

ระบบควบคุมไฟจราจรชาญฉลาดด้วยมัลติเอเจนต์

A MULTI-AGENT APPROACH FOR INTELLIGENT TRAFFIC-LIGHT CONTROL



กพ.
ก 139 ร
9550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **74824**
วัน,เดือน,ปี **11** ต.ค. **2550**

.b. 118 2988b
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A MULTI-AGENT APPROACH FOR INTELLIGENT TRAFFIC-LIGHT
CONTROL**



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2007



COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมไฟจราจรชาญฉลาดด้วยมัลติเอเจนต์
นักศึกษา	นายจตุรพิช เกราะแก้ว
รหัสนักศึกษา	45061203
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. วิศิษฎ์ หิรัญกิตติ

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้เราได้นำระบบมัลติเอเจนต์มาใช้ในงานควบคุมไฟจราจรบริเวณทางแยกในโครงข่ายถนน โดยเอเจนต์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ควบคุมไฟจราจรที่บริเวณทางแยก และซูเปอร์ไวเซอร์เอเจนต์ที่ทำหน้าที่แก้ปัญหาการจราจรในภาพรวม เอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรจะใช้วงรอบการทำงานแบบ Observe-Think-Act ที่ทำงาน โดยการสังเกตข้อมูลการจราจรในขณะนั้นและนำมาจับคู่กับกฎสำหรับควบคุมที่อยู่ในรูปแบบ Condition → Action จากนั้นจะนำผลที่ได้ไปสั่งงานไฟจราจรหรือสื่อสารกับเอเจนต์อื่นเพื่อให้การจราจรเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ สำหรับเอเจนต์ที่เป็นซูเปอร์ไวเซอร์จะรับรายงานข้อมูลจราจรจากเอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรที่แต่ละทางแยกเพื่อใช้ควบคุมการจราจรที่เป็นภาพรวม เช่น การแก้ปัญหาการจราจรติดขัดแบบ Deadlock โดยการใช้ข้อมูลการติดขัดของการจราจรในเส้นทางต่าง ๆ ที่ได้รับรายงานมาจากเอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรที่แต่ละทางแยก

นอกจากนั้นเราได้พัฒนาแบบจำลองจราจรด้วยภาษา NetLogo เพื่อทำงานร่วมกับระบบมัลติเอเจนต์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการจราจรในโลกจำลองนี้ และได้ทำการจำลองการควบคุมไฟจราจรกับโครงข่ายถนนที่เป็นทางแยกเชื่อมต่อกันจำนวนหนึ่ง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการควบคุมไฟจราจรด้วยวิธีการของเราช่วยลดเวลาในการรอสัญญาณไฟที่ทางแยกของรถแต่ละคัน ได้มากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน

Thesis Title	A Multi-Agent Approach for Intelligent Traffic-Light Control
Student	Mr. Jaturapith Krohkaew
Student ID.	45061203
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Visit Hirankitti

ABSTRACT

In this thesis we have adopted a multi agent system approach for traffic light control in the road network. There are two types of agents, the intersection traffic control agent and the supervisor agent. According to this approach, our system consists of agents and their world. In the traffic context, the world consists of cars, road networks, traffic lights, etc. Each of these agents controls all traffic lights at a road junction by an observe-think-act cycle. That is, each agent repeatedly observes the current traffic condition surrounding its junction, and then uses this information to reason with condition-action rules to determine in what traffic condition how the agent can efficiently control the traffic flows at its junction, or collaborate with neighboring agents so that they can efficiently control the traffic flows, at their junctions, in such a way that would affect the traffic flows at its junction. The supervisor agent is responsible for controlling the traffic in a larger scale using the traffic information reported from each agent at a junction. For example, it can solve a traffic deadlock based on the information that each flow that is blocked was reported by each agent at a junction.

We have also developed a NetLogo-based traffic simulator to serve as the agents' world. Our approach is experimented with traffic control of a few connected junctions and the result obtained is promising; that is, it can reduce the average delayed time of each car at each traffic-light rather substantially when compared with other approaches.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยคำแนะนำ แรงบันดาลใจ การสนับสนุน กำลังใจ และการดูแลเอาใจใส่อย่างดี จาก ผศ.ดร.วิศิษฎ์ หิรัญกิตติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนทุนการศึกษาตลอดหลักสูตร

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุวรินทร์ ปัทมวรคุณ สำหรับกำลังใจ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำอันทรงคุณค่า

ขอขอบคุณ ห้องวิจัยการสื่อสารและคมนาคมชาวมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ICT Lab) สำหรับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ โจ เกียรติศักดิ์ คิวขุนทด และไก่ สราญพงศ์ หนูยิ้มซ้าย สำหรับความช่วยเหลือทางเทคนิค คำแนะนำและกำลังใจในการทำงาน

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมโครงการพัฒนาอาจารย์ราชชมงคลทุกท่านสำหรับกำลังใจซึ่งกันและกัน และความสามัคคีร่วมฝ่าฟันอุปสรรค

ขอบคุณภรรยาสำหรับความเสียสละ อดทน และกำลังใจอันแสนอบอุ่น
คุณ. นันทน์ภัส กระจายแก้ว บุตรสาวสุดที่รักสำหรับแรงใจที่ไม่มีวันหมด

สุดท้ายขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง เพื่อน ๆ ที่ติดตามและให้กำลังใจ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

จตุรพิช กระจายแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.7 ประโยชน์ที่จะเกิดจากงานวิจัยนี้.....	3
1.8 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมไฟจราจร.....	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมไฟจราจรที่ทางแยก.....	9
3.1.1 หลักทั่วไปในการควบคุมจราจร.....	10
3.1.2 จุดขัดแย้งบริเวณทางแยก.....	10
3.1.3 ชนิดของการควบคุมการจราจรที่ทางแยก.....	11
3.1.4 การกำหนดเวลาสำหรับสัญญาณไฟจราจร.....	11
3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเอเจนต์.....	13
3.2.1 สถาปัตยกรรมของเอเจนต์.....	15
3.2.2 เอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้.....	20
3.2.3 ระบบมัลติเอเจนต์ (Multi-Agent System).....	22
3.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และด้อยค่าอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.1 เทคนิคการแทนความรู้ด้วยกฎ.....	24
3.3.2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูทเบส	26
3.3.3 เทคนิคการอนุมาน.....	28
3.3.4 เทคนิคการอนุมานแบบการวินิจฉัยไปข้างหน้า.....	30
3.3.5 เทคนิคการอนุมานแบบการวินิจฉัยย้อนหลัง.....	31
3.3.6 การเลือกใช้เทคนิคการอนุมาน	33
บทที่ 4 โครงสร้างของระบบ.....	34
4.1 กำหนดปัญหาและสมมติฐาน	34
4.2 โครงสร้างของระบบ	39
4.3 โครงสร้างของเอเจนต์.....	40
4.3.1 ส่วนสังเกตข้อมูลจราจร.....	40
4.3.2 ส่วนฐานความรู้.....	41
4.3.3 ส่วนกลไกอนุมาน	56
4.4 แบบจำลองการจราจร	56
บทที่ 5 วิธีการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	59
5.1 วิธีการทดลอง.....	59
5.2 กำหนดตัวแปรในการทดลอง	59
5.3 กำหนดสถานการณ์ในการทดลอง.....	60
5.4 วิธีวัดผลการทดลอง.....	60
5.5 ผลการทดลอง.....	64
5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	65
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
6.1 สรุปผลการทดลอง	66
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	66
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดวีอาร์อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	71
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ทางแยกชนิด 3 แยก.....	9
3.2 ทางแยกชนิด 4 แยก.....	9
3.3 ความขัดแย้งบริเวณทางแยก.....	10
3.4 ตัวอย่างรอบการทำงานในการควบคุมไฟจราจร	12
3.5 เอเจนต์	14
3.6 สภาพแวดล้อมในการทำงานของเอเจนต์คนขับรถแท็กซี่อัตโนมัติ.....	15
3.7 โปรแกรมของเอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่าย	16
3.8 โค้ดอะแกรมแผนผังของเอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่าย	17
3.9 โค้ดอะแกรมแผนผังของเอเจนต์ที่ตอบสนองโดยใช้โมเดล	18
3.10 โปรแกรมของเอเจนต์ที่ตอบสนองโดยใช้โมเดล	19
3.11 โค้ดอะแกรมแผนผังของเอเจนต์ที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมาย	20
3.12 เอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้โดยทั่วไป	21
3.13 ตัวอย่างระบบมัลติเอเจนต์.....	22
3.14 กฎสำหรับการข้ามถนนที่ปลอดภัย	23
3.15 ไวยากรณ์ของกฎ.....	24
3.16 กฎที่มีเงื่อนไขมากกว่า 1	24
3.17 กฎที่มีผลสืบเนื่องมากกว่า 1.....	24
3.18 การระบุออบเจกต์ให้เป็นชนิดตัวเลขและการกำหนดค่า.....	25
3.19 ออบเจกต์ชนิดตัวเลขและการแสดงเครื่องหมายหรือสูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์.....	25
3.20 กฎที่ใช้แทนสิ่งต่าง ๆ	26
3.21 รูปแบบระบบการผลิต.....	27
3.22 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส	27
3.23 โครงสร้างที่สมบูรณ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส	28
3.24 วัฏจักรการทำงานแบบ match-fire ของกลไกอนุมาน	29
3.25 ตัวอย่างของลำดับการอนุมาน	29
3.26 ตัวอย่างการทำงานของการวินิจฉัยไปข้างหน้า.....	30
3.27 ตัวอย่างการทำงานของการวินิจฉัยย้อนหลัง	32
4.1 ถนนที่มีการจราจร 2 ทิศทางแต่ละทิศทางมี 3 ช่องจราจร	34
4.2 ทิศทางการจราจรบริเวณทาง 3 แยก.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัว VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ทิศทางการจราจรบริเวณทาง 4 แยก.....	34
4.4 แยกเดี่ยว.....	35
4.5 แยกประสานสัมพันธ์.....	35
4.6 4 แยกและทิศทางของจราจร.....	36
4.7 ไฟจราจรที่ควบคุม 4 แยก.....	36
4.8 ชื่อไฟจราจรที่ควบคุมการจราจรที่ 4 แยก.....	37
4.9 รูปแบบการเปิดไฟจราจร 2 ทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	37
4.10 รูปแบบการเปิดไฟจราจร 2 ทิศทางที่ตัดรูปแบบที่ขัดแย้งออกไป.....	38
4.11 การเปิดไฟเขียว 12 รูปแบบที่ไม่มี ความขัดแย้งกันแบบตัดผ่านสำหรับ 4 แยก.....	38
4.12 บัคคี่ไฟลว.....	39
4.13 สถาปัตยกรรมระบบควบคุมไฟจราจรแบบมัลติเอเจนต์.....	39
4.14 สถาปัตยกรรมเอเจนต์ระบบควบคุมไฟจราจรแต่ละตัว.....	40
4.15 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ที่เก็บข้อมูลการจราจร.....	41
4.16 ลำดับของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไฟจราจร.....	42
4.17 การกำหนดตำแหน่งการควบคุมไฟจราจรด้วยมัลติเอเจนต์.....	46
4.18 การทำงานร่วมกันของเอเจนต์เมื่อดาว์นสตรีมเต็ม.....	47
4.19 การทำงานร่วมกันของเอเจนต์เมื่อดาว์นสตรีมว่าง.....	49
4.20 การจราจรติดขัดแบบ Deadlock.....	51
4.21 กราฟและวงปิดในกราฟ.....	53
4.22 กราฟและวงปิดในกราฟ.....	53
4.23 การหา Loop ในกราฟเพื่อตรวจสอบการเกิด Deadlock.....	54
4.24 การเกิด Deadlock ในแบบจำลองจราจร.....	55
4.25 การแก้ Deadlock ด้วยการเปลี่ยนทิศทางของไฟจราจร.....	55
4.26 กลไกการอนุมานที่สร้างด้วยภาษา Prolog.....	56
4.27 แบบจำลองการจราจร.....	57
4.28 โปรแกรม NetLogo และคุณสมบัติ introspection.....	58
4.29 คุณสมบัติ introspection.....	58
5.1 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 1 ทิศทางแบบที่ 1 และ 2.....	61
5.2 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 1 ทิศทางแบบที่ 3 และ 4.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 2 ทิศทาง แบบที่ 1 และ 2	62
5.4 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 2 ทิศทาง แบบที่ 3 และ 4	62
5.5 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 2 ทิศทาง แบบที่ 5 และ 6	62
5.6 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 3 ทิศทาง แบบที่ 1 และ 2	63
5.7 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 3 ทิศทาง แบบที่ 3 และ 4	63
5.8 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 4 ทิศทาง.....	63
5.9 ผลการทดลองการควบคุมด้วยเอเจนต์เดี่ยว.....	64
5.10 ผลการทดลองการควบคุมด้วยมัลติเอเจนต์	64
6.1 ระบบมัลติเอเจนต์ที่สื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สายบริเวณกว้างมาก	68



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในเมืองใหญ่โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครซึ่งมีประชากรกว่า 10 ล้านคนและการที่ผู้คนนิยมใช้รถยนต์ส่วนตัวในการเดินทางมากกว่าการใช้บริการขนส่งมวลชน ทำให้เกิดการติดขัดของการจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนและกลายเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง ผลเสียของปัญหาการจราจรที่ติดขัดมากนั้นกระทบกับเศรษฐกิจในรูปการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ และการสูญเสียเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทาง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสถานะแวดล้อม อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ในช่วงที่รถติดมาก ๆ การแก้ปัญหการจราจรติดขัดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างถนนเพิ่ม การสร้างทางด่วน การสร้างระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน การสร้างสะพานข้ามทางแยก ซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้เวลาและงบประมาณมหาศาล หากพิจารณาแล้วจะพบว่าสาเหตุส่วนหนึ่งของการติดขัดของการจราจรมาจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ไม่สอดคล้องกับสภาพจราจรที่แท้จริง ณ เวลานั้น ๆ ทำให้การจราจรไหลได้ไม่คล่องตัวเท่าที่ควรจะเป็น การแก้ปัญหการควบคุมไฟจราจรเป็นทางออกที่ใช้งบประมาณน้อยและใช้เวลาในการพัฒนาไม่นาน การคิดค้นหาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของปริมาณรถบนถนน ณ ขณะนั้น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจ และมีประโยชน์ต่อสังคม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. คิดค้นวิธีการควบคุมไฟจราจรใหม่ที่มีประสิทธิภาพ ที่สามารถบริการผู้ใช้นั้นให้ได้รับประโยชน์สูงสุด
2. ทดสอบวิธีการควบคุมดังกล่าวด้วยการสร้างแบบจำลองการจราจร
3. นำเอาวิธีการทางระบบมัลติเอเจนต์มาใช้ในการควบคุมโดยกำหนดให้ 1 เอเจนต์ทำหน้าที่ควบคุมไฟจราจรที่ 1 ทางแยก และให้เอเจนต์เหล่านั้นทำงานร่วมกัน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. ลักษณะทางถนนที่บริเวณทางแยกเป็นแบบ 3 ช่องจราจร คือช่องจราจรสำหรับทางตรง เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา โดยมีไฟจราจรสำหรับควบคุมการเดินทางของรถในแต่ละช่องจราจร ยกเว้นช่องจราจรสำหรับเลี้ยวซ้ายจะผ่านตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พฤติกรรมการขับรถในแบบจำลองจะเป็นลักษณะขับตามกันไปโดยไม่มีการแซง โดยที่รถแต่ละคันสามารถเร่งความเร็วจนถึงค่าสูงสุดเพื่อให้ไปถึงจุดหมายได้เร็วที่สุดและสามารถลดความเร็วเพื่อไม่ให้ชนรถคันหน้าหรือหยุดรถตามคันหน้า หรือหยุดเมื่อมีสัญญาณไฟแดงที่ทางแยก
3. การปล่อยรถใช้แบบจำลองซึ่งเป็นลักษณะการสุ่มที่สามารถควบคุมอัตราการเข้าสู่โลกของแบบจำลองเพื่อให้การจราจรหนาแน่น หรือเบาบางได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของระบบมัลติเอเจนต์มาใช้ในการควบคุมไฟจราจร โดยเอเจนต์แต่ละตัวมีส่วนรับข้อมูล ที่คอยรับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าเก็บไว้ในหน่วยความจำ มีส่วนคิดเพื่อตัดสินใจว่าจะทำอะไรกับสภาพแวดล้อมตามข้อมูลที่เข้ามา และส่วนแสดงการกระทำเพื่อให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปสู่เป้าหมายที่เอเจนต์ถูกกำหนดไว้

การตัดสินใจของเอเจนต์จะใช้เทคนิคของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส (Rule-based expert system) ในการแก้ปัญหาโดยอาศัยข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล (Database) และที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมภายนอก ทำงานร่วมกับกฎที่เก็บอยู่ในฐานความรู้ (Knowledge base) นำมาอนุมานให้ได้คำตอบของปัญหา

สภาพแวดล้อมในที่นี้คือการจราจรบริเวณทางแยก ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมได้แก่จำนวนรถที่รอสัญญาณไฟจราจร เวลาที่เหลืออยู่ของสัญญาณไฟเขียว รูปแบบการเปิดไฟจราจร ปัจจุบัน ฯลฯ การกระทำที่จะทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงได้คือการปรับเวลาเวลาและเปลี่ยนรูปแบบไฟจราจร

แนวความคิดในการวิจัยเรื่องนี้ คือ ทำให้เอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรปรับเปลี่ยนเวลาการเปิดไฟและรูปแบบของไฟจราจรให้สอดคล้องกับสภาพจราจรให้มากที่สุด โดยวัดผลจากเวลาเฉลี่ยในการรอสัญญาณไฟของรถแต่ละคัน ถ้าเวลาเฉลี่ยดังกล่าวยิ่งน้อยแสดงว่าการควบคุมไฟยิ่งได้ผลดี

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบวิธีควบคุมไฟจราจรอัตโนมัติด้วยระบบหลายเอเจนต์ (Multi agent system) ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ (Collaborative) และทดสอบ โดยใช้แบบจำลอง
2. แบบจำลองจราจรมีทางแยกที่เป็น 4 แยกจำนวน 4 จุด
3. ทดสอบการควบคุมด้วยจำนวนรถที่ไม่มาก เนื่องจากมีข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาลักษณะของการจรรยาและพฤติกรรมของรถบนท้องถนน
2. ศึกษาลักษณะถนน ช่องจราจร และทางแยก
3. ศึกษาหลักการควบคุมไฟจราจรที่ทางแยก
4. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมไฟจราจร
5. ออกแบบระบบหลายเอเจนต์สำหรับควบคุมไฟจราจร
6. ออกแบบกฎสำหรับการควบคุมไฟจราจรด้วยระบบหลายเอเจนต์
7. สร้างแบบจำลองการจราจร
8. ทดสอบการควบคุมไฟจราจรในแบบจำลองด้วยวิธีการที่ออกแบบเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ
9. วิเคราะห์ผล สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทาง

1.7 ประโยชน์ที่จะเกิดจากงานวิจัยนี้

1. ใช้วิธีตรวจจับสภาพการจราจรอย่างง่ายด้วยเซนเซอร์นับจำนวนรถที่รอสัญญาณไฟจราจร
2. ใช้กฎ IF-THEN ในการควบคุมไฟจราจร โดยอาศัยจำนวนรถที่รอสัญญาณไฟจราจร เป็นเงื่อนไขในการเรียกใช้กฎ
3. ใช้วิธีการสื่อสารระหว่างเอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรที่แต่ละแยก เพื่อการควบคุมไฟจราจรโดยรวมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. มีการสร้างแบบจำลองจราจรที่มีความสามารถในการรับรู้การควบคุมไฟจราจรและสามารถประเมินประสิทธิภาพในการควบคุมจราจร

1.8 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมไฟจราจรอัตโนมัติ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจราจร เอเจนต์ และระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้รูลเบส

(Rule-base expert systems)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บทที่ 4 กล่าวถึงโครงสร้างของระบบการควบคุมไฟจราจรด้วยเอเจนต์ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนจำลองการจราจร ส่วนสังเกตข้อมูลจราจร ส่วนฐานความรู้ และส่วน Inference Engine
- บทที่ 5 กล่าวถึงวิธีการทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล
- บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และแนวทางการวิจัยต่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เรากล่าวถึงงานวิจัยที่มีการคิดค้นมาก่อนเกี่ยวกับการจราจรทั้งที่ใช้เทคนิคเอเจนต์หรือมัลติเอเจนต์ และเทคนิคอื่น ๆ

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมไฟจราจร

ปัญหาของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรนั้นได้มีการศึกษาวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งชาญฉลาด (Intelligent Transportation System) มาหลายปีแล้ว เราจะกล่าวถึงเฉพาะงานวิจัยบางส่วนที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของเรา อันดับแรกคือการควบคุมแบบใช้การเข้าสู่บริเวณทางแยกของยานพาหนะมากระตุ้นให้เกิดการทำงานของตัวควบคุม (Vehicle Actuated) [1] หรือ VA ซึ่งวิธีนี้ทำการควบคุมไฟจราจรจากการพิจารณาจำนวนรถในคิว โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ (Sensor) ไว้ที่บริเวณถนนที่มีระยะทางห่างจากทางแยกตามที่กำหนด เมื่อรูปแบบการควบคุมไฟจราจรรูปแบบใดที่เป็นไฟเขียวหมดเวลาลง ตัวควบคุมจะทำการขยายเวลาให้ 1 หน่วยเวลา (3 วินาที) และในระหว่างที่ขยายเวลานี้ถ้าหากตรวจพบว่ามีรถเข้ามาในบริเวณที่ได้ติดตั้งเซนเซอร์ไว้ ตัวควบคุมก็จะขยายเวลาให้อีก 1 หน่วย เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าจะไม่มีรถเข้าในช่วงที่ขยายเวลาหรือเวลารวมของการเปิดไฟเขียวถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ ในวิธีนี้จะไม่มีการตรวจสอบสภาพการจราจรในด้านที่จะปล่อยรถออกจากทางแยกไปว่ามีพื้นที่ว่างพอหรือไม่ ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์ที่ไม่มีที่ว่างขึ้นการเปิดไฟเขียวให้รถเข้าไปในถนนที่มีรถอยู่เต็มแล้วจะเป็นไฟเขียวที่ไร้ประโยชน์ควรเอาเวลานี้ไปเปิดให้รถในช่องจราจรอื่นที่สามารถเดินทางได้

ใน [2] ได้นำเสนอการใช้การเรียนรู้แบบจินเนติกรีอินฟอร์ซเมนต์ (Genetic Reinforcement Learning) สำหรับการทำงานร่วมกันในการควบคุมสัญญาณจราจร โดยให้เอเจนต์แต่ละตัวที่ควบคุมสัญญาณไฟจราจรสามารถเรียนรู้ผ่านวิธีการเรียนรู้รีอินฟอร์ซเมนต์ (Reinforcement Learning) และค้นหาคำตอบสำหรับการทำงานร่วมกันแบบระยะยาว (long-term cooperation) ด้วยการค้นหาแบบจินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) แนวคิดสำคัญในงานวิจัยนี้คือ การนำจินเนติกอัลกอริทึมมาใช้เปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์สำหรับการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์ซเมนต์ ตามช่วงเวลาที่กำหนด (periodic modification) ซึ่งมีขั้นตอนคร่าว ๆ ต่อไปนี้

- 1) แต่ละเอเจนต์เรียนรู้โดยใช้พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้
- 2) หลังจากเรียนรู้ไประยะเวลาหนึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพสะสม (cumulative performance evaluation) ของพารามิเตอร์จะถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุมกลาง (central controller)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ผลการประเมินประสิทธิภาพสะสมของพารามิเตอร์ จากทุกเอเจนต์มาจนถึงศูนย์ควบคุมกลางและพร้อมสำหรับใช้งาน ศูนย์ควบคุมกลางจะเตรียมกลุ่มพารามิเตอร์ใหม่ที่เพิ่มประสิทธิภาพของเป้าหมายรวม (global performance) ให้มากกว่าเดิม และส่งไปให้แต่ละเอเจนต์ ซึ่งในกระบวนการนี้มีการประยุกต์ใช้รีเนติกอัลกอริทึม

ใน [3] ได้นำเสนอแบบจำลองการจราจรในเมืองด้วยระบบมัลติเอเจนต์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือเอเจนต์ผู้ขับขี่ยานพาหนะและเอเจนต์ควบคุมไฟจราจร โดยที่เอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรจะใช้การเรียนรู้แบบรีอินฟอร์ชเมนต์

การทำงานของเอเจนต์ควบคุมไฟจราจรมีดังนี้

- 1) ตัวตรวจจับยานพาหนะ (Vehicle Detector) และเอเจนต์ควบคุมพื้นที่ข้างเคียง (Neighborly Control Agent) ส่งข้อมูลการจราจรมาให้เอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจร (Control Agent)
- 2) เอเจนต์ตัดสินใจด้วยส่วนทำการตัดสินใจ (Decision Maker) ตามข้อมูลที่ได้มาผ่านกระบวนการเรียนรู้และความรู้ที่มันมีอยู่ (Knowledge Database)
- 3) ผลลัพธ์จะถูกนำไปควบคุมไฟจราจรด้วยส่วนทำการ (Executive Module)

[2] และ [3] ใช้หลักการควบคุมไฟจราจรด้วยเอเจนต์ที่สามารถเรียนรู้เหมือนกัน แตกต่างกับในงานวิจัยของเราซึ่งใช้กฎในลักษณะของระบบผู้เชี่ยวชาญ การใช้วิธีการเรียนรู้รูปแบบการจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาควบคุมไฟจราจร ซึ่งอาจจะเป็นไปได้เมื่อผู้เดินทางมีพฤติกรรมที่เป็นปกติ

ใน [4] เสนอการใช้ฟัซซีเซตในการควบคุมการจราจรเชิงกระจาย (Fuzzy Sets in Distributed Traffic Control) ประกอบด้วยตัวควบคุมแต่ละทางแยกที่ตัดสินใจในการควบคุมบริเวณทางแยกที่มันรับผิดชอบและมีการสื่อสารกับตัวควบคุมที่อยู่ติดกัน โดยรอบ แต่ละทางแยกมีเซนเซอร์ที่ใช้วัดการจราจรที่เข้ามายังทางแยกและส่งข้อมูลให้ตัวควบคุมนำไปประมวลผลด้วยกลไกฟัซซีเคสเบสที่มีวิวัฒนาการ (Evolutive Fuzzy Case-Based Mechanism) ในการทำงานระดับพื้นฐานมันจะเปรียบเทียบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกกับความยาวของคิวในทางแยกที่เกี่ยวข้อง และตัดสินใจว่าจะขยายเวลาของสัญญาณไฟเขียวหรือไม่ รวมทั้งยังแจ้งตัวควบคุมที่อยู่ติดกัน โดยรอบให้ทราบถึงการตัดสินใจของมันด้วย ในงานวิจัยนี้ นำข้อมูลที่ได้มาแปลงเป็นฟัซซี โดยการใส่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (membership function) สำหรับการเข้ามาของรถ ความยาวของคิว เวลาที่รอสัญญาณไฟ และการขยายเวลาของไฟเขียว

ใน [5] เสนอการควบคุมจราจรที่จัดระบบให้ตัวเองได้ผ่านฟัซซีลอจิก (Self-Organizing Traffic Control via Fuzzy Logic) โดยใช้กฎฟัซซีในการควบคุม แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

- 1) กฎสำหรับการปรับเวลาของไซเคิล (Cycle time) และการเปลี่ยนเฟส (Phase split)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) กฎสำหรับการปรับค่าออฟเซตที่ใช้ในการปรับการทำงานของตัวควบคุมไฟจราจรให้สอดคล้องกับการทำงานของตัวควบคุมที่แยกติดกันเพื่อให้เกิดการทำงานที่ประสานงานกัน
- 3) กฎสำหรับการกำหนดข้อบังคับที่เหมาะสมในการกำหนดเวลาของไซเคิลเพื่อให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของตัวควบคุมไฟจราจร

ผลลัพธ์ของกฎพีซซีได้เป็นการกำหนดเวลาของไซเคิลโดยอ้างอิงกับค่าดีกรีความอิ่มตัว (Saturation degree) ซึ่งหาได้จากจำนวนรถที่สามารถผ่านทางแยกได้จริงในช่วงไฟเขียวของแต่ละไซเคิลหารด้วยจำนวนรถที่สามารถผ่านทางแยกได้สูงสุดในช่วงไฟเขียวของไซเคิลเดียวกัน ในกรณีที่ปริมาณการจราจรเบาบาง กฎพีซซีจะให้ผลลัพธ์เป็นเวลาไซเคิลน้อยเพื่อให้ลดเวลาการรอสัญญาณไฟของรถ แต่ในกรณีที่ปริมาณการจราจรหนาแน่น กฎพีซซีจะให้ผลลัพธ์เป็นเวลาไซเคิลมากเพื่อให้ลดจำนวนรถที่จอร์อสัญญาณไฟ ทั้ง 2 สถานการณ์กฎพีซซีจะให้ผลลัพธ์ที่ทำให้ดีกรีความอิ่มตัวมีค่าสูงที่สุด

