

การจำลองพร้อมการจินตทัศน์สภาพจราจรบนถนนในระดับจุลภาคแบบกระจายด้วยกลุ่มสถานีงาน



นางสาวรัตนา แสงผ่องแผ้ว

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0427-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISTRIBUTED MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION WITH VISUALIZATION
USING WORKSTATION CLUSTERS



Miss Rattana Saengpongpaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering
Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001
ISBN 974-03-0427-3

รัตนา แสงผ่องแผ้ว : การจำลองพร้อมการจินตทัศน์สภาพจราจรบนถนนในระดับจุลภาคแบบกระจาย
 ด้วยกลุ่มสถานีงาน (DISTRIBUTED MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION WITH
 VISUALIZATION USING WORKSTATION CLUSTERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. ดร. สืบสกุล พิภพ-
 มงคล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. สรวิศ นฤปิติ, 87 หน้า. ISBN 974-03-0427-3.

การจำลองในระดับจุลภาคเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบระบบทางจราจร อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่มีอยู่มักจะมีข้อจำกัดในด้านการจินตทัศน์แบบทันกาล ในด้านความสามารถในการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในการจราจร และในด้านประสิทธิภาพเชิงความเร็วเมื่อประมวลผลปริมาณรถจำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการพัฒนาต้นแบบการจำลองการจราจรในระดับจุลภาค พร้อมแสดงการจินตทัศน์แบบทันกาล โดยใช้หลักการประมวลผลแบบกระจายด้วยกลุ่มสถานีงาน ในการทดลองได้ใช้สถานีงานจำนวน 3 เครื่องเชื่อมต่อกันบนเครือข่ายท้องถิ่นความเร็ว 100 Mbps การแบ่งภาระในการประมวลผลใช้หลักการแบ่งเชิงพื้นที่ในลักษณะที่มีการติดต่อข้ามพื้นที่ให้น้อยที่สุดเพื่อลดเวลาที่สูญเสียสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสถานีงานลง ซึ่งจะเหมาะกับการประมวลผลแบบขนานในลักษณะกระจายลักษณะทางกายภาพของถนนสามารถกำหนดให้จำลองได้ถึงในระดับช่องทางจราจร การเคลื่อนที่ของรถแต่ละคันใช้หลักการเคลื่อนที่ตามกัน การเปลี่ยนช่องทางจราจร การเร่งและการชะลอตามสัญญาณไฟจราจร ทุกสถานีงานในระบบทำงานแบบประสานเวลาโดยใช้หลักการกีดขวางเพื่อกำหนดให้สถานีงานที่ประมวลผลเสร็จแล้วหยุดรอจนกว่าสถานีงานในระบบจะประมวลผลเสร็จทุกเครื่อง จึงทำงานในรอบถัดไปได้ โดยมีสถานีงานหนึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องหัวหน้าเพื่อควบคุมการประสานเวลาภายในระบบ ส่วนสถานีงานที่เหลือเป็นเครื่องผู้ช่วย อย่างไรก็ตามทั้งเครื่องหัวหน้าและเครื่องผู้ช่วย ต่างมีหน้าที่ในการประมวลผลโครงข่ายย่อยที่แต่ละเครื่องได้รับผิดชอบเช่นกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การประมวลผลด้วยสถานีงานเพียงเครื่องเดียวสามารถประมวลผลรถได้ในปริมาณที่จำกัดเนื่องจากสาเหตุด้านทรัพยากรของระบบ และประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเมื่อประมวลผลปริมาณรถใกล้เคียงจำนวนจำกัดดังกล่าว การกระจายการประมวลผลด้วยกลุ่มสถานีงานจะช่วยลดเวลาในการประมวลผลเมื่อปริมาณรถในระบบมีมาก ขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความเร็วของระบบดีขึ้น ประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะดีที่สุดเมื่อสถานีงานแต่ละสถานีมีการกระจายภาระการประมวลผลด้วยปริมาณรถจำนวนใกล้เคียงกันโดยที่สถานีงานแต่ละสถานีมีความสามารถในการประมวลผลเท่ากัน

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4270510521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: DISTRIBUTED PROCESSING/ MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION /
WORKSTATION CLUSTERS

RATTANA SAENGPONGPAEW : DISTRIBUTED MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION
WITH VISUALIZATION USING WORKSTATION CLUSTERS. THESIS ADVISOR : SUEBSKUL
PIPOBMONGKOL, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. SORAWIT NARUPITI,
Ph.D., 87 pp. ISBN 974-03-0427-3.

