

โปรแกรมจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในภาวะแออัด

A Simulation Program of Traffic Light Control

on a Congestion Condition

โดย

รัฐฐา แก้วบรรจง

รหัส 46066312



\*H002290\*

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ภัทรชัย ลลิตโรจน์วงศ์

วัน เดือน ปี.....	21 ก.พ. 2550
เลขทะเบียน.....	02290
เลขเรียกหนังสือ.....	อก. ๖34คจ 2547
"ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ จสจ."	

๖11๗๐๙๕๙๕

1128 ๕๗๕16

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการพัฒนาระบบงาน

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	โปรแกรมจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในภาวะแออัด
นักศึกษา	รัฐธา แก้วบรรจง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ภัทรชัย สถิตโรจน์วงศ์
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการสารสนเทศ
แขนงวิชา	วิทยาการสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2547

### บทคัดย่อ

ระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในภาวะแออัด สร้างขึ้นมาเพื่อการนำเสนอวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่อรองรับกับสถานะที่เกิดปัญหาการจราจรหนาแน่น นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาใช้โดยการนำข้อมูลเข้ามาวิเคราะห์กับอัลกอริทึมที่ประยุกต์ขึ้นมาจากหลักการของทฤษฎีฟuzzy logic เพื่อตอบสนองกับเหตุการณ์และข้อมูลที่ได้รับจากสี่แยกที่ได้จำลองขึ้นมา โดยผลลัพธ์จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่สามารถเป็นตัววัดได้ว่าวิธีที่สร้างขึ้นว่ามีประสิทธิภาพมากกว่ากับวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอย่างไร การแสดงผลของระบบจำลองจะนำเสนอในรูปแบบข้อมูลเชิงกราฟิกซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ได้มองเห็นภาพโดยรวมได้ในแต่ละช่องทางการจราจร

<b>Title</b>	A Simulation Program of Traffic Light Control on a Congestion Condition
<b>Student</b>	Rattar Kaewbunjong
<b>Advisor</b>	Asst.Prof. Dr. Pattarachai Lalitrojwong
<b>Level of Study</b>	Master of Science in Information Technology
<b>Major</b>	Information Sciences
<b>Academic Year</b>	2004

### Abstract

A Simulation Program of Traffic Light Control on a Congestion Condition has been made for presenting the method of traffic light control to help the traffic jam problems, compared with present methods by scientific theory. The problem is analyzed with an algorithm that applied by theory of fuzzy logic to respond the simulate situation and data. The results showed data that can evaluate , the performance of the method. This simulation program will be presented in graphic, So that a user can see the detail of each traffic lane.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผศ.ดร.ภัทรชัย ลลิตโรจน์วงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำโครงการนี้ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความช่วยเหลือท่านอาจารย์ผู้นี้เป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณบุคลากรในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่านทั้งที่ตึกชินวัตร 3 และที่ลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องเอกสารและให้ความอนุเคราะห์คัดลอกมา

ขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศทั้งหลายที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือผู้จัดทำในเรื่องแนวทางการเขียนและแก้ไขโปรแกรมให้สามารถทำงานได้ประสบผลสำเร็จ

ขอบคุณ คุณชาญวุฒิ จารุชัยมนตรี ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ที่ทำโครงการเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับสภาพการจราจรที่หนาแน่น ของสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเพื่อข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับโครงการนี้

ขอบคุณ บมจ.ธนาคารไทยพาณิชย์ ที่ได้อนุญาตให้ผู้จัดทำสละเวลาการทำงานส่วนหนึ่งมาทำโครงการนี้จนประสบความสำเร็จ แม้ว่าจะเสียเวลาการทำงานไปบ้างแต่ทางบริษัทก็ไม่เคยได้ต่อว่าแต่ยังให้การสนับสนุนอีกด้วย

ขอบคุณ พ่อและแม่และบุคคลใกล้ชิดของผู้จัดทำทุกท่าน ที่คอยห่วงใยและให้กำลังใจผู้จัดทำตลอดเวลา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย ที่ช่วยเป็นที่พึ่งทางจิตใจ คลบบันดาลให้ผู้จัดทำสามารถฟันฝ่าอุปสรรคต่าง ๆ จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รัฎฐา แก้วบรรจง

ผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	2
1.2 ขอบเขตของระบบจำลอง.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขั้นตอนในการพัฒนา.....	2
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา.....	3
1.6 แผนการพัฒนา.....	3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การควบคุมโดยใช้เครื่องสถานะมีขอบเขต.....	4
2.2 การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์.....	7
2.3 การควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCOOT.....	8
2.4 การควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCAT.....	8
2.5 การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคเจนเนติก อัลกอริทึม.....	9
2.6 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	10
2.7 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคนิวรอลเน็ตเวิร์ค.....	11
2.8 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัซซี่ลอจิก.....	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การออกแบบระบบจำลองสัญญาณไฟ.....	19
3.1 ข้อตกลงในการออกแบบสัญญาณไฟ .....	20
3.2 ความต้องการของโปรแกรม.....	23
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง.....	24
3.4 ขั้นตอนการออกแบบการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้พีซีลจิก.....	24
3.5 กลไกการทำงานในการปล่อยสัญญาณไฟในแต่ละรอบ.....	31
4. การพัฒนาระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟ.....	34
4.1 รูปแบบโปรแกรมการจำลอง.....	34
4.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นการจำลอง.....	37
4.3 การจำลองสถานการณ์ตามทฤษฎีที่ออกแบบไว้.....	38
4.4 การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ.....	39
5. บทสรุป.....	41
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	42

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่		
2.1	ค่าของสถานะถัดไปที่จะเกิดได้จากกรณีต่าง ๆ ที่เป็นไปได้.....	5
2.2	ค่าของผลลัพธ์ที่จะนำไปกำหนดค่าบนสัญญาณ ไฟ.....	6
3.1	การปล่อยสัญญาณ ไฟและสถานะในแต่ละเหตุการณ์ของแต่ละช่องทาง.....	22
3.2	กฎเงื่อนไขพื้นฐาน แสดงความสัมพันธ์ของอินพุต 2 ตัวประกอบด้วย ระยะเวลา นับตั้งแต่ปล่อยได้รับสัญญาณ ไฟเขียว และ จำนวนรถหลังสัญญาณ ไฟในแต่ละช่องทาง.....	25
3.3	ช่วงความเป็นสมาชิกของจำนวนรถหลังสัญญาณ ไฟ.....	26
3.4	ช่วงความเป็นสมาชิกของระยะเวลานับจากได้รับสัญญาณ ไฟเขียว.....	27
3.5	อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรถในสี่แยก.....	28
3.6	ค่าห้วงในแต่ละเซตเพื่อการปล่อยสัญญาณ ไฟเขียว.....	30
3.7	ค่าความหนาแน่นของแต่ละเหตุการณ์.....	30
3.8	ค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณรถในแต่ละเซต.....	31
3.9	ค่าความเป็นสมาชิกของระยะเวลาในแต่ละเซต.....	32
3.10	ค่าของความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตในเหตุการณ์ EV <sub>ss</sub> .....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1	หลักการทำงานของเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค .....	12
2.2	ไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีซีโดยค่า Reference Input คือค่าที่เราต้องการตั้งไว้เพื่อทำการควบคุมกระบวนการให้ได้ค่าเอาต์พุต.....	14
2.3	การวางเซ็นเซอร์ทั้ง 8 จุดและระยะห่างในการวางเซ็นเซอร์ในแต่ละด้านของสี่แยก.....	16
2.4	ค่าของระดับของความหนาแน่นของการจราจรที่ได้จากพีซีลจิก.....	17
3.1	แบบจำลองทางแยกที่จะนำมาใช้ในโครงการ.....	22
3.2	ค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละพีซีเซตของจำนวนรถ.....	26
3.3	ค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละพีซีเซตของระยะเวลา.....	27
4.1	การวางเซ็นเซอร์ในเพื่อรับค่าอินพุตเข้าสู่ระบบจำลอง.....	35
4.2	การสุ่มตัวเลขเพื่อกำหนดค่าเริ่มต้น.....	36
4.3	การระบุค่าเริ่มต้นโดยการกำหนดค่าเอง.....	37
4.4	การจำลองเหตุการณ์ของโปรแกรม.....	39
4.5	หน้าจอการเปรียบเทียบระหว่างการรับค่าจากเซนเซอร์กับวิธีทั่วไป.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

การเดินทางในกรุงเทพมหานครในปัจจุบันมีทางเลือกมากมายหลายเส้นทาง ซึ่งช่วยบรรเทาสภาพการจราจรที่แออัดลงไปได้ แต่ด้วยจำนวนรถที่มากขึ้นตามอัตราจำนวนประชากรที่มากขึ้น ทำให้ถนนที่มีไม่สามารถรองรับกับจำนวนรถที่เพิ่มขึ้นได้โดยเฉพาะในเวลาเร่งด่วน ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางในช่วงเช้าและช่วงเย็นในวันทำงาน ทำให้เกิดปัญหาซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทำให้สังคมเมืองหลวงเกิดภาวะความเครียดที่ประชากรในเมืองทุกคนจะต้องเจอ โดยเฉพาะตามสี่แยกต่าง ๆ ซึ่งแม้จะมีการสร้างทางต่างระดับหรืออุโมงค์ลอดใต้สะพานเพื่อความคล่องตัวของการจราจร แต่ก็ไม่สามารถลดปัญหาได้ทั้งหมด บางสี่แยกก็ยังมีปัญหาเกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณไฟยังไม่มีการจัดการที่ดีพอ เนื่องจากไม่มีเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการรับรู้ว่าจะจัดการกับสถานะที่เกิดขึ้นได้อย่างไร

ปัญหาสำคัญในการจัดการควบคุมสัญญาณไฟก็คือ สภาพการจราจรบนท้องถนนในแต่ละช่วงเวลาที่มีรูปแบบและสภาพการจราจรที่ไม่คงที่ ซึ่งสภาพการจราจรนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น ช่วงเช้ารถทางทิศเหนือจะมีรถคับคั่งมาก รถทางทิศใต้จะมีความคับคั่งน้อย ฟังตะวันออกและตะวันตกอาจจะคงที่ ในช่วงเย็นรถทางทิศเหนือจะมีความคับคั่งน้อย รถทางทิศใต้จะมีความคับคั่งมาก ฟังตะวันออกและตะวันตกอาจจะคงที่เหมือนเดิม ข้อมูลเหล่านี้ล้วนไม่แน่นอน ซึ่งวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบหนึ่งอาจจะส่งผลดีในอีกแบบหนึ่ง แต่ในอีกด้านวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้อาจจะไม่เหมาะสมกับรูปแบบการจราจรอีกแบบหนึ่งก็ได้ เพราะฉะนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยนำเทคโนโลยีที่สามารถรองรับการแปรผันของรูปแบบการจราจรที่ดีจะทำให้การควบคุมการจราจรโดยรวมได้ผลดีกว่าและจะสามารถแก้ไขปัญหาและช่วยลดความเครียดและความสูญเสียซึ่งจะส่งผลดีให้กับคุณภาพชีวิตของประชากรได้

เนื่องจากรูปแบบการปล่อยสัญญาณไฟในปัจจุบันนั้นก็มีการหนดวงเวลาเพื่อรองรับกับจำนวนรถตามข้อมูลของแยกนั้น ๆ อยู่แล้ว แต่ปัญหาการจราจรติดขัดในปัจจุบันนั้นมักเกิดในช่วงที่รถมีจำนวนหนาแน่น ดังนั้นรูปแบบที่จะนำเสนอนี้จะไม่รองรับกับสถานะที่การจราจรที่เบาบางเพราะถือว่าระบบสัญญาณไฟในปัจจุบันสามารถรองรับกับสถานการณ์เหล่านั้นได้ดีแล้ว ดังนั้นโครงการนี้จึงจะพิจารณาและวิเคราะห์กับสถานะการจราจรที่คับคั่งเท่านั้น

โครงการนี้ถือเป็นโครงการนำร่อง โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาความเป็นไปได้ในการพัฒนาโปรแกรมจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรต้นแบบ เพื่อที่จะนำไปพัฒนาเพิ่มเติมการทำงานให้ใกล้เคียงกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงมากขึ้นต่อไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

การศึกษาโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ คือ

1. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟ
2. เพื่อศึกษาข้อมูลที่ได้จากอัลกอริทึม รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับการควบคุมในปัจจุบัน ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไร
3. ประยุกต์นำอัลกอริทึมไปสร้างระบบจำลองโดยการควบคุมสัญญาณไฟจราจรต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาต่อไป

### 1.2 ขอบเขตของระบบจำลอง

การทำงานของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ประกอบด้วย

1. การแสดงการทำงานโดยรวมของระบบ
2. การจัดการควบคุมดูแลการจราจรและสัญญาณไฟ
3. การจัดการกับคำสั่งต่าง ๆ ที่ได้รับจากผู้ใช้
4. การตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องทาง
5. การแสดงผลข้อมูลสภาพการจราจรจำลอง ณ ปัจจุบันเป็นเช่นไร

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้ในการนำเสนอ และจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งาน และสามารถนำตัวอย่างจากแยกที่มีสถานะการจราจรมาเป็นตัวอย่างในการศึกษา
2. ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจและเรียนรู้หลักการการทำงานของระบบควบคุมสัญญาณไฟได้อย่างรวดเร็ว
3. ใช้ในการนำเสนอเพื่อแสดงแนวความคิดในการควบคุมสัญญาณไฟ
4. เพิ่มความน่าสนใจในการศึกษาและทดลองปฏิบัติเพื่อผู้ใช้งานนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนในการพัฒนา

1. ศึกษาและวิเคราะห์อัลกอริทึมต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการควบคุมสัญญาณ
2. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาในการจำลอง
3. ศึกษาความต้องการหลักในการพัฒนาระบบ
4. กำหนดขอบเขตและความสามารถให้กับระบบจำลอง
5. วิเคราะห์ความต้องการและออกแบบระบบ
6. เลือกใช้เครื่องมือในการทำระบบจำลอง
7. ทำการพัฒนาบบจำลองตามที่ได้วิเคราะห์และออกแบบไว้
8. ทำการทดสอบและนำค่าที่ได้จากการจำลองมาตรวจสอบว่ามีผลลัพธ์ตรงกับที่วิเคราะห์ไว้หรือไม่ ตรงตามขอบเขตที่เคยกำหนดไว้หรือไม่
9. สรุปผลการศึกษา และเขียนผลลัพธ์และรายงาน รวมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งาน

#### 1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

##### ฮาร์ดแวร์

- CPU Pentium M 1.3 GHz
- RAM 256 M

##### ซอฟต์แวร์

- Windows XP Professional Edition
- Microsoft Visual Basic 6.0

#### 1.6 แผนการพัฒนา

แผนการพัฒนาตามขั้นตอนที่ได้วางไว้นั้น จะใช้เวลาในการดำเนินการทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยช่วง 1 เดือนแรกจะเป็นการนำอัลกอริทึมต่าง ๆ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด 2 เดือนต่อมาสำหรับการพัฒนาโปรแกรมจำลอง และ 1 เดือนสุดท้ายในการทดสอบระบบเพื่อความถูกต้องของข้อมูล