นอกจากนั้นใน [5] ยังมีการใช้ค่าออฟเซตสำหรับปรับเวลาของไซเคิลในกรณีที่ต้องการทำงานร่วมกับตัวควบคุมที่ทางแยกติดกัน โดยมันจะต้องรู้เฟสของสัญญาณไฟเขียวของทางแยกที่จะปล่อยรถเข้ามาสู่ทางแยกที่มันควบคุมอยู่และจะคำนวณค่าออฟเซตไปทำให้สัญญาณไฟจราจรในแยกของตัวเองสามารถเปิดไฟเขียวในทิศทางที่รถกำลังเข้ามาได้ทันเวลาที่รถมาถึงเพื่อทำให้รถผ่านไปได้อย่างไม่มีการหยุดรอสัญญาณไฟ

ใน [6] ได้นำเสนอสถาปัตยกรรมของระบบมัลติเอเจนต์สำหรับการควบคุมสัญญาณจราจร (Architecture of Multi-agent System for Traffic Signal Control) โดยมีหลักการการทำงานของเอเจนต์ดังนี้ เอเจนต์จะรับข้อมูลเกี่ยวกับสภาพจราจรจากสองแหล่ง ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลการจราจรและคำสั่งจากผู้ควบคุมที่ศูนย์ควบคุมการจราจร จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปเลือกแผนในการควบคุมไฟจราจรจากเคสเบส (Casebase) ซึ่งประกอบด้วยเคสในลักษณะปัญหา-คำตอบ (Problem-Solution) วิธีการเลือกเคสจากเคสเบสใช้เทคนิคการจับคู่ระหว่างคาร์แรกเตอร์ของข้อมูลที่ได้รับมาและคาร์แรกเตอร์ของเคสทำให้ได้เคสที่มีลักษณะปัญหาที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้รับมาเพื่อนำคำตอบในเคสไปเป็นแผนในการควบคุมไฟจราจรต่อไป แต่ก่อนที่จะนำแผนที่ได้จากการเลือกเคสไปใช้นั้นจะต้องผ่านการตรวจสอบความเข้ากันได้ (Compatibility) กับฐานความรู้ก่อนเพื่อไม่ให้แผนที่เลือกนั้นไปสร้างปัญหาให้กับแยกอื่น ๆ ในโครงข่ายถนน ถ้าปรากฏว่าเคสที่เลือกมาไม่ผ่านการทดสอบดังกล่าวก็จะเลือกเคสอื่น ๆ ที่เป็นคู่แข่ง (Candidate) มาทดสอบอีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าจะได้เคสที่เข้ากันได้หรือไม่มีเคสคู่แข่งอีก ในกรณีที่เลือกจนหมดเคสคู่แข่งแล้วยังไม่สามารถหาเคสที่เข้ากันได้ ก็จะใช้ข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลการจราจรไปผ่านการทำนาย (Predict) หรือรับคำสั่งจากผู้ควบคุม ไปกำหนดแผนการควบคุมไฟจราจรอีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน [7] ใช้ระบบมัลติเอเจนต์ในการควบคุมไฟจราจร ด้วยการกระจายการทำงานให้แก่เอเจนต์ควบคุมไฟจราจรตามแยกต่าง ๆ ในเครือข่ายถนน โดยให้เอเจนต์ทำงานอิสระจากกันแต่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ เอเจนต์แต่ละตัวจะตัดสินใจในการควบคุมไฟจราจรโดยใช้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลการจราจรในบริเวณแยกของตนเองและข้อมูลการจราจรที่ส่งมาจากแยกข้างเคียงที่อยู่ติดกันเพื่อนำมากำหนดการเปิดไฟจราจรในลำดับถัดไปจากการเปิดไฟในปัจจุบัน ซึ่งรูปแบบการเปิดไฟที่ถูกเลือกจะตัดสินใจจากดัชนีประสิทธิภาพ (Performance index) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของข้อมูลที่ได้รับมา รูปแบบที่มีดัชนีประสิทธิภาพสูงที่สุดจะถูกเลือกมาเป็นรูปแบบถัดไปในการเปิดไฟจราจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

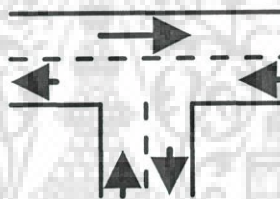
บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

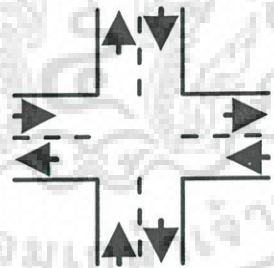
ในบทนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ ได้แก่ หลักการควบคุมไฟจราจรที่ทางแยก (Intersection Traffic-Light Control) ลอจิกคอลเอเจนต์ (Logical Agent) และระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส (Rule-based Expert System)

3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมไฟจราจรที่ทางแยก

เราได้สำรวจข้อมูลเกี่ยวกับควบคุมจราจรที่ทางแยกจาก [] ซึ่งกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้ ทางแยกเป็นพื้นที่ใช้งานร่วมกันของถนนตั้งแต่ 2 ทางขึ้นไป หน้าที่หลักของทางแยกคือใช้สำหรับเปลี่ยนเส้นทาง ทางแยกอย่างง่าย ๆ บรรจบด้วยถนนตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ทางแยกชนิด 3 แยก



รูปที่ 3.2 ทางแยกชนิด 4 แยก

ดังนั้นทางแยกจึงเป็นพื้นที่ที่ผู้ขับขี่ต้องตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ต้องการเดินทาง และจะต้องลดความเร็วเพื่อเปลี่ยนเส้นทางหรือต้องหยุดรถเพื่อรอสัญญาณไฟจราจร ทางแยกจึงเป็นจุดที่มักจะทำให้การจราจรต้องล่าช้าลงกว่าปกติ

การควบคุมการจราจรผ่านทางแยกอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ แบบแรกคือ การจราจรจากทุกทิศทางผ่านในระนาบเดียวกัน โดยมีสัญญาณไฟจราจรควบคุม และแบบที่สองการจราจรอยู่คนละระนาบกัน เช่น สะพานข้ามทางแยกหรืออุโมงค์ลอดทางแยก กับการจราจรบนถนนปกติ ทำให้การจราจรไม่ขัดจังหวะซึ่งกันและกัน แต่ก็ไม่สามารถใช้ได้กับทุกทางแยกเพราะมีต้นทุนการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

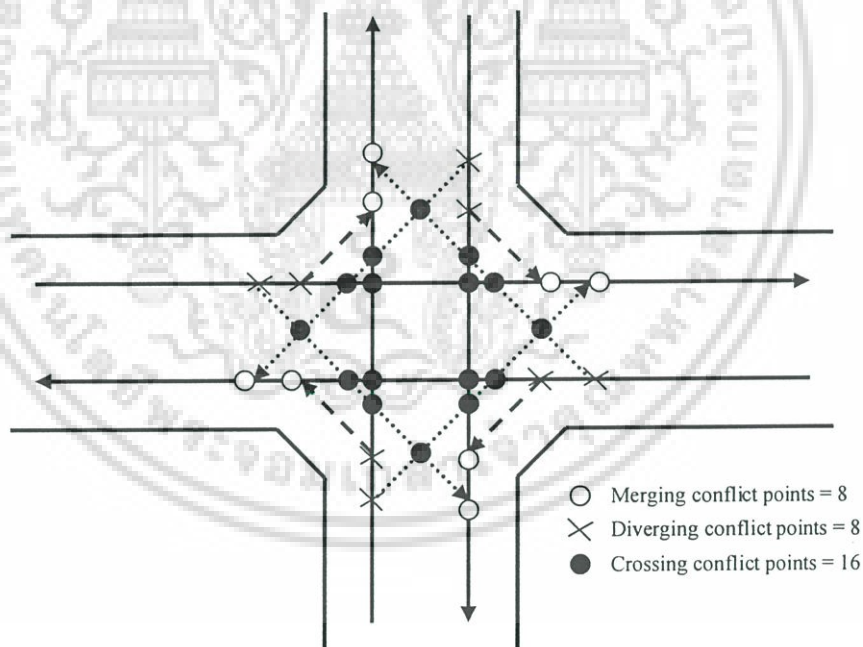
ก่อสร้างสูง ในที่นี้เราจะพิจารณาการควบคุมการจราจรที่ทางแยกที่อยู่บนระนาบเดียวกันที่ต้องใช้สัญญาณไฟจราจรในการควบคุม

3.1.1 หลักทั่วไปในการควบคุมจราจร

จุดมุ่งหมายของการควบคุมจราจรที่ทางแยกคือการให้สิทธิและลำดับก่อนหลังในการผ่านทางแก่ผู้ขับขี่และส่งเสริมให้เกิดความปลอดภัยในการจราจรบนท้องถนน การควบคุมอาจทำได้โดยการใช้สัญญาณไฟ ป้ายเตือนหรือบังคับ คำแนะนำ ฯลฯ สำหรับในบริเวณที่ซับซ้อนมากก็จำเป็นต้องใช้การควบคุมที่ได้รับการออกแบบอย่างดี มีบริเวณแยกหลายจุดที่ต้องการการควบคุมที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการจราจรในบริเวณนั้น

3.1.2 จุดขัดแย้งบริเวณทางแยก

ความขัดแย้งบริเวณทางแยกเกิดขึ้นเมื่อการจราจรในทิศทางที่แตกต่างกันมาแทรกแซงซึ่งกันและกัน ความขัดแย้งมี 3 ชนิดคือ เข้ามารวมกัน (Merging) แยกออกจาก (Diverging) และ ตัดผ่านกัน (Crossing) ดังรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงจุดขัดแย้ง (Conflict point) ที่เกิดจากการจราจรบริเวณ 4 แยกที่ไม่มีไฟจราจร ซึ่งมีมากถึง 32 จุด จำนวนจุดขัดแย้งที่บริเวณทางแยกใด ๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนช่องจราจรที่เข้ามาสู่แยก ทิศทางการเลี้ยว และชนิดของการควบคุมจราจรที่ทางแยกนั้น



รูปที่ 3.3 ความขัดแย้งบริเวณทางแยก

วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบระบบควบคุมการจราจรที่บริเวณทางแยก คือ เพื่อลดจำนวนจุดขัดแย้งที่มีนัยสำคัญ ในการออกแบบระบบดังกล่าว ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์การเลี้ยวที่ทางแยกเป็นอันแรก ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้จุดขัดแย้งที่เป็นนัยสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อนัยสำคัญเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความขัดแย้งประกอบด้วยประเภทของความขัดแย้ง จำนวนรถที่อยู่ในเส้นทางที่ขัดแย้ง และความเร็วของรถที่อยู่ในเส้นทางที่ขัดแย้ง อย่างไรก็ตาม ความขัดแย้งชนิดตัดผ่านกันมีผลกระทบกับการจราจรรุนแรงที่สุด ดังนั้นจะต้องลดความขัดแย้งนี้ไม่ให้มีโอกาสเกิดขึ้นได้

3.1.3 ชนิดของการควบคุมการจราจรที่ทางแยก

มีหลายวิธีที่ใช้ในการควบคุมความขัดแย้งของการจราจรที่ทางแยก ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับชนิดของทางแยกและปริมาณรถในแต่ละเส้นทางที่ขัดแย้ง วิธีการควบคุมต่าง ๆ มีดังนี้

ใช้เครื่องหมายให้ทาง (Yield Signs)

ผู้ขับขี่เข้าสู่ทางแยกในเส้นทางที่มีเครื่องหมายให้ทางจะต้องลดความเร็วและให้สิทธิแก่ผู้ขับขี่ที่อยู่ในเส้นทางขัดแย้งไปก่อน ถ้าไม่มีผู้ขับขี่อยู่ในเส้นทางขัดแย้งผู้ขับขี่ในเส้นทางที่มีเครื่องหมายให้ทางไม่จำเป็นต้องหยุดรถก็ได้ เครื่องหมายให้ทางมักจะใช้กับทางแยกที่เป็นทางเอก (Major) – ทางโท (Minor) โดยผู้ขับขี่ในทางโทต้องให้สิทธิผู้ขับขี่ในทางเอกไปก่อน

ใช้เครื่องหมายหยุดรถ (Stop Signs)

ผู้ขับขี่ที่เข้าสู่ทางแยกในเส้นทางที่มีเครื่องหมายหยุดรถจะต้องหยุดรถให้ผู้ขับขี่ในทิศทางขัดแย้งเดินทางไปก่อน การใช้เครื่องหมายหยุดรถจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบและได้รับอนุญาตเนื่องจากการควบคุมด้วยเครื่องหมายดังกล่าวจะเป็นการลดประสิทธิภาพของการจราจรอย่างมาก เครื่องหมายหยุดรถมักจะใช้ในทางแยกที่เป็นทางโทตัดกับทางเอก โดยให้ผู้ขับขี่ในทางโทหยุดรถให้ผู้ขับขี่ในทางเอกเดินทางไปก่อน

ใช้เครื่องหมายหยุดรถหลายเส้นทาง (Multiway Stop Signs)

ผู้ขับขี่เข้าสู่ทางแยกทุกเส้นทางต้องหยุดรถก่อน มักจะใช้กับทางแยกที่ไม่มีไฟจราจรและปริมาณรถในแต่ละทิศทางใกล้เคียงกัน

ใช้การเปลี่ยนช่องทางจราจร (Intersection Channelization)

วิธีนี้ใช้เป็นหลักในการแยกช่องทางจราจรสำหรับการเลี้ยวและตรงไป อาจจะใช้เส้นทึบสีขาวในการแบ่งช่องทางจราจร หรือใช้เกาะคั่นระหว่างช่องทางจราจร

ใช้สัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals)

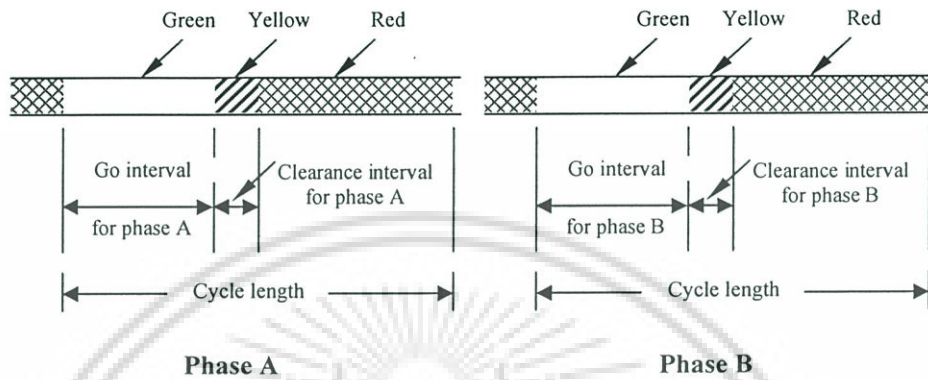
เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการจราจรที่ทางแยก วิธีนี้สามารถกำจัดความขัดแย้งได้ดีเนื่องจากเส้นทางที่ขัดแย้งกันจะได้รับสิทธิในการเดินทางผ่านทางแยกคนละเวลากัน แต่มีข้อเสียคือจะทำให้ผู้ขับขี่ในเส้นทางที่ยังไม่ได้รับสิทธิต้องเสียเวลาในการรอ

3.1.4 การกำหนดเวลาสำหรับสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจรจะแสดงผลเป็นสีต่าง ๆ ที่มีความหมาย เช่น สีแดงให้หยุด สีเหลืองให้เตรียมตัวหยุด และสีเขียวให้ไป ประสิทธิภาพของการทำงานจำเป็นต้องใช้การกำหนดเวลาของแต่ละสีของไฟจราจรที่เหมาะสม ก่อนจะกล่าวถึงการกำหนดเวลาเราขอแนะนำคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าลิขสิทธิ์ในบางเรื่อง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **คอนโทรลเลอร์ (Controller)** เป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณในการจราจร โดยการเปลี่ยนสีของหลอดไฟ โดยเปลี่ยนไปตามแผนการควบคุมซึ่งอาจจะกำหนดไว้ตายตัวหรือสามารถเปลี่ยนแปลงได้
- **ไซเคิล (Cycle / Cycle length)** เป็นเวลาในหน่วยวินาทีที่ต้องใช้ในการทำงานควบคุมจราจรให้สมบูรณ์ใน 1 รอบ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างรอบการทำงานในการควบคุมไฟจราจร

- **เฟส (Phase / Signal phase)** เป็นส่วนหนึ่งของรอบการทำงานบอกรูปแบบของสัญญาณไฟจราจรที่ให้สิทธิกับการจราจรในเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งหรือหลายเส้นทางรวมกัน
- **อินเตอร์วอล (Interval)** เป็นเวลาในส่วนของรอบการทำงานที่สัญญาณไฟจราจรไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น เป็นไฟเขียวอยู่ หรือเป็นไฟแดงอยู่
- **ออฟเซต (Offset)** เป็นเวลาที่ผ่านไปในหน่วยวินาทีหรือเป็นร้อยละของเวลาในรอบการทำงาน ออฟเซตจะบอกระยะเวลาที่ห่างกันในการเปิดไฟเขียวของแยกใด ๆ กับแยกที่อยู่ถัดไป
- **เซนจ์อินเตอร์วอล (Change interval)** เป็นผลรวมของเวลาในหน่วยวินาทีการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวกับการเปิดสัญญาณไฟสีแดงทุกเส้นทาง
- **อลเรดอินเตอร์วอล (All-red interval)** เป็นเวลาที่ทุกสัญญาณไฟจราจรจะแสดงเป็นสีแดงให้รถทุกคันหยุด ซึ่งจะถูกใช้ในบางกรณี เช่น มีคนข้ามถนนหรือแยกอื่นมีรถอยู่เต็มไม่สามารถรองรับรถที่จะไปสู่อีกแยกนั้นได้อีก
- **สปิตเฟส (Spit phase)** เป็นส่วนหนึ่งของเฟสที่แยกออกมาจากเฟสหลัก ซึ่งทำให้เกิดเฟสพิเศษที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเฟสหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจร

วัตถุประสงค์หลักของการกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกคือการลดค่าเฉลี่ยของดีเลย์ (average delay) ของรถทุกคัน และ โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุ วัตถุประสงค์นี้บรรลุได้โดยการทำให้จุดขัดแย้งที่เป็นไปได้ให้เหลือน้อยที่สุด

การกำหนดเวลาสำหรับทางแยกที่เป็นอิสระกัน

ทางแยกที่เป็นอิสระกันเป็นทางแยกที่การทำงานของสัญญาณไฟจราจรไม่ได้ประสานสัมพันธ์กับแยกอื่น ๆ ดังนั้นมันจึงทำงานอย่างอิสระกัน เวลาของไซเคิลสำหรับแยกชนิดนี้จะไม่นานมากนัก อยู่ระหว่าง 35-60 วินาที แต่กระนั้นก็อาจจะต้องใช้เวลานานกว่านี้ถ้ารถที่เข้าสู่ทางแยกมีประมาทสูงมาก แต่อย่างไรก็ตามเวลาของไซเคิลก็ไม่ควรเกิน 120 วินาที เนื่องจากไซเคิลที่ยาวจะทำให้เกิดดีเลย์ที่มากเกินไป

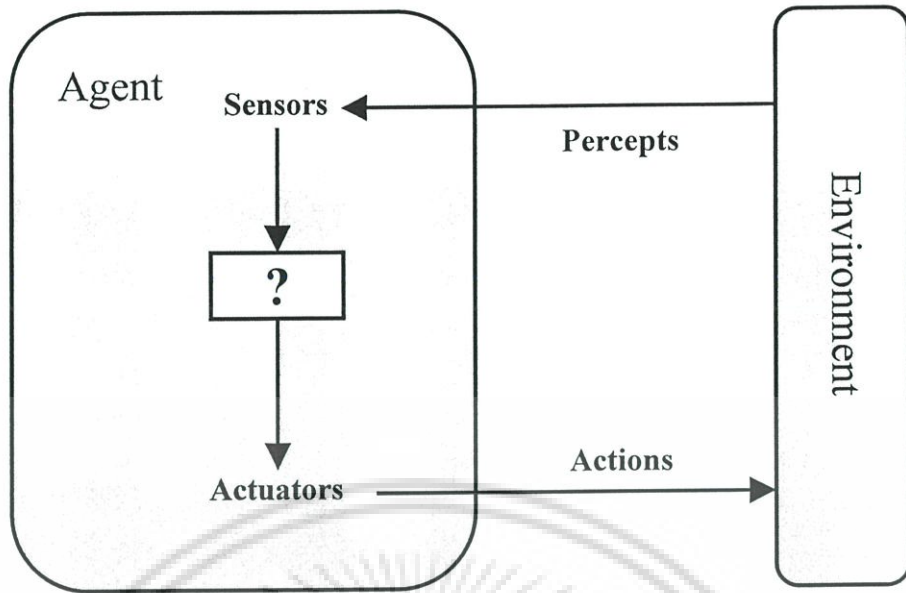
เวลาของไซเคิลสำหรับสัญญาณไฟจราจรที่กำหนดเวลาคงที่

สัญญาณไฟที่ทางแยกแบบไอโซเลตสามารถกำหนดไว้ล่วงหน้าหรือกำหนดให้เวลาคงที่ได้ เวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจะให้สิทธิในการผ่านทางแก่การจราจรในเส้นทางต่าง ๆ ตามที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม แต่ละสัญญาณมีเวลาของไซเคิลที่กำหนดไว้คงที่สำหรับในแต่ละช่วงของวันหรือคงที่เท่ากันทั้งวันก็ได้

3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเอเจนต์

ใน [12] กล่าวถึงไว้ดังนี้ เอเจนต์ (Agent) คือ สิ่งใดก็ตามที่สามารถรับรู้ (Perceive) สิ่งแวดล้อมของตัวเองผ่านตัวรับสัญญาณ (Sensors) และตัวเอเจนต์ก็กระทำการ (Acting) บนสิ่งแวดล้อมนั้นผ่านตัวกระทำ (Actuators) ดังรูปที่ 3.5

ถ้ามองมนุษย์เป็นเอเจนต์ เอเจนต์มนุษย์มีตา หู และส่วนอื่น ๆ ของอวัยวะที่ใช้รับรู้เป็นส่วนรับรู้ข้อมูลจากสภาพแวดล้อม ส่วนมือ ปาก และส่วนอื่น ๆ ของร่างกายเป็นตัวกระทำ เป็นส่วนกระทำการที่มีผลกับสภาพแวดล้อมนั้น เอเจนต์หุ่นยนต์ มีกล้องวิดีโอ และกล้องอินฟราเรดเป็นตัวรับรู้ และมอเตอร์ต่าง ๆ ใช้เป็นตัวกระทำ เอเจนต์ที่เป็นซอฟต์แวร์ รับรู้ทางเป็นพิมพ์ การอ่านเนื้อหาจากแฟ้ม และข้อมูลจากเครือข่าย และกระทำบนสิ่งแวดล้อมโดยการแสดงผลบนจอ การเขียนแฟ้ม หรือส่งข้อมูลไปในเครือข่าย หากมองในเชิงคณิตศาสตร์ พฤติกรรมของเอเจนต์เป็นฟังก์ชันที่เป็นการจับคู่จาก โดเมน คือ การรับรู้ ไปยังโคโดเมน คือ การกระทำ



รูปที่ 3.5 เอเจนต์

- การวัดประสิทธิภาพของเอเจนต์

การวัดประสิทธิภาพในการทำงานของเอเจนต์เป็นบรรทัดฐานในการวัดความสำเร็จของพฤติกรรมเอเจนต์ เมื่อเอเจนต์เข้าสู่สภาพแวดล้อมแล้วมันจะแสดงการกระทำตอบสนองกับสิ่งที่ได้รับรู้ ลำดับของการกระทำนี้เป็นผลให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงสถานะไปตามลำดับ ถ้าลำดับนี้เป็นที่พอใจแสดงว่าเอเจนต์ทำงานได้ดี แต่วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบใดแบบหนึ่งก็ไม่ใช่ว่าจะเหมาะสมกับทุกเอเจนต์อย่างชัดเจน ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพโดยปกติแล้วถูกกำหนดโดยผู้ที่สร้างเอเจนต์นั้น

หากพิจารณาจากตัวอย่างของเอเจนต์เครื่องดูดฝุ่นใน [12] อาจมีการนำเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพโดยการวัดจำนวนครั้งของการทำความสะอาดในรอบ 8 ชั่วโมง ถ้าเป็นเอเจนต์ที่มีเหตุผล (Rational agent) มันจะดูดฝุ่นและยกทิ้งและดูดใหม่เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย คือ ได้จำนวนครั้งในการทำความสะอาดมาก ๆ ซึ่งการกำหนดวิธีวัดประสิทธิภาพเช่นนี้อาจจะไม่ถูกต้องนัก วิธีอื่นที่เหมาะสมกว่า คือ การให้รางวัลเอเจนต์ที่ทำให้พื้นสะอาด ดังนั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการวัดประสิทธิภาพของเอเจนต์ คือ อะไรที่เราต้องการ ไม่ใช่ อะไรที่เอเจนต์ควรทำ

- สภาพแวดล้อมในการทำงานของเอเจนต์

การวัดประสิทธิภาพ (Performance measure) สภาพแวดล้อม (Environment) ตัวกระทำ (Actuator) และตัวรับสัญญาณ (Sensor) จะถูกเรียกรวม ๆ ว่าเป็น คำบรรยาย PEAS (PEAS Description) เพื่อใช้อ้างอิงต่อไป

ใน [12] ได้กล่าวถึงการออกแบบเอเจนต์ไว้ดังนี้ ขั้นตอนแรกจะต้องระบุสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ชัดเจนที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยพิจารณาตัวอย่างคนขับรถแท็กซี่อัตโนมัติ เอกสารนี้ได้แบ่งสรรที่สงวนไว้สำหรับใช้วางแผนที่จะทำได้ โดยพิจารณาตัวอย่างคนขับรถแท็กซี่อัตโนมัติ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Automatic taxi driver) ซึ่งมีภารกิจในการจับจี้ที่มีขอบเขตไม่แน่นอนอย่างมาก คือ มีสถานการณ์ใหม่เกิดขึ้นได้อย่างไม่จำกัด รูปที่ 3.6 สรุปคำบรรยาย PEAS สำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงานของคนขับแท็กซี่อัตโนมัติ

Agent Type	Performance Measure	Environment	Actuators	Sensors
Taxi driver	Safe, fast, legal, comfortable trip, maximize profit	Road, other traffic, pedestrians, customers	Steering, accelerator, break, signal, horn, display	Cameras, Sonar, Speedometer, GPS, Odometer, Accelerometer, Engine sensors, Keyboard

รูปที่ 3.6 สภาพแวดล้อมในการทำงานของเอเจนต์คนขับรถแท็กซี่อัตโนมัติ

3.2.1 สถาปัตยกรรมของเอเจนต์

ถ้ากล่าวถึงเอเจนต์ในด้านของพฤติกรรม คือ การกระทำที่แสดงออกมาหลังจากการรับรู้ แต่ถ้ากล่าวถึงการทำงานภายใน คือการออกแบบโปรแกรมเอเจนต์ที่อิมพลีเมนต์ฟังก์ชันเอเจนต์ที่จับคู่จากการรับรู้ไปยังการกระทำ ถ้าโปรแกรมนี้รันอยู่บนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์พร้อมด้วยตัวรับสัญญาณและตัวกระทำ คอมพิวเตอร์นี้เรียกว่าสถาปัตยกรรมที่มีโปรแกรมเอเจนต์อยู่ภายใน

โปรแกรมที่เลือกต้องเหมาะสมกับสถาปัตยกรรมนั้น เช่น ถ้าโปรแกรมจะมีการกระทำที่เกี่ยวกับการเดิน สถาปัตยกรรมก็ควรจะมีขา สถาปัตยกรรมอาจจะเป็นเพียงแค่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลธรรมดา หรืออาจจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีบอร์ดคอมพิวเตอร์อยู่ภายในรถ มีกล้องถ่ายรูปและตัวรับสัญญาณต่าง ๆ โดยทั่วไปสถาปัตยกรรมจะทำหน้าที่ให้สิ่งที่รับรู้สามารถใช้งานได้โดยโปรแกรมเอเจนต์ รันโปรแกรม และดึงตัวเลือกของการกระทำส่งไปยังตัวกระทำ

- โปรแกรมเอเจนต์ (Agent program)