Microscopic simulation is a method for analysis and design of a traffic system. However, an existing model has the limitation of a real-time visualization, capability to change the traffic environment of the traffic system, and speeding up performance when the model processes a large amount of vehicles. This research proposes a traffic simulation prototype that uses loosely coupled distributed workstation clusters with real-time visualization. In this research experiment, a road network resides in three workstations connected by a LAN of 100 Mbps data transfer rate. The large network is divided into smaller subnetworks by means of the spatial characteristic of the network to minimize communication overhead for vehicles transferring among the clusters of workstations. The traffic network is represented at the lane level, and the movements of individual vehicles are represented by a car following, lane changing and traffic signal controlling model. The time synchronization of the whole network employs the barrier concept that disallows the progress of time, until the barrier is executed by all systems involved. Before the execution, one of the subnetworks is assigned as the master machine, which handles not only the subnetwork simulation, but also the responsibility for providing the outgoing synchronized information to other slave machines. The result of the simulation demonstrated that one workstation can process up to a finite number of vehicles according to the limitation of system resource. The process on clustered workstations gives better performance as the number of vehicles in the simulated system increases. The performance of the system achieves the best when each workstation, which has an equal performance, is allocated with an approximately the same number of vehicles.

Department	Computer Engineering	Student's signature
Field of study	Computer Engineering	Advisor's signature
Academic year	2001	Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.สีปสกุล พิภพมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นและแนวทางในการค้นคว้า ด้วยดีตลอดมา ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือข้อมูลทางเทคนิคและด้านจรรยาด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณน้องกิตติพงษ์ วิสมิตะนันท์ น้องวิรัช วุสุทธิประภาและน้องสิทธา ไซตีสุขรัตน์ที่ได้ช่วยวัดผลการเคลื่อนที่ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการ CGCI ทุกคน ที่ช่วยให้บรรยากาศในการทำงานเต็มไปด้วยความสดชื่นและสนุกสนาน โดยเฉพาะคุณชาตฉกรรจ์ ไพบูลย์สิริกุล ที่ช่วยให้คำแนะนำด้านการเขียนโปรแกรมและคุณวรวิมล ศุภสัณฐิติกุลที่ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดการทำวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมารดาและพี่ชายที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจในทุกๆ ด้าน รวมทั้งส่งเสริมให้การศึกษาอย่างต่อเนื่องให้กับผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1.1 การประมวลผลแบบขนาน	5
2.1.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นของ time headway.....	7
2.1.3 จลนศาสตร์.....	10
2.1.4 การตัดส่วน	11
2.2 งานวิจัยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค	
2.2.1 INSECT.....	12
2.2.2 NETSIM	12
2.2.3 PARAMICS	13
2.2.4 AIMSUN2.....	13
2.2.5 POETS.....	13
2.2.6 SIM-EN	14
2.2.7 PADSIM.....	14

3	การออกแบบตัวแบบในการจำลองแบบ	
3.1	ตัวแบบทางจราจร	
3.1.1	ตัวแบบโครงข่ายถนน	15
3.1.2	ตัวแบบการเคลื่อนที่ของรถ	17
3.1.2.1	ตัวแบบการเคลื่อนที่ตามกันของรถ	17
3.1.2.2	ตัวแบบการเปลี่ยนช่องทางการจราจร	20
3.1.3	ตัวแบบสัญญาณไฟจราจร	22
3.2	ตัวแบบการประมวลผลแบบกระจาย	
3.2.1	การแบ่งภาระ	24
3.2.2	การประสานเวลา	26
3.3	คลาสไดอะแกรม	
3.3.1	คลาสในกลุ่มรถ	28
3.3.2	คลาสในกลุ่มถนน	28
3.3.3	คลาสในกลุ่มสัญญาณไฟจราจร	29
3.3.4	คลาสในกลุ่มจัดการงานสำหรับติดต่อสื่อสาร	30
3.3.5	คลาสในกลุ่มการเชื่อมต่อสถานีงาน	30
3.4	ลำดับขั้นตอนการทำงาน	32
3.5	การจินตทัศน์	46
4	การทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	
4.1	การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของการจราจรในแบบจำลอง	48
4.2	การออกแบบการประมวลผลแบบกระจาย	52
4.3	ผลการทดลอง	54
4.4	การวิเคราะห์ผล	55
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย	59
5.2	ข้อเสนอแนะ	60
	รายการอ้างอิง	62