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาาระบบสัญญาณไฟจราจรนั้นมีมาหลายยุคหลายสมัย โดยมีการปรับปรุงเพื่อให้เข้ากับจำนวนของขบวนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งต้องมีการพัฒนาและค้นหาวิธีที่ดีขึ้นเพื่อปรับให้เข้ากับสภาพการจราจรได้ดีที่สุด โดยในบางประเทศนั้นได้พัฒนารูปแบบของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้แปรเปลี่ยนตามสภาพการจราจรในช่วงนั้น ๆ

แนวทางในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรนั้นทำได้หลากหลายวิธีที่จะทำแล้วแต่ความเหมาะสมกับแยก ซึ่งจะมีทั้งอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อน ใช้ตัวแปรในการควบคุมไม่มากนัก ไปจนถึงอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งก็จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการดำเนินการมีสูงตามไปด้วย วิธีที่ใช้ในการควบคุมนั้นมีผู้คิดค้นมาหลากหลายวิธีการ โดยแล้วแต่ว่าจะใช้ทฤษฎีใดในการนำมาประยุกต์ ทฤษฎีที่จะนำเสนออีกมี 9 วิธีดังนี้

- การควบคุมโดยใช้เครื่องสถานะจำกัด (Finite State Machine)
- การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์ (Webster)
- การควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCOOT
- การควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCAT
- การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm)
- วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System)
- วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network)
- วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

#### 2.1 การควบคุมโดยใช้เครื่องสถานะมีขอบเขต (Smeed.1999)

สัญญาณไฟการจราจรที่ทางแยกของเส้นทางระหว่างเส้นทางทิศเหนือใต้และเส้นทางตะวันตกตะวันออก ถ้าเราพิจารณาเฉพาะสัญญาณไฟเขียวและไฟแดงเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา และรอบของ

สัญญาณไฟไม่เร็วกว่า 30 วินาทีในแต่ละทิศทาง ดังนั้น จะมีการแลกเปลี่ยนสถานะและมีสัญญาณที่ออกมาเพียง 2 สัญญาณเท่านั้น

1. NSlight เมื่อมีสัญญาณไฟเขียวในทิศเหนือและใต้ นอกเหนือจากนี้จะเป็นสัญญาณไฟแดง
2. EWlight เมื่อมีสัญญาณไฟเขียวในทิศตะวันตกและตะวันออก นอกเหนือจากนี้จะเป็นสัญญาณไฟแดง

นอกจากนี้มีอินพุตอีก 2 ตัวที่เข้ามามีปัจจัยคือ NScar และ Ewcar โดย NScar คือการมีรถวิ่งผ่านบนถนนในเส้นทิศใต้และทิศเหนือและ EWcar คือการมีรถที่วิ่งบนถนนในเส้นทางตะวันตกและตะวันออก

สัญญาณไฟจราจรจะมีการเปลี่ยนสถานะก็ต่อเมื่อสถานะของเส้นทางอื่นมีการรอคอยเกิดขึ้น ค่าของสถานะปัจจุบันก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งผลลัพธ์จะแสดงในสถานะถัดไป แต่ถ้าค่าของการรอคอยของรถในเส้นทางอื่นนั้นไม่มีการรอคอยก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าในสถานะถัดไป ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าของสถานะถัดไปที่จะเกิดได้จากกรณีต่าง ๆ ที่เป็นไปได้

สถานะ ปัจจุบัน	ค่าอินพุต		สถานะถัดไป
	NSCar	EWCar	
NSgreen	0	0	NSgreen
NSgreen	0	1	EWgreen
NSgreen	1	0	NSgreen
NSgreen	1	1	EWgreen
EWgreen	0	0	EWgreen
EWgreen	0	1	EWgreen
EWgreen	1	0	NSgreen
EWgreen	1	1	NSgreen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.2 ค่าของผลลัพธ์ที่จะนำไปกำหนดค่าบนสัญญาณไฟ

สถานะ	ค่าผลลัพธ์	
	Nsight	EWlight
NSgreen	1	0
EWgreen	0	1

ในทางปฏิบัตินี้จะกำหนดให้สัญญาณไฟมี 2 สถานะคือ

1. NSgreen สถานะนี้เส้นทางฝั่งทิศเหนือและใต้จะมีสัญญาณไฟเขียว
2. EWgreen สถานะนี้เส้นทางฝั่งทิศตะวันตกตะวันออกจะมีสัญญาณไฟเขียว

ตัวอย่าง เช่น ถ้าในสถานะปัจจุบันเส้นทางทิศเหนือและใต้มีสัญญาณไฟเขียว (NSgreen) สถานะปัจจุบันของรถในทิศเหนือได้ NSCar มีสถานะในการรอคอยเท่ากับ 0 แต่ สถานะปัจจุบันของรถในทิศตะวันออกตะวันตก NSCar มีสถานะในการรอคอยเท่ากับ 1 ก็หมายความว่า รถในทิศทางเหนือได้นั้นไม่มีสถานะการรอคอยแต่รถในทิศทางตะวันตกตะวันออกมีการรอคอย ดังนั้น สถานะถัดไป ก็ควรมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟนั้น เกิดขึ้นโดยสัญญาณไฟเขียวก็จะเปลี่ยนจากทิศเหนือได้ มาเป็น ทิศตะวันตกและตะวันออกที่จะได้สัญญาณไฟเขียวแทน เปลี่ยนจากหนึ่งทิศทาง ถ้ารถกำลังรอเพื่อไปในทิศทางอื่นๆ มิฉะนั้น ไฟจราจรควรดำเนินต่อไปเพื่อแสดงสีเขียวในทิศทางเดียวกับรถคันสุดท้ายที่ข้ามจุดรวม เพื่อนำไปปฏิบัติในการจราจรซึ่งเหตุการณ์นี้เราต้องการ 2 สถานะ

เครื่องสถานะจำกัด (Finite State Machine หรือ FSM) คือรูปแบบกราฟิกที่นำเสนอ เพื่อใช้แสดงค่าสถานะ ซึ่งภายในจะบรรจุรายการของผลลัพธ์ของสถานะนั้น ๆ โดยค่าของสถานะจะถูกนำไปใช้แสดงในฟังก์ชันสถานะถัดไป โดยสิ่งที่ใช้กำหนดก็คือเงื่อนไขของอินพุตซึ่งเปรียบได้กับฟังก์ชันที่เป็นตรรกะวิทยา

FSM จะสามารถถูกนำไปใช้ในการนำค่าสถานะปัจจุบันและกลุ่มของตรรกะ ซึ่งค่านี้จะสามารถนำมาคำนวณฟังก์ชันสถานะถัดไปรวมไปถึงฟังก์ชันผลลัพธ์ได้อีกด้วย เลขสถานะจะต้องถูกสร้างขึ้นเพื่อกำหนดสถานะและต้องสื่อความหมายให้เป็นที่เข้าใจว่าเลขนี้หมายความว่าอะไร ยกตัวอย่างเช่น NSgreen ถูกกำหนดเพื่อเป็น 0 ก็สื่อความหมายว่าเส้นทางในทิศเหนือและทิศใต้

ไม่ได้แสดงสัญญาณไฟเขียว และ EWgreen มีค่าเป็น 1 ก็หมายความว่าทิศตะวันออกและตะวันตกจะแสดงสัญญาณไฟเขียว ซึ่งค่าของมันจะบรรจบติดเคียว ฟังก์ชันสถานะถัดไปจะถูกให้เป็นดังนี้

$$\text{nextState} = (!\text{currentState} \cdot \text{EWcar}) + (\text{currentState} \cdot !\text{NScar})$$

ค่าสถานะปัจจุบันคือสิ่งที่บรรจุของค่าบิตที่แสดงสถานะ (0 หรือ 1) และ สถานะถัดไป คือสิ่งที่ เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันสถานะถัดไปซึ่งจะถูกเขียนเข้าไปในบิตสถานะในแต่ละรอบของเวลา ฟังก์ชันผลลัพธ์สามารถเขียนได้ว่า

$$\text{NSlight} = !\text{currentState}$$

$$\text{EWlight} = \text{currentState}$$

## 2.2 การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์ (Webster, 1995)

วัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคือการควบคุมสัญญาณไฟให้เกิดผลกระทบที่ ไม่พึงปรารถนาต่อผู้ขับขี้น้อยที่สุด ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในทางแยกมี น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยเป้าหมายคือทำให้จำนวนรถที่หยุดน้อยคันที่สุดและจำนวนครั้งของ การหยุดน้อยครั้งที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้มีปริมาณการจราจรที่ผ่านทางแยกออกไปมาก ที่สุด

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์เหมาะสำหรับทางแยกที่เป็นทาง แยกเดี่ยวหรือเป็นทางแยกในโครงข่ายแต่ทางแยกแต่ละแห่งอยู่ไกลกันมากจนไม่ส่งผลกระทบถึงกัน และใช้ได้กับระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ จุดมุ่งหมายของวิธีการควบคุมสัญญาณแบบนี้คือการ ลดความล่าช้าที่ทางแยกให้มีความล่าช้าต่ำที่สุด โดยการจัดรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนของสัญญาณ ไฟเขียว ทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยทุกถนนมีค่าเท่า ๆ กัน ความยาวของรอบสัญญาณไฟมาจาก ความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$C_0 = (1.5L + S) / (1.0 - Y_i)$$

$C_0$  คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด

$L$  คือ ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณ (วินาที)

$Y_i$  คือ อัตราส่วนของปริมาณการจราจรวิกฤตต่อปริมาณการจราจรอ้อมตัวของจังหวะสัญญาณ

· ลำดับ

### 2.3 การควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCOOT (Robertson. 1991)

วิธีนี้เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่เรียกว่า Adaptive ซึ่งหมายความว่าระบบ SCOOT จะใช้ข้อมูลจราจรในปัจจุบันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่เรียกว่า “Cyclic Flow Profile” ซึ่งใช้ในการประมาณจำนวนรถที่เข้ามาสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟแดง โดยคาดการณ์จำนวนรถที่เข้ามาสู่ทางแยก ซึ่งได้มาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการจัดสัญญาณไฟจราจรหลาย ๆ แบบ อันได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต แล้วพิจารณาหาชุดของพารามิเตอร์ในการจัดสัญญาณไฟที่มีผลรวมของเวลาในการรอคอยและจำนวนครั้งที่หยุดโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดของทุกทางแยกพร้อม ๆ กัน ซึ่งหมายถึงค่าสัญญาณไฟที่ได้จะทำให้ผลรวมของเวลาในการคอยและหยุดของรถทุกคนที่เข้าสู่ทางแยกน้อยที่สุด โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า กลุ่มขบวนยานจะเคลื่อนเข้าสู่ทางแยกด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง และมีการกระจายตัว (Dispersion) ส่วนรถที่วิ่งออกจากทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวจะวิ่งออกไปด้วยปริมาณจราจรอิ่มตัว (Saturated Flow)

ก่อนที่จะเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (Phase) ในรอบสัญญาณไฟถัดไป ระบบ SCOOT จะใช้ “Cyclic Flow Profile” ซึ่งเป็นปริมาณจราจรที่ผ่านจุดที่กำหนดในช่วงเวลา 4 วินาที ในการตรวจสอบว่าควรเพิ่มหรือลดจังหวะสัญญาณไฟหรือไม่โดยอาศัยเทคนิค Hill-Climbing หากพบว่าจะต้องเพิ่มหรือลดจังหวะสัญญาณไฟจราจรระบบ SCOOT จะปรับการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กทีละน้อยอย่างค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้ระบบ SCOOT จะทำการตรวจสอบความเหมาะสมของความยาวรอบสัญญาณไฟและออฟเซตในทุกรอบสัญญาณและเมื่อเวลาผ่านไป 2-3 นาที

ข้อสังเกต ระบบ SCOOT จะใช้วัตถุประสงค์ในการควบคุมสัญญาณไฟเพียงวัตถุประสงค์เดียวในการควบคุมสัญญาณไฟทุกสภาพจราจร ดังนั้น ถึงแม้ว่าระบบ SCOOT จะแปรเปลี่ยนสัญญาณไฟตามสภาพจราจรอย่างไร แต่ตั้งอยู่บนวัตถุประสงค์ของการควบคุมคงเดิมเสมอ

### 2.4 การควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCAT

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCAT เป็นวิธีการเปิดสัญญาณไฟแบบตอบรับที่เรียกว่า Responsive หมายความว่าระบบ SCAT จะควบคุมพารามิเตอร์ในการควบคุมสัญญาณไฟอันได้แก่ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต โดยอาศัยหลักการเพื่อรักษาระดับความอิ่มตัวให้คงที่ซึ่งแตกต่างจากระบบ SCOOT ระบบ SCAT จะทำการแบ่งแยกทางแยกออกเป็นกลุ่มละหลาย ๆ กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีทางแยกวิกฤตแห่งเดียวใช้เป็นตัวควบคุมคุณสมบัติอื่น ๆ ของทางแยกในกลุ่มเดียวกัน เช่น ความยาวรอบสัญญาณ การจัดจังหวะสัญญาณไฟและค่าออฟเซต

โดยในแต่ละกลุ่มจะถูกควบคุมด้วยหน่วยประมวลผลย่อย (Regional Computer) กลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มจะรวมกันเป็นกลุ่มที่ใหญ่ขึ้น ก็ต่อเมื่อกลุ่มย่อยเหล่านั้นมีความยาวของรอบสัญญาณไฟใกล้เคียงกัน

ข้อมูลที่ระบบ SCAT ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟคือระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ใช้อย่างเต็มที่ต่อช่วงสัญญาณไฟเขียวทั้งหมด ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ใช้คือความยาวรอบสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวของช่องทางที่มีระดับอิ่มตัวสูงสุด จังหวะสัญญาณไฟที่ใช้คือจังหวะสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับอิ่มตัวให้คงที่ และจัดให้มีค่าออฟเซตที่ทำให้กลุ่มขูดยานบนทิศทางหลักในกลุ่มย่อยมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยที่สุด

## 2.5 การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม

เทคนิคเจเนติก (Genetic Algorithm) อัลกอริทึมเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ โดยมีแนวคิดมาจากหลักการพื้นฐานของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่มีส่วนประกอบย่อย ๆ ที่เรียกว่ายีน (gene) ยีนแต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะที่เปลี่ยนแปลงไปตามวิธีการแตกหน่อ (Reproduction) การข้ามพันธุ์ (Cross-Over) และการผ่าเหล่า (Mutation) ของยีนลูกจากยีนแม่ การใช้เทคนิคดังกล่าวเพื่อใช้ในการสร้างชุดของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟ ได้แก่ การจัดจังหวะสัญญาณไฟ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต (Foy, 1992)

การแตกหน่อ (Reproduction) เช่น ยีนอนุพันธ์ 123 ได้มาจากยีนแม่ 12

การข้ามพันธุ์ (Cross-Over) เช่น ยีนแม่ 12 และยีนแม่ 34 เมื่อผ่านการข้ามพันธุ์แล้วจะได้อนุพันธ์ที่เป็นยีนอนุพันธ์ 14 และยีนอนุพันธ์ 23

การผ่าเหล่า เช่น ยีนแม่ 1234 อาจผ่าเหล่าเป็นยีนอนุพันธ์ 1254

การเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดจะเลือกตามเงื่อนไขที่วางไว้ของเทคนิคเจเนติก อัลกอริทึม ซึ่งเงื่อนไขที่วางไว้จะแสดงถึงค่าใช้จ่าย (Cost) ที่แตกต่างกัน ค่าใช้จ่ายในที่นี้อาจหมายถึงตัววัดประสิทธิภาพ (Measure of Effectiveness) เช่น ความล่าช้า เป็นต้น

วิธีการคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟโดยอาศัยวิธีการแบบเอสตาร์ (A\* Algorithm) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีการศึกษาสำนึก (Heuristic Function) โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละทางแยก ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของผลรวมค่าใช้จ่าย จากภาวะเริ่มต้นถึงภาวะปัจจุบัน และทำนายผลของค่าที่เพิ่มขึ้นในอนาคตเมื่อถึงภาวะสุดท้าย ดังนั้น พารามิเตอร์ชุดที่ดีที่สุดที่สภาพจราจรขณะใดจะมีค่าของ ค่าที่ต่ำสุดชุดเดียวที่สภาวะการจราจรนั้น ๆ วิธีการคัดเลือกพารามิเตอร์แสดงได้ดังสมการ (Underwood, 1994)

$$f' = g + h'$$

โดย  $f'$  คือ ค่าของ Heuristic Function

$g$  คือ ค่าใช้จ่าย จากภาวะเริ่มต้นถึงภาวะปัจจุบัน

$h$  คือ ค่าใช้จ่ายโดยประมาณจากภาวะปัจจุบันถึงภาวะสุดท้าย

## 2.6 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) เป็นระบบที่ออกแบบมาให้สามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน โดยอาศัยความรู้หรือความเชี่ยวชาญ แบบเดียวกับที่มนุษย์ใช้ในการตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหา โดยใช้ฐานความรู้ที่จัดเก็บในรูปแบบเงื่อนไข (If-Then) จำนวนมากเป็นข้อมูลเบื้องต้น และใช้ระบบการคิดหาเหตุผลที่เป็นเงื่อนไขในการประมวลผลหาคำตอบ

รูปแบบของเงื่อนไขโดยทั่วไปจะใช้รูปแบบการหาเหตุผล เช่น รูปแบบการหาเหตุผลแบบอุปนัย (Induction) ซึ่งเป็นการสรุปเหตุผลมาจากเหตุการณ์ย่อยเพื่อสรุปหาเหตุการณ์ใหญ่ รูปแบบการหาเหตุผลแบบนิรนัย (Deduction) ซึ่งเป็นการหาเหตุผลจากเหตุการณ์ใหญ่ไปเป็นเหตุการณ์ย่อย และรูปแบบการหาเหตุผลต่อเนื่องเป็นการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่วางไว้ในตัวระบบผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะประมวลผลลัพธ์ โดยเงื่อนไขที่วางไว้จะได้มาจากข้อมูลในอดีตจำนวนมาก และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณผ่านระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีคำตอบที่ชัดเจนเพียงคำตอบเดียวที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้ เช่น การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้พารามิเตอร์หนึ่ง จะต้องมีความสัมพันธ์ต่าง ๆ ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้ก่อนทุกประการ ระบบผู้เชี่ยวชาญจึงจะสรุปผลว่าใช้การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้พารามิเตอร์นี้ (Ritchie. 1990)

## 2.7 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Spall and Chin. 1997)

นิวรอลเน็ตเวิร์คเป็นเรื่องหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับทฤษฎีทางปัญญาประดิษฐ์ สามารถอธิบายอย่างง่าย ๆ ได้ว่าเป็นการทำสิ่งที่เลียนแบบเส้นประสาทของสิ่งมีชีวิต เปรียบเสมือนกับร่างกายเมื่อได้รับการฝึกฝนการทำงานสิ่งหนึ่งสิ่งใดไปนาน ๆ ร่างกายก็จะเกิดความเคยชินและปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์เหล่านั้น ในทำนองเดียวกันกับระบบนิวรอลเน็ตเวิร์ค เมื่อได้รับข้อมูลมากขึ้น ก็เปรียบเสมือนได้รับ

ประสบการณ์มากขึ้นเรื่อย ๆ พอถึงจุดหนึ่งระบบนิเวศน์เน็ตเวิร์คก็จะสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง แต่เนื่องจากการเลียนแบบความคิดของสมองคน ในสถานการณ์เดียวกันความคิดของแต่ละคนในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะต่างกัน และจะไม่มีผลลัพธ์ที่เป็นผลสำเร็จที่แน่นอน เช่นเดียวกับเทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ แต่จะได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นช่วง

เทคนิคนิเวศน์เน็ตเวิร์คเป็นรูปแบบหนึ่งของการประมวลผลผลลัพธ์จากการคำนวณ ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างเครือข่าย และค่าน้ำหนักถ่วง ที่อยู่ในโครงสร้างนั้น วิธีการหาค่าน้ำหนักถ่วงเรียกว่ากระบวนการเรียนรู้ (Learning หรือ Training Algorithm) กระบวนการเรียนรู้แบบนี้ใช้ตัวอย่างของข้อมูลที่เป็นคู่ลำดับของข้อมูลพื้นฐานของระบบ และผลลัพธ์จากการประมวลผล มาป้อนให้ระบบ และให้ระบบสร้างผลลัพธ์ใหม่เลียนแบบให้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากการประมวลผลเดิมโดยการปรับค่าน้ำหนักถ่วง เมื่อทำไปหลาย ๆ รอบก็อาจจะสร้างระบบที่ทำงานเลียนแบบตัวอย่างได้

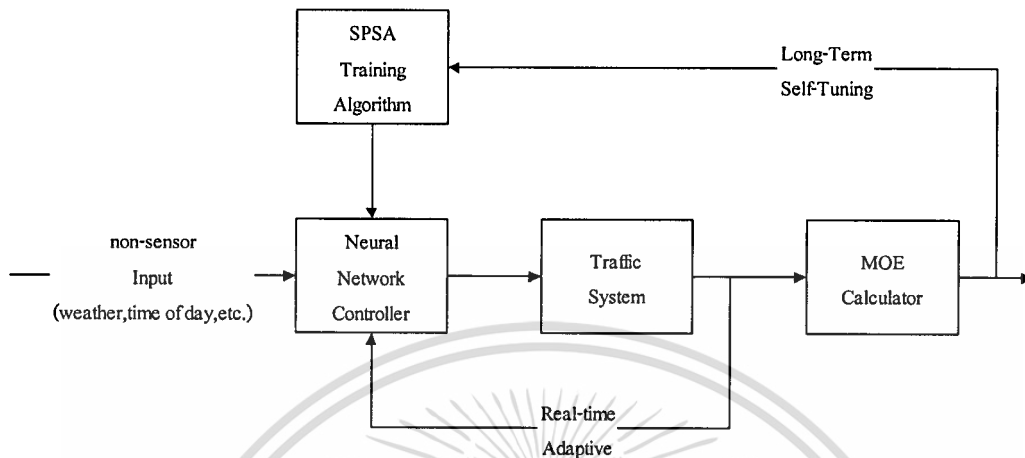
เทคนิคนิเวศน์เน็ตเวิร์คในการควบคุมสัญญาณไฟ ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตของหลาย ๆ วันที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งและสภาพแวดล้อมทั่วไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาจราจรที่เกิดขึ้นในขณะนั้น (Nataksuji and Kaku. 1991)

## 2.8 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัซซี่ลอจิก

ก่อนจะเข้าใจถึงวิธีการควบคุม โดยใช้วิธีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) นี้เราจะมาทำความเข้าใจกับทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิกก่อน

### 2.8.1 ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set)

เซตของค่าทางคณิตศาสตร์ โดยทั่วไปแล้วจะเป็นลักษณะอย่างง่าย ๆ คือ ค่าน้อยอยู่ในเซตนี้หรือค่านั้นไม่ได้อยู่ในเซตนี้ เช่น เซต A เป็นเซตของค่าจำนวนจริงตั้งแต่ 5 ถึง 8 เขียนแทนเป็นช่วงได้เป็น  $A=[5,8]$



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

ถ้าค่าขององค์ประกอบใด ๆ ไม่เป็นสมาชิกของเซตนี้ก็จะถือว่าองค์ประกอบนั้นมีค่าตรรกะเป็น 0 แต่ถ้าค่าขององค์ประกอบนั้นเป็นสมาชิกของเซตนี้ก็จะถือว่าองค์ประกอบนั้นมีค่าตรรกะเป็น 1 เซตแบบนี้จะถือเป็นเซตแบบปกติที่เรียกว่า Crisp Set ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกทางตรรกะที่มี 2 ค่า (0 กับ 1) นั้นจะไม่ละเอียดและไม่มีความยืดหยุ่นพอสำหรับการนำไปใช้งานในบางกรณี เช่น ถ้าบอกว่าเซต B = {เซตของผู้เยาว์} = [อายุ 0 ปี, อายุ 20 ปี] นั้นหมายความว่าถ้าอายุ 20 ปี วันก็ไม่ได้เป็นผู้เยาว์แล้ว ซึ่งดูแล้วการตีความจะไม่ดีพอสำหรับกรณีแบบนี้ ควรจะบอกได้ว่าอายุ 0 ถึง 20 ยังมีความเป็นผู้เยาว์อยู่พออายุมากกว่า 20 ขึ้นไปก็เริ่มมีความรู้สึกเป็นผู้เยาว์น้อยลง และหมดความเป็นผู้เยาว์ตอนอายุ

รูปแบบเซตนั้นสามารถมีค่าทางตรรกะความเป็นสมาชิกได้ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 เซตแบบนี้จะถือว่าเป็นฟัซซี่เซต

### 2.8.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกใช้เพื่อแสดงขอบเขตของค่าระดับความเป็นสมาชิกในแต่ละฟัซซี่เซต ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตมีด้วยกันหลายแบบและที่นิยมใช้กัน ได้แก่

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)
- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)
- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูประฆังคว่ำ (Gaussian Membership Function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 ตัวดำเนินการของฟัซซีเซต (Operation of fuzzy sets)

ตัวดำเนินการของฟัซซีเซตก็คล้ายกับตัวดำเนินการของ Crisp Set ดังตัวอย่างด้านล่าง

- ตัวดำเนินการ Intersection หรือ AND จะได้ผลลัพธ์ตามรูป .. ที่เป็นฟัซซีเซตเส้นหนา โดยทั่วไปการ Intersection ของฟัซซีเซตจะใช้ตัวกระทำการในการหาค่าต่ำสุด
- การ Union หรือ OR Operation จะได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ .. ที่เป็นฟัซซีเซตเส้นหนา โดยทั่วไปการ Union ของฟัซซีเซตจะใช้ตัวกระทำการในการหาค่าต่ำสุด

### 2.8.3 การควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Control)

การควบคุมแบบฟัซซีนั้นจะมีหลักการต่างจากการควบคุมตามวิธีการแบบดั้งเดิม (Convention Control) พอสมควร ซึ่งวิธีการควบคุมแบบดั้งเดิมนั้น โดยทั่วไปจะต้องทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ขององค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของระบบกระบวนการ (Process System) ออกมาในรูปของสมการทางอนุพันธ์ แต่สำหรับวิธีการควบคุมแบบฟัซซีนั้นจะอาศัยประสบการณ์ความชำนาญของผู้วิเคราะห์ในการที่จะถ่ายทอดออกมาเป็นค่าตัวแปรทางความคิดความรู้สึกลิงกิวอิสติก (Linguistic Variable) ซึ่งสามารถอธิบายค่าปริมาณของตัวแปรพวกนี้ได้ชื่อจากฟัซซี (Fuzzy Set) โดยจะอธิบายตามตัวอย่างซึ่งมีการนำเสนอวิธีการควบคุมแบบฟัซซีไปใช้สำหรับการควบคุมอินพุตและเอาต์พุตตัวควบคุมการปล่อยสัญญาณไฟ

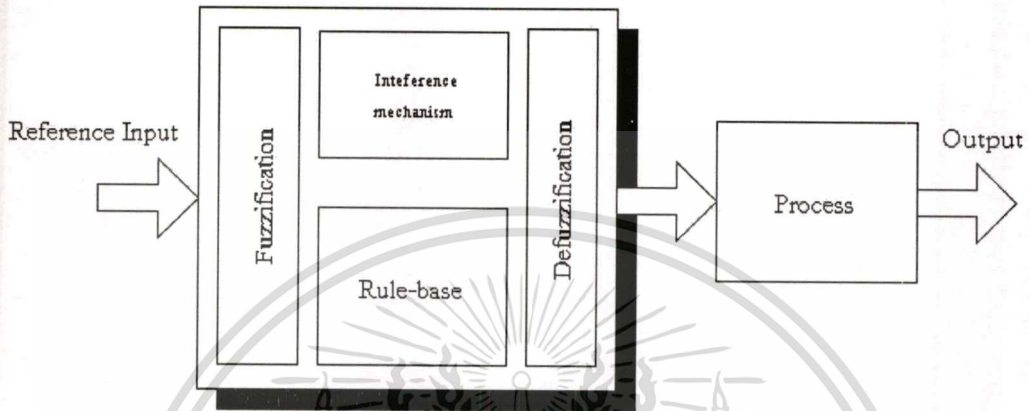
การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิค ฟัซซีลอจิก มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟโดยหาความน่าจะเป็น (Probabilistic) เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ โดยระบบเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่มีความน่าจะเป็นไปได้ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้มากที่สุด โดยเงื่อนไขที่วางไว้เป็นเงื่อนไขในลักษณะที่เป็นความน่าจะเป็นที่ได้มาจากข้อมูลในอดีตเป็นพื้นฐาน

### 2.8.4 องค์ประกอบหลักของตัวควบคุมแบบฟัซซี

ตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller) จะมีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 อย่างดังรูป โดยตัวควบคุมแบบฟัซซีจะมีส่วนประกอบหลักต่าง ๆ คือ

1. กฎเงื่อนไขพื้นฐาน (Rule-Based) เป็นกลุ่มของกฎเงื่อนไขถ้า-แล้ว (If-Then Rules) ซึ่งเป็นกฎที่ตั้งจากความรูสึกนึกคิดทางตรรกะของผู้ชำนาญระบบนั้นว่า ถ้าเป็นเงื่อนไขนั้นควรจะทำอย่างไร เพื่อให้การควบคุมดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โดอะแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซี่โดยค่า Reference Input คือค่าที่เราต้องการตั้งไว้เพื่อทำการควบคุมกระบวนการให้ได้ค่าเอาต์พุต

2. ส่วนที่ทำการแปลงให้เป็นค่าฟัซซี่ (Fuzzification Interface) เป็นส่วนที่แปลงอินพุตของตัวควบคุมหรือตัวแปรกระบวนการที่เป็นตัวเลขให้มาเป็นข้อมูลค่าทางฟัซซี่ซึ่งให้กลไกการวิเคราะห์สามารถใช้กฎเงื่อนไขพื้นฐานในการทำการวิเคราะห์ค่าพวกนี้ได้ โดยการแปลงให้เป็นค่าฟัซซึ้นั้นก็จะเป็นการนำค่าอินพุตที่เป็นค่าตัวเลขปกติ ไปเป็นอินพุตของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้
3. กลไกการอนุมานฟัซซี่ (Fuzzy Inference Mechanism):- เป็นส่วนที่จะทำการคัดเลือกกฎเงื่อนไขพื้นฐานเพื่อนำอินพุตที่เป็นค่าทางฟัซซี่มาทำการวิเคราะห์ออกมาเป็นเอาต์พุตค่าทางฟัซซี่ โดยกลไกการวิเคราะห์ก็มีใช้กันอยู่หลายวิธีได้แก่
  - การใช้ตัวดำเนินการแบบหาค่าน้อยที่สุด (Min-Operation of Fuzzy Implication)
  - การใช้ตัวดำเนินการแบบผลคูณ (Product-Operation of Fuzzy Implication)
  - การวิเคราะห์โดยใช้กฎเชิงเลขคณิต (Arithmetic Rule of Fuzzy Implication)
  - การวิเคราะห์โดยกฎค่าสูงสุดของค่าต่ำสุด (Mamin Rule of Fuzzy Implication)
  - การวิเคราะห์โดยกฎบูลีน (Booleam Rule of Fuzzy Implication)
  - การวิเคราะห์โดยกฎของ Goguen (Goguen's Rule of Fuzzy Implication)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ส่วนที่ทำการแปลงออกมาเป็นค่าเพื่อส่งออกไปสู่การควบคุม (Defuzzification Interface):- จะทำการคำนวณแปลงค่าทางฟัซซีจากการวิเคราะห์ของกลไกการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลข และส่งออกไปสู่การควบคุมอินพุทของกระบวนการ โดยมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีได้แก่