โปรแกรมเอเจนต์เป็นโปรแกรมซึ่งนำสิ่งที่รับรู้ในปัจจุบันจากตัวรับสัญญาณเป็นอินพุต และให้ผลลัพธ์เป็นการกระทำส่งไปยังตัวกระทำ ข้อแตกต่างระหว่างโปรแกรมเอเจนต์กับฟังก์ชันเอเจนต์ คือ เอเจนต์โปรแกรมจะมีการรับรู้เป็นอินพุต ส่วนฟังก์ชันเอเจนต์จะมีลำดับของการรับรู้เป็นอินพุต เอเจนต์โปรแกรมมีเพียงการรับรู้ในปัจจุบันเป็นอินพุตเนื่องจากไม่มีสิ่งอื่นในสภาพแวดล้อมที่สามารถใช้ได้ อีกถ้าการกระทำต่าง ๆ ของเอเจนต์ขึ้นอยู่กับลำดับการรับรู้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดพื้นฐานของโปรแกรมเอเจนต์ซึ่งเป็นรากฐานของเอเจนต์ที่ชาญฉลาดส่วนใหญ่ได้แก่

เอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่าย (Simple reflex agent)

เอเจนต์ชนิดนี้จะเลือกการกระทำบนพื้นฐานของการรับรู้ในปัจจุบัน โดยไม่สนใจการรับรู้ในอดีต เช่น เอเจนต์เครื่องดูดฝุ่นซึ่งการตัดสินใจของมันอยู่บนพื้นฐานของที่อยู่ในปัจจุบันกับความสกปรกของที่อยู่ของมัน เอเจนต์โปรแกรมชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 3.7

```
function SIMPLE-REFLEX-AGENT(percept) returns an action
  static: rules, a set of condition-action rules
```

```
  state <- INTERPRETE-INPUT(percept)
```

```
  rule <- RULE-MATCH(state, rules)
```

```
  action <- RULE-ACTION[rule]
```

```
  return action
```

รูปที่ 3.7 โปรแกรมของเอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่าย

ถ้าเราเป็นคนขับรถและเห็นรถคันข้างกำลังเบรกซึ่งสังเกตได้จากไฟเบรกที่สว่างขึ้นมาทำให้เราเริ่มต้นการเบรกด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่ามีการทำกระบวนการบางอย่างถูกกระทำและมีการรับรู้ผ่านทางกรมองเห็นมาสร้างเงื่อนไขที่เรียกว่า “รถคันหน้ากำลังเบรก” จากนั้นมีการกระตุ้นให้โปรแกรมเอเจนต์แสดงการกระทำ “เริ่มต้นเบรก” สิ่งนี้เรียกว่ากฎ Condition \rightarrow Action ซึ่งเขียนได้ดังนี้

if car-in-front-is-braking then initiate-braking

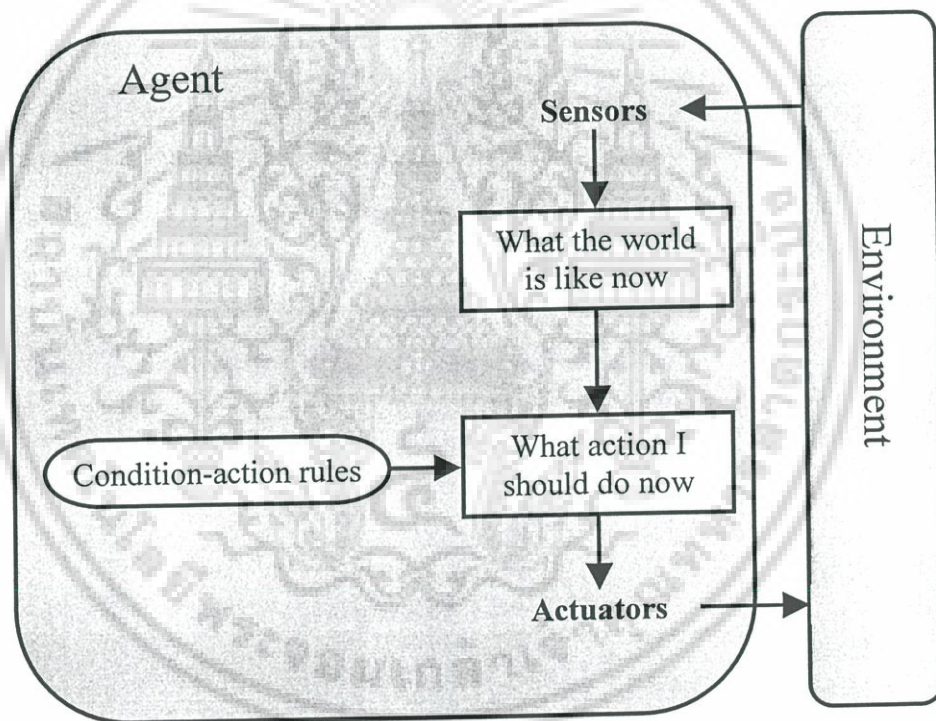
โปรแกรมในรูป 3.7 คือการระบุสำหรับสภาพแวดล้อมอันหนึ่งของเครื่องดูดฝุ่น วิธีการหนึ่งที่ชัดเจนกว่า คือ การสร้างตัวแปล (Interpreter) สำหรับกฎ Condition \rightarrow Action ขึ้นมาก่อน และจากนั้นสร้างเซตของกฎสำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงานนั้น รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างของโปรแกรมเอเจนต์โดยทั่วไปในรูปแบบแผนผังที่แสดงให้เห็นว่ากฎ Condition \rightarrow Action ทำให้เอเจนต์สามารถทำการจับคู่จากการรับรู้ไปสู่การกระทำได้ ประกอบกับโปรแกรมเอเจนต์ที่แสดงในรูป 3.7 มีฟังก์ชัน INTERPRETE-INPUT บรรยายนามธรรมของสถานะในปัจจุบันของสภาพแวดล้อมจากสิ่งที่รับรู้ และฟังก์ชัน RULE-MATCH ให้ผลลัพธ์เป็นกฎข้อแรกจากเซตของกฎที่พบว่าจับคู่ได้กับคำบรรยายสถานะนั้น

เอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่ายมีข้อดีในเรื่องความง่าย แต่มันกลับกลายเป็นข้อจำกัดอย่างมาก เพราะมันจะทำงานเฉพาะสถานการณ์ที่สามารถตัดสินใจได้เท่านั้น นั่นคือ

สภาพแวดล้อมแบบสังเกตได้ทุกส่วน (Fully observable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาของเอเจนต์เครื่องดูดฝุ่นคือ ถ้ามันมีตัวรับสัญญาณเพียงแค่บอกว่าพื้นสกปรกหรือไม่ และถ้ามันรับรู้ที่พื้นสกปรกมันจะดูดฝุ่น แต่ถ้าพื้นสะอาดมันจะทำอะไร ถ้ามันตัดสินใจเคลื่อนไปทางซ้ายในขณะที่มันอยู่ในจัตุรัส A ซึ่งอยู่ซ้ายสุดของโลกที่มันอยู่ก็จะเป็นความล้มเหลว หรือ เคลื่อนไปทางขวาในขณะที่มันอยู่ในจัตุรัส B ซึ่งอยู่ทางขวาสุดของโลกที่มันอยู่ก็เป็นความล้มเหลวอีกเช่นกันเพราะมันจะหลุดออกนอกโลก และจะทำให้โปรแกรมวนลูบไม่รู้จบ การหนีจากการวนลูบดังกล่าวทำได้โดยการให้เอเจนต์มีความสามารถในการสุ่ม (Randomize) การกระทำ ตัวอย่างเช่น ถ้าเอเจนต์รับรู้ที่พื้นสะอาด มันอาจจะสุ่มแบบการโยนเหรียญว่าจะเคลื่อนที่ไปทางไหนซึ่งมีโอกาสที่จะเคลื่อนไปถูกทางเป็นค่าเฉลี่ย 1 ใน 2 ครั้ง ดังนั้นการทำให้เอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่ายมีความสามารถในการสุ่มการกระทำ (Randomized simple reflex agent) จะทำงานได้ดีกว่าเอเจนต์ที่ตอบสนองตามรูปแบบที่กำหนดไว้แน่นอน (Deterministic simple reflex agent)



รูปที่ 3.8 โคอะแกรมแผนผังของเอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่าย

เอเจนต์ที่ตอบสนองโดยใช้โมเดล (Model-based reflex agent)

วิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการรับมือกับสภาพแวดล้อมแบบสังเกตได้บางส่วน (Partially observable) คือ ให้เอเจนต์เก็บร่องรอยส่วนของโลกที่มันไม่สามารถมองเห็นได้ในปัจจุบัน โดยที่เอเจนต์ต้องมีการเก็บรักษาสถานะภายใน (Internal state) ไว้บ้างซึ่งขึ้นอยู่กับประวัติการรับรู้และสามารถตอบสนองกับลักษณะที่ไม่สามารถสังเกตได้ในสถานะปัจจุบัน เช่นปัญหาเรื่องการ

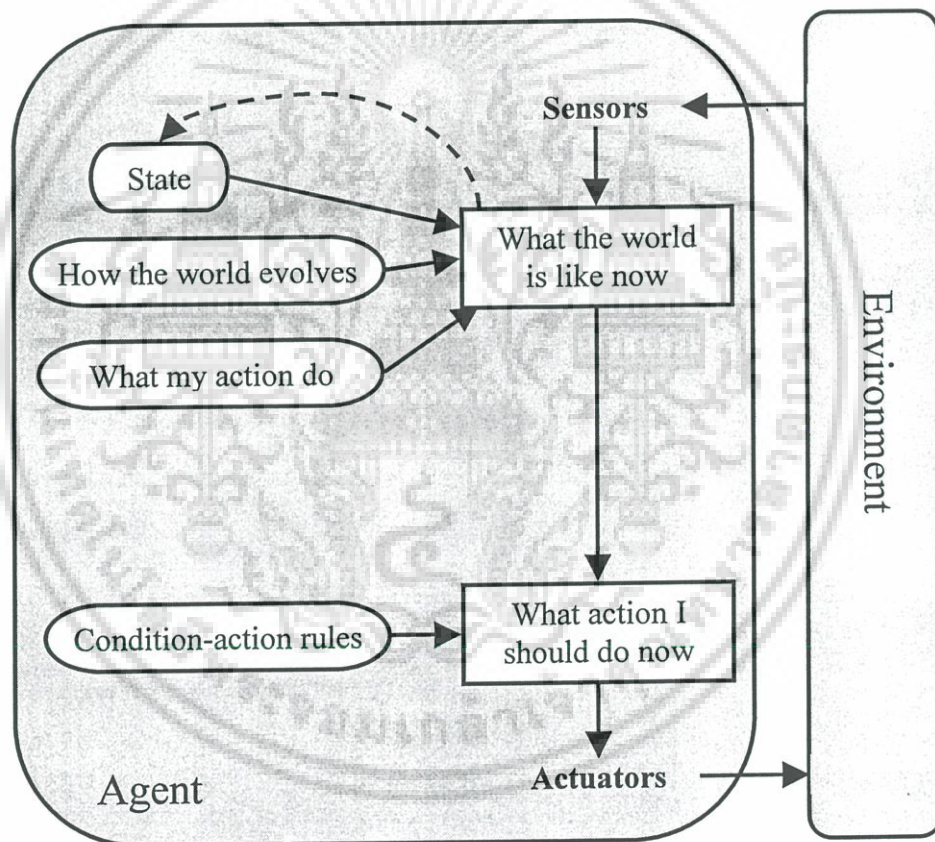
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **74824** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรกรด สามารถสร้างสถานะภายในได้โดยการใช้เฟรมก่อนหน้าของกล้องถ่ายรูป หรืออนุญาตให้เอเจนต์ตรวจจับอย่างต่อเนื่องว่าไฟสีแดงสองดวงทั้งสองด้านของรถคันหน้าติดหรือดับ

การปรับปรุงข้อมูลในสถานะภายในขณะที่เวลาค่าเนินไปต้องใช้ความรู้ 2 อย่าง คือ ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของโลกโดยอิสระปราศจากการกระทำของเอเจนต์ และข้อมูลที่บอกว่าการกระทำของเอเจนต์จะไปเปลี่ยนแปลงโลกให้เป็นอย่างไร ความรู้ที่เกี่ยวกับโลกว่ามันเปลี่ยนแปลงได้อย่างไร เรียกว่า โมเดล (Model) และเอเจนต์ที่ตอบสนองโดยใช้โมเดลนั้นจึงเรียกว่าโมเดลเบสเอเจนต์

รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างของเอเจนต์ที่มีสถานะภายใน แสดงให้เห็นว่าสิ่งที่รับรู้ในปัจจุบันร่วมกับสิ่งที่เก่าที่อยู่ในสถานะภายในเพื่อสร้างคำบรรยายใหม่ของสถานะในปัจจุบันได้อย่างไร



รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมแผนผังของเอเจนต์ที่ตอบสนองโดยใช้โมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function REFLEX-AGENT-WITH-STATE(percept) returns an action
  static: state, a description of the current world state
           rules, a set of condition-action rules
           action, the most recent action, initially none

  state <- UPDATE-STATE(state, action, percept)
  rule <- RULE-MATCH(state, rules)
  action <- RULE-ACTION[rule]

  return action

```

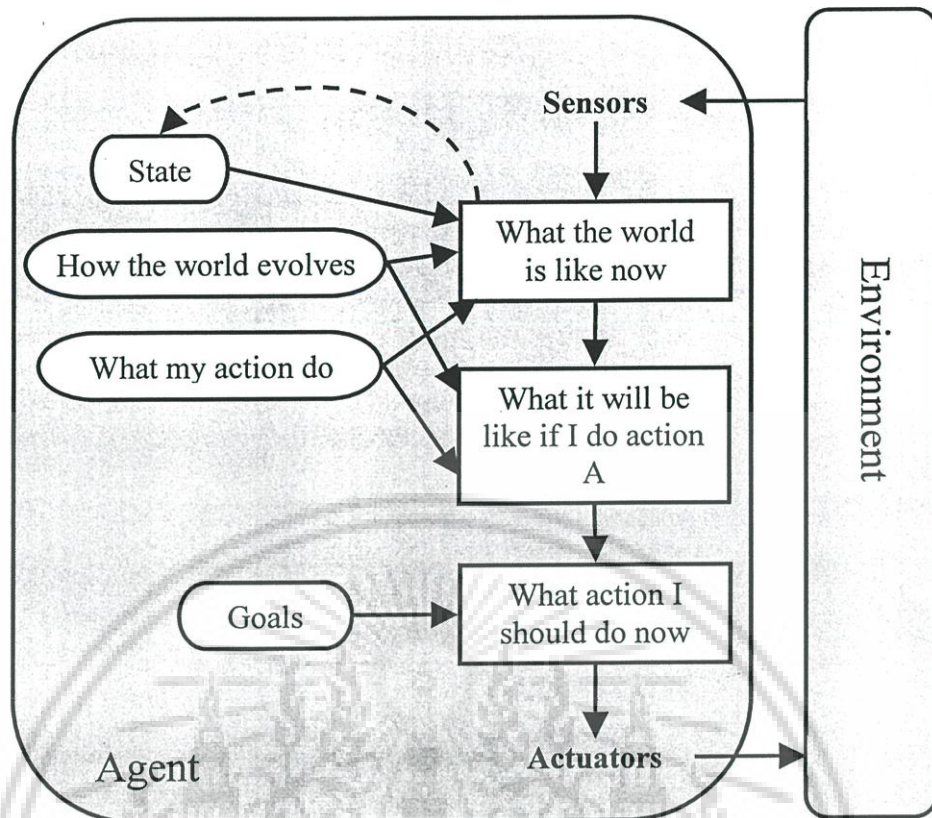
รูปที่ 3.10 โปรแกรมของเอเจนต์ที่ตอบสนองโดยใช้โมเดล

โปรแกรมเอเจนต์นี้แสดงในรูปที่ 3.10 โดยส่วนที่น่าสนใจคือ ฟังก์ชัน UPDATE-STATE ซึ่งรับผิดชอบในการสร้างคำบรรยายสถานะภายในใหม่ ในการแปลสิ่งที่รับรู้ใหม่เพียงเล็กน้อยกับความรู้ที่มีอยู่เกี่ยวกับสถานะ มันจะใช้ข้อมูลที่บอกเกี่ยวกับเปลี่ยนแปลงของโลกเพื่อติดตามร่องรอยของส่วนที่มองไม่เห็นในโลก และต้องรู้ด้วยการกระทำของเอเจนต์ไปทำอะไรกับโลก

เอเจนต์ที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมาย (Goal-based agent)

การที่รู้เกี่ยวกับสถานะปัจจุบันของสภาพแวดล้อมอาจจะไม่เพียงพอเสมอไปที่จะตัดสินใจว่าจะทำอะไร ตัวอย่างเช่น ที่ 4 แยก รถแท็กซี่ที่สามารถเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หรือตรงไปก็ได้ การตัดสินใจที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับเป้าหมายที่แท็กซี่จะเดินทางไป ดังนั้นโปรแกรมเอเจนต์จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับเป้าหมายของการกระทำที่บรรยายได้ว่าสถานการณ์ตอนนี้เป็นที่พอใจหรือยัง พร้อม ๆ กับทราบคำบรรยายสถานะในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น รถแท็กซี่กำลังจะถึงเป้าหมายของผู้โดยสาร โปรแกรมเอเจนต์ต้องสามารถรวมข้อมูลนี้กับข้อมูลเกี่ยวกับผลลัพธ์ของการกระทำเพื่อที่จะเลือกการกระทำที่ช่วยให้บรรลุเป้าหมาย รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างของเอเจนต์ที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมาย

เอเจนต์ที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมายจะมีความยืดหยุ่นเนื่องจากความรู้ที่สนับสนุนการตัดสินใจของมันถูกแทนอย่างชัดเจนและสามารถแก้ไขได้ เช่น ถ้าฝนเริ่มตก เอเจนต์จะปรับปรุงความรู้ของมันว่าจะเบรกอย่างไรให้ดีที่สุด ความรู้นี้อาจจะทำให้พฤติกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ใหม่ ในขณะที่เอเจนต์ที่มีการตอบสนองอย่างง่ายต้องเขียนกฎใหม่ถ้าสภาพแวดล้อมแตกต่างไปจากเดิม



รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมแผนผังของเอเจนต์ที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมาย

3.2.2 เอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้

ความรู้และเหตุผลเป็นสิ่งสำคัญของเอเจนต์ เพราะมันทำให้พฤติกรรมของเอเจนต์ ประสบผลสำเร็จได้ ความรู้เกี่ยวกับผลลัพธ์ที่เกิดจากการกระทำ สามารถทำให้เอเจนต์แก้ปัญหา ได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามความรู้ในการแก้ปัญหของเอเจนต์นั้นยังจำเพาะ เจาะจงและไม่ยืดหยุ่น เช่น โปรแกรมหมากรุกสามารถคำนวณตำแหน่งการเดินหมากที่ถูกต้องได้ แต่มันไม่รู้ว่าหมากตัวใดตัวหนึ่งไม่สามารถอยู่ในสองตำแหน่งที่ต่างกันในเวลาเดียวกันได้ ดังนั้น เอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้สามารถได้ประโยชน์จากความรู้ที่แสดงอยู่ในรูปแบบทั่วไป ซึ่งมีการรวม ข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับจุดมุ่งหมายจำนวนมาก

ความรู้และเหตุผลมีบทบาทที่สำคัญในสิ่งแวดล้อมที่สังเกตได้เพียงบางส่วน เอเจนต์ที่ใช้ ฐานความรู้สามารถรวมความรู้ในอดีตเข้ากับสิ่งที่รับรู้ในปัจจุบัน เพื่ออนุมานลักษณะที่ซ่อนอยู่ เกี่ยวกับสถานะของสภาพแวดล้อมในปัจจุบันก่อนที่จะเลือกการกระทำต่อไป ตัวอย่างเช่น เมื่อ หมอตรวจคนไข้ ถือว่าเป็นการอนุมานสถานะของโรค ซึ่งสังเกตไม่ได้โดยตรง ก่อนที่จะหาวิธี รักษา

องค์ประกอบที่เป็นศูนย์กลางของเอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้ คือ ฐานความรู้ (Knowledge base) ของมัน ความหมายของฐานความรู้ในที่นี้ คือ กลุ่มของประโยค และประโยคในที่นี้คนละ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายกับประโยคในภาษาอังกฤษหรือภาษาธรรมชาติ แต่ละประโยคถูกแสดงด้วยภาษาที่เรียกว่า ภาษาแทนความรู้ (Knowledge representation language) และเป็น การแทนการวินิจฉัย (Assertion) บางอย่างเกี่ยวกับโลก

มีหนทางในการนำความรู้ใหม่เข้าสู่ฐานความรู้และการสอบถามความรู้จากฐานความรู้ ชื่อมาตรฐานของการกระทำนี้คือ TELL และ ASK ตามลำดับ ทั้งสองอย่างอาจจะต้องเกี่ยวข้องกับ การอนุมาน (Inference) คือการได้มาของประโยคใหม่จากประโยคเก่า ในลอจิกคอลเอเจนต์ (Logical agent) การอนุมานจะต้องตอบสนองต่อความต้องการพื้นฐานที่ว่า เมื่อมีใครถามคำถาม เกี่ยวกับฐานความรู้ คำตอบต้องเป็นไปตามสิ่งที่ได้รับการบอกมาในอดีต

รูปที่ 3.12 แสดงเค้าโครงของโปรแกรมเอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้ มันใช้การรับรู้เป็นอินพุต และให้เอาต์พุตเป็นการกระทำเหมือนกับเอเจนต์ทั่วไป เอเจนต์จะรักษาฐานความรู้ไว้ ซึ่งอาจจะมี ความรู้บางส่วนอยู่แล้วในตอนเริ่มต้นเรียกว่าความรู้พื้นฐาน (Background knowledge) ทุกครั้งที่ โปรแกรมเอเจนต์ถูกเรียกมันทำงาน 2 อย่าง คือ การบอกฐานความรู้ที่ได้รับรู้จะไรมา และการ ถามฐานความรู้ว่าควรแสดงการกระทำอะไร ในกระบวนการตอบคำถามอาจจะมี การหาเหตุผล อย่างแพร่หลายเกี่ยวกับสถานะปัจจุบันของโลก ผลลัพธ์ของลำดับการกระทำที่เป็นไปได้ ฯลฯ เมื่อการกระทำถูกเลือกเอเจนต์จะบันทึกสิ่งที่มันเลือกด้วยคำสั่ง TELL และแสดงการกระทำนั้น และในการ TELL ลำดับต่อมาเป็นการบอกฐานความรู้ให้ทราบว่าการกระทำนั้น ได้ถูกกระทำแล้ว

```

function KB-Agent (percept) return an action
  static: KB, a knowledge base
         t, a counter, initially 0, indicating time
  TELL(KB, Make-Percept-Sentence(percept, t))
  action <- ASK(KB, Make-Action-Query(t))
  TELL(KB, Make-Percept-Sentence(action, t))
  t <- t+1
  return action

```

รูปที่ 3.12 เอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้โดยทั่วไป

รายละเอียดของภาษาแทนความรู้ถูกซ่อนไว้ในฟังก์ชันทั้งสองซึ่งเป็นการสร้างการติดต่อ (Interface) ระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวกระทำ การ และระหว่างตัวแกนหลักของการแทนกับระบบอนุมาน ส่วนของฟังก์ชันที่ชื่อว่า Make-Percept-Sentence ได้รับประโยคและเวลา และมันให้ผลลัพธ์เป็นการเพิ่มข้อมูลใหม่ลงในฐานความรู้ว่าเอเจนต์มีการรับรู้ข้อมูลดังกล่าวในเวลาทีระบุ สำหรับส่วนที่ชื่อว่า Make-Action-Query รับเวลาเป็นอินพุตและให้ผลลัพธ์เป็นประโยคที่ถามว่าการกระทำตัวไหนควรจะถูกเลือกมากระทำตามเวลาที่ระบุมาในคำถาม

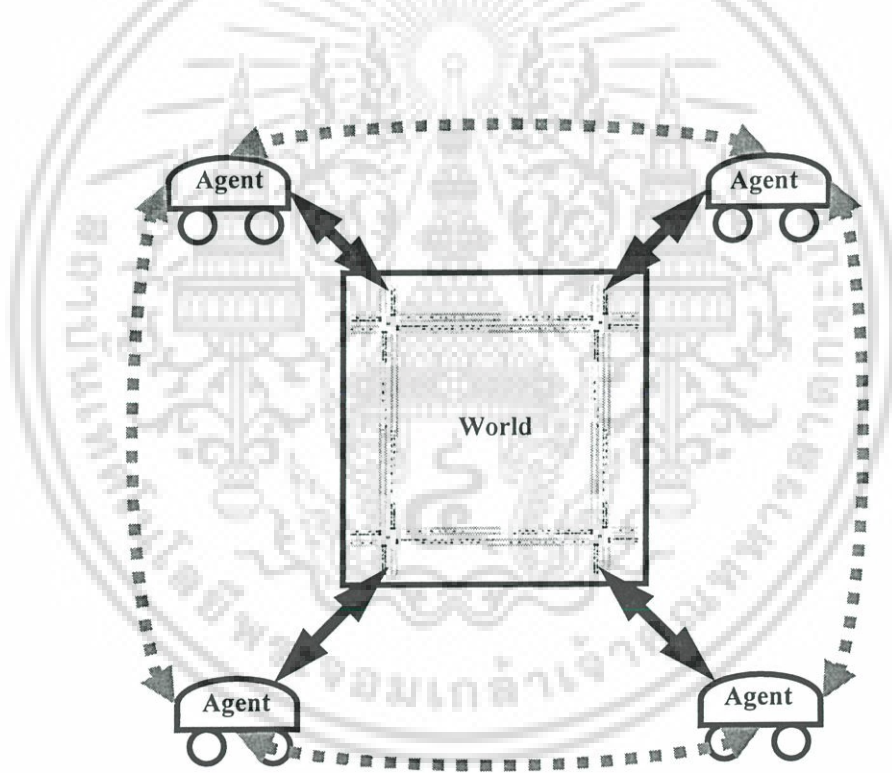
เอเจนต์ที่ใช้ฐานความรู้จะรับผิดชอบการบรรยายในระดับความรู้ (Knowledge level) นั่นคือเราระบุเพียงแค่สิ่งใดที่เอเจนต์รู้และอะไรบ้างที่เป็นเป้าหมายของมันเพื่อควบคุมพฤติกรรมมันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น รถแท็กซี่อัตโนมัติมีเป้าหมายในการพาผู้โดยสารไปที่พุทธมณฑลสาย 4 และรู้ว่ามันอยู่ที่สนามหลวงและสะพานพระปิ่นเกล้าเป็นเส้นทางเดียวที่เชื่อมระหว่างสองสถานที่นี้ เราสามารถคาดหวังได้ว่ารถแท็กซี่จะข้ามสะพานพระปิ่นเกล้าเพราะมันรู้ว่าจะนำพามันไปสู่เป้าหมายได้

3.2.3 ระบบมัลติเอเจนต์ (Multi-Agent System)

เป็นการทำงานของกลุ่มเอเจนต์ที่มีจุดประสงค์ร่วมกันในการแก้ปัญหาหลักเดียวกันซึ่งไม่สามารถกระทำได้ด้วยเอเจนต์เพียงตัวเดียว ซึ่งอาศัยกลไกการทำงานที่สำคัญ 2 ประการดังนี้

- Collaborative เป็นกลไกในการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์ในระบบเพื่อทำให้เกิดการทำงานที่เป็นระบบและบรรลุเป้าหมาย
- Communication เป็นกลไกที่สนับสนุนการทำงานแบบ Collaborative ในการเจรจาต่อรองระหว่างเอเจนต์เพื่อโต้ตอบและแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารซึ่งกันและกัน



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างระบบมัลติเอเจนต์

การศึกษาปัญหาในงานวิจัยของเรานั้นใช้ระบบมัลติเอเจนต์ซึ่งลักษณะของเอเจนต์แต่ละตัวเป็นแบบมีการตอบสนองโดยใช้โมเดลและมีการใช้ฐานความรู้ในการเลือกการกระทำ สำหรับสภาพแวดล้อมหรือโลกของเอเจนต์นั้นเป็นแบบสังเกตได้บางส่วนและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง กลุ่มเอเจนต์ของเราจะทำงานร่วมกันโดยมีการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลในส่วนที่ตัวมันไม่สามารถสังเกตได้เพื่อนำมาเป็นส่วนประกอบในการวินิจฉัยเพื่อเลือกการกระทำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส

จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบผู้เชี่ยวชาญใน [13] ได้กล่าวถึงระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบสไว้ดังนี้ ในปี ค.ศ. 1970 มีการยอมรับว่าการที่จะให้เครื่องจักรแก้ปัญหาที่ต้องใช้ปัญญานั้นมันจะต้องรู้วิธีการแก้ปัญหา หรือต้องมีความรู้ในขอบเขตที่จำเพาะเจาะจง โดยทั่วไปแล้วความรู้ก็คือหลักทฤษฎีหรือหลักปฏิบัติที่มีความเข้าใจในสาขาวิชาหรือในขอบเขตของเรื่องราวนั้น ๆ ความรู้เป็นการรวมกันของสิ่งที่รู้ในปัจจุบัน ผู้ที่มีความรู้เรียกว่า ผู้เชี่ยวชาญ เป็นบุคคลที่มีความสำคัญในองค์กร

บุคคลที่จะถือว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องใด ๆ นั้นจะต้องมีความรู้อย่างลึกซึ้ง (ทั้งข้อเท็จจริงและกฎ) มีประสบการณ์ในทางปฏิบัติในขอบเขตของเรื่องราว นั้น ซึ่งขอบเขตของเรื่องราวเหล่านั้นก็มีจำกัด เช่น ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครื่องกลไฟฟ้า ก็จะมีความรู้เฉพาะในเรื่องของหม้อแปลง ในขณะที่ผู้เชี่ยวชาญทางการตลาดประกันชีวิตอาจมีความเข้าใจเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับนโยบายของการประกันอสังหาริมทรัพย์ สรุปแล้วผู้เชี่ยวชาญคือผู้ที่มีทักษะอย่างสูงที่สามารถทำในสิ่งที่คนทั่วไปไม่สามารถทำได้

ผู้เชี่ยวชาญส่วนมากจะมีความสามารถในการแสดงความรู้ของตนเองออกมาในรูปแบบของกฎสำหรับการแก้ปัญหา พิจารณาจากตัวอย่างง่าย ๆ สมมติว่าเราได้พบกับมนุษย์ต่างดาวที่เพิ่งมาเยือนโลกเป็นครั้งแรก และเขาต้องการข้ามถนน เราสามารถช่วยได้หรือไม่ โดยที่เราเป็นผู้เชี่ยวชาญในการข้ามถนนเนื่องจากทำงานในด้านนี้มานานหลายปี ดังนั้นถ้าเราจะสอนมนุษย์ต่างดาวเกี่ยวกับการข้ามถนนให้เราได้เราจะทำอย่างไร

เราสามารถอธิบายมนุษย์ต่างดาวว่าเขาสามารถข้ามถนนได้อย่างปลอดภัยเมื่อสัญญาณไฟสำหรับคนข้ามถนนเป็นสีเขียว และต้องหยุดรอก่อนถ้าสัญญาณไฟดังกล่าวยังเป็นสีแดง ดังนั้นเราสามารถแทนความรู้เรื่องการข้ามถนนให้เป็นกฎง่าย ๆ ดังต่อไปนี้

IF	the 'traffic light' is green	THEN	the action is go
IF	the 'traffic light' is red	THEN	the action is stop

รูปที่ 3.14 กฎสำหรับการข้ามถนนที่ปลอดภัย

ประโยคที่ถูกแทนอยู่ในรูป IF-THEN เรียกว่า “กฎการผลิต” (production rule) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า “กฎ” (rule) ในปัญญาประดิษฐ์ กฎเป็นการแทนความรู้ชนิดหนึ่งที่ถูกใช้โดยแพร่หลาย มีรูปแบบเป็น IF-THEN ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อเท็จจริงในส่วน IF และการกระทำในส่วน THEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 เทคนิคการแทนความรู้ด้วยกฎ

กฎใดก็ตามจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วน IF ซึ่งเรียกว่าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นก่อนหรือเงื่อนไข (antecedent) และส่วน THEN เป็นผลสืบเนื่อง (consequent) หลักไวยากรณ์ง่าย ๆ ของกฎคือ