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองการเคลื่อนที่ในแบบจำลอง65

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ80

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์87



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราง

ตารางที่

- 3.1 จังหะสัญญาณไฟจรรยาของการเปลี่ยนสัญญาณไฟจรรยาบริเวณทางแยก23
- 4.1 องค์ประกอบเริ่มต้นของถนนแต่ละสายในโครงข่ายถนนทดสอบ52



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่

2.1	Tightly coupled system และ Loosely coupled system.....	6
2.2	การเชื่อมต่อเส้นทางการส่งข้อมูลแบบเส้นทางเฉพาะงานและเส้นทางร่วม	7
2.3	กราฟแสดงค่า time headway ด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็น.....	9
2.4	ตัวอย่างการตัดส่วนรูปหลายเหลี่ยม.....	11
2.5	ขั้นตอนการตัดส่วนด้วยขั้นตอนวิธีของ Sutherland และ Hodgman	11
3.1	ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน	16
3.2	โครงข่ายถนนเมื่อจำลองแบบด้วยโนดและทางเชื่อม.....	16
3.3	การกำหนดทิศทางการเลี้ยวบริเวณสามแยกรูปตัวที	17
3.4	ระยะ $d_{forward}$ และ d_{save} ของการเคลื่อนที่ตามกัน	20
3.5	ระยะ Lead และ Lag ของรถที่ต้องการเปลี่ยนช่องทางจราจร	21
3.6	ระยะทางการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนช่องทางจราจร	21
3.7	ตัวอย่างโครงข่ายถนน	25
3.8	ตัวอย่างการแบ่งโครงข่ายย่อย.....	26
3.9	คลาสไดอะแกรมของระบบการจำลองแบบ.....	31
3.10	คลาสไดอะแกรมในกลุ่มการเชื่อมต่อสถานีงาน.....	32
3.11	ลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของเครื่องหัวหน้า	33
3.12	ลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของเครื่องผู้ช่วย	35
3.13	ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ.....	37
3.14	ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ในกรณีที่เป็นคันแรกบนถนนทั่วไป	38
3.15	ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ในกรณีที่เป็นคันแรกบนถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่น	40
3.16	ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่แบบตามกัน	42
3.17	ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ขณะอยู่บริเวณทางแยก.....	43
3.18	ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ขณะกำลังออกจากบริเวณทางแยก.....	45
3.19	การจินตทัศน์สภาพจราจรบริเวณทางแยก	47
3.20	จังหวัดสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายบริเวณทางแยก	47
4.1	การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 87.....	49
4.2	การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 94.....	50
4.3	การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 101.....	50

4.4	การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 119.....	51
4.5	การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 137.....	51
4.6	โครงข่ายถนนทดสอบ	52
4.7	การแบ่งโครงข่ายถนนทดสอบออกเป็นโครงข่ายย่อย 2 โครงข่าย	53
4.8	การแบ่งโครงข่ายถนนทดสอบออกเป็นโครงข่ายย่อย 3 โครงข่าย	53
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถในระบบกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล	54
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีงานกับความเร็วในการประมวลผล	56
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีงานกับประสิทธิภาพการทำงานของระบบ	57
4.12	ค่าสปีดอัปเมื่อเทียบกับเวลาจริง.....	58
ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99	65
ก.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99.....	65
ก.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99	66
ก.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99.....	66
ก.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99	66
ก.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150	67
ก.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150.....	67
ก.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150.....	67
ก.9	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150.....	68
ก.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150	68
ก.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 194 207และ 215	69
ก.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 194 207และ 215.....	69
ก.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 194 207และ 215.....	69
ก.14	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 194 207และ 215.....	70
ก.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 194 207และ 215	70
ก.16	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247	71
ก.17	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247	71
ก.18	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247	71
ก.19	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247.....	72
ก.20	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247	72
ก.21	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550	73
ก.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550.....	73