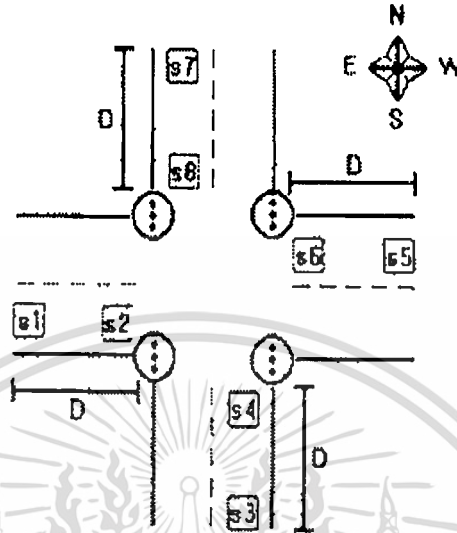
- วิธีการหาค่ากลางของพื้นที่ (Center of Area Defuzzification) หรืออาจเรียกว่าการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity, COG) หรือ แบบเซนทรอยด์ (Centroid)
- วิธีการหาจุดศูนย์กลางเฉลี่ย (Center-Average) ซึ่งสามารถคำนวณได้ง่ายกว่าวิธีการ COG

วิธีการหาค่าเอาท์พุทผลลัพธ์ จากการหาจุดศูนย์กลางของรูปภาพของฟัซซีเซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกผลลัพธ์รวมทั้งสองวิธีการนี้ จะคำนวณค่าออกมาได้แตกต่างกัน

การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณที่เป็นทางแยกของถนนวิงทางเดียว (One-Way Street) (Pappis And Mamdani : 1977) โดยการวางเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) ไว้ตรงตำแหน่งที่ไกลพอที่จะเก็บข้อมูลปริมาณจราจร และทำนายอัตราปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก จำนวนรถที่ผ่านทางแยกออกไปและความยาวของแถวคอยที่เวลา N วินาทีต่อไป ผลการทำนายจะผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบฟัซซี (Fuzzy Decision) เพื่อหาว่าควรเพิ่มเวลาไฟเขียวที่วินาทีถัดไปหรือไม่ โดยเวลาที่เพิ่มขึ้นจะเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้เทคนิคฟัซซีลอจิก ในการควบคุมโครงข่ายที่เป็นทางแยกของถนนที่วิงสวนทาง โดยการใช้ข้อมูลจราจรของทางแยกต่าง ๆ ที่เป็นอิสระต่อกัน ผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบฟัซซี เพื่อใช้ในการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร จังหวะสัญญาณไฟจราจร และค่าออฟเซต ให้ได้สัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอึมตัวของช่องทางที่มีระดับความอึมตัวสูงสุด การจัดจังหวะสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอึมตัวให้คงที่ และจัดให้มีค่าออฟเซตที่ทำให้กลุ่มขบวนบนทิศทางหลักในกลุ่มย่อยมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่ารถที่วิ่งอยู่ในโครงข่ายจะไม่สามารถเปลี่ยนช่องทางและเลี้ยวได้ (Chui and Chand. 1993)

ชาฮารีซ อับดุล อาซิช (Shahariz Abdul Aziz. 1996) ได้ทำการออกแบบฟัซซีในเบื้องต้นจะมีการวางเซ็นเซอร์ไว้ทั้งสิ้น 8 ตัว โดยสมมติให้เป็นสี่แยกและวางเซ็นเซอร์ไว้ฝั่งละ 2 ตัวตามตำแหน่งดังรูปที่ 2.2 โดยที่เซ็นเซอร์ในแต่ละฝั่งจะแบ่งเป็นตัวหน้าและตัวหลังตัวแรกจะอยู่ด้านหน้าใกล้กับสัญญาณไฟ จุดประสงค์ของมันก็คือเอาไว้นับจำนวนรถที่เข้ามายังสี่แยก ส่วนตัวด้านหลังจะเอาไว้ นับจำนวนรถที่วิ่งผ่านสี่แยกนี้ไป โดยจำนวนรถระหว่างสัญญาณไฟจะถูกกำหนดโดยเซ็นเซอร์ทั้งสิ้น 2 ตัวในฝั่งที่รถอยู่ ตัวอย่างเช่นจำนวนรถที่อยู่ฝั่งเหนือก็จะนับรถในช่วง s7-s8



รูปที่ 2.3 การวางเซ็นเซอร์ทั้ง 8 จุดและระยะห่างในการวางเซ็นเซอร์ในแต่ละด้านของสี่แยก

จากรูปที่ 2.3 ระยะ D กำหนดให้เท่ากับ 200 ฟุต ซึ่งจะใช้กำหนดความหนาแน่นของรถที่ต้องรอในสถานะที่มีรถอยู่หนาแน่นการคำนวณที่เราจะนำมาใช้ก็คือนำจำนวนรถที่อยู่ในระยะทาง (Path) ที่เรากำหนด แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาหารกับระยะทางนั้น ซึ่งเราสามารถหาค่ารวมได้ในกรณีที่มีการรอสัญญาณไฟใน 2 ฟัง ยกตัวอย่าง จากรูปที่ 1 ถ้าคิดจากรถในฝั่งตะวันออกกับฝั่งตะวันตก สูตรที่ได้ก็จะ

$$(s1-s2)+(s5-s6)/400$$

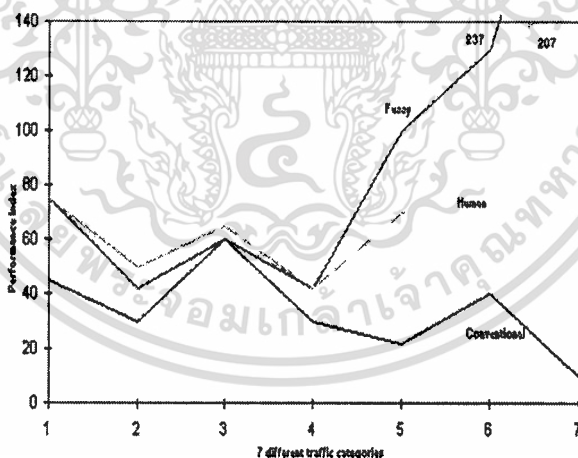
และมาถึงการประมวลผลการตัดสินใจด้วยพีชชีลोजิก ซึ่งเราแบ่งขั้นตอนการทำเป็น 3 ขั้นตอนตามหลักการของพีชชีที่ได้กล่าวมาแล้ว

**ขั้นตอนแรก**

อันดับแรกต้องกำหนดว่าเราจะออกแบบอินพุต และเอาต์พุต อย่างไรให้ตรงตามความต้องการสมมติให้สัญญาณไฟแดงกำลังแสดงอยู่ทางถนนฝั่งทิศเหนือและทิศใต้ โดยมีระยะทาง D เป็นค่าคงที่ ดังนั้นรูปแบบอินพุตก็จะประกอบด้วย

- 1.ระยะเวลาในแต่ละรอบ
- 2.รถที่อยู่หลังสัญญาณไฟแดง
- 3.รถที่อยู่หลังสัญญาณไฟเขียว

เมื่อจำนวนรถที่ติดอยู่หลังสัญญาณไฟมีค่าหนาแน่นมากใน 2 ทิศทางที่รอสัญญาณอยู่ ก็จะกระตุ้นให้ค่าความน่าจะเป็นของรอบเวลาของปัจจุบันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าไป เมื่อค่ามีการเปลี่ยนแปลงไปแล้ว อินพุต และ เอาท์พุต จะมีพารามิเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน สำหรับอินพุตตัวที่ 1 และ 2 จะมีค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวแบ่งได้เป็น zero(0,1) low(0,7) medium(4,11) high(7,18) และ choas(14,20) และ สำหรับอินพุตที่ตัวที่ 3 ของมันจะเป็น ver short(0,14), short(0,34), medium(14,60), long(33,88), vert long(65,100), limit(85,100) ส่วนระดับของเอาท์พุต นั้นก็มี no(0), probably no(0.25), maybe(0.5), probably yes (0.75), and yes(1.0) สำหรับเอาท์พุต ซึ่งมีค่าเดียวเป็นซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับแต่ละระดับ ไปจนถึงค่าของมัน กราฟที่ได้จะแสดงดังกราฟดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ค่าของระดับของความหนาแน่นของการจราจรที่ได้จากฟัซซี่ลอจิก

## ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนนี้เราจะนำเอา If-Then Statements มาใช้โดยใช้ร่วมกันกับ และ/หรือ ตัวอย่างเช่น ถ้ารอบระยะเวลามีค่าเป็น Medium และ รถหลังไฟแดงมีค่า low และรถหลังไฟเขียวมีค่า Medium แล้ว ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนค่าความน่าจะเป็น เป็น Probably no โดย 3 อินพุตประกอบด้วย 5 5 และ 6 ที่จะใส่เข้าไปในฟังก์ชันโดยใช้กฎทั้งหมด 150 กฎ อย่างไรก็ตามการใช้จำนวนกฎมากมายจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ตั้งไว้ บางกฎก็อาจมีเพียง 86 กฎก็ได้

### ขั้นตอนที่ 3

กระบวนการนี้จะทำการเปลี่ยนค่าผลลัพธ์ในฟัซซี่ ให้เป็นค่าของ Crisp ที่เป็นจริง วิธีการที่ใช้นี้เรียกว่า Center of Gravity

$$\text{Crisp Output} = \{\text{Sum}(\text{Membership Degree} * \text{Singleton Position})\} / (\text{Membership degree})$$

ตัวอย่างนี้จะแสดงค่า Output Crisp ที่ได้มาจากอินพุตที่ได้แล้วนำมาห้วงด้วยค่าดีกรีของแต่ละระดับ

$$\text{Change Probability Yes} = 0$$

$$\text{Change Probability Probably Yes} = 0.6$$

$$\text{Change Probability Maybe} = 0.9$$

$$\text{Change Probability Probably No} = 0.3$$

$$\text{Change Probability No} = 0.1$$

ค่า Crisp value จะคำนวณได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{Crisp output} &= (0.1 * 0.00) + (0.3 * 0.25) + (0.9 * 0.50) + (0.6 * 0.75) + (0 * 1.00) / (0.1 + 0.3 + 0.9 + 0.6 + 0) \\ &= 0.51 \end{aligned}$$

### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบจำลองสัญญาณไฟ

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองเพื่อใช้ในการจำลองสภาพเป็นไปอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการทดลองควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรต่าง ๆ โดยตรงจะทำให้เสียทรัพยากรและเวลาเป็นอันมาก ดังนั้นการใช้แบบจำลองจึงเป็นการประหยัดทรัพยากรเหล่านี้ได้มาก แบบจำลองบางแบบสามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะการจราจร จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สภาพจราจรได้อย่างสะดวก รวดเร็วและตรวจสอบความถูกต้องได้โดยง่าย

แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรมจำลองสภาพจราจรแต่ละแบบจำลองจะมีแนวคิดในการพัฒนาที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจัดแบบจำลองได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแบบจำลองจุลภาค (Microscopic Model) ซึ่งใช้หลักการเคลื่อนที่ของรถคันหน้าเป็นปัจจัยในการเคลื่อนที่ของรถคันหลัง (Car Following Theory) และกลุ่มจำลองมหภาค (Macroscopic Model) ซึ่งพิจารณาการจราจรเป็นกลุ่มขบวน

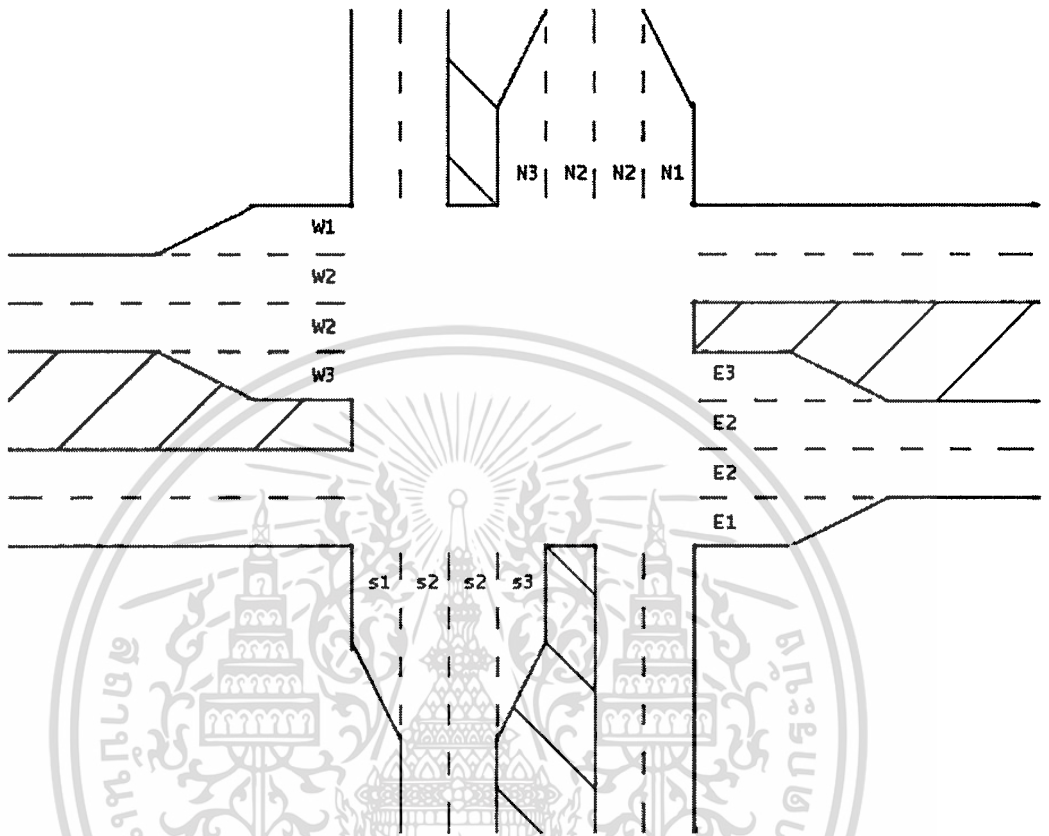
แบบจำลองจุลภาคเป็นแบบจำลองที่พิจารณาลักษณะการจราจรเป็นรายคัน ใช้หลักการเคลื่อนที่ของรถตามกัน เป็นหลักการพื้นฐานซึ่งแบบจำลองจุลภาคจะใช้เฉพาะระยะห่างระหว่างรถ ความเร็ว และความเร่งของรถคันหน้าและรถคันหลังเป็นปัจจัยพื้นฐาน ทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดปลีกย่อยได้มากกว่าแบบจำลองมหภาค ตัววัดประสิทธิภาพต่าง ๆ ที่ใช้แสดงประสิทธิภาพ จะเป็นการรวมค่าที่ได้จากการคำนวณของรถแต่ละคันที่มีความแตกต่างกันในแง่สถิติ และไม่พิจารณาปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบข้างเคียง เช่น ผลกระทบจากรถด้านข้าง เป็นต้น แบบจำลองจุลภาคที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีตัวอย่างเช่น แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม CORSIM และโปรแกรม SimTraffic