```
IF    <antecedent>
THEN <consequent>
```

รูปที่ 3.15 ไวยากรณ์ของกฎ

โดยทั่วไปแล้วกฎสามารถมีได้หลาย ๆ เงื่อนไข โดยแต่ละเงื่อนไขถูกเชื่อมกันด้วย “และ” และ/หรือ “หรือ”

```
IF    <antecedent 1>
AND  <antecedent 2>
.
.
AND  <antecedent n>
THEN <consequent>

IF    <antecedent 1>
OR   <antecedent 2>
.
.
OR   <antecedent n>
THEN <consequent>
```

รูปที่ 3.16 กฎที่มีเงื่อนไขมากกว่า 1

ในการทำงานเดียวกันผลสืบเนื่องก็สามารถมีได้มากกว่า 1 เช่นกัน

```
IF    <antecedent>
THEN <consequent 1>
     <consequent 2>
     .
     .
     <consequent n>
```

รูปที่ 3.17 กฎที่มีผลสืบเนื่องมากกว่า 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสืบค้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็นเงื่อนไขของกฎประกอบด้วยส่วนย่อยอีก 2 ส่วนคือ ออบเจกต์ (object) และ ค่า (value) ของมัน ในตัวอย่างการข้ามถนนนั้น ออบเจกต์คือสัญญาณไฟสำหรับคนข้ามถนนซึ่งสามารถมีค่าเป็นสีเขียวหรือสีแดง ออบเจกต์และค่าสัมพันธ์กันด้วย โอเปอเรเตอร์ (operator) โดยโอเปอเรเตอร์จะทำหน้าที่ระบุออบเจกต์และกำหนดค่าให้กับออบเจกต์ ตัวอย่างของโอเปอเรเตอร์บางตัว เช่น is, are, is not, are not ใช้สำหรับกำหนดค่าที่เป็นสัญลักษณ์ให้กับออบเจกต์ แต่ในระบบผู้เชี่ยวชาญยังสามารใช้โอเปอเรเตอร์ทางคณิตศาสตร์กำหนดออบเจกต์ให้เป็นชนิดตัวเลข และกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้มันได้ด้วย ดังตัวอย่าง

```
IF    'age of the customer' < 18
AND  'cash withdrawal' > 1000
THEN 'signature of the parent' is required
```

รูปที่ 3.18 การระบุออบเจกต์ให้เป็นชนิดตัวเลขและการกำหนดค่า

ในการทำงานเดียวกันกับเงื่อนไข ส่วนผลสืบเนื่องของกฎก็สามารถเชื่อมออบเจกต์กับค่าของมันด้วยโอเปอเรเตอร์ได้เหมือนกัน ดังในตัวอย่างของการข้ามถนน ถ้าค่าของ สัญญาณไฟสำหรับคนข้ามถนน เป็น สีเขียว แล้วกฎข้อที่ 1 กำหนดให้ออบเจกต์ที่ชื่อว่า การกระทำ มีค่าเท่ากับข้ามถนน ออบเจกต์ที่เป็นชนิดตัวเลขและการแสดงเครื่องหมายหรือสูตรเกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายสามารถนำมาใช้ในผลสืบเนื่องของกฎได้เช่นกัน ดังตัวอย่าง

