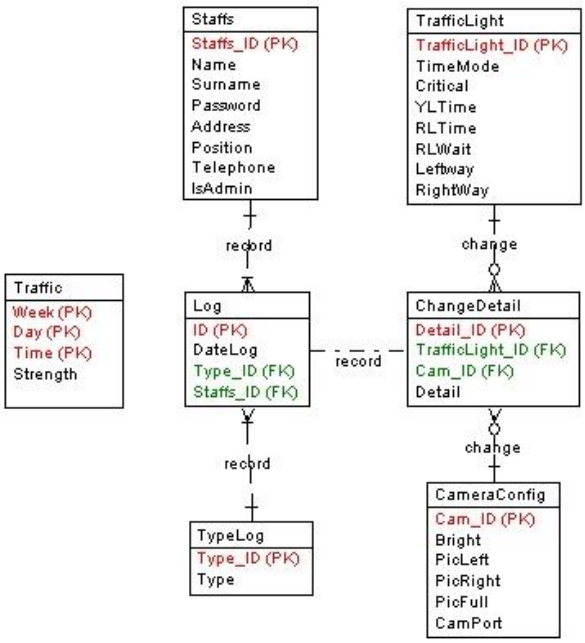
แสดงขั้นตอนการตั้งค่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยสามารถกำหนดเวลาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร และเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละช่องจราจร หลังจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆจะบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงว่าใครเป็นคนแก้ไขข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

6.4 แบบจำลองข้อมูล

เป็นรูปแบบในการเสนอราละเอียดหรือข้อมูลต่าง ๆ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร วัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถมองภาพของข้อมูลในระบบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยใช้อีอาร์ไดอะแกรม ช่วยในการอธิบายโครงงานนี้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 อีอาร์ไดอะแกรม

7. สรุปผลการวิจัย

ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพเป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงมีความถูกต้องในระดับหนึ่ง และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของการจราจร ซึ่งสรุปได้ดังนี้

การทำงานของระบบเริ่มต้นจากการกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์โดยการกำหนดเส้นกรอบในการวิเคราะห์สำหรับการหาความหนาแน่นของการจราจร โดยการถ่ายภาพจราจรที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้นก่อนเพื่อลบภาพพื้นหลังและวัตถุที่ไม่สนใจออกไป ให้ได้ภาพขาวดำที่เหลือเฉพาะวัตถุที่สนใจนั้นคือยานพาหนะเท่านั้น แล้วนำภาพที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้นไปทำการหาความหนาแน่นของการจราจรเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

8. ปัญหาและแนวทางแก้ไข

สำหรับปัญหาและอุปสรรคต่างๆที่ผู้จัดทำได้พบในขณะที่ทำวิจัยนี้ โดยเริ่มตั้งแต่การศึกษาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ การออกแบบโปรแกรมและการทดสอบการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของการจราจรเพื่อใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร มีดังนี้

1. ประสิทธิภาพของเครื่องมีผลอย่างมากต่อการประมวลผล เพราะต้องประมวลผลทุก 6 วินาที จึงต้องอาศัยหน่วยประมวลผลกลางที่มีประสิทธิภาพสูง

2. เงา และแสงสว่างที่ไม่คงที่ อาจมีผลทำให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด เงาต่าง ๆ อาจทำให้โปรแกรมประมวลผลวิเคราะห์หาความหนาแน่นผิดพลาดได้

3. โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ความหนาแน่นของการจราจรได้เมื่อมีสภาพอากาศที่ไม่เป็นปกติ เช่น ฝนตกหนัก

9. ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงส่วนของหน้าจอการใช้งานให้สวยงามมากยิ่งขึ้น โดยใส่รูปภาพ หรือทำการปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ให้มีความสวยงามและน่าใช้งานมากยิ่งขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลด้วย

2. ปรับปรุงระบบให้สามารถทำงานร่วมกับตัวตรวจจับรถยนต์ประเภทอื่นๆเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น และสามารถทำงานให้ใช้ได้กับสภาพอากาศที่มีฝนตกหนักได้

3. ปรับปรุงระบบให้สามารถใช้ข้อมูลของแต่ละแยกร่วมกันและปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกันได้หลายๆ แยก

10. เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติพงศ์ วงศ์มา และพรชนก โมรา (2549). **สัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะ**. ขอนแก่น: ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[2] ชยาภรณ์ แก้วพรหมมาลย์. (2550). **การตรวจสอบความหนาแน่นของการจราจรโดยการประมวลผลภาพ**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] ทวี วิชัยเมธาวี.(2545).**การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัว**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] ธนพล สุขายะ พีรพงศ์ สุวรรณโพธิ์ รุ่ง และพุฒิกรกิตติการอำพล. (2551).**ระบบควบคุมไฟจราจรอัจฉริยะ.** กรุงเทพฯ: ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] นันทนา บัวคง. (2548). **การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลอิ่มตัว ณ ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในกรุงเทพมหานคร.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[6] พิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ. (2550). **การวิเคราะห์สภาพจราจรด้วยการประมวลผลภาพ.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[7] วิศิษฏ์ ประทุมสุวรรณ. (2549). **การออกแบบสัญญาณไฟจราจร.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[8] สถิตพร ยอดนาราศี. (2550). **การวิเคราะห์สภาพจราจรด้วยการประมวลผลภาพ.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.