แบบจำลองมหภาคเป็นแบบจำลองที่พิจารณาลักษณะการจราจรเป็นกลุ่มขบวน โดยไม่พิจารณารายละเอียดระหว่างรถ 2 คัน แต่จะพิจารณาพฤติกรรมของการจราจรโดยรวม การพิจารณาในลักษณะการจราจรดังกล่าวเป็นการรวมพฤติกรรมที่เกิดจากปฏิกริยา (Interaction) ระหว่างรถแต่ละคัน ตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้จะเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณากลุ่มขบวนที่มีลักษณะเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างขบวนในแง่ของสถิติ โปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคในการประมวลผลที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือโปรแกรม TRANSYT โปรแกรม HCS โดยอาศัยโปรแกรม CINEMA ช่วย โปรแกรม Synchro® เป็นต้น

### 3.1 ข้อตกลงในการออกแบบสัญญาณไฟ (Simulation Confinement)

ก่อนอื่นที่จะออกแบบการควบคุมสัญญาณไฟได้นั้นจำเป็นต้องมีข้อกำหนดเป็นสมมติฐานซึ่งเปรียบเสมือนเป็นข้อตกลงในการใช้ออกแบบการควบคุมสัญญาณ โดยนำมาจากลักษณะของปัญหาซึ่งเป็นการจราจรที่ปรากฏตามท้องถนนจริง และพยายามกำหนดเพื่อให้ใกล้เคียงกับปัญหาที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานครมากที่สุดเพื่อประโยชน์ในการศึกษา โดยข้อกำหนดในการออกแบบมีดังนี้

1. ทางแยกในกรณีนี้เป็นสี่แยกซึ่งกำหนดให้แต่ละช่องจราจรจะมี 4 ช่องจราจร ไล่จากซ้ายไปขวา คือ เลี้ยวซ้าย 1 ช่อง ไปตรง 2 ช่อง เลี้ยวขวา 1 ช่อง
2. รถเลี้ยวซ้ายจะไม่นำมาคิดในอัลกอริทึม กำหนดให้รถเลี้ยวซ้ายผ่านตลอด
3. รอบสัญญาณไฟเขียวในแต่ละรอบค่าสุดต้องไม่น้อยกว่า 20 วินาที และสูงสุดไม่เกิน 240 วินาที
4. รอบสัญญาณไฟแดงในแต่ละรอบจะต้องรอบอย่างน้อย 20 วินาที และรอบไฟแดงนานที่สุดไม่เกิน 480 วินาที
5. พิจารณาทางแยกที่ควบคุมอยู่แยกเดียวไม่นำทางแยกอื่นมาเกี่ยวข้อง
6. กำหนดช่วงความถี่ของการปล่อยสัญญาณไฟเขียวด้วยอัตราเฉลี่ย 3 วินาที / คัน
7. พื้นที่ที่อยู่ในขอบเขตควบคุมจะกำหนดให้แต่ละช่องทางมีรถได้ 20 คันในทุก ๆ ช่องทางที่รอบสัญญาณไฟแดง
8. ในกรณีศึกษาของระบบจำลองการควบคุมนั้นจะสามารถกำหนดได้ว่าจะให้จำนวนรถในทิศทางใดหนาแน่นหรือทิศทางใดเบาบาง
9. สัญญาณไฟที่ใช้ควบคุมช่องจราจรจะมีสัญญาณ 12 สัญญาณแยกตามทิศต่าง ๆ ทิศละ 3 สัญญาณทั้ง 4 ทิศ ดังต่อไปนี้
  - N1 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศเหนือเลี้ยวซ้าย
  - N2 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศเหนือไปตรง
  - N3 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศเหนือเลี้ยวขวา
  - S1 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศใต้เลี้ยวซ้าย
  - S2 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศใต้ไปตรง
  - S3 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศใต้เลี้ยวขวา
  - W1 สัญญาณไฟเขียวช่องจราจรทิศตะวันตกเลี้ยวซ้าย



รูปที่ 3.1 แบบจำลองทางแยกที่จะนำมาใช้ในโครงการ

- W2 สัญญาณไฟเขียวของจราจรทิศตะวันตกไปตรง
- W3 สัญญาณไฟเขียวของจราจรทิศตะวันตกเฉียงขวา
- E1 สัญญาณไฟเขียวของจราจรทิศตะวันออกเฉียงซ้าย
- E2 สัญญาณไฟเขียวของจราจรทิศตะวันออกไปตรง
- E3 สัญญาณไฟเขียวของจราจรทิศตะวันออกเฉียงขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การปล่อยสัญญาณไฟและสถานะในแต่ละเหตุการณ์ของแต่ละช่องทาง

จังหวะ	สถานะของช่องจราจร											
	S1	S2	S3	N1	N2	N3	E1	E2	E3	W1	W2	W3
$EV_{ss}$	G	G	G	G	R	R	G	R	R	G	R	R
$EV_{nn}$	G	R	R	G	G	G	G	R	R	G	R	R
$EV_{sn1}$	G	G	R	G	G	R	G	R	R	R	R	R
$EV_{sn2}$	G	R	G	G	R	G	G	R	R	G	G	G
$EV_{ce}$	G	R	R	G	R	R	G	G	G	G	G	G
$EV_{ww}$	G	R	R	G	R	R	G	R	R	G	G	G
$EV_{ew1}$	G	R	R	G	R	R	G	G	R	G	G	R
$EV_{ew2}$	G	R	R	G	R	R	G	R	G	G	R	G

สถานะของสัญญาณไฟโดยทั่วไปตามกฎหมายจะมีสัญญาณไฟอยู่ 3 สัญญาณ คือ สัญญาณไฟแดง ไฟเขียว และไฟเหลือง ซึ่งในระบบนี้เราไม่จำเป็นต้องนำสัญญาณไฟเหลืองมาคิด เพราะจะยุบรวมไปเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาณไฟเขียวไปเลย โดยสถานะจะมีข้อกำหนดดังนี้

- สถานะ G คือสัญญาณไฟเขียว
- สถานะ R คือสัญญาณไฟแดง

สำหรับจังหวะสัญญาณนั้น จะกำหนดจังหวะสัญญาณการปล่อยรถ 8 จังหวะหมุนเวียนกันอธิบายจังหวะได้ดังรูปที่ 3.1

เหตุการณ์ที่ระบุเป็นเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด 8 เหตุการณ์โดยทุก ๆ รอบในการเปลี่ยนสัญญาณไฟก็จะเลือก 1 เหตุการณ์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้มากที่สุด เพื่อความสมดุลในสี่แยกนั้น โดยแต่ละเหตุการณ์ อธิบายได้ดังนี้

1.  $EV_{nn}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้ทุกช่องทางที่อยู่ในฝั่งทิศเหนือ ไม่ว่าจะเป็นช่องทางไปตรงหรือเลี้ยวขวาได้รับสัญญาณไฟเขียว แต่เส้นทางฝั่งทิศอื่นจะต้องรอสัญญาณไฟทั้งหมด ยกเว้นช่องจราจรจราจรเลี้ยวซ้าย ซึ่งจะได้รับสัญญาณไฟเขียวโดยตลอด

2.  $Ev_{ss}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้ทุกช่องทางที่อยู่ในฝั่งทิศใต้ได้รับสัญญาณไฟเขียว แต่เส้นทางฝั่งทิศอื่นจะต้องรอสัญญาณไฟทั้งหมด ยกเว้นช่องการจราจรเลียวยซ้าย ซึ่งจะได้รับสัญญาณไฟเขียวโดยตลอด

3.  $Ev_{ns1}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้รถฝั่งทิศเหนือและทิศใต้ในช่องไปตรงได้รับสัญญาณไฟเขียวพร้อมกัน

4.  $Ev_{ns2}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้รถฝั่งทิศเหนือและทิศใต้ในช่องเลียวยขวาได้รับสัญญาณไฟเขียวพร้อมกัน

5.  $Ev_{ee}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้ทุกช่องทางที่อยู่ในฝั่งทิศตะวันออกได้รับสัญญาณไฟเขียว แต่เส้นทางฝั่งทิศอื่นจะต้องรอสัญญาณไฟทั้งหมด ยกเว้นช่องการจราจรเลียวยซ้าย ซึ่งจะได้รับสัญญาณไฟเขียวโดยตลอด

6.  $Ev_{ww}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้ทุกช่องทางที่อยู่ในฝั่งทิศตะวันตกได้รับสัญญาณไฟเขียว แต่เส้นทางฝั่งทิศอื่นจะต้องรอสัญญาณไฟทั้งหมด ยกเว้นช่องการจราจรเลียวยซ้าย ซึ่งจะได้รับสัญญาณไฟเขียวโดยตลอด

7.  $Ev_{ew1}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้รถฝั่งทิศตะวันออกและทิศตะวันตกในช่องไปตรงได้รับสัญญาณไฟเขียวพร้อมกัน

8.  $Ev_{ew2}$  เป็นเหตุการณ์ที่ปล่อยให้รถฝั่งทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของเลียวยขวาได้รับสัญญาณไฟเขียวพร้อมกัน

### 3.2 ความต้องการของโปรแกรม

ลักษณะของโปรแกรมจะเป็นการแสดงผลให้เห็นถึง 2 รูปแบบคือ รูปแบบวงจรถงที่ กับ รูปแบบผลดีที่สุด ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่เราได้ประยุกต์เข้ามาใช้กับสี่แยก เพื่อเปรียบเทียบว่าในสภาวะแออัดนั้น รูปแบบที่เราประยุกต์ขึ้นมาใช้นั้นมีดีกว่ารูปแบบวงจรถงที่ แบบเดิมที่มีอยู่ได้อย่างไร

- ปริมาณรถที่วิ่งผ่านแยกไปได้ในแต่ละช่องจราจร
- อัตราการไหลของรถในแต่ละช่องจราจร
- เวลาในการหยุดรอสัญญาณเฉลี่ย

โดยค่าเหล่านี้จะสื่อให้ผู้ใช้ได้รับรู้และเห็นว่าแบบใดมีข้อดีข้อเสีย ให้เห็นว่าแบบใดจากการจำลองสถานการณ์ของผู้ใช้เองหรือจะใช้ตั้งต้นของโปรแกรมซึ่งจะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยโปรแกรมจะมีช่วงเวลาให้เลือกว่าจะใช้ช่วงเวลาใดมาวิเคราะห์ โดยระบบจะต้องการเวลาในการเก็บข้อมูลอย่างน้อย 30 วินาทีในการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ออกมาให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงความสามารถของอัลกอริทึมที่ได้สร้างขึ้นมาได้

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

ระบบจำลองที่จะนำเสนอในโครงการนี้ จะเลือกใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาระบบจำลองและมีรูปแบบการพัฒนาเป็นแบบให้เห็นภาพสามารถออกแบบหน้าต่างของโปรแกรมได้ตรงกับสภาวะรถในสี่แยกได้

สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาชุดคำสั่งขึ้นมา เพื่อใช้อำนวยความสะดวกในการเขียนแอปพลิเคชัน เพื่อพยายามสื่อสารกับผู้ใช้ให้มองลักษณะการจราจรที่ได้จำลองขึ้นมาให้เห็นภาพถึงการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะของสัญญาณไฟในแต่ละรอบ

### 3.4 ขั้นตอนการออกแบบการพัฒนาระบบจำลองโดยใช้พีชชีลอจิก

การออกแบบการควบคุมพีชชีลอจิกจะแยกมอดูลการทำงานออกตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ โดยจะประกอบด้วย 4 มอดูลหลัก ๆ โดยใช้ทฤษฎีพีชชีลอจิกเข้ามาใช้แต่ละมอดูลจะมีการออกแบบการทำงานดังนี้

#### 3.4.1 มอดูลกฎเกณฑ์พื้นฐาน (Rule- Based Module)

มอดูลนี้เป็นพื้นฐานหลักของการออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก ซึ่งจำเป็นต้องมีเงื่อนไขเป็นกฎที่ตั้งจากตรรกะความน่าจะเป็นของผู้เชี่ยวชาญในระบบ ซึ่งจะมีรูปแบบลักษณะเป็นกลุ่มของกฎเงื่อนไข ถ้า-แล้ว (If-Then Rules) โดยจะนำอินพุตซึ่งเป็นข้อมูลของจำนวนรถหลังสัญญาณไฟในแต่ละช่องทางการจราจรมากระทำกับอินพุตตัวที่ 2 ซึ่งจากระบบกำหนดให้เป็นเวลาที่นับจากการปล่อยสัญญาณไฟออก และมาซึ่งจะได้ออกมาเป็นเอาต์พุต ซึ่งค่าเอาต์พุตนี้จะแยกออกเป็นเซตของความน่าจะเป็นในการปล่อยสัญญาณไฟเขียว โดยกฎเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้นั้นนับรวมทุกกฎได้ 36 กฎซึ่งเกิดมาจากอินพุตทั้ง 2 ตัว ซึ่งอินพุตแต่ละตัวจะประกอบด้วยอินพุตละ 6 เซต ( $6 \times 6 = 36$ ) โดยทั้ง 36 ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะถูกแบ่งออกเป็น 7 เอาต์พุตด้วยกัน

ตารางที่ 3.2 กฎเงื่อนไขพื้นฐาน แสดงความสัมพันธ์ของอินพุต 2 ตัวประกอบด้วย ระยะเวลานับตั้งแต่ปล่อยได้รับสัญญาณไฟเขียว และ จำนวนรถหลังสัญญาณไฟในแต่ละช่องทางที่ได้กำหนดขึ้นมา

การปล่อย สัญญาณไฟเขียว		จำนวนรถหลังสัญญาณไฟ					
		Empty	Low	Sparse	Dense	High	Chaos
ระยะเวลา	Moment	Lock	Lock	Idle	Idle	Wait	Fair
	Few	Lock	Idle	Idle	Wait	Fair	Prepare
	Medium	Idle	Idle	Wait	Fair	Prepare	Ready
	Long	Idle	Wait	Fair	Prepare	Ready	Ready
	Delay	Wait	Fair	Prepare	Ready	Ready	Letgo
	Late	Fair	Prepare	Ready	Ready	Letgo	Letgo