```
IF    'taxable income' > 13914
THEN 'Medicare levy' = 'taxable income' * 1.5 / 100
```

รูปที่ 3.19 ออบเจกต์ชนิดตัวเลขและการแสดงเครื่องหมายหรือสูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์

Relation	
IF	the 'fuel tank' is empty
THEN	the car is dead
Recommendation	
IF	the season is autumn
AND	the sky is cloudy
AND	the forecast is drizzle
THEN	the advice is 'take an umbrella'
Directive	
IF	the car is dead
AND	the 'fuel tank' is empty
THEN	the action is 'refuel the car'
Strategy	
IF	the car is dead
THEN	the action is 'check the fuel tank'; step 1 is complete
IF	step 1 is complete
AND	the 'fuel tank' is full
THEN	the action is 'check the battery'; step 2 is complete
Heuristic	
IF	the spill is liquid
AND	the 'spill PH' < 6
AND	the 'spill smell' is vinegar
THEN	the 'spill material' is 'acetic acid'

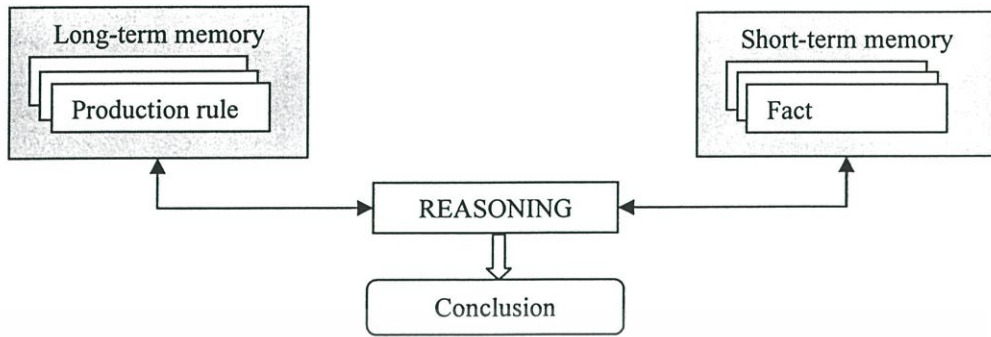
รูปที่ 3.20 กฎที่ใช้แทนสิ่งต่าง ๆ

กฎสามารถใช้แทน ความสัมพันธ์ (relation) คำแนะนำ (recommendation) คู่มือ (directive) ยุทธศาสตร์ (strategy) และ ฮิวริสติก (Heuristic) ดังรูปที่ 3.20

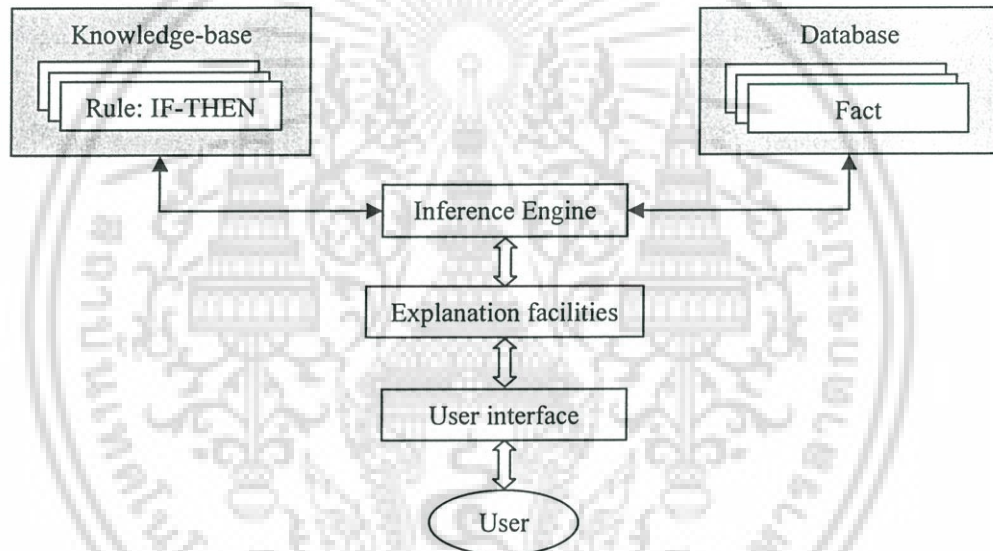
3.3.2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส

ในช่วงต้น ค.ศ. 1970 Newell และ Simon แห่งมหาวิทยาลัย Carnegie-Mellon ได้นำเสนอรูปแบบระบบการผลิต (production system model) ซึ่งเป็นพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบสสมัยใหม่ รูปแบบของการผลิตตั้งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดที่ว่ามนุษย์แก้ไขปัญหาโดยการประยุกต์ความรู้ที่แสดงอยู่ในรูปของกฎการผลิตและนำไปหาคำตอบจากข้อมูลจำเพาะของปัญหานั้น กฎการผลิตถูกจัดเก็บอยู่ในหน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ส่วนข้อมูลจำเพาะหรือข้อเท็จจริงของปัญหานั้นถูกจัดเก็บอยู่ในหน่วยความจำระยะสั้น (short-term memory) รูปที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.21 และ 3.22 แสดงรูปแบบระบบการผลิตและโครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส ตามลำดับ



รูปที่ 3.21 รูปแบบระบบการผลิต



รูปที่ 3.22 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส

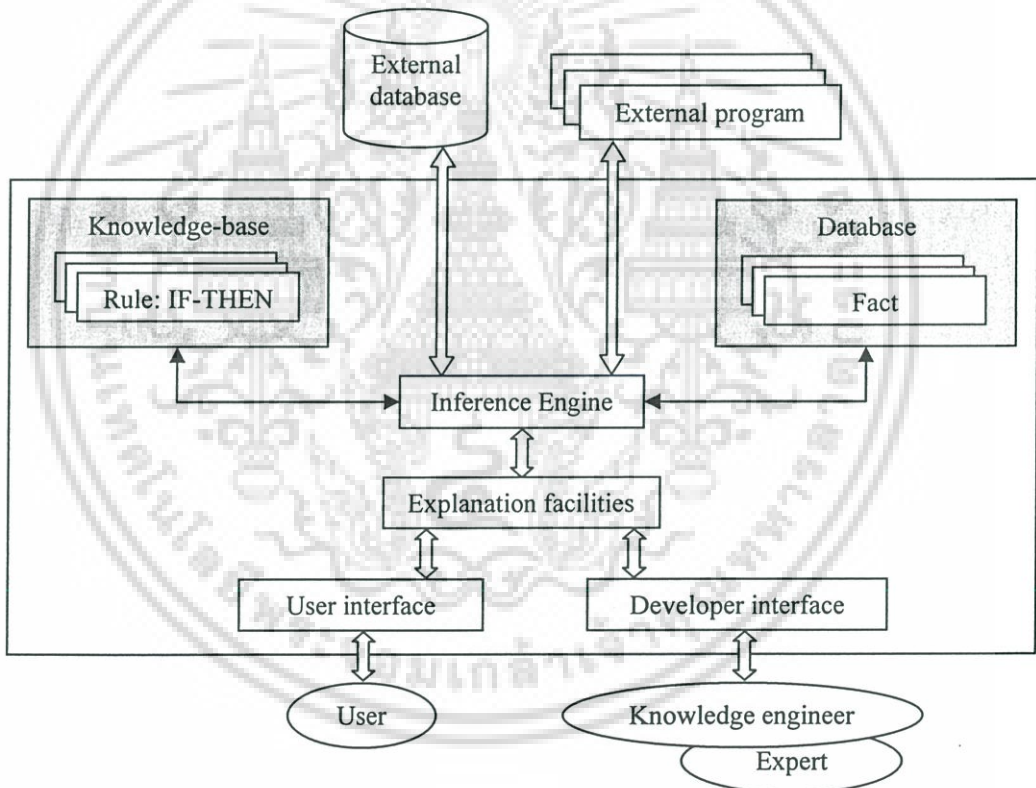
ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบสมีองค์ประกอบ 5 ส่วน คือ ส่วนฐานความรู้ (knowledge base) ส่วนฐานข้อมูล (database) ส่วนกลไกอนุมาน (inference engine) ส่วนอำนวยความสะดวกในการอธิบาย (explanation facilities) และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) อธิบายได้ดังนี้

- ฐานความรู้ประกอบด้วยความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการแก้ปัญหา ในระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบสนั้น ส่วนความรู้จะถูกแทนด้วยเซตของกฎ IF-THEN
- ฐานข้อมูลประกอบด้วยกลุ่มของข้อเท็จจริงที่ถูกใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขของกฎที่เก็บอยู่ในฐานความรู้
- กลไกอนุมานทำหน้าที่หาเหตุผลที่จะทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญได้คำตอบของปัญหา โดยใช้กฎที่อยู่ในฐานความรู้กับข้อเท็จจริงที่อยู่ในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนอำนวยความสะดวกในการอธิบาย ทำให้ผู้ใช้สามารถสามารถถามระบบผู้เชี่ยวชาญได้ว่าข้อสรุปนั้นได้มาอย่างไร และทำไมข้อเท็จจริงบางอย่างถึงมีความจำเป็น ระบบผู้เชี่ยวชาญต้องสามารถอธิบายได้ว่าหาข้อสรุปได้อย่างไร และพิสูจน์ได้ว่าคำแนะนำ ข้อสรุป หรือผลการวิเคราะห์นั้นถูกต้อง
- ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เป็นส่วนใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ การสื่อสารดังกล่าวต้องมีความสำคัญและสะดวกที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

นอกจากนี้ระบบผู้เชี่ยวชาญยังมีส่วนของการติดต่อภายนอก (External interface) เพื่อเป็นการยินยอมให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถทำงานร่วมกับเพิ่มข้อมูลภายนอกหรือโปรแกรมภายนอกที่เขียนด้วยภาษา ซี ปาสคาล ฟอรัทเรน และเบสิก รวมทั้งส่วนติดต่อกับผู้พัฒนา (Developer interface) โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ตัวแก้ไขฐานความรู้ (knowledge base editor) รูปที่ 3.23 แสดงโครงสร้างที่สมบูรณ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส

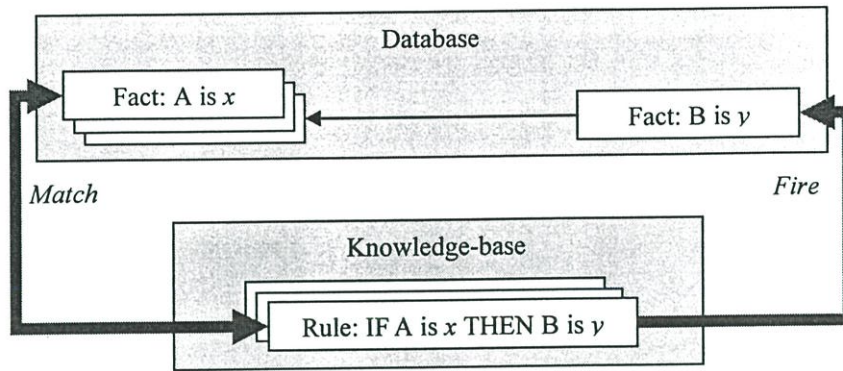


รูปที่ 3.23 โครงสร้างที่สมบูรณ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส

3.3.3 เทคนิคการอนุมาน

ในระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบส ความรู้จะถูกแทนอยู่ในรูปของกฎ IF-THEN และข้อมูลจะถูกแทนอยู่ในรูปของข้อเท็จจริงเกี่ยวกับสถานการณ์ในปัจจุบัน กลไกอนุมานจะจับคู่แต่ละกฎที่จัดเก็บอยู่ในฐานความรู้กับข้อเท็จจริงที่อยู่ในฐานข้อมูลเมื่อเงื่อนไขของกฎตรงกับข้อเท็จจริงของกฎ กฎก็จะถูกไฟร์ (fire) โดยที่ส่วนที่เป็นผลสืบเนื่องก็จะถูกลงมือกระทำ ดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติ โดยที่ส่วนที่เป็นผลสืบเนื่องก็จะถูกลงมือกระทำ ดังรูปที่ 3.24 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



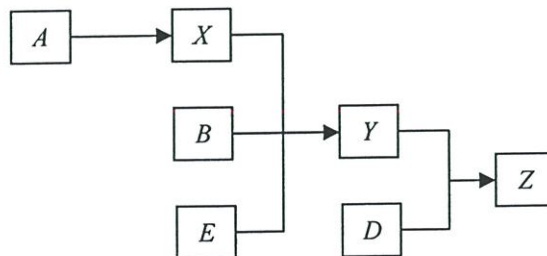
รูปที่ 3.24 วัฏจักรการทำงานแบบ match-fire ของกลไกอนุมาน

การจับคู่เงื่อนไขของกฎกับข้อเท็จจริงทำให้เกิด ลำดับของการอนุมาน (Inference chains) ซึ่งเป็นสิ่งที่บอกว่าระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถหาข้อสรุปได้อย่างไร ตัวอย่างง่าย ๆ ของการเกิดลำดับการอนุมานมีดังนี้

สมมุติในตอนเริ่มต้นฐานข้อมูลมีข้อเท็จจริง A B C D และ E ส่วนในฐานความรู้ประกอบด้วยกฎ 3 กฎ ดังนี้

- | | |
|--|--|
| <p>Rule 1: IF Y is true
 AND D is true
 THEN Z is true</p> | <p>Rule 2: IF X is true
 AND B is true
 AND E is true
 THEN Y is true</p> |
| <p>Rule 3: IF A is true
 THEN X is true</p> | |

ลำดับการอนุมานในรูปที่ 3.25 แสดงถึงการใช้กฎของระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่ออนุมานข้อเท็จจริง Z ในลำดับแรกกฎที่ 3 จะถูกไฟร์เพื่ออนุมาน X จาก A ที่มีอยู่แล้วในฐานข้อมูล จากนั้นกฎที่ 2 จะถูกไฟร์เพื่ออนุมาน Y จาก B และ E ที่มีอยู่แล้วในฐานข้อมูลตั้งแต่ตอนแรก และ X ที่เพิ่งจะถูกเพิ่มเข้ามาจากการไฟร์กฎที่ 3 สุดท้ายกฎที่ 1 จะถูกไฟร์และสามารถอนุมาน Z ได้ จากข้อเท็จจริง D ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้นและ Y ที่ถูกเพิ่มเข้าไปด้วยกฎข้อที่ 2



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างของลำดับการอนุมาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกอนุมานต้องตัดสินใจว่าจะเลือกไฟร์กฎไหน ซึ่งมีหลักการทำงานอยู่ 2 วิธีคือ การวินิจฉัยไปข้างหน้า (forward chaining) กับการวินิจฉัยย้อนหลัง (backward chaining)

3.3.4 เทคนิคการอนุมานแบบการวินิจฉัยไปข้างหน้า

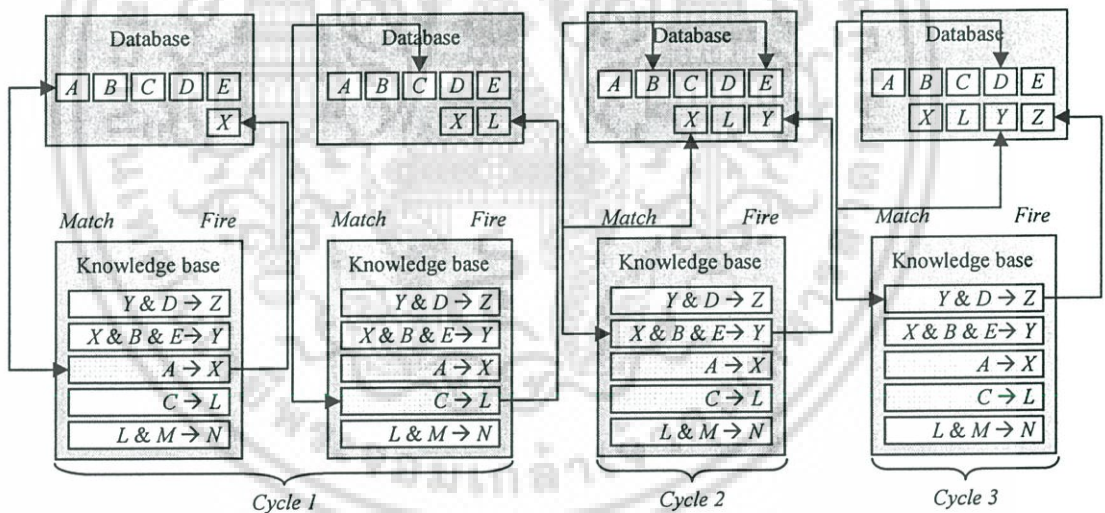
จากตัวอย่างที่กล่าวมาเป็นการอนุมานแบบการวินิจฉัยไปข้างหน้า ต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติม หากนำกฎในตัวอย่างมาเขียนใหม่ ดังนี้

Rule 1: $Y \& D \rightarrow Z$
 Rule 2: $X \& B \& E \rightarrow Y$
 Rule 3: $A \rightarrow X$

เครื่องหมายลูกศรแทน IF และ THEN ของกฎ จากนั้นเราเพิ่มกฎอีก 2 ข้อ

Rule 4: $C \rightarrow L$
 Rule 5: $L \& M \rightarrow N$

รูปที่ 3.26 แสดงการวินิจฉัยไปข้างหน้าสำหรับตัวอย่างนี้



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการทำงานของกรวินิจฉัยไปข้างหน้า

เทคนิคการวินิจฉัยไปข้างหน้าคือการรวบรวมข้อเท็จจริงจากฐานข้อมูลแล้วนำมาอนุมาน โดยการพิจารณาว่าข้อเท็จจริงตัวใดสามารถอนุมานได้บ้าง อย่างไรก็ตามในการวินิจฉัยไปข้างหน้าอาจจะมีบางกฎที่ไฟร์แล้วไม่ได้เกิดผลอะไรกับการค้นหาเป้าหมายเลยก็ได้ ดังเช่นในตัวอย่างที่ผ่านมา เรามีกฎอยู่ 5 กฎ จะเห็นว่าเมื่อกฎข้อที่ 4 ($C \rightarrow L$) ถูกไฟร์ไปด้วยกันกับกฎอื่นๆ แต่ผลลัพธ์ที่ได้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเป้าหมายที่เราต้องการเลย ซึ่งเป้าหมายของเราคือการหาข้อเท็จจริง Z ในระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรูลเบสจริงนั้นอาจจะมีกฎมากมายนับร้อยกฎ ในจำนวนนี้อาจมีหลายกฎที่ไฟร์แล้วได้ข้อเท็จจริงที่มีเหตุผลแต่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับเป้าหมายเลย ดังนั้นถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หากมีการนำออกไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป้าหมายเป็นเพียงส่วนหนึ่งของข้อเท็จจริงการใช้การวินิจฉัยไปข้างหน้าอาจจะไม่ได้ ประสิทธิภาพที่ตํานัก ในสถานการณ์เช่นนี้การใช้การวินิจฉัยย้อนหลังจะเหมาะสมกว่า

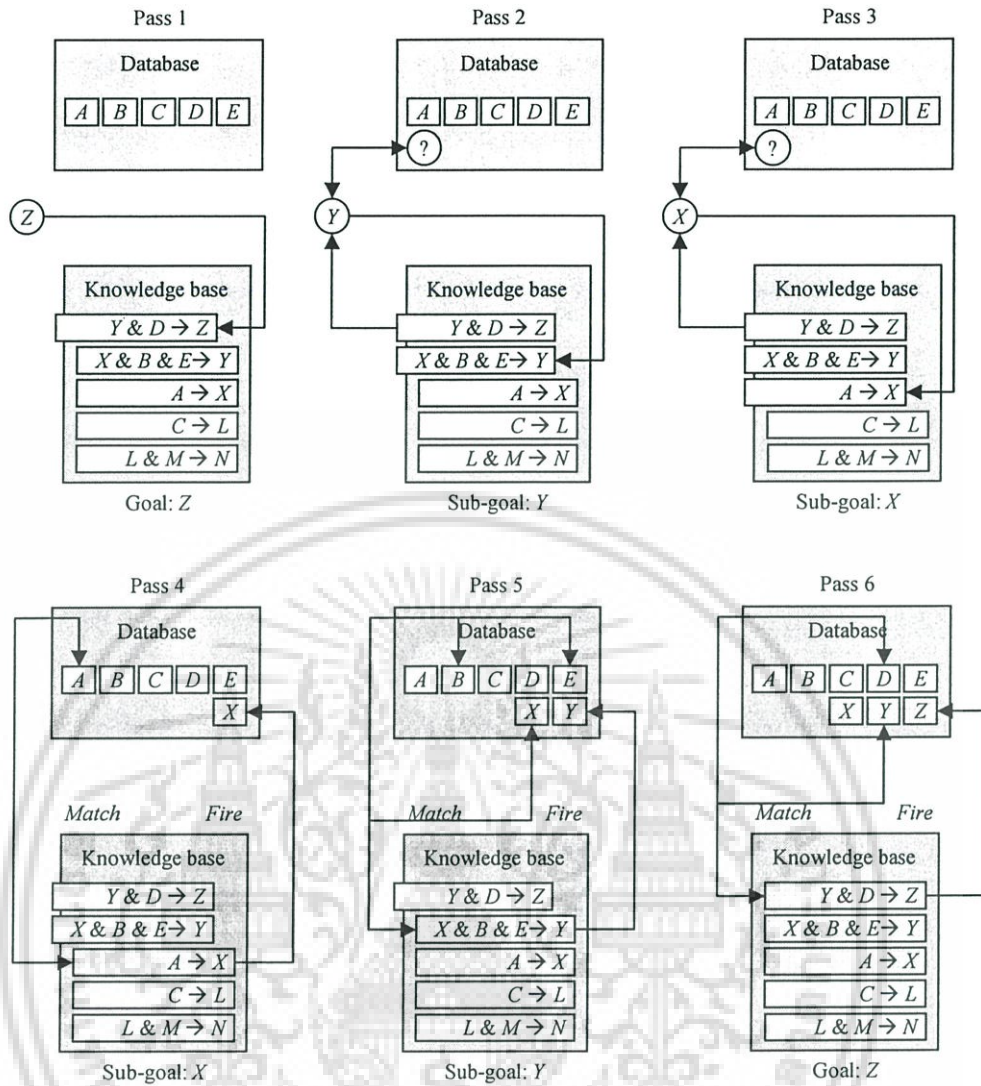
3.3.5 เทคนิคการอนุมานแบบการวินิจฉัยย้อนหลัง

ในการวินิจฉัยย้อนหลังระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีเป้าหมายหรือสมมุติฐานอยู่และกลไก อนุมานจะพยายามหาหลักฐานมาพิสูจน์เป้าหมายหรือสมมุติฐานนั้น ในลำดับแรกฐานความรู้จะ ถูกค้นหา เพื่อพิจารณาว่ามีกฎใดบ้างที่มีสมมุติฐานอยู่ในส่วนที่เป็นผลสืบเนื่องของกฎ หรือส่วน THEN ของกฎ ถ้ามีการค้นพบกฎดังกล่าวและส่วนเงื่อนไข หรือส่วน IF ของกฎตรงกับข้อเท็จจริง ในฐานข้อมูล กฎนั้นก็จะถูกไฟร์และสมมุติฐานนั้นก็จะได้รับการพิสูจน์แล้วว่าจริง แต่อย่างไรก็ตามการค้นพบข้อเท็จจริงที่สนับสนุนสมมุติฐาน ไม่ได้เกิดขึ้นในครั้งแรกที่ไฟร์กฎ ดังนั้นกลไก อนุมานจะทำการเก็บกฎที่มันกำลังใช้งานอยู่เอาไว้ในสแตก (stack) ก่อนแล้วกำหนดเป้าหมาย หรือสมมุติฐานอันใหม่ขึ้นมา ซึ่งเป็นเป้าหมายหรือสมมุติฐานย่อย เพื่อพิสูจน์ส่วน IF ของกฎนี้ จากนั้นค้นหากฎในฐานความรู้อีกครั้งหนึ่งเพื่อนำมาพิสูจน์เป้าหมายหรือสมมุติฐานย่อย กลไก อนุมานจะทำการระบวนการนี้ซ้ำจนกว่าไม่มีกฎใด ๆ ในฐานความรู้ที่สามารถพิสูจน์เป้าหมายหรือ สมมุติฐานย่อยล่าสุดได้อีก รูปที่ 3.27 แสดงการทำงานของกรวินิจฉัยย้อนหลัง

ในรอบที่ 1 กลไกอนุมานพยายามที่จะหาข้อเท็จจริง Z มันได้ค้นในฐานความรู้เพื่อหากฎ ที่มีผลสืบเนื่องเป็น Z พบว่ากฎข้อที่ 1 ($Y \& D \rightarrow Z$) ตรงตามความต้องการจึงเก็บกฎนี้ไว้ในสแตก และพบว่าในส่วนเงื่อนไขของกฎนี้มีข้อเท็จจริง Y และ D อยู่ ข้อเท็จจริงเหล่านี้จะต้องถูกตั้ง เป็นเป้าหมายย่อยเพื่อทำการพิสูจน์ต่อไป

ในรอบที่ 2 กลไกอนุมานได้ตั้ง Y เป็นเป้าหมายย่อยและพยายามพิสูจน์ โดยการค้นหาใน ฐานข้อมูล เมื่อพบว่าไม่มีข้อเท็จจริง Y อยู่ในฐานข้อมูล จึงค้นหากฎในฐานความรู้ว่ามีกฎใดบ้างที่มี ผลสืบเนื่องเป็นข้อเท็จจริง Y ก็พบว่ากฎข้อที่ 2 ($X \& B \& E \rightarrow Y$) มีผลสืบเนื่องตรงกับ เป้าหมายที่ต้องการจึงเก็บกฎนี้ไว้ในสแตก และในส่วนเงื่อนไขของกฎนี้มีข้อเท็จจริง X B และ E อยู่ ข้อเท็จจริงเหล่านี้จะต้องถูกตั้งเป็นเป้าหมายย่อยเพื่อทำการพิสูจน์ต่อไป

ในรอบที่ 3 กลไกอนุมานได้ตั้ง X เป็นเป้าหมายย่อยและพยายามพิสูจน์โดยการค้นหาใน ฐานข้อมูล เมื่อพบว่าไม่มี X อยู่ในฐานข้อมูล จึงค้นหากฎในฐานความรู้ว่ามีกฎใดบ้างที่มีผล สืบเนื่องเป็นข้อเท็จจริง X ก็พบว่ากฎข้อที่ 3 ($A \rightarrow X$) มีผลสืบเนื่องตรงกับเป้าหมายที่ต้องการจึง เก็บกฎนี้ไว้ในสแตก และในส่วนเงื่อนไขของกฎนี้มีข้อเท็จจริง A อยู่ ข้อเท็จจริงนี้จะต้องถูกตั้ง เป็นเป้าหมายย่อยเพื่อทำการพิสูจน์ต่อไป



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างการทำงานของกรวิจลย์ย้อนหลัง

ในรอบที่ 4 กลไกอนุมานพบข้อเท็จจริง A ในฐานข้อมูล กฎที่ 3 ($A \rightarrow X$) ถูกไฟร์ ข้อเท็จจริง X ถูกเพิ่มลงไปฐานข้อมูล

ในรอบที่ 5 กลไกอนุมานย้อนกลับไปเป้าหมายย่อยที่เป็นข้อเท็จจริง Y และพยายามที่จะไฟร์กฎที่ 2 ($X \& B \& E \rightarrow Y$) อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งตอนนี้ข้อเท็จจริง X B และ E อยู่ในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นเมื่อกฎที่ 2 ถูกไฟร์ ข้อเท็จจริง Y ถูกเพิ่มลงไปฐานข้อมูล

ในรอบที่ 6 ระบบจะย้อนกลับไปกฎที่ 1 ($Y \& D \rightarrow Z$) พยายามที่จะบรรลุเป้าหมายเดิมคือข้อเท็จจริง Z และในตอนนี้เงื่อนไขทุกอย่างของกฎนี้เป็นจริงหมดแล้วเนื่องจากมีข้อเท็จจริง Y และ D อยู่ในฐานข้อมูลดังนั้นกฎที่ 1 ถูกไฟร์ และเป้าหมายของระบบผู้เชี่ยวชาญก็บรรลุผลคือได้ข้อเท็จจริง Z

เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของกรวิจลย์ไปข้างหน้ากับการวิจลย์ย้อนหลังจากเอกสารนี้ ตัวอย่างข้างต้นจะพบว่า เมื่อใช้เทคนิคการวิจลย์ไปข้างหน้าจะมีการไฟร์กฎ 4 กฎ แต่เมื่อใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการวินิจฉัยย้อนหลังจะมีการไฟร์กฎเพียง 3 กฎ ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้การวินิจฉัยย้อนหลังจะมีประสิทธิภาพดีกว่าในกรณีที่เราต้องการบรรลุเป้าหมายเพียงประการเดียว ซึ่งในกรณีนี้คือการรู้ข้อเท็จจริง Z ในการวินิจฉัยไปข้างหน้าระบบผู้เชี่ยวชาญจะทราบข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการอนุมานโดยไม่ได้ขอข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ใช้ ในการวินิจฉัยย้อนหลังเป้าหมายได้ถูกกำหนดขึ้นและข้อมูลที่ผู้ใช้จะเป็นข้อมูลที่จำเป็นเท่านั้น อาจจะมีการถามข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ใช้ถ้ามันไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล

3.3.6 การเลือกใช้เทคนิคการอนุมาน

การเลือกใช้เทคนิคการอนุมานแบบใดขึ้นอยู่กับวิธีแก้ปัญหา นั้น ถ้าผู้เชี่ยวชาญต้องการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องก่อน แล้วค่อยอนุมานจากสิ่งที่พอจะอนุมานได้ เทคนิคแบบการวินิจฉัยไปข้างหน้าก็เหมาะสมกับวิธีการแก้ปัญหานี้ อย่างไรก็ตามถ้าผู้เชี่ยวชาญเลือกการตั้งสมมุติฐานก่อนแล้วค่อยหาข้อมูลมาสนับสนุนสมมุติฐานนั้น ก็ควรใช้เทคนิคการวินิจฉัยย้อนหลัง

การวินิจฉัยไปข้างหน้าเป็นวิธีธรรมชาติที่ใช้ในการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์และการอธิบาย ตัวอย่างเช่น DENTRAL เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้บ่งบอกถึงโครงสร้างโมเลกุลดิน สำหรับการวินิจฉัยย้อนหลังมักจะใช้กับระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวินิจฉัย ตัวอย่างเช่น MYCIN เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการแพทย์สำหรับวินิจฉัยโรคที่ติดต่อทางเลือด

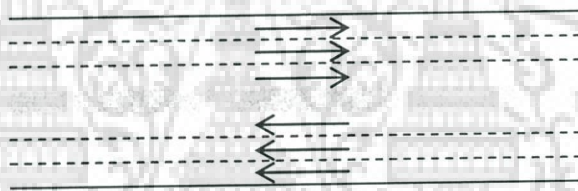
บทที่ 4

โครงสร้างของระบบ

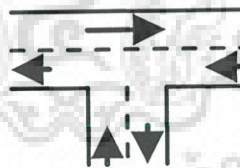
ในบทนี้เรากล่าวถึงการกำหนดปัญหาและสมมุติฐาน และ โครงสร้างของระบบควบคุมไฟจราจรด้วยมัลติเอเจนต์ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองจราจร (Traffic Simulator) ส่วนสังเกตข้อมูลจราจร (Traffic Observer) ส่วนฐานความรู้ (Knowledge Base) และส่วนกลไกอนุมาน (Inference Engine)

4.1 กำหนดปัญหาและสมมุติฐาน

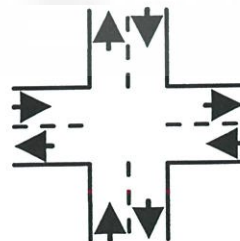
เราขอกำหนดปัญหาการควบคุมไฟจราจรและสมมุติฐานดังต่อไปนี้ โดยเรากำหนดให้ถนนทุกสายที่พิจารณาเป็นถนนที่มี 2 ทิศทาง และแต่ละทิศทางมี 3 ช่องจราจร ดังรูปที่ 4.1 และถนนที่มาบรรจบกันทำให้เกิดทางแยก 3 แยก หรือ 4 แยก ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.1 ถนนที่มีการจราจร 2 ทิศทางแต่ละทิศทางมี 3 ช่องจราจร



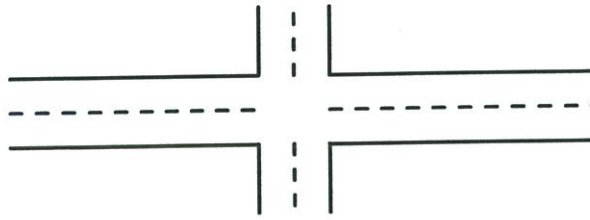
รูปที่ 4.2 ทิศทางการจราจรบริเวณทาง 3 แยก



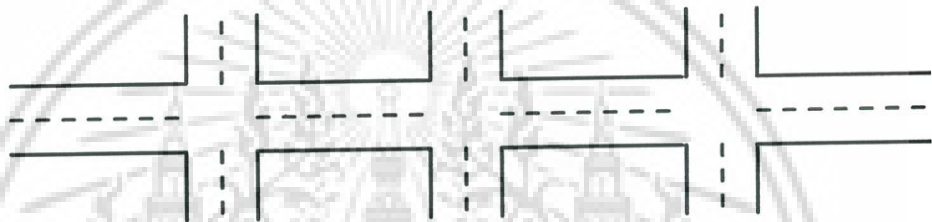
รูปที่ 4.3 ทิศทางการจราจรบริเวณทาง 4 แยก

ในงานวิจัยนี้เราสนใจทางแยกที่เป็น 4 แยก ซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ คือแบบแยกเดี่ยว และแบบแยกประสานสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 แยกเดี่ยวเป็นแยกที่อยู่ไกลจากแยกอื่น ๆ ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวันเวลาหรือกิจกรรมอื่นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปเซประเยชนดานการค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจราจรไม่ได้รับผลกระทบและไม่ส่งผลกระทบกับแยกอื่น ๆ ส่วนแยกประสานสัมพันธ์เป็นแยกที่การจราจรของแยกนั้นจะได้รับผลกระทบจากแยกอื่น ๆ และส่งผลกระทบกับแยกอื่น ๆ ด้วย



รูปที่ 4.4 แยกเดี่ยว



รูปที่ 4.5 แยกประสานสัมพันธ์

เนื่องจากการจราจรที่ผ่านทางแยกจะมีเส้นทางที่ขัดแย้งกัน คือ ไม่สามารถเดินทางพร้อมกันได้ เช่นการจราจรของรถในทิศทางเหนือ-ใต้ ไม่สามารถเดินทางพร้อมกับการจราจรของรถในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ดังนั้นจึงมีสัญญาณไฟจราจรสำหรับควบคุมการจราจรที่ทางแยก

สัญญาณไฟจราจรเป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณในการจราจรแก่ผู้ขับขี่รถยนต์บนท้องถนน โดยจะให้สัญญาณเป็นสีที่แตกต่างกัน เช่น แดง เหลือง เขียว ซึ่งมีความหมาย คือสีแดงให้หยุดรถ สีเขียวให้ไป และสีเหลืองให้เตรียมตัวหยุดรถ เพื่อความสะดวก ในงานวิจัยนี้เราจะพิจารณาเฉพาะไฟสีแดงและสีเขียว

สำหรับการกำหนดจำนวนไฟจราจรที่ทางแยก n แยกใด ๆ โดยที่ $n \geq 3$ จะพบว่ารถจากทิศทางหนึ่ง ๆ จะผ่านแยกไปยังทิศทางอื่น ๆ ได้สูงสุด $n-1$ ทิศทาง ซึ่งในจำนวนทิศทางเหล่านี้มีบางทิศทางขัดแย้งกับทิศทางอื่น ๆ ถ้าเราต้องการควบคุมการเดินทางของรถในทุกทิศทางที่ขัดแย้งกันที่ทางแยกหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณหาจำนวนสัญญาณไฟควบคุมจราจรที่ใช้กับทางแยกนั้น ๆ ได้ดังนี้

$$L = \sum_{i=1}^n [(n-1) - D_i] \quad ; n \geq 3 \quad (4.1)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L คือ จำนวนสัญญาณไฟควบคุมการจราจรที่ทางแยก

n คือ จำนวนแยกของทางแยก

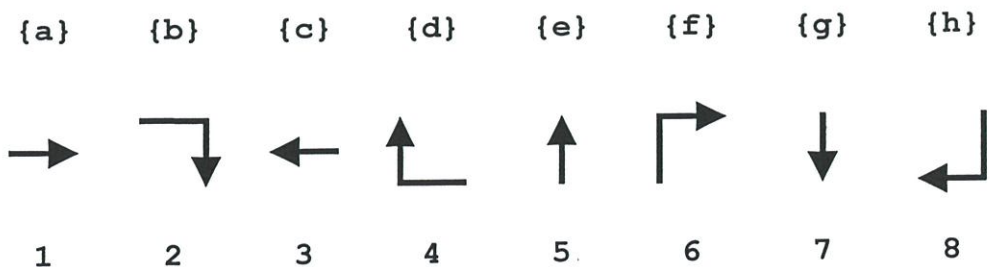
D_i คือ จำนวนทิศทางที่เคลื่อนที่จากทิศทาง i โดยไม่ขัดแย้งกับเส้นทางอื่น

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า L ในสมการที่ (1) โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.6 เป็นทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่รถจะเดินทางผ่านสี่แยกจากทิศทาง 1-4 เราได้ค่า $D_1 = 1, D_2 = 1, D_3 = 1$ และ $D_4 = 1$ เนื่องจากช่องทางเลี้ยวซ้ายผ่านตลอด (แทนด้วยเส้นประที่มีลูกศร) เมื่อแทนค่า $n = 4$ ในสมการที่ (4.1) แล้วจะได้ $L = 8$ นั่นคือ ต้องใช้สัญญาณไฟจราจร 8 ชุดสำหรับการควบคุมจราจรที่สี่แยก ดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.6 4 แยกและทิศทางช่องจราจร

รูปที่ 4.7 ไฟจราจรที่ควบคุม 4 แยก

ต่อไปเราพิจารณาว่ารูปแบบการเปิดสัญญาณไฟจราจรให้รถวิ่งผ่าน 4 แยกโดยที่ไม่ขัดแย้งกันเป็นไปได้กี่แบบ โดยเส้นทางที่นำมาพิจารณามี 8 ทิศทาง คือ a, b, c, d, e, f, g และ h ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ชื่อไฟจราจรที่ควบคุมการจราจรที่ 4 แยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในหนังสือเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $S = \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$ เป็นเซตของเส้นทางที่ถูกพิจารณา และเราต้องการหาสับเซตของ S ที่มีสมาชิก 2 ตัวซึ่งแทนรูปแบบการปล่อยรถจากสองทิศทางให้เป็นไฟเขียวพร้อม ๆ กัน เราได้จำนวนสับเซตทั้งหมดดังนี้

$\{a, b\}, \{a, c\}, \{a, d\}, \{a, e\}, \{a, f\}, \{a, g\}, \{a, h\}, \{b, c\}, \{b, d\}, \{b, e\}, \{b, f\}, \{b, g\}, \{b, h\}, \{c, d\}, \{c, e\}, \{c, f\}, \{c, g\}, \{c, h\}, \{d, e\}, \{d, f\}, \{d, g\}, \{d, h\}, \{e, f\}, \{e, g\}, \{e, h\}, \{f, g\}, \{f, h\}, \{g, h\}$

	a	b	c	d	e	f	g	h
a								
b								
c								
d								
e								
f								
g								
h								

รูปที่ 4.9 รูปแบบการเปิดไฟจราจร 2 ทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

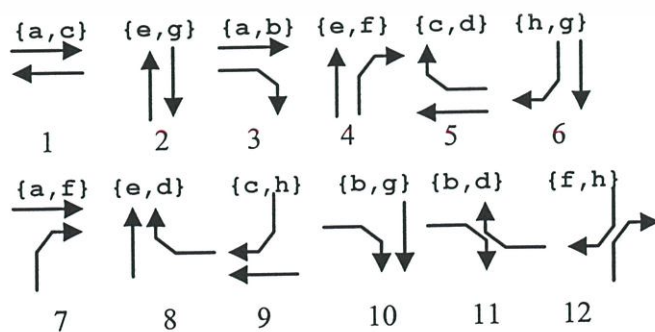
	a	b	c	d	e	f	g	h
a								
b								
c								
d								
e								
f								
g								
h								

รูปที่ 4.10 รูปแบบการเปิดไฟจราจร 2 ทิศทางที่ตัดรูปแบบที่ขัดแย้งออกไป

ในสับเซตเหล่านี้ มีบางสับเซตที่มีสมาชิกเป็นทิศทางที่ขัดแย้งกันแบบตัดผ่าน (Crossing) เช่น {a, e} ซึ่งเป็นการจราจรจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกกับการจราจรจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ดังนั้นเมื่อเราจัดสับเซตที่มีสมาชิกเป็นทิศทางที่ขัดแย้งกันออกไปจะได้สับเซตที่สามารถนำไปเป็นรูปแบบในการปล่อยรถโดยไม่มีทิศทางที่ขัดแย้งกันแบบตัดผ่านดังนี้

- {a, b}, {a, c}, {a, f}, {b, d}, {b, g}, {c, d}, {c, h}, {d, e}, {e, f}, {e, g}, {f, h}, {g, h}

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นเราจะแทนแต่ละรูปแบบด้วยตัวเลข ดังรูปที่ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.11 การเปิดไฟเขียว 12 รูปแบบที่ไม่มีความขัดแย้งกันแบบตัดผ่านสำหรับ 4 แยก ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

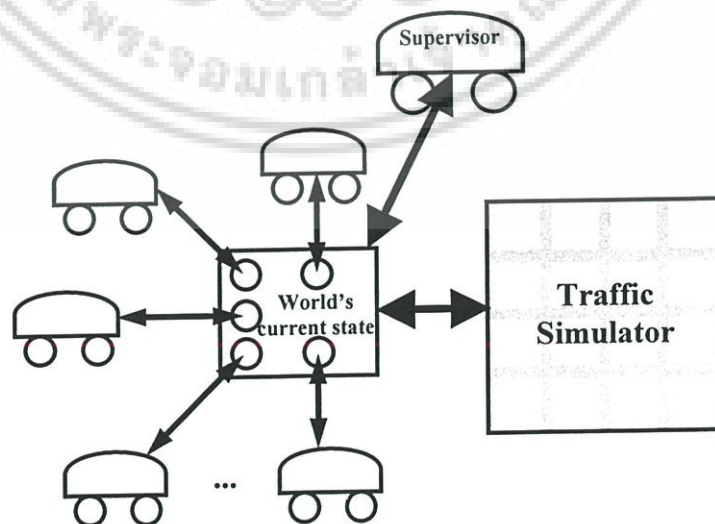
สำหรับไฟจราจรที่ควบคุมการจราจรในทิศทางหนึ่ง ๆ สามารถมีไฟจราจรในทิศทางอื่นที่สามารถเปิดไฟเขียวพร้อมกันได้ 3 ทิศทาง จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าทิศทาง a สามารถเลือกเปิดไฟจราจรแบบ {a, b}, {a, c}, หรือ {a, f} เราเรียก b หรือ c หรือ f ว่าเป็น บัคคี่โฟลว์ (Buddy flow) ของ a ซึ่งถูกนำไปใช้ในบางกฎสำหรับการควบคุมไฟจราจรในวิธีของเรา ตัวอย่างของบัคคี่โฟลว์ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 บัคคี่โฟลว์

4.2 โครงสร้างของระบบ

ระบบของเราประกอบด้วยเอเจนต์และโลก ในโลกประกอบด้วย รถ เครื่องข่ายถนน การจราจร สัญญาณไฟจราจร ฯลฯ เอเจนต์ 1 ตัวจะรับผิดชอบในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร 1 ทางแยกโดยการรับข้อมูลสภาพจราจรจากบริเวณรอบ ๆ ทางแยกและนำข้อมูลนี้มาหาเหตุผลด้วยกฎในฐานความรู้ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการจราจร ซึ่งการสังเกตสภาพจราจรในบริเวณทางแยกที่มันรับผิดชอบสามารถสังเกตได้เพียงบางส่วนของโลกเท่านั้น ในการทำงานกับเครื่องข่ายถนนที่มีจำนวนแยกมาก ๆ จำเป็นต้องมีการสื่อสารกันระหว่างเอเจนต์ โดยที่เอเจนต์แต่ละตัวจะทำหน้าที่ของตัวเองไปพร้อม ๆ กับการทำงานร่วมกับเอเจนต์อื่น นอกจากนั้นยังมีเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์ (Supervisor agent) ที่ทำหน้าที่ในการแก้ปัญหาระบบการจราจรในบริเวณกว้างถึงแม้ว่าเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์ไม่สามารถรับรู้ข้อมูลสภาพจราจรได้โดยตรงแต่ก็สามารถนำข้อมูลที่ได้จากเอเจนต์ทุก ๆ ตัวที่อยู่ในบริเวณที่มันรับผิดชอบมาประกอบกันเพื่อทำการควบคุมการจราจรทั้งบริเวณ ดังรูปที่ 14.3

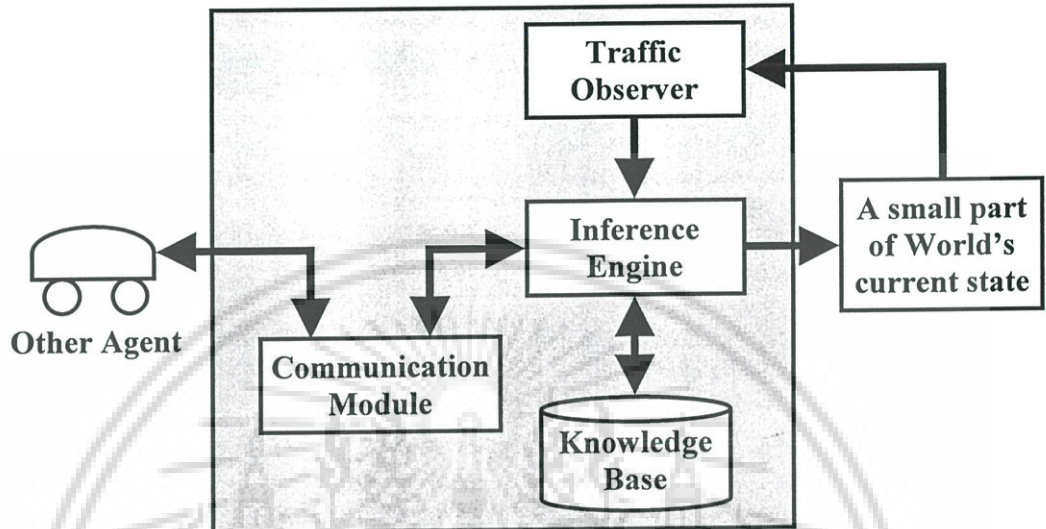


รูปที่ 4.13 สถาปัตยกรรมระบบควบคุมไฟจราจรแบบมัลติเอเจนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โครงสร้างของเอเจนต์

โครงสร้างของเอเจนต์ประกอบด้วยส่วนสังเกตการจราจร (Traffic observer) ส่วนฐานความรู้ (Knowledge Base) ส่วนกลไกอนุมาน (Inference Engine) และส่วนสื่อสารกับเอเจนต์อื่น (Communication Module) ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งเราขอก้าวในรายละเอียดดังนี้



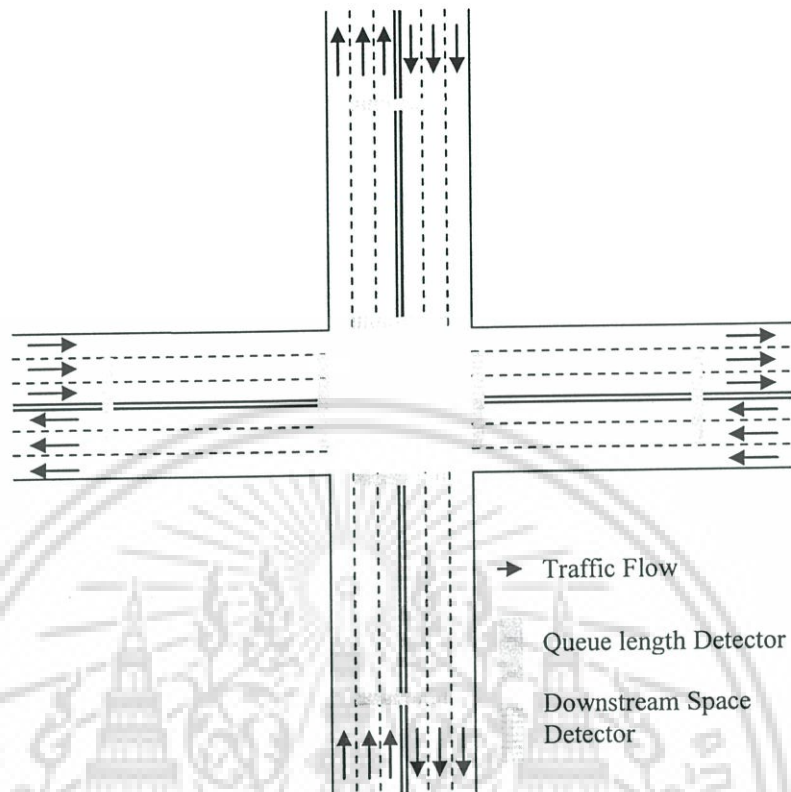
รูปที่ 4.14 สถาปัตยกรรมเอเจนต์ระบบควบคุมไฟจราจรแต่ละตัว

4.3.1 ส่วนสังเกตข้อมูลจราจร

ในการควบคุมไฟจราจรด้วยเอเจนต์นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการจราจรเพื่อนำมาให้เอเจนต์ประกอบการตัดสินใจ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกติดตามและส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่องโดยส่วนสังเกตข้อมูลจราจร (Traffic Observer) รับข้อมูลมาจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งในบริเวณทางแยกดังรูปที่ 4.15 ข้อมูลที่ได้มาประกอบด้วย

- รูปแบบของไฟจราจรที่กำลังเปิดไฟเขียวอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน
- เวลาที่เหลืออยู่สำหรับการเปิดไฟเขียวในรูปแบบปัจจุบัน (หน่วยเป็นวินาที) ซึ่งได้จากตัวนับเวลาที่จะนับถอยหลังตั้งแต่ค่าที่กำหนดจนถึง 0
- จำนวนรถที่อยู่ในคิวของแต่ละช่องจราจร (หน่วยเป็นจำนวนคัน) ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างของจำนวนรถที่เข้ามาในคิวและจำนวนรถที่ออกไปจากคิวในแต่ละช่องจราจร ตัวเลขเหล่านี้ได้มาจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้ดังรูปที่ 4.15 เพื่อให้จำนวนรถในคิวมีความแม่นยำเราสมมุติว่ารถที่เข้ามาในคิวแล้วไม่มีการเปลี่ยนช่องจราจรจนกว่าจะออกจากคิว
- ที่ว่างที่สามารถปล่อยรถที่รอสัญญาณไฟอยู่ที่ทางแยกให้ออกไปสู่ถนนที่อยู่อีกด้านหนึ่งของทางแยก เช่น รถทางตรงที่มาจากทิศตะวันตกผ่านแยกไปสู่ถนนทางตรงด้านทิศตะวันออก (หน่วยเป็นจำนวนคัน)

- อัตรารถที่เข้าสู่คิวในหน่วยคันต่อวินาที
- อัตรารถที่ออกจากคิวในหน่วยคันต่อวินาที



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ที่เก็บข้อมูลการจราจร

4.3.2 ส่วนฐานความรู้

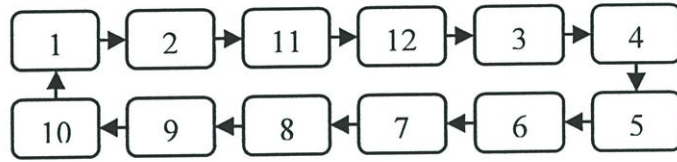
ส่วนฐานความรู้ประกอบด้วยกฎสำหรับการควบคุมไฟจราจรที่จัดอยู่ในรูปแบบเงื่อนไขและการกระทำ (Condition \rightarrow Action) โดยเงื่อนไขที่อยู่ในรูปแบบคอนจังก์ชันนอร์มอลฟอร์ม (Conjunction Normal Form) ของอะตอมมิกเซนเทนส์ (Atomic sentence) และการกระทำที่อยู่ในรูปแบบคอนจังก์ชันของอะตอมมิกเซนเทนส์ ซึ่งเราแบ่งเป็นกฎในส่วนของการทำงานแบบเอเจนต์เดี่ยว กฎสำหรับการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์ และกฎสำหรับเอเจนต์ซูปเปอร์ไวเซอร์โดยมีการกำหนดและคำอธิบายดังนี้

- กฎในส่วนการทำงานของเอเจนต์เดี่ยว

Rule 1			
Condition:	IF	current_state(P) and state_counter(N) and $N \leq 0$	
Action:	THEN	pattern_duration(T) and and change_state(P, T)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎที่ 1 กำหนดไว้ว่าถ้ารูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่ หมดเวลาในการเปิดไฟเขียว จะต้องเปลี่ยนเป็นรูปแบบถัดไปตามลำดับที่กำหนดในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ลำดับของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไฟจราจร

Rule 2.1
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 queue_length(F1,Q) and
 Q = 0 and flow_is_on&bflow_is_off (F1, Fb)
 Action: THEN find_max_delayed_bflow(F2, F1, F2b) and
 turn_off_flow&on_bflow(F1, F2b)

Rule 2.2
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 queue_length(F2,Q) and
 Q = 0 and flow_is_on&bflow_is_off (F2, Fb)
 Action: THEN find_max_delayed_bflow(F1, F2, F1b) and
 turn_off_flow&on_bflow(F2, F1b)

กฎที่ 2.1 หรือ 2.2 กำหนดไว้ว่าถ้าช่องจราจรช่องใดช่องหนึ่งของรูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่ไม่มีรถอยู่เลย ก็จะปิดไฟเขียวในช่องจราจรนั้นและในขณะที่ตัวนับเวลายังมีค่ามากกว่า 0 ก็หาช่องจราจรอื่นที่เป็นบัดดี้ของช่องจราจรที่ไม่ถูกปิดไฟเขียวและมีเวลาในการรอสัญญาณไฟมากที่สุดมาเปิดไฟเขียวคู่กันเพื่อใช้ประโยชน์จากเวลาที่เหลืออยู่ให้มากที่สุด

Rule 2.3
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 flow_is_on&bflow_is_off(F1,Fb) and
 maximum_downstream(F1,M) and
 downstream_of(F1,D) and $M - D \leq 1$
 Action: THEN find_max_delayed_bflow(F2,F1,F2b) and
 turn_off_flow&on_bflow(F1,F2b)

Rule 2.4
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 flow_is_on&bflow_is_off(F2,Fb) and
 maximum_downstream(F2,M) and
 downstream_of(F2,D) and $M - D \leq 1$
 Action: THEN find_max_delayed_bflow(F1,F2,F1b) and
 turn_off_flow&on_bflow(F2,F1b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎที่ 2.3 หรือ 2.4 กำหนดไว้ว่าถ้าที่ว่างของถนนที่จะรับการปล่อยรถจากทางแยกของช่องจราจรช่องใดช่องหนึ่งของรูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่มีรถอยู่เต็ม ทำให้รถในช่องจราจรที่เป็นไฟเขียวไม่สามารถเดินทางไปได้ ก็จะปิดไฟเขียวในช่องจราจรนั้นและในขณะที่ตัวนับเวลายังมีค่ามากกว่า 0 ก็หาช่องจราจรอื่นที่เป็นบังคับของช่องจราจรที่ไม่ถูกปิดไฟเขียวและมีเวลาในการรอสัญญาณไฟมากที่สุดมาเปิดไฟเขียวคู่กันเพื่อใช้ประโยชน์จากเวลาที่เหลืออยู่ให้มากที่สุด

Rule 2.5
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 flow_is_off&bflow_is_on(F1,_) and
 flow_is_off&bflow_is_on(F2,_) and
 Action: THEN set_state_counter(0)

กฎที่ 2.5 กำหนดไว้ว่าถ้าทั้งสองช่องจราจรของรูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่ถูกปิดไฟเขียวทั้งคู่ (เนื่องจากกฎที่ 2.1-2.4) แล้วให้เปลี่ยนรูปแบบของไฟจราจรเป็นรูปแบบต่อไป

Rule 2.6
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,_) and
 flow_is_off&bflow_is_on(F1,Fb) and
 maximum_downstream(F1,M) and
 downstream_of(F1,D) and
 M - D > 10 and
 queue_length(F1,Q) and
 Q ≠ 0 and
 Action: THEN turn_on_flow&off_bflow(F1,Fb)

Rule 2.7
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,_,F2) and
 flow_is_off&bflow_is_on(F2,Fb) and
 maximum_downstream(F2,M) and
 downstream_of(F2,D) and
 M - D > 10 and
 queue_length(F2,Q) and Q ≠ 0 and
 Action: THEN turn_on_flow&off_bflow(F2,Fb)

กฎที่ 2.6 หรือ 2.7 กำหนดไว้ว่าถ้ามีช่องจราจรช่องใดช่องหนึ่งของรูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่ถูกปิดไฟเขียว (เนื่องจากกฎที่ 2.1-2.4) แล้วในภายหลังปรากฏว่ามีรถเข้ามาในช่องจราจรที่ถูกปิดไฟเขียวไปแล้วและมีที่ว่างบนถนนที่จะรับการปล่อยรถจากช่องจราจรนี้ ให้ปิดไฟเขียวของบังคับที่เป็นไฟเขียวและเปิดไฟเขียวในช่องจราจรนี้ขึ้นมาแทน

Rule 3.1
 Condition: IF current_state(P) and
 state_counter(N) and
 $0 < N \leq 5$ and
 flow_of_state(P,F1,_) and
 queue_length(F1,Q) and
 boundary_queue_length(F1,Qb) and
 $Q > 0.90 * Qb$ and
 queue_service_rate(F1,S) and
 incoming_rate(F1,I) and
 $I > S$ and
 state_counter(N) and
 $N \leq 0$
 Action: THEN to_extend_time_for_flow(F)

Rule 3.2
 Condition: IF current_state(P) and
 state_counter(N) and
 $0 < N \leq 5$ and
 flow_of_state(P,_,F2) and
 queue_length(F2,Q) and
 boundary_queue_length(F2,Qb) and
 $Q > 0.90 * Qb$ and
 queue_service_rate(F2,S) and
 incoming_rate(F2,I) and
 $I > S$ and
 state_counter(N) and
 $N \leq 0$
 Action: THEN to_extend_time_for_flow(F)

กฎที่ 3.1 หรือ 3.2 กำหนดไว้ว่าถ้าตัวนับเวลาที่เปิดไฟเขียวของรูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่เหลือเวลาไม่เกิน 5 วินาทีแต่อัตราการเข้ามาในคิวของรถยังมากกว่าอัตราการออกไปจากคิวในขณะที่จำนวนรถในคิวมีค่ามากกว่า 90% ของความจุของคิวซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่รถจะเข้ามาในช่องทางนี้เป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ก็ะบันทึกข้อมูลไว้ว่าช่องจราจรนี้จะได้รับการพิจารณาให้ขยายเวลาไฟเขียวออกไป

Rule 3.3
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 state_counter(N) and
 max_greentime(Tmax) and
 $N < Tmax$ and
 to_extend_time_for_flow(F1)
 Action: THEN state_greentime(Tg) and
 greentime_extension(Tx) and
 time_ext4counter(Tg,Tx,Tmax,Tadd) and
 Text is $N + Tadd$ and
 set_state_counter(Text) and
 Tgx is $Tg + Tadd$ and
 set_state_greentime(Tgx)

Rule 3.4
 Condition: IF current_state(P) and
 flow_of_state(P,F1,F2) and
 state_counter(N) and
 max_greentime(Tmax) and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		$N < T_{max}$	and
		to_extend_time_for_flow(F2)	
Action:	THEN	state_greentime(Tg)	and
		greentime_extension(Tx)	and
		time_ext4counter(Tg,Tx,Tmax,Tadd)	and
		Text is $N + Tadd$	and
		set_state_counter(Text)	and
		Tgx is $Tg + Tadd$	and
		set_state_greentime(Tgx)	

กฎที่ 3.3 หรือ 3.4 กำหนดไว้ว่าเวลาที่ขยายให้กับการเปิดไฟเขียวให้กับรูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่เนื่องจากกฎที่ 3.1 หรือ 3.2 เมื่อรวมกับเวลาที่ได้เปิดไฟเขียวมาแล้วจะมีค่าไม่เกินค่าสูงสุด เพื่อป้องกันไม่ให้รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งได้รับไฟเขียวที่นานเกินไป

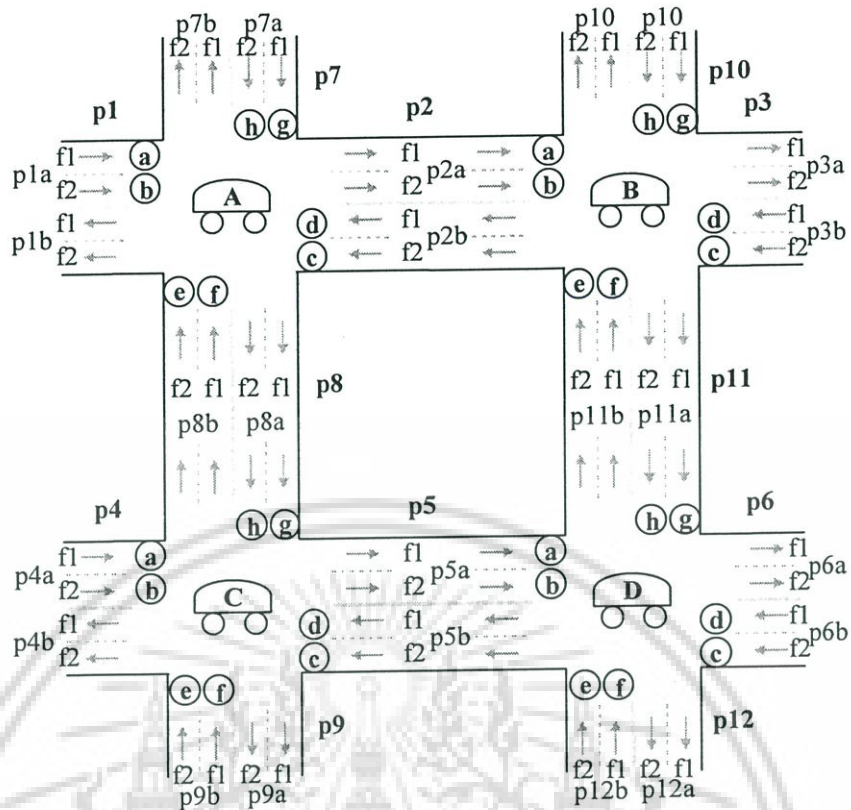
Rule 4			
Condition:	IF	current_state(P)	and
		state_greentime(Tg)	and
		max_greentime(Tmax)	and
		$Tg > T_{max}$	
Action:	THEN	pattern_duration(T)	and
		change_state(P,T)	

กฎที่ 4 กำหนดไว้ว่า ถ้ารูปแบบของการเปิดไฟจราจรในปัจจุบันที่กำลังเป็นไฟเขียวอยู่ได้รับเวลาในการเปิดไฟเขียวมากกว่าค่าสูงสุดจะต้องถูกบังคับให้เปลี่ยนรูปแบบทันที

- กฎในส่วนการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์

สำหรับแต่ละเอเจนต์ที่จะสามารถควบคุมการจราจรและทำงานร่วมกับเอเจนต์ที่อยู่ข้างเคียงไปด้วยนั้น มันจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับรูปแบบโครงข่าย (Topology) ของถนนที่เชื่อมต่อแต่ละแยก ทิศทางของการจราจร สัญญาณไฟจราจร เอเจนต์ที่อยู่ข้างเคียงกันและความสัมพันธ์ระหว่างเอเจนต์นั้น ๆ

สำหรับเครือข่ายถนนดังรูปที่ 4.17 ประกอบด้วยแยก A B C และ D โดยที่แต่ละทางแยกถูกควบคุมโดยเอเจนต์ A B C และ D ตามลำดับ สองทางแยกใด ๆ จะถูกเชื่อมกันด้วยพาธ (Path) ที่มีการระบุทิศทาง ซึ่งแต่ละพาธประกอบด้วย 2 เส้นทางจราจรได้แก่ f1 และ f2 และแต่ละเส้นทางจราจรถูกควบคุมด้วยไฟจราจร 1 ชุด นอกจากนั้นแต่ละเส้นทางจราจรยังมีเส้นทางควาน์สตรีม คือ เส้นทางที่รถที่กำลังจอดอยู่ในเส้นทางที่เป็นสัญญาณไฟแดงจะเดินทางไปเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว



รูปที่ 4.17 การกำหนดตำแหน่งการควบคุมไฟจราจรด้วยมัลติเอเจนต์

ตัวอย่างข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการควบคุมไฟจราจรด้วยมัลติเอเจนต์ที่อยู่ในฐานความรู้ของเอเจนต์ A มีดังนี้

manage(myself, junctionA)
manage(agentC, junctionC)

manage(agentB, junctionB)

connects(p2a, junctionA, junctionB) connects(p2b, junctionB, junctionA)
connects(p8a, junctionA, junctionC) connects(p8b, junctionC, junctionA)

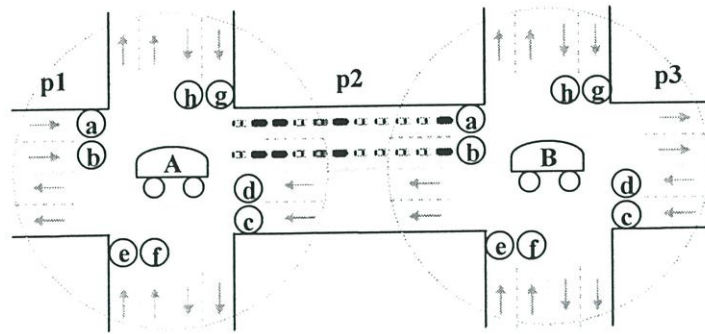
flows_of_path(p2a, p2a:f1, p2a:f2)
flows_of_path(p8a, p8a:f1, p8a:f2)

flows_of_path(p2b, p2b:f1, p2b:f2)
flows_of_path(p8b, p8b:f1, p8b:f2)

controls(a, p1a:f1) controls(b, p1a:f2) controls(c, p2b:f2) controls(d, p2b:f1)
controls(e, p8b:f2) controls(f, p8b:f1) controls(g, p7a:f1) controls(h, p7a:f2)

downstream_of(p2a:f1, p1a:f1) downstream_of(p8a:f2, p1a:f2)
downstream_of(p1b:f2, p2b:f2) downstream_of(p7b:f1, p2b:f1)
downstream_of(p7b:f2, p8b:f2) downstream_of(p2a:f2, p8b:f1)
downstream_of(p8a:f1, p7a:f1) downstream_of(p1b:f1, p7a:f2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การทำงานร่วมกันของเอเจนต์เมื่อคานวน์สตรีมเต็ม

จากรูปที่ 4.18 เอเจนต์ A สามารถตรวจจับได้ว่าคานวน์สตรีม p2a:f1 และ p2a:f2 มีรตเต็ม ในขณะที่เอเจนต์ B ไม่สามารถรับรู้ข้อมูลนี้ได้เนื่องจากอยู่นอกเหนือบริเวณที่ติดตั้งเซนเซอร์ของเอเจนต์ B ซึ่งทำให้เกิดปัญหากับเอเจนต์ A ที่จะระบายรถที่ติดขัดจากแยกของตนเองเข้าสู่คานวน์สตรีมทั้ง 2 นี้ ดังนั้นในการทำงานร่วมกันเอเจนต์ A จะรายงานเอเจนต์ B ว่าเส้นทางคานวน์สตรีมที่ปล่อยจากแยก A ไปสู่แยก B นั้นมีปริมาณรถอยู่เต็มมาจนถึงแยก A แล้ว จากนั้นเอเจนต์ B ก็จะนำข้อมูลดังกล่าวไปตัดสินใจว่าจะปล่อยรถในเส้นทาง p2a:f1 และ/หรือ p2a:f2 หรือไม่ด้วยกฎดังต่อไปนี้

Rule 5.1
 Condition: IF downstream_size(Fd,D) and
 downstream_maxsize(Fd,M) and
 $D \geq M$ and
 flows_of_path(P,Fd,_) and
 connects(P,J,NextJ) and
 manages(myself,J) and
 manages(Agent,NextJ)
 Action: THEN tell(Agent,full_end_of_flow(P,Fd,null))

Rule 5.2
 Condition: IF downstream_size(Fd,D) and
 downstream_maxsize(Fd,M) and
 $D \geq M$ and
 flows_of_path(P,_,Fd) and
 connects(P,J,NextJ) and
 manages(myself,J) and
 manages(Agent,NextJ)
 Action: THEN tell(Agent,full_end_of_flow(P,Fd,null))

Rule 5.3
 Condition: IF downstream_size(Fd,D) and
 downstream_maxsize(Fd,M) and
 $D < M$ and
 flows_of_path(P,_,Fd) and
 connects(P,J,NextJ) and
 manages(myself,J) and
 manages(Agent,NextJ)

Action: THEN tell(Agent,not_full_end_of_flow(P,Fd,null))

Rule 5.4
 Condition: IF downstream_size(Fd,D) and
 downstream_maxsize(Fd,M) and
 D < M and
 flows_of_path(P,_,Fd) and
 connects(P,J,NextJ) and
 manages(myself,J) and
 manages(Agent,NextJ)
 Action: THEN tell(Agent,not_full_end_of_flow(P,Fd,null))

กฎที่ 5.1 และ 5.2 เมื่อเอเจนต์ตรวจพบว่ามีคาน้ำสตรึมเต็มจะแจ้งเตือนเอเจนต์ที่ควบคุมการจราจรของเส้นทางคาน้ำสตรึมนั้นให้ทราบ

กฎที่ 5.3 และ 5.4 เป็นการยกเลิกการแจ้งเตือนการเต็มของคาน้ำสตรึม

สำหรับเอเจนต์ใด ๆ ที่ได้รับการแจ้งเตือนว่ามีเส้นทางคาน้ำสตรึมที่มันควบคุมอยู่เกิดการติดขัดของรถเต็มจนถึงแยกติดกัน ก็จะทำให้การตัดสินใจตามกฎต่อไปนี้

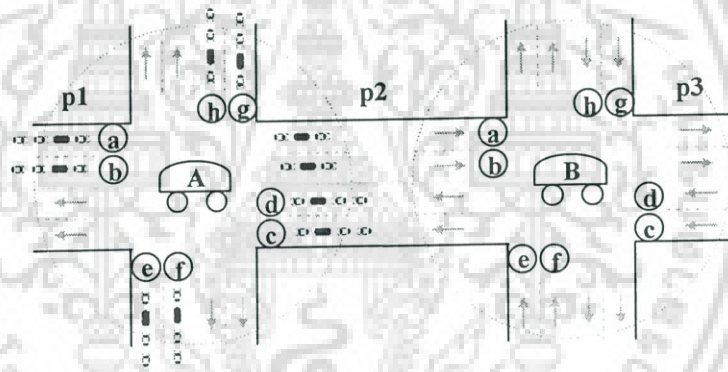
Rule 6.1
 Condition: IF current_state(P) and
 state_counter(N) and
 (full_end_of_flow(_,F1,null) or full_end_of_flow(_,null,F1)) and
 queue_length(F1,Q1) and
 boundary_queue_length(F1,Qb1) and
 Q1 ≥ Qb1 and downstream_of(Fd1,F1) and
 downstream_maxsize(Fd1,M1) and
 downstream_size(Fd1,D1) and
 M1 - D1 > 40 and
 flows_of_state(Next_P,F1,F2) and
 (not_full_end_of_flow(_,F2,null) or not_full_end_of_flow(_,null,F2))
 Action: THEN store_previous_state(P,N) and
 pattern_duration(T) and
 set_current_state(Next_P,T)

Rule 6.2
 Condition: IF current_state(P) and
 state_counter(N) and
 (full_end_of_flow(_,F1,null) or full_end_of_flow(_,null,F1)) and
 queue_length(F1,Q1) and
 boundary_queue_length(F1,Qb1) and
 Q1 ≥ Qb1 and
 downstream_of(Fd1,F1) and
 downstream_maxsize(Fd1,M1) and
 downstream_size(Fd1,D1) and
 M1 - D1 > 40 and
 (full_end_of_flow(_,F2,null) or full_end_of_flow(_,null,F2)) and
 F1 ≠ F2 and
 queue_length(F2,Q2) and
 boundary_queue_length(F2,Qb2) and
 Q2 ≥ Qb2 and
 downstream_of(Fd2,F2) and
 downstream_maxsize(Fd2,M2) and

		downstream_size(Fd2,D2)	and
		M2 - D2 > 40	and
		flows_of_state(Next_P,F1,F2)	
Action:	THEN	store_previous_state(P,N)	and
		pattern_duration(T)	and
		set_current_state(Next_P,T)	

กฎที่ 6.1 สำหรับเหตุการณ์ที่ดาวนสตรีมเต็มเพียงเส้นทางเดียว และ 6.2 สำหรับเหตุการณ์ที่ดาวนสตรีมเต็มทั้ง 2 เส้นทาง ในทั้ง 2 กรณีเอเจนต์จะตัดสินใจเลือกรูปแบบของการเปิดไฟจราจรเพื่อปล่อยรถในดาวนสตรีมให้ได้มากที่สุด การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่รูปแบบใหม่ที่เลือกมานี้จะใช้หลักการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt) คือ เมื่อรูปแบบที่เลือกมาเปิดเพื่อให้อัตราการจราจรในดาวนสตรีมจนสภาพจราจรเข้าสู่สภาวะปกติแล้วก็จะกลับคืนสู่รูปแบบเดิมก่อนที่จะเกิดการอินเทอร์รัพต์

การทำงานร่วมกันในอีกกรณีหนึ่งคือ เมื่อเอเจนต์ใดตรวจพบว่าไม่มีรถในเส้นทางที่เข้าสู่ทางแยกเลยมันก็จะแจ้งไปยังเอเจนต์ที่ปล่อยรถเข้าสู่เส้นทางนั้นให้มาใช้ประโยชน์จากที่ว่างดังกล่าว จากรูปที่ 4.19 เอเจนต์ B จะแจ้งเอเจนต์ A ด้วยกฎต่อไปนี้



รูปที่ 4.19 การทำงานร่วมกันของเอเจนต์เมื่อดาวนสตรีมว่าง

Rule 7.1			
Condition:	IF	queue_length(F,0)	and
		flows_of_path(P,F,_)	and
		connects(P,J,NextJ)	and
		manages(Agent,J)	and
		manages(myself,NextJ)	
Action:	THEN	tell(Agent,empty_flow(P,F,null))	

Rule 7.2			
Condition:	IF	queue_length(F,0)	and
		flows_of_path(P,_,F)	and
		connects(P,J,NextJ)	and
		manages(Agent,J)	and
		manages(myself,NextJ)	
Action:	THEN	tell(Agent,empty_flow(P,null,F))	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rule 7.3
 Condition: IF queue_length(F,Q) and
 Q ≠ 0 and
 flows_of_path(P,F,_) and
 connects(P,J,NextJ) and
 manages(Agent,J) and
 manages(myself,NextJ)
 Action: THEN tell(Agent,not_empty_flow(P,F,null))

Rule 7.4
 Condition: IF queue_length(F,Q) and
 Q ≠ 0 and
 flows_of_path(P,_,F) and
 connects(P,J,NextJ) and
 manages(Agent,J) and
 manages(myself,NextJ)
 Action: THEN tell(Agent,not_empty_flow(P,null,F))

สำหรับเอเจนต์ใด ๆ ที่ได้รับการแจ้งเตือนว่ามีที่ว่างในเส้นทางดาวนสตรีมของแยกที่มันควบคุมอยู่ ก็จะทำการตัดสินใจตามกฎต่อไปนี้

Rule 8.1
 Condition: IF current_state(P) and
 state_counter(N) and
 (empty_flow(_,Fd,null) or empty_flow(_,null,Fd)) and
 downstream_of(Fd,F1) and
 queue_length(F1,Q) and
 boundary_queue_length(F1,Qb) and
 $Q \geq 0.9 * Qb$ and
 flows_of_state(Next_P,F1,F2) and
 (not_empty_flow(_,F2,null) or not_empty_flow(_,null,F2))
 Action: THEN store_previous_state(P,N) and
 pattern_duration(T) and
 set_current_state(Next_P,T)

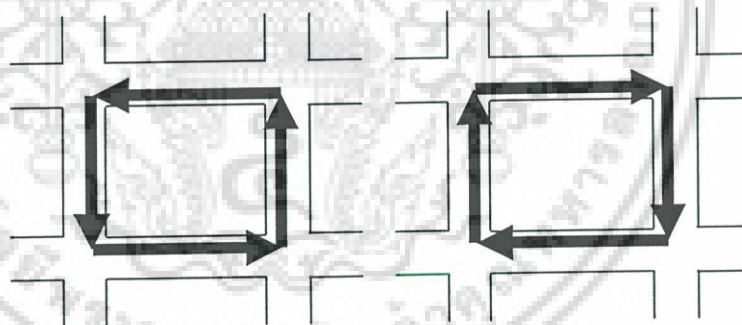
Rule 8.2
 Condition: IF current_state(P) and
 state_counter(N) and
 (empty_flow(_,Fd1,null) or empty_flow(_,null,Fd1)) and
 downstream_of(Fd1,F1) and
 queue_length(F1,Q1) and
 boundary_queue_length(F1,Qb1) and
 $Q1 \geq 0.9 * Qb1$ and
 (empty_flow(_,Fd2,null) or empty_flow(_,null,Fd2)) and
 Fd1 ≠ Fd2 and
 downstream_of(Fd2,F2) and
 queue_length(F2,Q2) and
 boundary_queue_length(F2,Qb2) and
 $Q2 \geq 0.9 * Qb2$ and
 flows_of_state(Next_P,F1,F2)
 Action: THEN store_previous_state(P,N) and
 pattern_duration(T) and
 set_current_state(Next_P,T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎที่ 8.1 สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดที่ว่างในคาน์สตรัมเต็มเพียงเส้นทางเดียว และ 8.2 สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดที่ว่างในคาน์สตรัมเต็มทั้ง 2 เส้นทาง ในทั้ง 2 กรณีเอเจนต์จะตัดสินใจเลือกรูปแบบของการเปิดไฟจราจรเพื่อปล่อยรถเข้าสู่คาน์สตรัมให้ได้มากที่สุด การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่รูปแบบใหม่ที่เลือกมานี้จะใช้หลักการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt) คือ เมื่อรูปแบบที่เลือกมาเปิดเพื่อให้ปล่อยรถในคาน์สตรัมจนสภาพจราจรเข้าสู่สภาวะปกติแล้วก็จะกลับคืนสู่รูปแบบเดิมก่อนที่จะเกิดการอินเทอร์รัพต์

- กฎสำหรับเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์

สำหรับเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์จะรับผิดชอบในการควบคุมการจราจรเป็นบริเวณ โดยรับข้อมูลจากกลุ่มเอเจนต์ในบริเวณที่มันดูแลและนำข้อมูลดังกล่าวมาตัดสินใจควบคุมการจราจรในภาพรวม โดยในงานวิจัยนี้เรากำหนดให้เอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์คอยตรวจสอบเกี่ยวกับเหตุการณ์ติดตาย หรือ Deadlock ในที่นี้เรากำหนดความหมายของ Deadlock ในการควบคุมไฟจราจรว่าเป็นเหตุการณ์ที่ทุกเส้นทางมีรถอยู่เต็มและไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้เพราะต้องรอให้เส้นทางอีกด้านหนึ่งของทางแยกว่างลงก่อน โดยที่ในเส้นทางนั้นก็รออีกเส้นทางหนึ่งในแยกถัดไปเช่น จนทุกเส้นทางในโครงข่ายถนนเชื่อมต่อกันเป็นวงปิด ทำให้รถไม่สามารถเคลื่อนตัวไปในเส้นทางที่ต้องการได้เลยแม้แต่เส้นทางเดียว เช่น ในกรณีที่รถทุกคันต้องการเลี้ยวซ้าย หรือ รถทุกคันต้องการเลี้ยวขวาดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การจราจรติดขัดแบบ Deadlock

ในการแก้ปัญหา Deadlock ทุกๆ เอเจนต์จำเป็นต้องรายงานสภาพการติดขัดทั้งในเส้นทางเข้าสู่แยกตนเองและเส้นทางคาน์สตรัมของแยกตนเองไปยังเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์ที่ควบคุมมันอยู่ ดังนั้นกฎข้อที่ 6.1 และ 6.2 จะถูกปรับปรุงเพื่อให้เอเจนต์สามารถรายงานข้อมูลดังกล่าวได้ ดังนี้

Rule 6.1
Condition: IF current_state(P) and
state_counter(N) and
(full_end_of_flow(_,F1,null) or full_end_of_flow(_,null,F1)) and
queue_length(F1,Q1) and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		boundary_queue_length(F1,Qb1)	and
		$Q1 \geq Qb1$ and downstream_of(Fd1,F1)	and
		downstream_maxsize(Fd1,M1)	and
		downstream_size(Fd1,D1)	and
		$M1 - D1 > 40$	and
		flows_of_state(Next_P,F1,F2)	and
		(not_full_end_of_flow(_,F2,null) or not_full_end_of_flow(_,null,F2))	and
Action:	THEN	store_previous_state(P,N)	and
		pattern_duration(T)	and
		set_current_state(Next_P,T)	and
		tell_supervisor_about_full_flow(myself,F1)	
Rule 6.2			
Condition:	IF	current_state(P)	and
		state_counter(N)	and
		(full_end_of_flow(_,F1,null) or full_end_of_flow(_,null,F1))	and
		queue_length(F1,Q1)	and
		boundary_queue_length(F1,Qb1)	and
		$Q1 \geq Qb1$	and
		downstream_of(Fd1,F1)	and
		downstream_maxsize(Fd1,M1)	and
		downstream_size(Fd1,D1)	and
		$M1 - D1 > 40$	and
		(full_end_of_flow(_,F2,null) or full_end_of_flow(_,null,F2))	and
		$F1 \neq F2$	and
		queue_length(F2,Q2)	and
		boundary_queue_length(F2,Qb2)	and
		$Q2 \geq Qb2$	and
		downstream_of(Fd2,F2)	and
		downstream_maxsize(Fd2,M2)	and
		downstream_size(Fd2,D2)	and
		$M2 - D2 > 40$	and
		flows_of_state(Next_P,F1,F2)	and
Action:	THEN	store_previous_state(P,N)	and
		pattern_duration(T)	and
		set_current_state(Next_P,T)	and
		tell_supervisor_about_full_flow(myself,F1)	and
		tell_supervisor_about_full_flow(myself,F2)	

ในการตรวจสอบสถานะ Deadlock นั้นเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์ต้องมีข้อเท็จจริงบางอย่าง
อยู่ฐานความรู้ของมันดังนี้

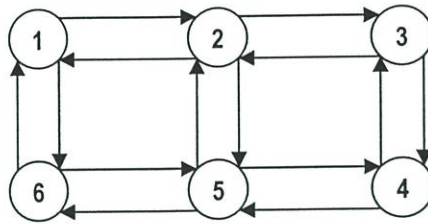
```
agent_in_range(A) agent_in_range(B) agent_in_range(C) agent_in_range(D)