### 3.4.2 มอดูลวิเคราะห์และแปลงค่าเป็นฟัซซี่ (Fuzzification Module)

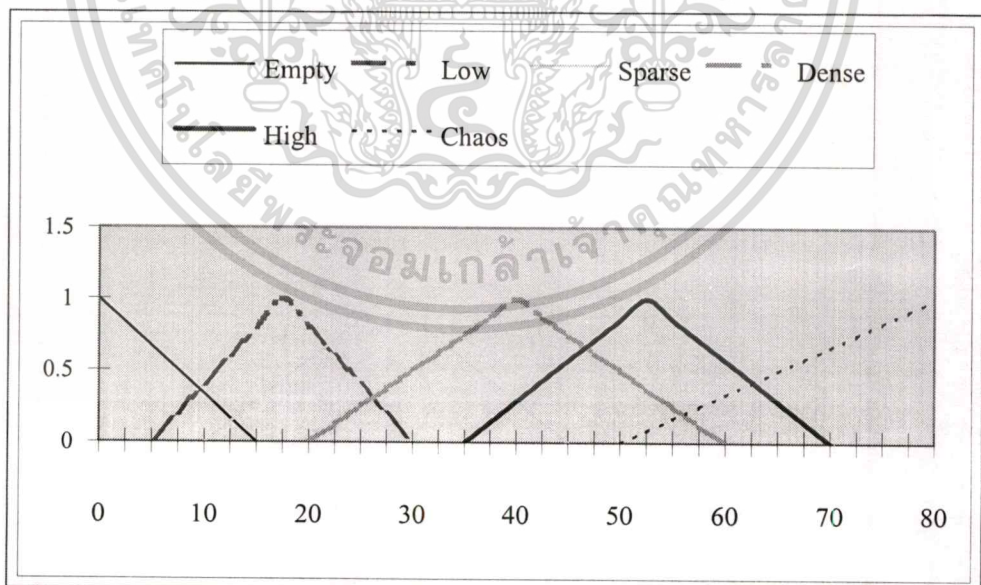
อินพุตที่เข้ามาจะถูกนำไปเทียบค่าในฟัซซี่เซตทั้ง 6 ว่าอินพุตดังกล่าวมีค่าความเป็นสมาชิกของเซตใดบ้าง โดยค่าที่มากที่สุดที่แสดงความเป็นสมาชิกในเซตก็คือ 1 ตัวเลขของอินพุตทั้ง 2 ที่เข้ามาจะนำมาทำให้เป็นค่าฟัซซี่ (Fuzzification) เพื่อให้ได้ค่าความเป็นสมาชิก โดยค่า 1 ค่าอาจจะอยู่ได้หลายเซต แต่จะมีค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเซตแตกต่างกันไปตามค่านั้น ๆ โดยฟัซซี่เซตของจำนวนรถหลังสัญญาณไฟจะถูกกำหนดได้ดังนี้

จากตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าแต่ละค่าอาจจะตกอยู่ในหลาย ๆ ช่วงได้ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตใดมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งในแต่ละเซตก็จะมีสมาชิกของเซตหนึ่งไป Intersection กับอีกเซตหนึ่งซึ่งก็ต้องหาค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเหตุการณ์ว่าจำนวนรถที่มีอยู่จะมีค่าความเป็นสมาชิกของเซตดังกล่าวนี้มากหรือน้อยเพียงใด โดยที่ค่า ๆ หนึ่งนั้นมีโอกาสที่จะเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตได้มากกว่า 1 เซต จากตารางที่ 3.3 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดขอบเขตของเซตซึ่งในเซต ๆ หนึ่ง ก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกไม่เท่ากันซึ่งในกราฟ จากรูปที่ .. ก็จะได้แสดงถึงความเป็นสมาชิกของเซตนั้น ๆ ว่าค่านั้นมีค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละเซตเท่าใด ยกตัวอย่าง เช่น ใน เหตุการณ์  $Ev_{ms}$  ในช่วงเวลา

ตารางที่ 3.3 ช่วงความเป็นสมาชิกของจำนวนรถหลังสัญญาณไฟที่กำหนดขึ้น

พีชชีเซตของจำนวนรถหลังสัญญาณไฟ	
ชื่อเซต	จำนวนรถ (คัน)
Empty	0 - 15
Low	5 - 30
Sparse	10 - 45
Dense	20 - 60
High	35 - 70
Chaos	50 - 80

หนึ่งจำนวนรถหลังอยู่ 54 คัน ก็หมายความว่า มีความเป็นสมาชิกของเซต Empty, Low, Sparse = 0 แต่มีค่าความเป็นสมาชิกของเซต Dense = 0.25 , มีค่าความเป็นสมาชิกของเซต High = 0.8571, และเซตของ Chaos = 0.1667



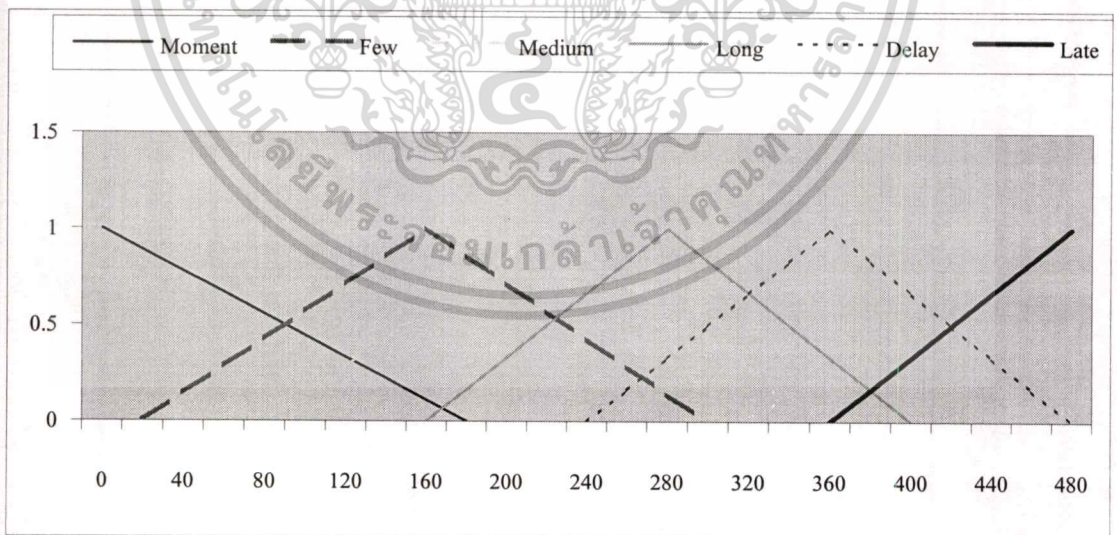
รูปที่ 3.2 ค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละพีชชีเซตของจำนวนรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ช่วงความเป็นสมาชิกของระยยะเวลานับจากได้รับสัญญาไฟเขียวที่ได้กำหนดขึ้น

ฟัซซี่เซตของระยะเวลา	
ชื่อเซต	ระยะเวลา (วินาที)
Moment	0 - 180
Few	20 - 300
Medium	180 - 360
Long	160 - 400
Delay	240 - 480
Late	360 - 480

ในขณะเดียวกัน ระยะเวลาของจำนวนรถหลังสัญญาไฟเขียวก็สามารถนำมาแบ่งเป็นเซตได้ เช่นเดียวกับกับเซตของจำนวนรถหลังสัญญาไฟเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเซตก็จะนำเข้าสู่เงื่อนไขโดยทฤษฎีทางฟัซซี่ลอจิก



รูปที่ 3.3 ค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละฟัซซี่เซตของระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนระยะเวลาที่มีค่าความน่าจะเป็นในแต่ละพีชชีเซตซึ่งมีลักษณะเดียวกับอินพุตตัวแรกซึ่งเป็นปริมาณรถ ก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตแต่ละเซตแตกต่างกันซึ่งแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.3

### 3.4.3 มอดูลการจัดการจราจร (Traffic Management Module)

ในโมดูลการจัดการจราจร ซึ่งในแต่ละช่องทางจะต้องมีการกำหนดว่ารถที่จะเข้ามาสู่พื้นที่ที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นจะเข้ามาด้วยความเร็วเท่าใด และรถ 1 คันจะเข้ามาสู่พื้นที่ภายในเวลาเฉลี่ยกี่วินาที โดยในโปรแกรมจะกำหนดให้รถที่จะเข้ามาสู่พื้นที่ในขอบเขตที่กำหนดไว้แตกต่างกันตามค่าความหนาแน่นของแต่ละช่องทางโดยอิงหลักความเป็นจริงว่า ถ้ารถในช่องทาง ใดมีความหนาแน่นมาก ก็จะมีอัตราของการเข้ามาสู่พื้นที่ของรถมาก ซึ่งในแต่ละช่องทางจะมีความหนาแน่นมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับการจำลองว่าจะให้ช่องทางใดหนาแน่นมาก ช่องทางใดหนาแน่นน้อย โดยจะมีการกำหนดตามค่าจำนวนรถที่กำหนดตอนเริ่มต้น ในขณะเดียวกันเมื่อรถได้สัญญาณไฟเขียวก็จะมีรถจำนวนหนึ่งที่อยู่ในขอบเขตถูกปล่อยออกไป ทำให้จำนวนรถในขอบเขตที่กำหนดไว้ลดลงซึ่งการกำหนดค่าจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรถในสี่แยกที่ได้กำหนดขึ้น

ความหนาแน่น (จำนวนรถที่กำหนดไว้ ณ ตอนเริ่ม)	อัตราที่รถเข้าสู่แยก (วินาที / คัน)	อัตราที่รถออกจากแยก (วินาที / คัน)
0 – 5	12	3
6 – 10	10	3
11 – 15	8	3
16 – 20	6	3

ค่าของความหนาแน่นนี้จะขึ้นอยู่กับกำหนดว่า ต้องการให้ช่องการจราจรใดหนาแน่นมาก ช่องการจราจรใดหนาแน่นน้อย ดังนั้น เราก็เลยใช้จำนวนรถที่ได้กำหนดไว้ตอนเริ่มการจำลองเหตุการณ์มาเป็นตัวชี้ว่า ทิศทางใดมีความหนาแน่นเป็นอย่างไร แต่ในทางตรงกันข้าม อัตราการปล่อยสัญญาณไฟนั้น ก็จะทำให้จำนวนรถในพื้นที่ลดลง แต่การลดลงของรถนั้นไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น เพราะการปล่อยสัญญาณนั้น รถจะวิ่งออกจากพื้นที่ด้วยอัตราที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ไม่ว่าจะมียานรถ

ในช่องจราจรเป็นเท่าใด ก็จะกำหนดให้รถวิ่งผ่านไฟเขียวเป็นอัตรา 2 วินาที ต่อ 1 คัน ทุก ๆ สภาพการจราจร

จะสังเกตได้ว่า ถ้ามีการปล่อยสัญญาณไฟอย่างต่อเนื่อง ในกรณีที่มีความหนาแน่นเท่าใดก็ตาม รถก็จะมีอัตราความหนาแน่นน้อยลง เพราะอัตราที่รถเข้าสู่แยกในทุก ๆ กรณีจะมีอัตราน้อยกว่าอัตราการรถที่เข้าสู่แยกเสมอ

#### 3.4.4 มอดูลการแปลงค่าฟัซซีเป็นคำสั่งการควบคุมสัญญาณไฟ (Defuzzification Module)

เซตของเอาต์พุตนั้นอาจจะบอกได้ว่าเราควรปล่อยสัญญาณไฟเขียวให้กับทิศทางใด แต่ในด้านหลักการคำนวณ โปรแกรมจะไม่สามารถรู้ได้ว่า เซตใดมีลักษณะที่ควรปล่อยสัญญาณ เซตใดควรจะยังรออยู่ เช่น ผลลัพธ์ของเหตุการณ์ EVENT SS มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตของเอาต์พุตเป็น Lock = 0, Idle = 0.1667, Wait = 0.333, Fair = 0.5, Prepare = 0.6667, Ready = 0.8333, Let Go = 1 ค่าเหล่านี้เป็นเพียงตัวบอกว่าเป็นสมาชิกในแต่ละสถานะเท่าใด เพราะฉะนั้น เราต้องนำค่ามาหวนว่งให้กับแต่ละสมาชิกเพื่อที่จะได้ค่า Crisp Value ออกมาเพื่อนำมาเป็นตัววัดกับเหตุการณ์อื่น ๆ ว่า เหตุการณ์นี้เทียบค่ากับเหตุการณ์อื่นแล้วเป็นอย่างไร ถ้าเหตุการณ์อื่นมีค่ามากกว่าก็ต้องเปลี่ยนสัญญาณไฟไป หรือ ถ้าค่าของเหตุการณ์ปัจจุบันยังมากที่สุด แต่ช่วงเวลาปล่อยสัญญาณได้เกินจากที่ระบบกำหนดไว้ ก็จำเป็นต้องสลับเหตุการณ์ต่อไปกลับเข้ามารับสัญญาณไฟเขียวต่อไป

การหวนว่งค่าให้กับฟัซซีเซตเอาต์พุตนั้นเพื่อช่วยหาค่า Crisp Value ให้กับเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยการหวนว่งก็จะให้ค่าหวนว่งเรียงจากมากที่สุดที่เซตของ Let Go เรียงตามลงมาจนถึงเซตของ Lock ซึ่งเป็นเซตที่มีโอกาสความน่าจะเป็นที่จะได้รับการปล่อยสัญญาณน้อยที่สุด โดยค่าที่จะนำมาหวนว่งให้กับเซตต่าง ๆ นั้นแสดงดังตารางที่ 3.6

ค่าจากตารางนี้จะสามารถนำมาทำการแปลงให้เป็นค่า Crisp Value ในขั้นตอนสุดท้ายโดยนำค่าความเป็นสมาชิกของในแต่ละเซตของเอาต์พุตนี้มาหวนว่งกับค่าจากตารางเหล่านี้ เพื่อหาค่า Crisp Value ของแต่ละเหตุการณ์และจะหาค่าสูงสุดที่จะทำการปล่อยสัญญาณไฟเขียวให้กับเหตุการณ์นั้น

$$\text{Crisp Value} = (0 * \text{Lock} + 0.1667 * \text{Idle} + 0.3333 * \text{Wait} + 0.5 * \text{Fair} + 0.6667 * \text{Prepare} + 0.8333 * \text{Ready} + 1 * \text{LetGo}) / (\text{Lock} + \text{Idle} + \text{Wait} + \text{Fair} + \text{Prepare} + \text{Ready} + \text{LetGo})$$

ตารางที่ 3.6 ค่าหน่วยในแต่ละเซตเพื่อการปล่อยสัญญาณไฟเขียวที่ได้กำหนดขึ้น

พีชชีเซตเอาต์พุต	ค่าหน่วย
Lock	0
Idle	0.1667
Wait	0.3333
Fair	0.5
Prepare	0.6667
Ready	0.8333
Let Go	1

### 3.5 กลไกการทำงานในการปล่อยสัญญาณไฟในแต่ละรอบ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในความสัมพันธ์ในการทำงานของแต่ละมอดูล เราจะแสดงกรณีตัวอย่าง มาวิเคราะห์เหตุการณ์หนึ่ง ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 3.7 ค่าความหนาแน่นของแต่ละเหตุการณ์

เหตุการณ์	จำนวนรถ
$EV_{ss}$	40 (S2+S3)
$EV_{nn}$	10 (N2+N3)
$EV_{sn1}$	0 (S2+N2)
$EV_{sn2}$	50 (S3+S3)
$EV_{ce}$	40 (E1+E2)
$EV_{ww}$	45 (W2+W3)
$EV_{ew1}$	80 (E2+W2)
$EV_{ew2}$	25 (E3+W3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นของอินพุต

เป็นการกำหนดค่าอินพุตทั้ง 2 ตัว ประกอบไปด้วยจำนวนรถในช่องทางการจราจรต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้คำนวณ ทั้ง 8 เหตุการณ์ และ เวลาที่สุ่มขึ้นมาซึ่งเป็นเวลาในหน่วยวินาทีซึ่งนับจากการได้รับสัญญาณไฟเขียวในครั้งล่าสุด