loop_pattern([junctionA,p8b:f1],[ junctionB,p2a:f2],[ junctionC,p5b:f1],[ junctionD,p11a:f2])

manage(agentA, junctionA)          manage(agentB, junctionB)
manage(agentC, junctionC)          manage(agentD, junctionD)
```

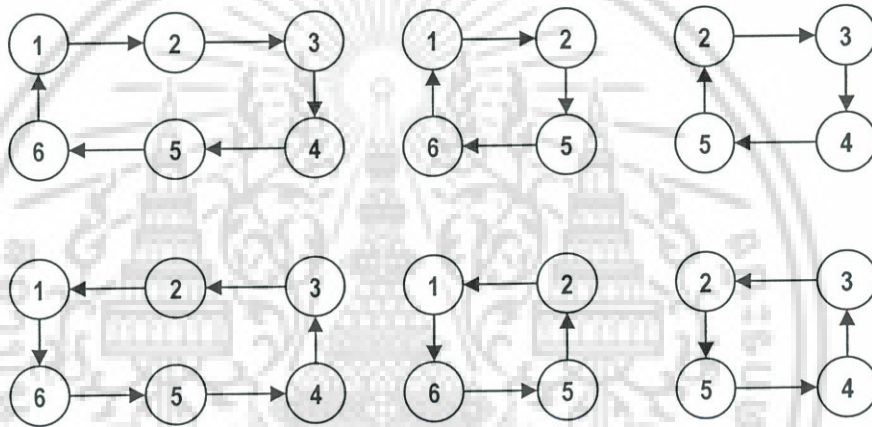
และนำข้อมูลการจราจรที่ได้รับรายงานมาจากเอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรที่ทางแยกแต่ละ
ตัวมาตรวจสอบหาวงปิดหรือ Loop โดยใช้เทคนิคของการหา Loop ในโครงสร้างข้อมูลแบบ
กราฟแบบมีทิศทาง ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็น Loop ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดในกราฟใด ๆ ดัง
เอกสารนี้เป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.21 แสดงกราฟที่มีโหนดทั้งหมด 6 โหนดซึ่งแต่ละโหนดแทนทางแยก 1 จุดโดย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละจุดมีเอเจนต์ทำหน้าที่ควบคุมไฟจราจรอยู่ และมีอาร์คที่แสดงทิศทางการเดินทางระหว่างทางแยกต่าง ๆ



รูปที่ 4.21 กราฟและวงปิดในกราฟ

ถ้าทุก ๆ เส้นทางระหว่างแยก 2 จุด ในทางแยกทั้ง 6 จุดมีรถติดอยู่เต็มเส้นทางจะเกิดเป็น Loop ได้ทั้งหมดจำนวน 6 Loop ดังนี้



รูปที่ 4.22 กราฟและวงปิดในกราฟ

เราใช้โปรแกรม Prolog ดำเนินการหา Loop ได้ดังนี้

```

loops(L) :- findall(P, blocked_flows (P), L1), remove_duplicate_loops(L1, L).
blocked_flows(P) :- path(A, A, P).
blocked(X, Y) :- edge(X, Y), full(X, Y).
path(Start, Goal, Path) :- travel(Start, Goal, [Start], Q),
reverse(Q, Path).

travel( Node, Goal, [H], [H]) :- blocked( Node, Goal).
travel( Node, Goal, [H1, H2|Path], [H1, H2|Path]) :-
H2 \= Goal, blocked( Node, Goal).
travel( Node, Goal, [H|Path], Result) :-
blocked( Node, ChildNode),
H \= ChildNode,
\+ member( ChildNode, [H|Path]),
travel( ChildNode,
Goal, [ChildNode, H| Path], Result).

rotate_one( [R | Set], Set2) :- append( Set, [R], Set2),!.
rotate( [R | LoopA], R, [R | LoopA]) :- !.
rotate( [A | LoopA], R, Loop ) :- rotate_one( [A | LoopA] , LoopA1, rotate( LoopA1 R, Loop ) ,!.
same_loop( [A | LoopA], LoopB) :- len([A | LoopA], L ), len(LoopB, L), member( A , LoopB),
rotate( LoopB, A, LoopB1), same_loop_1([A|LoopA], LoopB1),!.

same_loop_1([], []).
same_loop_1([A|Loop1], [A|Loop2]) :- same_loop_2( Loop2, Loop2).
    
```

```

remove_duplicate_loops( [S] , [S])      :-      !.
remove_duplicate_loops( [S |L] , [S|L1]) :-      not member_set( S, L),
                                             remove_duplicate_loops( L, L1),!.
remove_duplicate_loops( [S|L] , L1)    :-      remove_duplicate_loops( L, L1),!.
member_set(S,[T |_])                    :-      same_loop(S, T),!.
member_set( S, [T |L])                  :-      member_set( S, L),!.
    
```

สำหรับรูปแบบการเชื่อมต่อของโครงข่ายถนนเราใช้ `edge(X,Y)` ใน Prolog แทนข้อเท็จจริงที่ว่า แยก X มีทิศทางจราจรไปยังแยก Y โดยที่ `edge(X,Y)` จะเป็นคนละทิศทางกับ `edge(Y,X)` ดังนั้นจากตัวอย่างในรูปที่ 4.21 เราได้ `edge(X,Y)` ทั้งหมดดังต่อไปนี้

```

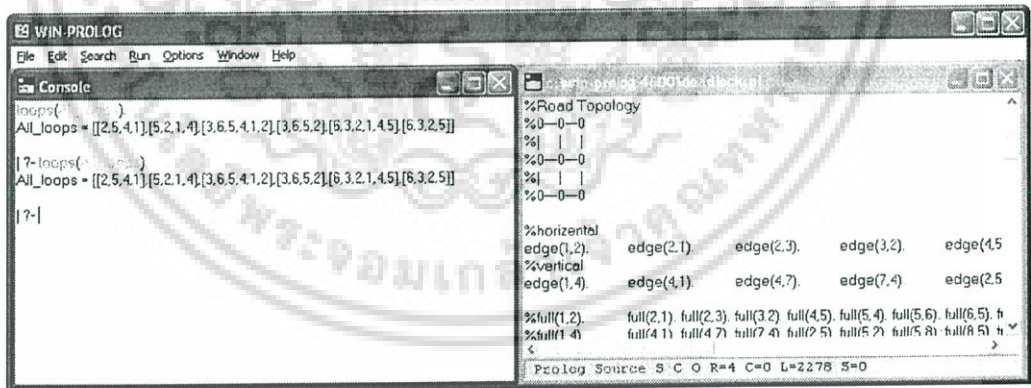
edge(1,2).   edge(2,3).   edge(3,4).   edge(4,5).   edge(5,6).   edge(6,1).
edge(2,1).   edge(3,2).   edge(4,3).   edge(5,4).   edge(6,5).   edge(1,6).
    
```

และเราใช้ `blocked(X,Y)` แทนข้อเท็จจริงที่ว่า มีรถอยู่เต็มและไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ในเส้นทางจากแยก X ไปยังแยก Y ดังนั้นถ้าสมมติให้มีรถเต็มและไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ในทุกเส้นทางของตัวอย่างนี้ เราได้

```

blocked(1,2). blocked(2,3). blocked(3,4). blocked(4,5). blocked(5,6). blocked(6,1).
blocked(2,1). blocked(3,2). blocked(4,3). blocked(5,4). blocked(6,5). blocked(1,6).
    
```

ดังนั้นถ้ากำหนดรูปแบบของโครงข่ายถนนดังตัวอย่างนี้และมีข้อมูลการจราจรดังกล่าวข้างต้น ผลลัพธ์ของการหา Loop ด้วย Prolog ได้ดังรูปที่ 4.23



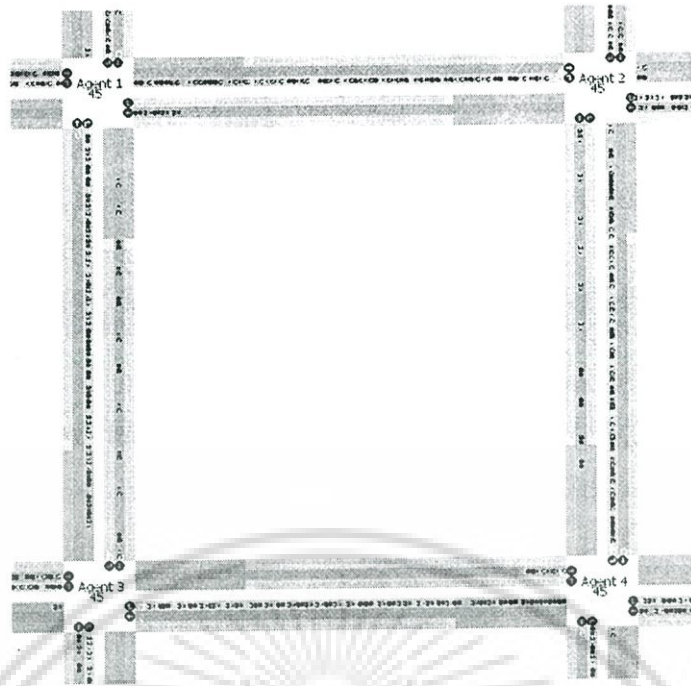
รูปที่ 4.23 การหา Loop ในกราฟเพื่อตรวจสอบการเกิด Deadlock

จากนั้นเอเจนต์ซูเปอร์ไวเซอร์จะนำข้อมูลดังกล่าวมาตรวจสอบและแก้ปัญหา Deadlock ด้วยกฎต่อไปนี้

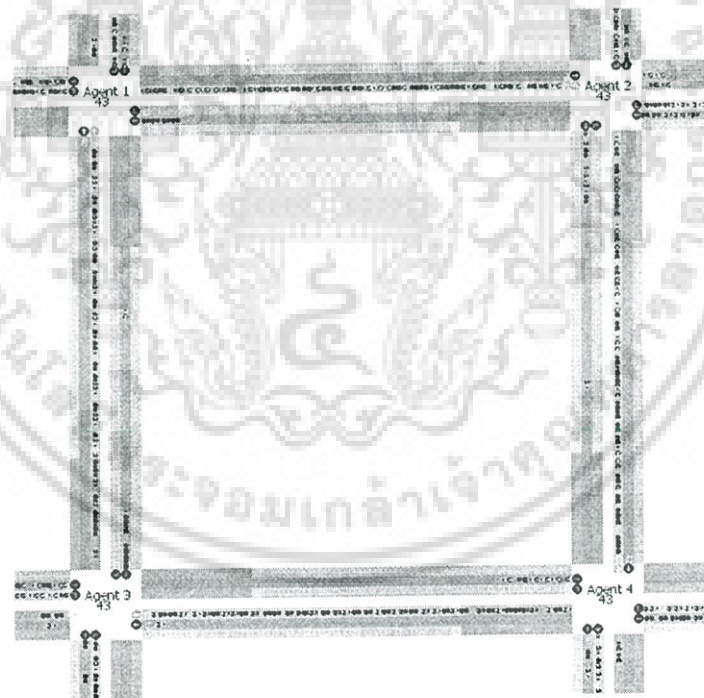
```

Rule 9
Condition: IF all_current_full_flows(Flow_List)
           AND probable_loop(Flow_List,Loop)
Action: THEN break(Loop)
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การเกิด Deadlock ในแบบจำลองจราจร



รูปที่ 4.25 การแก้ Deadlock ด้วยการเปลี่ยนทิศทางของไฟจราจร

รูปที่ 4.24 แสดงการเกิด Deadlock ในแบบจำลองจราจรและรูปที่ 4.25 แสดงการแก้ Deadlock โดยการเปลี่ยนทิศทางจราจรให้แต่ละเส้นทางที่เป็นส่วนหนึ่งของ Deadlock มุ่งไปในทิศทางอื่นเพื่อทำลายวงปิดหรือลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ส่วนกลไกอนุมาน

สำหรับส่วนกลไกอนุมาน (Inference engine) เป็นส่วนที่เอเจนต์ใช้หาข้อสรุปในการตัดสินใจควบคุมไฟจราจร โดยแต่ละเอเจนต์ทำการควบคุมไฟจราจรที่ทางแยกด้วยการใช้วนลูปรทำงานแบบ ออบเซิร์ฟ-ทิงค์-แอค (Observe-Think-Act) ซึ่งแสดงกระบวนการทำงานดังนี้

```
Infinite-loop :-
    read facts from the working memory
    match those facts with all rules
    fire all rules that applicable
```

กลไกอนุมานในงานวิจัยของเราสร้างด้วยภาษา Prolog เป็น Meta-program ดังรูปที่ 4.26

```
prove(true) .
prove(A and B) :- !,prove(A) , prove(B) .
prove(A)       :- working_memory(A) , ! .
prove(A)       :- built-in(A) , ! , A .

one_step_rule_interpreter(R_type) :-
    findall(R,rule(R_type,R),Rule_list) ,
    try_all_rules_and_fire_them(Rule_list) .

try_all_rules_and_fire_them([]) .

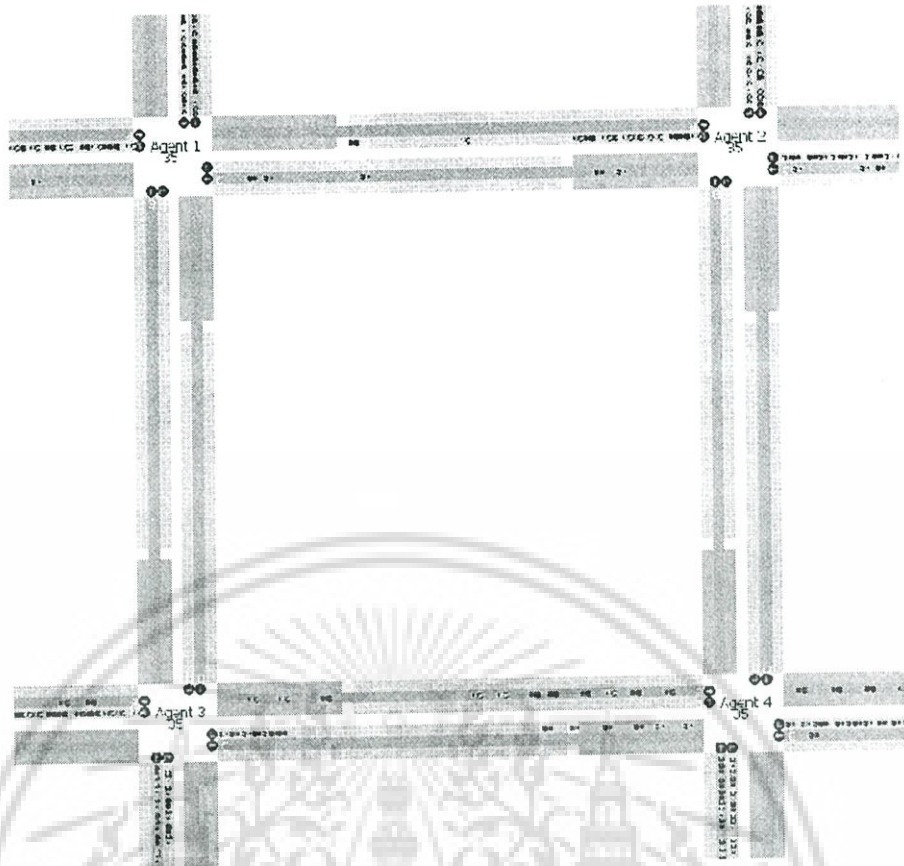
try_all_rules_and_fire_them([R|RL]) :-
    [Condition,'->',Action] = R ,
    (prove(Condition) , prove(Action) ; true) ,
    try_all_rules_and_fire_them(RL) .

rule_interpreter :-
    one_step_rule_interpreter(_),
    rule_interpreter .
```

รูปที่ 4.26 กลไกการอนุมานที่สร้างด้วยภาษา Prolog

4.4 แบบจำลองการจราจร

เพื่อแสดงการทำงานของระบบควบคุมไฟจราจรของเราให้ดูง่ายขึ้น เราได้สร้างแบบจำลองการจราจร (Traffic Simulator) ขึ้นมาแทนสภาพการจราจรจริง ดังรูปที่ 4.27 ซึ่งการสร้างแบบจำลองนั้นมีข้อดีหลายประการ ประการแรกคือ การจำลองทำให้เราสามารถสร้างสถานการณ์ของการจราจรได้หลายแบบตามที่เรต้องการจะนำมาทดสอบวิธีการควบคุมไฟจราจร ประการที่สอง แบบจำลองสามารถเก็บข้อมูลการจราจรที่จำเป็นในการนำมาวิเคราะห์ได้ง่าย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกสังเกตโดยเอเจนต์นอกจากนั้นเอเจนต์สามารถควบคุมไฟจราจรโดยเพียงแค่ป้อนคำสั่งในลักษณะของพารามิเตอร์ในการควบคุม (Control parameters) ไปยังแบบจำลองเพื่อนำไปกำหนดค่าของเวลาในการเปิดไฟเขียวหรือไฟแดงที่ทางแยก



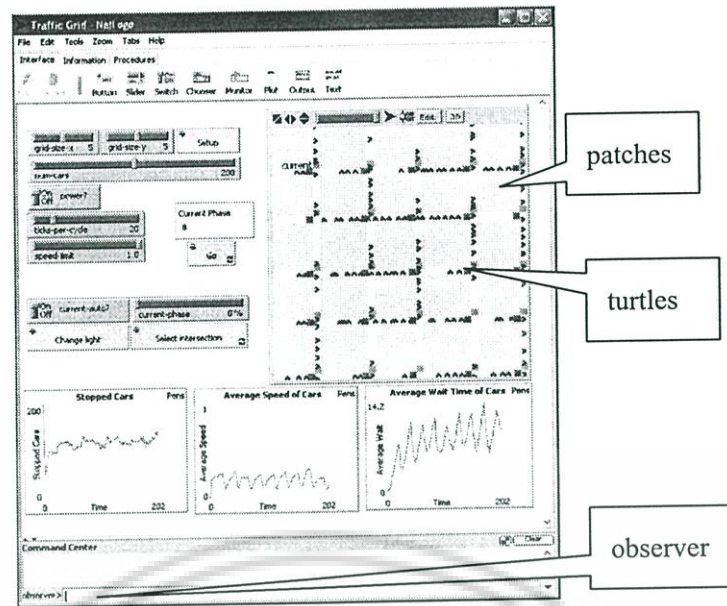
รูปที่ 4.27 แบบจำลองการจราจร

แบบจำลองการจราจรที่ใช้ในงานวิจัยนี้พัฒนาด้วยภาษา NetLogo [8] ซึ่งในภาษา NetLogo เราสามารถเขียนโปรแกรมสร้างเอเจนต์ขึ้นมาหลาย ๆ ตัวและให้แต่ละตัวทำงานตามคำสั่งที่โปรแกรมไว้ โดยแต่ละเอเจนต์สามารถทำงานเป็นอิสระต่อกันและทำงานไปพร้อม ๆ กันแบบขนาน

ในภาษา NetLogo มีเอเจนต์อยู่ 3 ประเภท คือ Turtle Patch และ Observer สำหรับเอเจนต์ที่เป็น Turtle สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั่วทั้งโลก ซึ่งเป็นโลกใน NetLogo เป็นโลกแบบ 2 มิติที่สร้างจากเอเจนต์ชนิดที่เป็น Patch ซึ่งมีลักษณะเป็นรูป 4 เหลี่ยมจัตุรัสโดยที่ Turtle สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปตาม Patch ได้ ส่วน Observer นั้นไม่มีที่อยู่แต่สามารถเฝ้ามอง ติดตาม หรือออกคำสั่ง กับ Turtle และ Patch ได้ทั่วทั้งโลก

เอเจนต์ที่เป็น Patch แต่ละตัวจะมีพิกัดเหมือนกับตำแหน่งบนพื้นโลกจริง โดย Patch ที่อยู่ตรงจุดศูนย์กลางของโลกใน NetLogo จะมีพิกัด (0, 0) พิกัดเหล่านี้เป็นลำดับของค่าในแกน x และแกน y ซึ่งมีชื่อเรียกว่า pxcor และ pycor ตามลำดับ สำหรับเอเจนต์ที่เป็น Turtle ก็มีพิกัดด้วยเหมือนกัน เรียกว่า xcor กับ ycor เพื่อบอกตำแหน่งของ Turtle ว่าอยู่ตรงส่วนใดในโลก นอกจากนี้เรายังสามารถตรวจสอบได้ว่า Turtle ที่เราสนใจ กำลังหยุดหรือเคลื่อนที่อยู่บน Patch ใด สภาพแวดล้อมของการจราจรในแบบจำลองถูกสร้างโดยสภาพแวดล้อมของ NetLogo นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิจัยระบบขนส่งและการจราจร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 โปรแกรม NetLogo และคุณสมบัติ introspection

ใน NetLogo เราสามารถวัดประสิทธิภาพของการจราจรที่อยู่ภายใต้การควบคุมได้โดยง่าย เนื่องจาก NetLogo ยอมให้แต่ละเอเจนต์มีคุณสมบัติ introspection คือ เอเจนต์มีการจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสถานะของตนเองในขณะที่ทำงานไว้ภายในและอนุญาตให้ observer สามารถสอบถามข้อมูลนี้ได้ตลอดเวลา ด้วยคุณสมบัตินี้เราจึงสามารถโปรแกรมให้รถบันทึกข้อมูลเวลาที่มันสูญเสียไปในการรอคิวและนำข้อมูลเหล่านี้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการเสียเวลาของรถทุกคันในระหว่างการจำลองจราจร ณ เวลาใด ๆ ก็ได้ตามต้องการ

```

turtle 192:
  who 192
  color 23.0
  heading 0.0
  xcor -1.0
  ycor -31.90553897615886
  shape "car top"
  label ""
  label-color 9.9
  breed turtles
  hidden? false
  size 1.0
  pen-size 1.0
  pen-mode "up"
  ttype "car"
  speed 0.893232761407042
  speed-limit 1
  speed-min 0
  delaytime 3.501840231798521
  
```

รูปที่ 4.29 คุณสมบัติ introspection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิธีการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เรากล่าวถึงการกำหนดสถานการณ์ในการจำลองควบคุมไฟจราจรด้วยวิธีต่าง ๆ การวัดประสิทธิภาพ และการวิเคราะห์ผล ของการควบคุมไฟจราจรหลาย ๆ วิธีเปรียบเทียบกัน

5.1 วิธีการทดลอง

เราทำการทดลองควบคุมไฟจราจรในแบบจำลองจราจรโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยแบ่งเป็นเครื่องสำหรับรันแบบจำลองจราจรที่สร้างด้วยภาษา NetLogo เวอร์ชัน 3.1.3 และเครื่องสำหรับรันโปรแกรมเอเจนต์ที่สร้างด้วยภาษา Prolog ซึ่งแต่ละเครื่องมีคุณสมบัติหลัก ๆ ดังนี้

เครื่องสำหรับรันแบบจำลองจราจร

- หน่วยประมวลผล Intel Xeon 3.6 GHz
- หน่วยความจำหลัก 4 GB
- ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP 64 bit

เครื่องสำหรับรันโปรแกรมเอเจนต์

- หน่วยประมวลผล Intel Pentium D 3.2 GHz
- หน่วยความจำหลัก 1 GB
- ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP

5.2 กำหนดตัวแปรในการทดลอง

เราทำการทดลองควบคุมไฟจราจรในแบบจำลองจราจรด้วยวิธีการควบคุม 3 วิธี เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุม คือ

- วิธีที่นำเสนอ ควบคุมด้วยระบบมัลติเอเจนต์
- วิธีเวฮิเคิลแอกชูเอเต็ด (Vehicle actuated - VA) ควบคุมด้วยโปรแกรมทั่วไป
- วิธีธรรมดา ซึ่งกำหนดเวลาคงที่สำหรับทุก ๆ รูปแบบของการเปิดไฟจราจร

เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง เราได้ตั้งสมมุติฐานดังนี้

- กำหนดให้ระยะทางระหว่างแยก 800 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ติดตั้งเซนเซอร์ในการนับจำนวนรถที่ออกจากคิวอยู่ที่ทางแยกและการนับรถที่เข้ามาในคิวอยู่ที่ระยะห่าง 250 เมตรจากทางแยก
- จุดที่ติดตั้งเซนเซอร์ในการนับจำนวนรถในที่ปล่อยจากทางแยกไปสู่ถนนอีกด้านหนึ่งหรือคาน้ำสตรีม (Downstream) อยู่ที่ 100 เมตรจากทางแยก
- เวลาในการเปิดไฟเขียวมาตรฐาน 45 วินาทีและเวลาเปิดไฟเขียวสูงสุด 60 วินาที
- เวลาของการเปิดไฟเขียวที่ขยายในแต่ละครั้ง 3 วินาที

สำหรับวิธี VA เราได้กำหนดตัวแปรบางตัวให้เป็นไปตามที่กล่าวถึงใน [10] ดังนี้

- เวลาในการเปิดไฟเขียวมาตรฐาน 16 วินาทีและเวลาเปิดไฟเขียวสูงสุด 60 วินาที
- จุดที่ติดตั้งเซนเซอร์ในการนับจำนวนรถที่ออกจากคิวอยู่ที่ทางแยกและการนับรถที่เข้ามาในคิวอยู่ที่ระยะห่าง 45 เมตรจากทางแยก
- ไม่มีเซนเซอร์ในการนับจำนวนรถในที่ปล่อยจากทางแยกไปสู่ถนนอีกด้านหนึ่งหรือคาน้ำสตรีม (Downstream)

และสุดท้ายคือวิธีควบคุมแบบธรรมดาที่กำหนดเวลาสำหรับทุก ๆ รูปแบบของการเปิดไฟจราจรเป็นเวลาคงที่ 60 วินาที โดยไม่สนใจข้อมูลที่ได้จากส่วนสังเกตการจราจร

5.3 กำหนดสถานการณ์ในการทดลอง

เรากำหนดสถานการณ์ของการจราจรเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการควบคุมไฟจราจรขึ้นมา 4 รูปแบบ คือการจราจรหนาแน่นทิศทางเดียว (1 peak) สองทิศทาง (2 peaks) สามทิศทาง (3 peaks) และสี่ทิศทาง (4 peaks) ดังรูปที่ 5.1 – 5.15

5.4 วิธีวัดผลการทดลอง

เราหาประสิทธิภาพของวิธีควบคุมไฟจราจรโดยการวัดเวลาที่เสียไปในการรอสัญญาณไฟหรือดีเลย์ไทม์ (Delay time) สามารถคำนวณโดยใช้สูตร

$$\bar{t}_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{d_i}$$

โดยที่

\bar{t}_d คือค่าเฉลี่ยของเวลาที่ล่าช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งาน t_{d_i} คือเวลาที่ล่าช้าของรถคันที่ i แนะนำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ t_{d_i} สามารถหาได้จากสูตร $t_{d_i} = t_{e_i} - t_{a_i}$

โดยที่

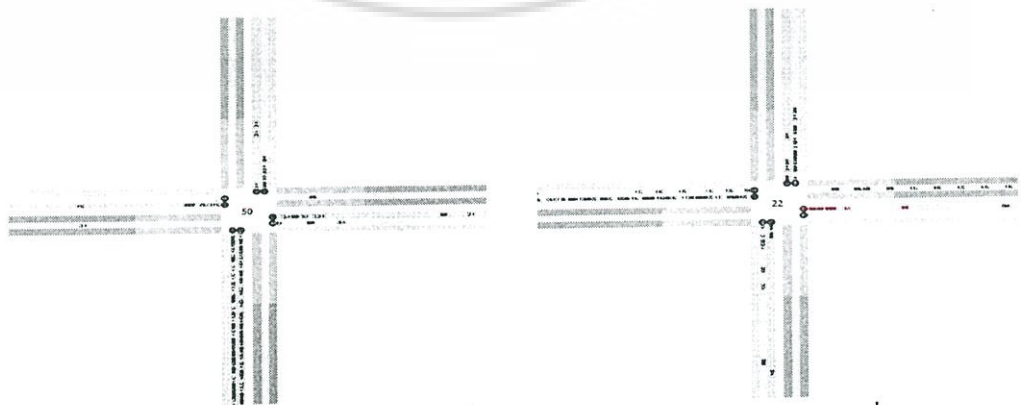
- t_{d_i} คือเวลาที่ล่าช้าของรถคันที่ i
- t_{e_i} คือเวลาที่คาดหวัง (Expected time) ของรถคันที่ i
- t_{a_i} คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริง (Actual time) ของ รถคันที่ i ได้จาก
ตัวนับเวลาที่อยู่ในรถ

และ t_{e_i} หาได้จาก $t_{e_i} = \frac{d_i}{V}$

โดยที่

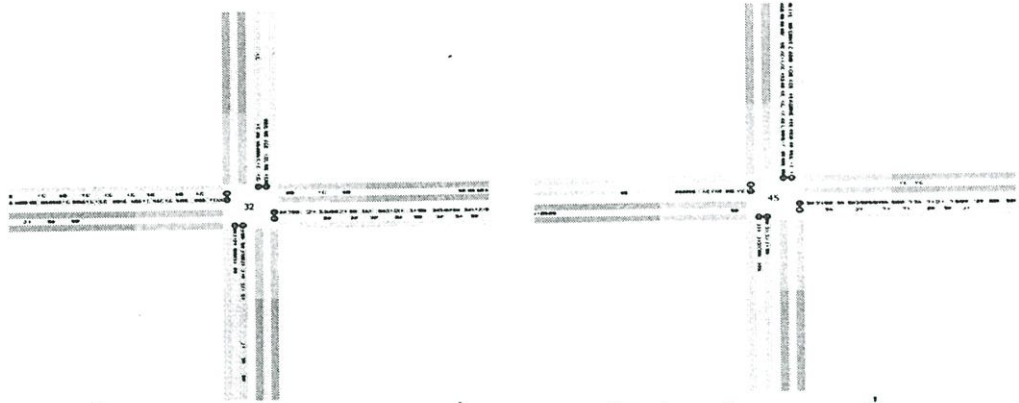
- t_{e_i} คือเวลาที่คาดหวัง (Expected time) ของรถคันที่ i
- d_i คือระยะทางของรถคันที่ i
- V เป็นค่าคงที่ แทนความเร็วเฉลี่ยของรถในแบบจำลอง (60 กม./ชม.)

รูปที่ 5.1 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 1 ทิศทางแบบที่ 1 และ 2



รูปที่ 5.2 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหนาแน่น 1 ทิศทางแบบที่ 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 สถานการณ์ในการทดลองที่การจรรยาหน้าแน่น 2 ทิศทาง แบบที่ 1 และ 2



รูปที่ 5.4 สถานการณ์ในการทดลองที่การจรรยาหน้าแน่น 2 ทิศทาง แบบที่ 3 และ 4

รูปที่ 5.5 สถานการณ์ในการทดลองที่การจรรยาหน้าแน่น 2 ทิศทาง แบบที่ 5 และ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหน้าแน่น 3 ทิศทาง แบบที่ 1 และ 2



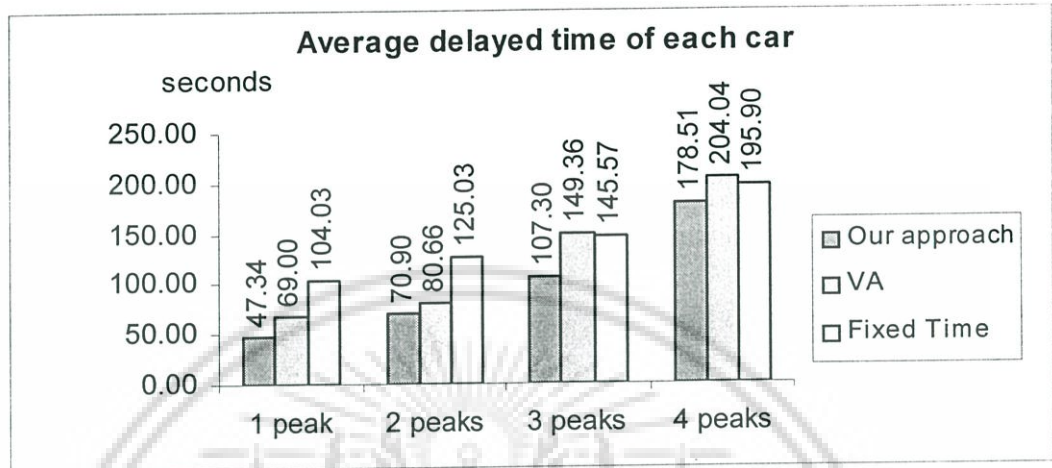
รูปที่ 5.7 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหน้าแน่น 3 ทิศทาง แบบที่ 3 และ 4

รูปที่ 5.8 สถานการณ์ในการทดลองที่การจราจรหน้าแน่น 4 ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

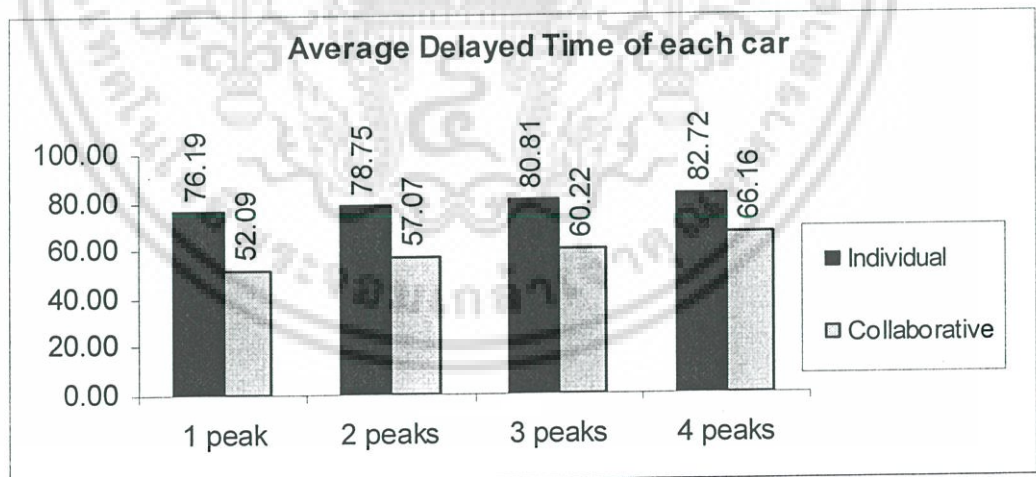
5.5 ผลการทดลอง

รูปที่ 5.9 เป็นการทดลองที่ได้จากการจำลองจราจรและควบคุมไฟจราจรด้วยการควบคุมทั้ง 3 วิธี



รูปที่ 5.9 ผลการทดลองการควบคุมด้วยเอเจนต์เดี่ยว

รูปที่ 5.10 เป็นการทดลองที่ได้จากการจำลองจราจรและควบคุมไฟจราจรด้วยเอเจนต์ที่เราออกแบบ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการทำงานแบบระบบมัลติเอเจนต์ที่ทำงานเชิงกระจายและทำงานประสานกัน



รูปที่ 5.10 ผลการทดลองการควบคุมด้วยมัลติเอเจนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในการทดลองควบคุมการจราจรที่ทางแยกเดี่ยวจะเห็นเวลาเฉลี่ยที่รถแต่ละคันต้องเสียไปในการรอสัญญาณไฟจราจรที่ควบคุมด้วยวิธีที่นำเสนอลดน้อยลงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นเนื่องจากวิธีของเรามีการคำนึงถึงการใช้ประโยชน์จากไฟเขียวให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยไม่ปล่อยให้โอกาสเกิดไฟเขียวที่ไร้ประโยชน์ทำให้สามารถบริการรถเดินทางผ่านทางแยกได้ตลอดเวลาและเมื่อทดลองในสภาพแวดล้อมแบบหลายทางแยกเวลาเฉลี่ยที่รถแต่ละคันต้องเสียไปในการรอสัญญาณไฟจราจรที่ควบคุมด้วยระบบมัลติเอเจนต์ที่มีการทำงานร่วมกันและสื่อสารกันมีค่าน้อยกว่าการควบคุมด้วยระบบมัลติเอเจนต์ที่ทำงานอย่างอิสระต่อกัน โดยไม่มีการสื่อสาร เนื่องจากการสื่อสารของเอเจนต์ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างบนถนนได้อย่างเต็มที่ โดยกฎการสื่อสารระหว่างเอเจนต์ที่มีการแจ้งให้ระบายนรถที่ติดขัดแบบแยกชนแยกและการแจ้งให้ปล่อยรถเข้ามาในพื้นที่ว่างของถนนนอกจากนั้นซึ่งนับเป็นข้อดีของระบบมัลติเอเจนต์ นอกจากวิธีการของเรายังสามารถแก้ปัญหา Deadlock ได้อีกด้วย โดยอาศัยเอเจนต์ที่เป็นหัวหน้ากลุ่มหรือ Supervisor ในการตรวจสอบเหตุการณ์ Deadlock โดยอาศัยข้อมูลการจราจรที่ได้รับรายงานจากเอเจนต์ควบคุมไฟจราจรที่แต่ละทางแยกและแก้ปัญหาโดยการระบายนรถออกไปในทิศทางอื่นเพื่อแก้ไข Deadlock และทำให้การจราจรสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการควบคุมไฟจราจรด้วยระบบหลายเอเจนต์ โดยศึกษาและออกแบบระบบที่ประกอบด้วยเอเจนต์หลาย ๆ ตัวและโลกของเอเจนต์ซึ่งประกอบด้วย รถ เครื่องข่ายถนน สัญญาณไฟจราจร สำหรับเอเจนต์แต่ละตัวทำหน้าที่ควบคุมไฟจราจรที่ทางแยก ด้วยรอบการทำงานแบบสังเกต-คิด-กระทำ (observe-think-act) ด้วยการสังเกตสภาพการจราจรที่ทางแยกในขณะนั้น และนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกตของตนเองและจากการสื่อสารของเอเจนต์ข้างเคียงมาวินิจฉัยด้วยกฎที่เป็นลักษณะ condition -> action เพื่อตัดสินใจว่าควรควบคุมไฟจราจรอย่างไรที่จะจัดการให้การไหลของจราจรในบริเวณที่มันควบคุมมีประสิทธิภาพ เราเริ่มต้นทดสอบการควบคุมด้วยเอเจนต์เดียวและเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมหลาย ๆ วิธีในรูปแบบจำลองด้วยสถานการณ์การจราจรที่แตกต่างกัน และนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถลดเวลาของรถแต่ละคันที่จะต้องเสียไปในการรอสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกได้มากกว่าวิธีการอื่นที่เรานำมาเปรียบเทียบ ได้อย่างชัดเจน หลังจากนั้นเราได้ทำการออกแบบกฎสำหรับการควบคุมด้วยระบบมัลติเอเจนต์เพื่อทำการทดสอบกับทางแยกหลาย ๆ จุดในโครงข่ายถนนและกำหนดให้เอเจนต์แต่ละตัวทำงานร่วมกันโดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับการจราจรที่แต่ละตัวสังเกตได้เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจของเอเจนต์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ผลจากการนำระบบมัลติเอเจนต์มาใช้ควบคุมไฟจราจรทำให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้มากขึ้นทำให้เวลาที่สูญเสียในการรอสัญญาณไฟของรถลดลง นอกจากนั้นเรายังได้ออกแบบให้เอเจนต์หัวหน้ากลุ่มที่ทำหน้าที่ควบคุมการจราจรในภาพรวมสำหรับช่วยแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทำงานของเอเจนต์ที่ควบคุมไฟจราจรที่ทางแยกหลาย ๆ ตัว เช่น การเกิดเหตุการณ์ deadlock เอเจนต์หัวหน้ากลุ่มนี้จะแก้ปัญหาโดยใช้ข้อมูลการจราจรที่ได้รับรายงานมาจากเอเจนต์อื่น ๆ ที่ควบคุมไฟจราจรตามทางแยกในบริเวณรอบ ๆ ตัวมัน ดังนั้นเอเจนต์หัวหน้ากลุ่มจะส่งเสริมให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ดียิ่งขึ้น

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

มีข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำการจำลอง คือ เมื่อทำการจำลองในสถานการณ์ที่มีรถจำนวนมาก ๆ เช่น รถมากกว่า 1 หมื่นคันและทางแยกที่มากกว่า 4 จุด ขึ้นจะใช้เวลาในการประมวลผลนานเนื่องจากซีพียูทำงานหนักเพราะออบเจกต์ต่าง ๆ ใน

เอกสารนี้เป็นแบบจำลองเปรียบเทียบเหมือนหนึ่งโปรเซสที่ใช้งานซีพียู ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

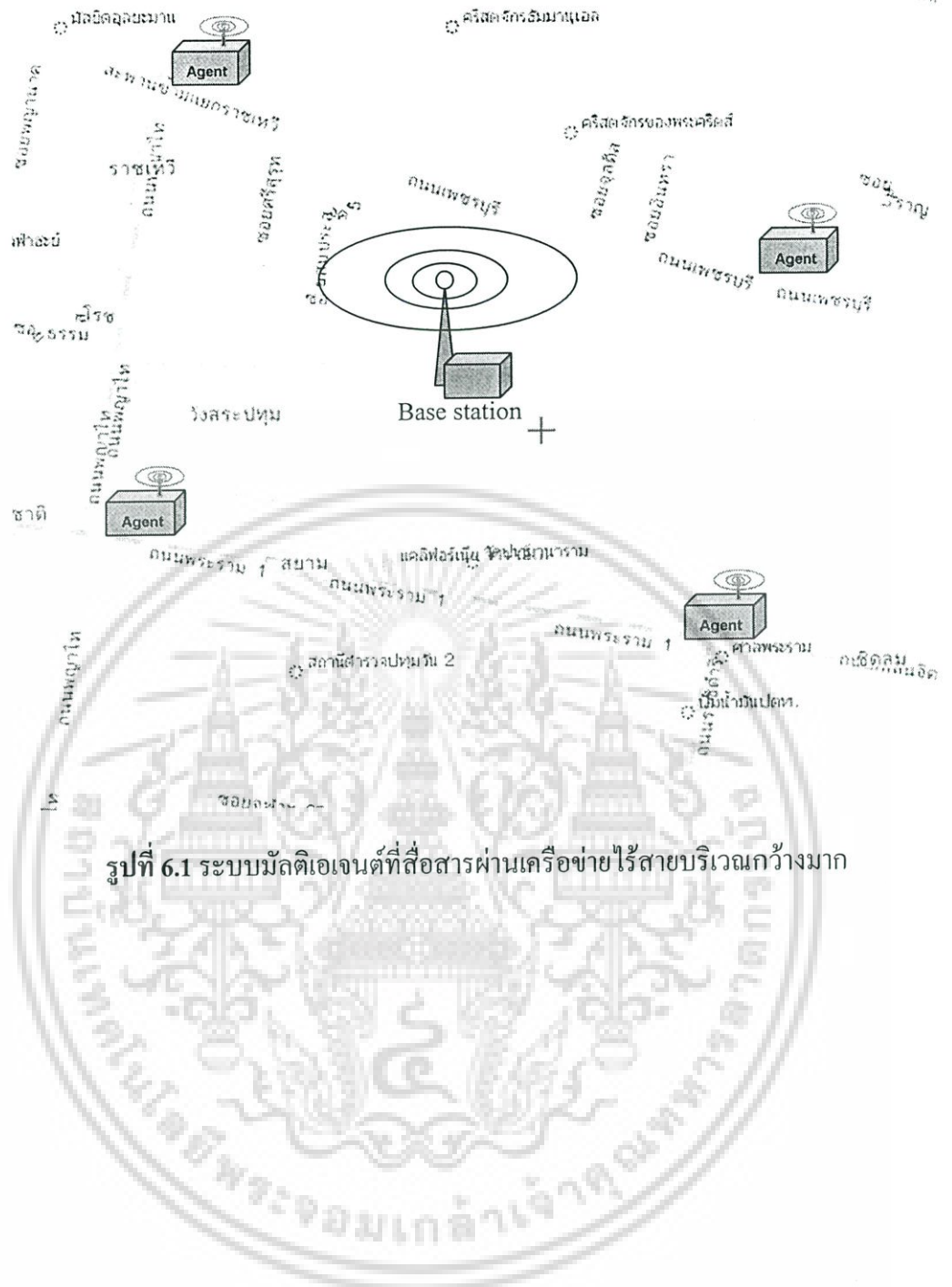
6.3 ข้อเสนอแนะ

ควรนำกฎทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาจุดบกพร่องหรือความขัดแย้ง และศึกษาการกำหนดเป้าหมายในภาพรวมของระบบมัลติเอเจนต์เพื่อป้องกันไม่ให้เอเจนต์แต่ละตัวมุ่งแต่ทำงานให้สำเร็จตามเป้าหมายของตนเองเพียงอย่างเดียวซึ่งในบางกริ่งการทำเช่นนี้อาจจะไปเพิ่มภาระให้เอเจนต์อื่นจนประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

สำหรับแนวทางในการในการนำไปใช้งานในสถานการณ์จริงเราสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนย่อย ๆ ดังนี้

- ส่วนเซนเซอร์สำหรับการนับจำนวนและอัตราการเข้าออกของรถในบริเวณที่ต้องการ แบบ Loop Detector หรือแบบอื่น ๆ
- ส่วนเอเจนต์ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีโปรแกรมเอเจนต์อยู่ภายใน เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติเหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไปที่สามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอก เช่น เซนเซอร์ ชุดควบคุมสัญญาณไฟจราจร และสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อสื่อสารกับเอเจนต์อื่นที่อยู่ในคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเช่นเดียวกันโดยติดต่อกันผ่านทางเครือข่าย LAN หรือ ADSL Modem หรือเครือข่ายไร้สาย เช่น WiMAX CDMA EDGE หรือ GPRS
- ส่วนซูเปอร์ไวเซอร์เอเจนต์สำหรับทำหน้าที่ควบคุมการจราจรในภาพรวมของบริเวณทางแยกเป็นกลุ่ม ๆ ใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีโปรแกรมเอเจนต์สำหรับซูเปอร์ไวเซอร์อยู่ภายในและสามารถติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ทำหน้าที่ควบคุมการจราจรในแต่ละแยกได้ทุกตัว ติดตั้งไว้ในบริเวณกลุ่มทางแยกเหล่านั้น เช่น ป้อมควบคุมการจราจรของเจ้าหน้าที่ตำรวจ

รูปที่ 6.1 เป็นตัวอย่างแนวทางการนำไปใช้งานในสถานการณ์จริง โดยจุดที่เป็นทางแยกในโครงข่ายถนนจะมีเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ควบคุมไฟจราจรและมีการสื่อสารระหว่างเอเจนต์ผ่านทางเครือข่ายไร้สายที่เป็นลักษณะเครือข่ายแบบ Metropolitan Broadband Wireless Access หรือเครือข่ายบริการอินเทอร์เน็ตไร้สายความเร็วสูงที่มีพื้นที่ครอบคลุมบริเวณกว้างมาก เช่น WiMAX ซึ่งมีรัศมีบริการประมาณ 3-10 กม. หรือครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 400 ตร.กม. ให้ความเร็วในการส่งข้อมูลได้ถึง 70 Mbps และเป็น Non-Line of Sight (NLOS) หมายความว่าแม้มีสิ่งกีดขวางกั้นอยู่ ข้อมูลก็จะสามารถสะท้อนไปมาจนในที่สุดสามารถรับสัญญาณข้อมูลได้ครบ



รูปที่ 6.1 ระบบมัลติเอเจนต์ที่สื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สายบริเวณกว้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Taale, “**Comparing Methods to Optimise Vehicle Actuated Signal Control,**” in IEE conference publication Road Transport Information and Control, 2002, 486, pp. 114-119.
- [2] S. Mikami and Y. Kakazu, “**Genetic reinforcement learning for cooperative traffic signal control,**” in Proc. IEEE World Congress Computational Intelligence, 1994.
- [3] L. Ying, M. Shoufeng, L. Wu and W. Huanchen, “**Microscopic urban traffic simulation with multi-agent system,**” in Proc. of the Joint Conference of the Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia, 2003, pp. 1835 - 1839.
- [4] G. Nakamiti and F. Gomide, “**Fuzzy sets in distributed traffic control,**” in Proc. 5th IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems, 1996, pp. 1617-1623.
- [5] S. Chiu and S. Chand, “**Self-organizing traffic control via fuzzy logic,**” in Proc. 32nd IEEE Conf. Decision Control, 1993, pp. 1987-1902.
- [6] W. Xiao Xiong, Y. Shu Shen and Z. Xue Feng, “**Architecture of Multi-agent System for Traffic Signal Control,**” in Proc. of 8th IEEE Conf. Control, Automation, Robotics and Vision, 2004, vol.3, pp. 2199-2204.
- [7] F. D. Enrique, S. Eswaran and M. Dietrich, “**Intelligent agents in decentralized traffic control,**” in Proc. of IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems, 2001, pp. 705-709.
- [8] V. Hirankitti and J. Krohkaew, “**An Agent Approach for Intelligent Traffic-Light Control,**” in Proc. of Asian Modelling Symposium AMS2007, 2007, pp. 496-501.
- [9] Uri Wilensky., NetLogo User Manual version 3.0.2, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 2005. Available at: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [10] Lee, J.H., and Lee-Kwang, H., “**Distributed and cooperative fuzzy controllers for traffic intersections group**”, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. C, Appl. Rev., 1999, 29, (2), pp. 263-271.
- [11] Garber, Nicholas J., Hoel, Lester A., **Traffic and highway engineering**, PWS, 1996.
- [12] Russell, S., Norvig, P., **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, Prentice Hall, 2003.
- [13] Negnevitsky, M., **Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems**, Addison-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Wesley, 2002. การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] De Schutter, B., “**Optimal traffic light control for a single intersection**”, American Control Conference, 1999, pp. 2195-2199.
- [15] Wang, F.Y., and Tang, S., “**A Framework for Artificial Transportation Systems: From Computer Simulations to Computational Experiments**”, in Proc. of the 8th international IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2005, pp. 1130-1134.
- [16] V. Hirankitti, J. Krohkaew, and C. Hogger., “**A Multi-Agent Approach for Intelligent Traffic-Light Control**”, in Proceeding of the 2007 International Conference of Computational Intelligence and Intelligent Systems (ICCIIS2007) in World Congress on Engineering 2007 (WCE2007), 2007, pp 116-121.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Visit Hirankitti and Jaturapith Krohkaew., “**An Agent Approach for Intelligent Traffic-Light Control.**”, Asia Modelling Symposium 2007., pp 496-501, Phuket, Thailand, March 27-30, 2007.
2. Visit Hirankitti, Jaturapith Krohkaew and Christopher Hogger., “**A Multi-Agent Approach for Intelligent Traffic-Light Control.**”, International Conference of Computational Intelligence and Intelligent Systems (ICCIIS2007) in World Congress on Engineering 2007 (WCE2007), pp. 116-121, London UK, July 2-4, 2007.



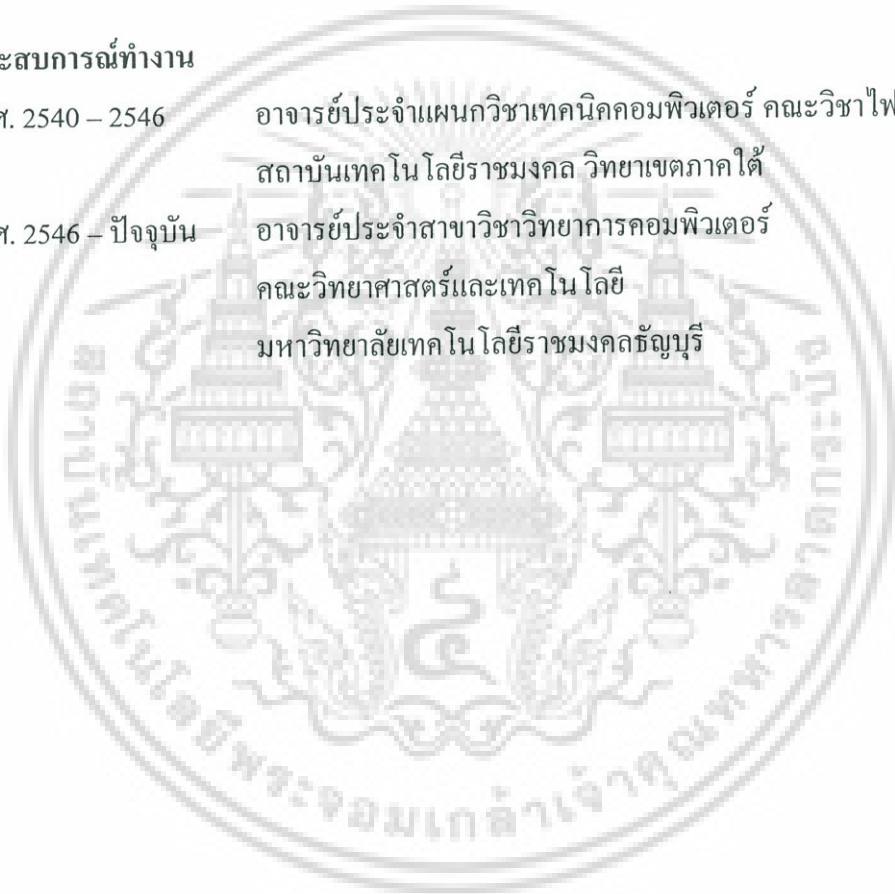
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายจตุรพิช เกราะแก้ว
 วัน เดือน ปี เกิด 8 กันยายน 2517 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ 231/57 หมู่ 4 ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
 ประวัติการศึกษา
 พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2540 – 2546 อาจารย์ประจำแผนกวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ คณะวิชาไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้
 พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้