### 3.5.2 การหาค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตในแต่ละเหตุการณ์

ข้อมูลที่กำหนดไว้จะถูกนำมาใส่ให้เหตุการณ์ทั้งหมด 8 เหตุการณ์ แต่ละเหตุการณ์ก็จะถูกกำหนดไว้แล้วว่าจะนำจำนวนรถในช่องทางใดมาคำนวณเพื่อเริ่มต้นในการเปรียบเทียบค่าความเป็นไปได้ในแต่ละเหตุการณ์โดย ค่าเหล่านี้จะถูกแยกออกเป็นอีเวนต์ต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 3.7

จำนวนรถในแต่ละเหตุการณ์จะนำมาเป็นอินพุตตัวแรกแล้วก็นำมาหาค่าความเป็นสมาชิกของเซตโดยเทียบกับตารางที่ 3.8 ว่าแต่ละเหตุการณ์มีค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละฟัซซี่เซต เป็นจำนวนเท่าใด

ตารางที่ 3.8 ค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณรถในแต่ละเซต

เหตุการณ์	จำนวนรถ	Empty	Low	Sparse	Dense	High	Chaos
$EV_{ss}$	40	0	0	0.28571	1	0.28571	0
$EV_{nn}$	10	0.3333	0.4	0	0	0	0
$EV_{sn1}$	0	1	0	0	0	0	0
$EV_{sn2}$	50	0	0	0	0.5	0.8571	0
$EV_{ec}$	40	0	0	0.28571	1	0.28571	0
$EV_{ww}$	45	0	0	0	0.5	0.8571	0
$EV_{ew1}$	80	0	0	0	0	0	1
$EV_{ew2}$	25	0	0.4	0.8571	0.25	0	0

อินพุตตัวที่ 2 คือระยะเวลาในแต่ละเหตุการณ์จะนำมาหาค่าความเป็นสมาชิกของเซต เช่นเดียวกับอินพุตตัวแรกโดยพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 3.3 ว่าแต่ละเหตุการณ์มีค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละฟัซซี่เซตทั้ง 6 เซต เป็นจำนวนเท่าใด

ตารางที่ 3.9 ค่าความเป็นสมาชิกของระยะเวลาในแต่ละเซต

เหตุการณ์	ระยะเวลา	Moment	Few	Medium	Long	Delay	Late
EV <sub>ss</sub>	20	0.8888	0	0	0	0	0
EV <sub>nn</sub>	80	0.5555	0.4286	0	0	0	0
EV <sub>sn1</sub>	120	0.3333	0.7143	0.2857	0	0	0
EV <sub>sn2</sub>	240	0	0.42858	0.8572	0.6668	0	0
EV <sub>ee</sub>	200	0	0.5714	1	0.5	0	0
EV <sub>ww</sub>	300	0	0	0.4286	0.8334	0.5	0
EV <sub>ew1</sub>	60	0.6667	0.2857	0	0	0	0
EV <sub>ew2</sub>	320	0	0.2857	0.6668	0.6668	0	0

### 3.5.3 เปรียบเทียบกฎที่ได้กำหนดไว้เพื่อหาค่าเอาต์พุต

อินพุตทั้ง 2 ตัวนี้จะนำมาเทียบกับกฎโดยอินพุตที่มีค่าเป็น 0 จะไม่ถูกนำมาเข้ากฎ จะนำเฉพาะค่าความเป็นสมาชิกที่มากกว่า 0 มาเทียบกับกฎที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.2 ยกตัวอย่าง เหตุการณ์ EV<sub>ss</sub> มีค่าความเป็นสมาชิกของระยะเวลา Moment มากกว่า 0 ค่าเดียว แต่มีค่าความเป็นสมาชิกของปริมาณรถที่มากกว่า 0 ถึง 3 เซตคือ Sparse, Dense และ High ดังนั้นจึงต้องพิจารณา 3 กฎดังนี้

- Moment – Sparse เอาต์พุต คือ Idle
- Moment – Dense เอาต์พุต คือ Idle
- Moment – High เอาต์พุต คือ Wait

ในแต่ละเซตก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกของตัวเองซึ่งเมื่อพิจารณาจากกฎแล้ว ค่าของความเป็นสมาชิกของเซตของเอาต์พุตนั้นก็จะได้ค่าจาก ค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นสมาชิกระหว่างอินพุตตัวแรกกับอินพุตตัวที่ 2

### 3.5.4 แปลงค่าฟัซซีกลับ (Defuzzilication) เพื่อหาค่า Crisp Value

ในเหตุการณ์ EV<sub>ss</sub> จากตารางที่ 3.10 เมื่อได้ค่าความเป็นสมาชิกของเซต Idle และ Wait ออกมาแล้วเราก็จะนำค่านี้มาหาค่าที่บอกได้ว่าเหตุการณ์ใดจะเป็นเหตุการณ์ที่ได้รับการตอบสนองโดยใช้ค่าหน่วยประจำเซตของเอาต์พุตมาหาค่าได้สมการนี้

ตารางที่ 3.10 ค่าของความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตในเหตุการณ์ EV<sub>ss</sub>

Operation	Fuzzy Set Output	
	Idle	Wait
Moment – Sparse	0.5873	-
Moment – Dense	0.9444	-
Moment - High	-	0.5873
Output Value	0.7659	0.5873

$$\text{Crisp Value} = (0 * \text{Lock} + 0.1667 * \text{Idle} + 0.3333 * \text{Wait} + 0.5 * \text{Fair} + 0.6667 * \text{Prepare} + 0.8333 * \text{Ready} + 1 * \text{LetGo}) / (\text{Lock} + \text{Idle} + \text{Wait} + \text{Fair} + \text{Prepare} + \text{Ready} + \text{LetGo})$$

$$\begin{aligned} \text{Crisp Value} &= (0 * 0 + 0.1667 * 0.7659 + 0.3333 * 0.5873 + 0.5 * 0 + 0.6667 * 0 + 0.8333 * 0 + 1 * 0) / \\ & (0 + 0.7659 + 0.5873 + 0 + 0 + 0 + 0) \\ &= (0.1277 + 0.1957) / 1.3532 = 0.2389 \end{aligned}$$

ค่า 0.2389 นี้ก็จะถูกนำไปเทียบกับเหตุการณ์อื่น ๆ อีกทั้ง 7 เหตุการณ์ที่เหลือซึ่งถ้าสมมติว่าไม่มีค่าใดมากกว่า 0.2389 นี้แล้วก็จะสรุปได้ว่าช่องจราจรที่ไปได้ตรงกับเลี้ยวขวาก็จะได้สัญญาณไฟเขียวทันที

## บทที่ 4

### การพัฒนาระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟ

ในขั้นตอนการพัฒนาบบจำลอง เพื่อนำสิ่งที่ได้คำนวณออกมาให้สามารถโต้ตอบและแสดงข้อมูลให้ผู้ใช้ได้เข้าใจได้นั้น ต้องนำโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้แล้วมาเป็นพื้นฐาน หลังจากนั้นก็ประยุกต์อัลกอริทึมที่เหมาะสมกับ โครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งในที่นี้จะนำทฤษฎีฟิซซึลลอจิกที่ได้กล่าวไปแล้วมาประยุกต์ใช้เป็นอัลกอริทึมหลักในการพัฒนาบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟ

#### 4.1 รูปแบบโปรแกรมการจำลอง

ในโปรแกรมจำลองนี้ นำหลักการฟิซซึลลอจิกมาใช้ในการสร้างอัลกอริทึมในการเปลี่ยนสัญญาณไฟ โดยจะมีการวางเซ็นเซอร์ไว้ทุก ๆ ทิศทาง ทิศทางละ 2 ตัว คือตัวหน้าและตัวหลัง รวมใช้เซ็นเซอร์ทั้งหมด 8 ตัว กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ตัวหน้าและเซ็นเซอร์ตัวหลังมีระยะห่างจากกัน 100 เมตร ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะใช้กำหนดความหนาแน่นของรถที่ต้องรอในสถานะที่มีรถอยู่หนาแน่น

การคำนวณที่เราจะนำมาใช้ก็คือ นำจำนวนรถที่อยู่ในระยะทาง (Path) ที่เรากำหนด แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาหารกับระยะทางนั้น ซึ่งเราสามารถหาค่ารวมได้ในกรณีที่มีการรอสัญญาณไฟใน 3 ฟังยควตัวอย่าง จากรูปที่ 4.1 ถ้าสมมติว่ามีรถจากในฝั่งตะวันออก ฝั่งตะวันตก และทิศเหนือที่รอสัญญาณอยู่ อัลกอริทึมที่ได้ก็จะเป็น

$$\text{ค่าความหนาแน่นในแถวคอยทั้ง 3 เส้นทาง} = (s4-s3)+(s6-s5)+(s8-s7) / (100+100+100)$$

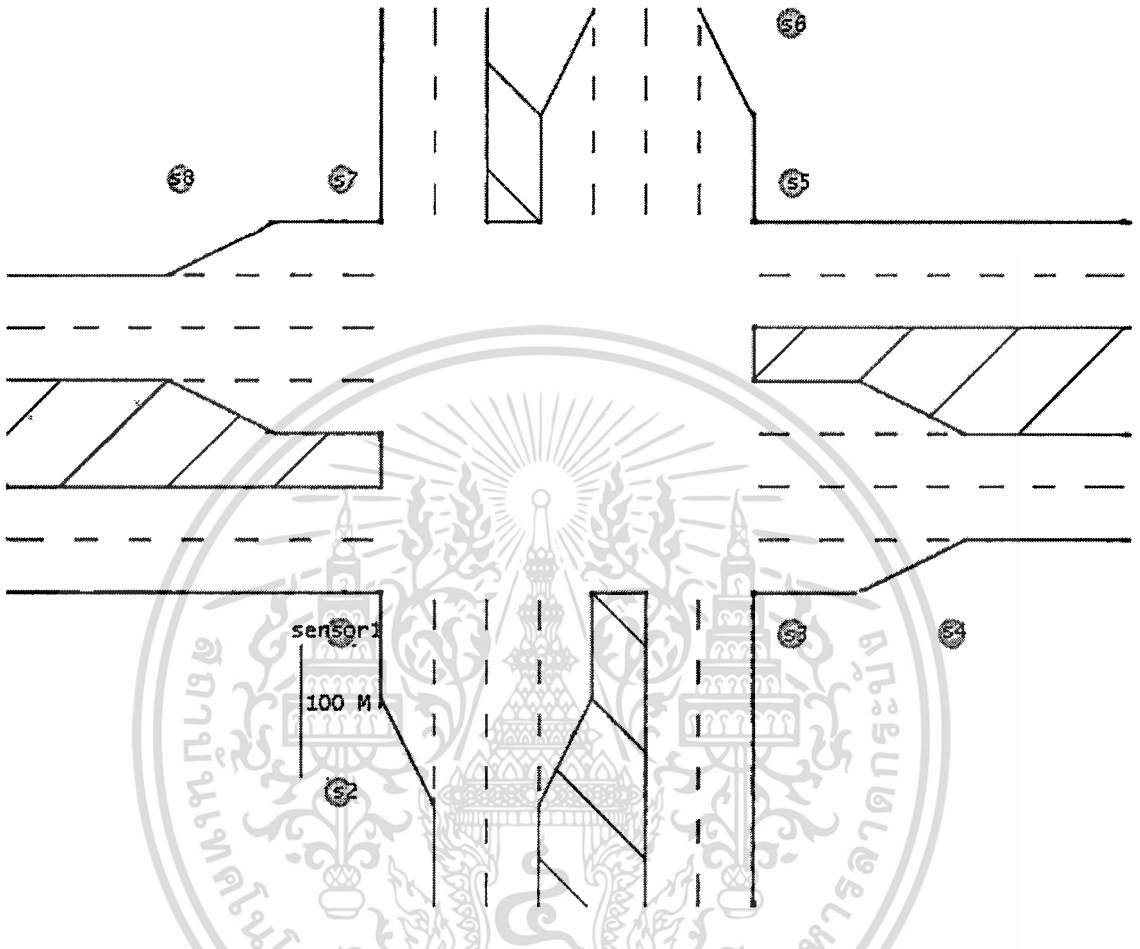
หรือถ้าจะแยกในแต่ละช่องทางว่าเส้นทางใดมีความหนาแน่นมากกว่ากันก็แยกตามทิศทางได้ดังนี้

$$\text{ค่าความหนาแน่นในแถวคอยทิศตะวันออก} = (s4-s3) / 100$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นในแถวคอยทิศตะวันตก} = (s8-s7) / 100$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นในแถวคอยทิศเหนือ} = (s6-s5) / 100$$

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วเราจะกำหนดให้มีการรับค่าอินพุตเข้ามา โดยมี 2 ค่าที่จะถูกส่งเข้ามาในระบบ คือ ระยะเวลาในแต่ละรอบ และ รถที่อยู่หลังสัญญาณไฟแดง



รูปที่ 4.1 การวางเซ็นเซอร์ในเพื่อรับค่าอินพุตเข้าสู่ระบบจำลอง

เมื่อจำนวนรถที่ติดอยู่หลังสัญญาณไฟมีค่าหนาแน่นมากใน 8 เหตุการณ์ที่รอสัญญาณอยู่ ก็จะกระตุ้นให้ค่าความน่าจะเป็นของรอบเวลาของปัจจุบันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าไป เมื่อค่ามีการเปลี่ยนแปลงไปแล้ว อินพุตและเอาต์พุตจะมีพารามิเตอร์ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในแต่ละฟังก์ชัน จะมีหลายระดับแตกต่างกันไป

สำหรับรอบระยะเวลาในแต่ละรอบและรถที่อยู่หลังสัญญาณไฟแดง มีค่าพารามิเตอร์ 2 ตัว แบ่งตามระดับความหนาแน่นของสภาพการจราจรได้เป็น

- ระยะเวลานับจากได้รับปล่อยสัญญาณไฟเขียวครั้งล่าสุด

Moment(0,180), Few(20,300), Medium(80,360), Long(160,400), Delay(240,480) และ Late(360,480)

- รถที่อยู่หลังสัญญาณไฟเขียวจะเป็น

Empty(0,15), Low(5,30), Sparse(10,45), Dense(20,60), High(35,70) และ Chaos(50,80)

- ส่วนระดับของเอาต์พุตนั้นมีดังนี้

Lock (0.05), Idle(0.2), Wait(0.35), Fair(0.5), Prepare(0.65), Ready(0.8) และ LetGo (0.95)

ดังนั้นจำนวนเงื่อนไขทั้งหมดจึงมีด้วยกัน 150 เงื่อนไข เนื่องจากมีอินพุตเข้ามา 3 ตัว อินพุตตัวแรกและตัวที่ 2 มี 5 กรณี และอินพุตตัวที่ 3 มี 6 กรณี ดังนั้นเงื่อนไขทั้งหมดจึงมี  $5 \times 5 \times 6 = 150$  เงื่อนไขที่จะนำมาใช้

	เลือกซ้าย	ไปตรง	เลือกขวา	ทุกช่องทาง	คิดเป็น %
<input type="checkbox"/> ทิศเหนือ	7	9	9	31.25	29.88
<input type="checkbox"/> ทิศใต้	12	13	10	43.75	38.18
<input checked="" type="checkbox"/> ทิศตะวันออก	17	33	18	85	84.66
<input type="checkbox"/> ทิศตะวันตก	7	6	11	30	28.22

รูปที่ 4.2 การสุ่มตัวเลขเพื่อกำหนดค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นการจำลอง

การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโปรแกรมนี้จะกำหนดให้ทำได้ 2 วิธี คือ

- ให้ระบบสุ่มตัวเลข

ให้ระบบสุ่มตัวเลขตามความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการให้อัตราการจราจรในสภาวะนั้นมีความแออัดในทิศทางใด ตัวโปรแกรมก็จะสุ่มตัวเลขโดยประมาณมาให้ในอัตราความหนาแน่นตามความต้องการของเรา

- ผู้ใช้กำหนดจำนวนเอง

วิธีนี้ผู้ใช้สามารถระบุตัวเลขในแต่ละช่องทางการจราจรได้ละเอียดกว่าวิธีแรกว่าต้องการข้อมูลช่องทางใด เป็นจำนวนเท่าใด โดยสามารถเลือกได้จากคอมพิวเตอร์ที่มีให้ แต่ข้อเสียของการกำหนดค่าเริ่มต้นในวิธีนี้ก็คือ ใช้เวลานานในการกรอกข้อมูลทั้งหมด

ข้อมูลเริ่มต้น

ให้ระบบสุ่มตัวเลขอย่างสุ่มเอง

กำหนดขึ้นเอง

	เลี้ยวซ้าย	ไปตรง	เลี้ยวขวา
ทิศเหนือ	12	10	0
ทิศตะวันออก	3	37	20
ทิศตะวันตก	4	26	5
ทิศใต้	0	33	0

ความเร็ว 10 เท่า

รูปที่ 4.3 การระบุค่าเริ่มต้น โดยการกำหนดค่าเอง

### 4.3 การจำลองสถานการณ์ตามทฤษฎีที่ออกแบบไว้

ในการสร้างการจำลองสถานการณ์ขึ้นมานั้นก็จะแบ่งส่วนการทำงานออกตามฟังก์ชันซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน คือ

#### 4.3.1 เวลา

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงเวลาของการจำลองนับตั้งแต่เริ่มต้นซึ่งสามารถหยุดและเริ่มต่อได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ รวมทั้งการแสดงผลเวลาของการปล่อยไฟเขียวในครั้งล่าสุดที่ทำการปล่อยให้กับเหตุการณ์ปัจจุบันว่าล่วงเลยมาถึงวินาทีแล้ว

#### 4.3.2 การจำลองสถานะของรถ

แสดงให้เห็นในเชิงกราฟิกโดยให้เป็นจำนวนรถที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่กำหนดไว้ ณ เวลาปัจจุบันมีจำนวนรถไหลเข้า-ออกจากพื้นที่ และแสดงผลปริมาณรถในแต่ละช่องทางรวมทั้งไฟจราจรที่ใช้ควบคุมการจราจรด้วย

#### 4.3.3 ข้อมูลการเริ่มต้น

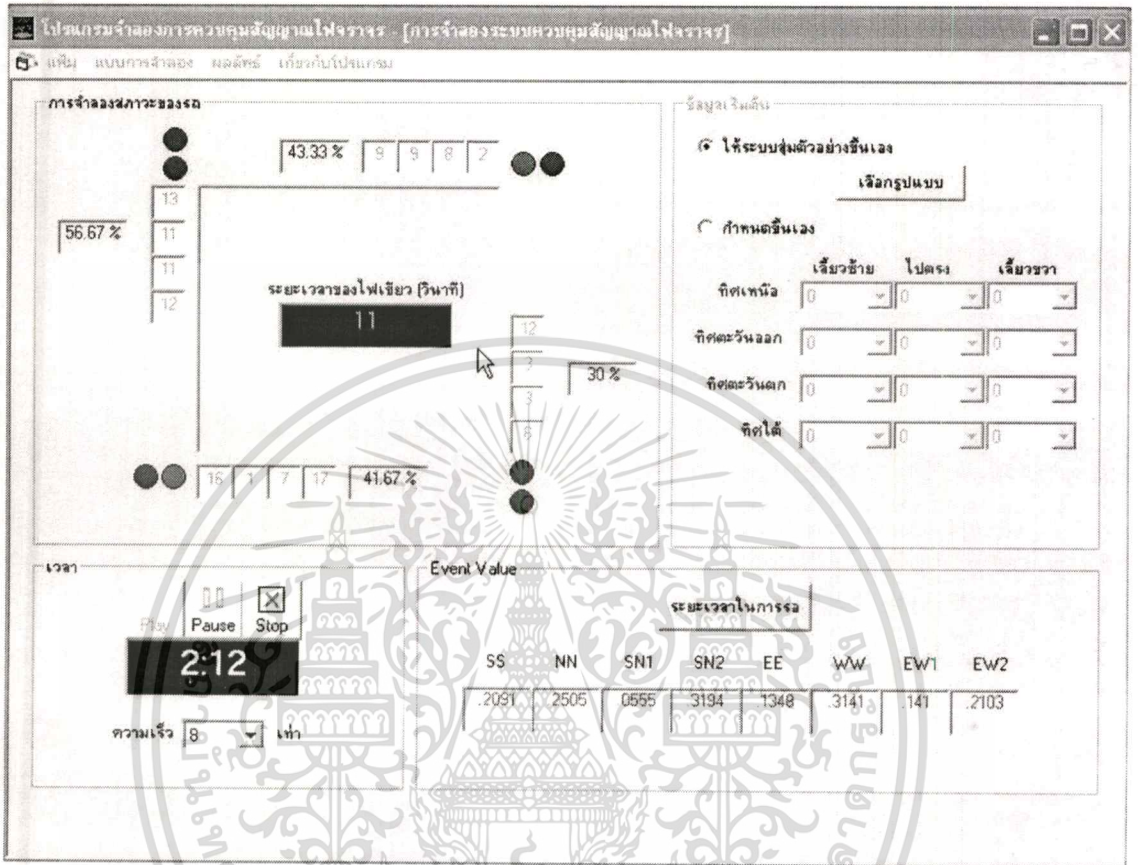
มีการเลือกการกำหนดข้อมูลเริ่มต้นได้ 2 วิธี ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

#### 4.3.4 ผลลัพธ์ของการจำลอง

แสดงผลลัพธ์ซึ่งจะแสดงถึงประสิทธิภาพในการควบคุมสัญญาณไฟว่าเป็นไปในทิศทางใด ซึ่งประกอบด้วย ความหนาแน่นของแต่ละช่องจราจร, ปริมาณรถที่สามารถผ่านแยกไปได้ และ จำนวนเวลาเฉลี่ยในการหยุดรอสัญญาณของรถในแต่ละช่องทาง

#### 4.3.5 ค่าผลลัพธ์ที่ใช้ควบคุม

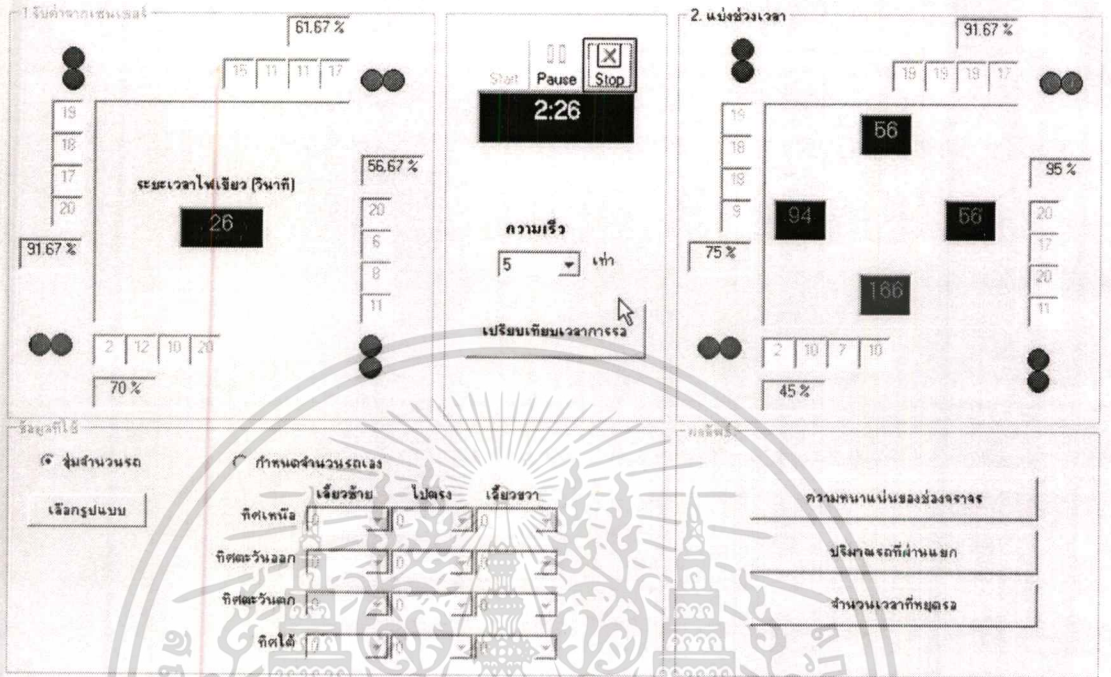
แสดงถึงค่าเหตุการณ์ทั้งหมดทั้ง 8 เหตุการณ์ซึ่งเป็นค่า Crisp Value ของแต่ละเหตุการณ์จะแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการได้รับการปล่อยสัญญาณ



รูปที่ 4.4 การจำลองเหตุการณ์ของ โปรแกรม

#### 4.4 การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นระหว่างวิธีที่ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ตอจกับ วิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันว่าแบบไหนมีผลลัพธ์ในการควบคุมสัญญาณไฟได้ดีกว่าซึ่งผลลัพธ์สามารถวัดได้จากค่าของผลลัพธ์ซึ่งจะแสดงข้อมูลให้เห็นในหน้าจอเดียวกัน



รูปที่ 4.5 หน้าจอการเปรียบเทียบระหว่างการรับค่าจากเซ็นเซอร์กับวิธีทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากการศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยใช้ทฤษฎีพีชชีลอจิกใน โครงงานนี้สามารถสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ รวมถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้เป็นการนำเสนอการสร้างโปรแกรมจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยนำทฤษฎีพีชชีลอจิกมาใช้ โดยทำการสร้างสี่แยกจำลองขึ้นมาและใช้ตัวควบคุมแบบพีชชีสำหรับควบคุมสัญญาณ โดยการควบคุมเหตุการณ์ต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่น ความแออัดที่เกิดขึ้นนั้น ต้องใช้พีชชีเซตในการควบคุมเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากค่าความแออัดในบางเหตุการณ์ก็ไม่สามารถให้สัญญาณไฟได้เนื่องมาจากระบบต้องการข้อมูลที่ซับซ้อนเข้ามา นั่นคือต้องควบคุมเซตของปริมาณรถที่กำลังเข้ามาสู่แยก และควบคุมเซตของระยะเวลาในการรอว่าใช้เวลารอไปนานเป็นเวลาที่เท่าไรแล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นในการให้สัญญาณไฟเขียวซึ่งก็จะต้องอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ มิฉะนั้นอาจจะเกิดเหตุการณ์ DeadLock เกิดขึ้นได้ ทำให้บางช่องทางต้องรอสัญญาณไปตลอด ถ้าไม่มีกฎเกณฑ์บางอย่างเข้ามาควบคุม

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อปรับปรุงโปรแกรมประยุกต์นี้ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต ผู้ศึกษามีความคิดเห็นว่าอันดับแรกควรที่จะเพิ่มเส้นทางแยกที่หลากหลายเช่นผู้ใช้สามารถกำหนดขอบเขตของการจำลองได้เองเพื่อทางเลือกที่หลากหลาย เช่น สามารถออกแบบช่องทางการจราจรได้เองว่าต้องการจะให้ทางแยกที่เราจะจำลองออกมาในรูปแบบใด เพราะทางแยกในปัจจุบันมีหลากหลายต่างกันไปซึ่งอาจจะมีส่วนไปตรงเพียงช่องเดียว ช่องเลี้ยวขวา 2 ช่อง ซึ่งในจุดนี้เราต้องศึกษาการจัดการจราจร การจัดลำดับอาจจะนำทฤษฎีของคิว (Queue) มาประยุกต์ใช้เพื่อที่จะสามารถเพิ่มทางเลือกให้กับผู้ใช้ เพราะการจราจรในปัจจุบันนี้มีทางแยกหลากหลายรูปแบบมากมาย แต่ใน โครงงานนี้นำเอาสี่แยกซึ่งถือเป็นสี่แยกที่มีโอกาสพบเจอได้มากที่สุด หรือ อาจจะนำอัลกอริทึมนี้ไปเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโปรแกรมด้วย

การเปลี่ยนเป็นสามแยก ห้าแยก หรือ ข้อกำหนดอื่น ๆ เช่น ห้ามเลี้ยวขวาในบางช่องทาง หรือ จะเพิ่มความซับซ้อนด้วยการเพิ่มทางแยกเป็น 2 จุด หรือ 3 จุดเชื่อมต่อกัน โดยโปรแกรมประยุกต์นี้สามารถนำไปใช้พัฒนาต่อเพื่อรองรับกับรูปแบบต่าง ๆ ได้ต่อไป

## 5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

โครงการนี้ได้นำเสนอถึงอัลกอริทึมในการสร้างระบบควบคุมโดยใช้อัลกอริทึมของฟัซซี่ (Fuzzy Control Algorithm) รวมถึงได้ศึกษาวิธีการอื่น ๆ เพื่อมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ซึ่งเนื้อหาได้อธิบายถึงลำดับขั้นตอนและการทำงานในการสร้างการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยสามารถควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อกำหนดช่วงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นฟัซซี่เซตในแต่ละช่วงและกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตขึ้นมาตามความเหมาะสมกับสถานะของเหตุการณ์ที่ต้องการควบคุม หลักการสร้าง โปรแกรมจำลองที่อยู่ในโครงการนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการใช้งานจริงในระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบันได้ โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพื่อรองรับกับสถานะการจราจรได้ตามความต้องการ

## บรรณานุกรม

- Chiu, S. and Chand, S. 1993. **Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic**. IEEE : 1371-1376
- Dong, B. And Roff, G. 2004. **Adaptive Self-Configuring Traffic Control Systems**. [Online]. Available: <http://mesl.ucsd.edu/gupta/cse237b.html>.
- Foy, M. D. And Benekonal, R. F. 1992. Signal Timing Determination Using Genetic Algorithms. **Transportation Research Record 1365**. : 111-118.
- Nataksuji, T. and Kaku, T. 1991. **Development of a Self-Organizing Control System using Neural Network Models**.
- Robertson, D. I. And Bretherton, R. D.. 1991. Optimizing Networks of Traffic Signal in Real Time — The SCOOT Method. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**. 40 (1) : 11-15.
- Smeed, D. ,**Finite State Machine**. [Online]. Available: <http://www.cs.strath.ac.uk/~dunc/archives/ay1998/teaching/co/lectures/113.html>
- Shahariz, A. A. 1996. **Fuzzy Traffic Light Controller**. [Online]. Available: [http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise\\_96/journal/vol2/sbaa/article2.html#Case](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/sbaa/article2.html#Case).
- Spall, J. C. And Chin, D. C.. 1997. Traffic-Responsive Signal Timing for System-Wide Traffic Control. **Transportation Research C**. 5 (3/4) : 153-163
- Underwood, G. 1994. **Information Technology on the Move : Technical and Behavioural Evaluations of Mobile Telecommunications**. New York : John Wiley & Sons Ltd,

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล	นายรัฐา แก้วบรรจง
วัน เดือน ปีเกิด	24 กันยายน พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	จังหวัด สงขลา
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษาที่ 2545
การทำงาน	นักพัฒนาระบบ (Developer) ธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้