ก.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 55073

ก.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 55074

ก.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 55074

ก.26 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 56675

ก.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 56675

ก.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 56675

ก.29 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 56676

ก.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 56676

ก.31 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 36677

ก.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 36677

ก.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 36677

ก.34 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 36678

ก.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 36678

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการจำลองแบบนับเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่มีประโยชน์และนิยมใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบระบบ เนื่องจากสามารถช่วยให้นักออกแบบระบบเข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบว่ามีลักษณะอย่างไร สามารถใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่เกี่ยวข้องภายในระบบและใช้ประเมินวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับปรุงในระบบจากวิธีการที่ทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจรรยาบรรณทางบกเป็นระบบที่ซับซ้อนและสำคัญอย่างยิ่งระบบหนึ่งที่มีการนำหลักการการจำลองแบบมาประยุกต์ใช้เช่นกัน เหตุผลในการจำลองแบบสภาพการจราจรก็เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงสภาพการจราจรให้ดีขึ้น โดยพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองนั้นก่อนที่จะนำไปปรับปรุงแก้ไขการจราจรในสภาพที่เป็นจริง จึงส่งผลให้การศึกษาสภาพการจราจรทำได้สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยไม่ต้องสร้างหรือปรับปรุงถนน เพื่อใช้ในการทดสอบจริงและสามารถจำลองแบบคุณลักษณะและพฤติกรรมของการจราจรที่ซับซ้อนได้ สามารถทราบผลของการปรับปรุงแก้ไขการจราจรจากแบบจำลองก่อนที่จะนำไปปรับปรุงแก้ไขการจราจรอย่างถูกต้อง

การจำลองแบบสภาพการจราจรโดยทั่วไปมีอยู่สองระดับคือ การจำลองแบบสภาพการจราจรในระดับมหภาคและระดับจุลภาค[1] การจำลองแบบในระดับมหภาคเป็นการจำลองแบบโดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถเป็นกลุ่มๆ หรือกระแสการจราจรโดยรวม การจำลองแบบในระดับนี้นิยมใช้ในการจำลองแบบสภาพการจราจรบนถนนทางหลวงหรือทางด่วน ส่วนการจำลองแบบในระดับจุลภาคจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถทุกๆ คันที่อยู่บนถนน โดยรถแต่ละคันจะถูกจำลองแบบด้วยลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของรถและพฤติกรรมของผู้ขับ การจำลองแบบในระดับจุลภาคนิยมใช้ในการจำลองแบบสภาพการจราจรบนถนนที่ซับซ้อนและต้องการรายละเอียดมาก เช่นถนนในเมืองที่ประกอบด้วยทางแยกหลายๆ ทาง การจำลองแบบในระดับนี้นิยมใช้กันอย่างมาก เนื่องจากสามารถจำลองแบบสภาพการจราจรได้ใกล้เคียงกับสภาพการจราจรจริงเมื่อเทียบกับการจำลองแบบในระดับมหภาค อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในการจำลองแบบในระดับจุลภาคก็คือ การใช้เวลาในการประมวลผลที่แปรผันตามปริมาณรถในระบบ ถ้าในระบบมีรถ

จำนวนมากการประมวลผลในแต่ละครั้งก็จะใช้เวลาานมาก ซึ่งเป็นเหตุให้การจำลองแบบสภาพการจราจร ถูกจำกัดอยู่ในบริเวณที่มีขอบเขตไม่กว้างมากนัก

การประมวลผลแบบขนานมีหลักการพื้นฐานที่สำคัญคือ การลดเวลาการประมวลผลให้เร็วขึ้นโดยใช้หลักการแบ่งปริมาณงานที่มากให้เป็นงานย่อยไปยังหน่วยประมวลผลหลายๆ หน่วยให้ช่วยกันประมวลผล ยิ่งจำนวนหน่วยประมวลผลมีมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการประมวลผลงานหนึ่งๆ ก็ยิ่งลดลง รูปแบบในการพัฒนา มีแบบหลักอยู่ 2 แบบคือ Massively Parallel Processor (MppS) และการประมวลผลแบบกระจายด้วยกลุ่มสถานีงาน ในการประมวลผลแบบ MppS นั้น ลักษณะเครื่องประกอบด้วยหน่วยประมวลผลจำนวนมากเชื่อมต่อกับหน่วยความจำขนาดใหญ่ โดยใช้สายเคเบิลขนาดใหญ่เพียงสายเดียว หน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะทำหน้าที่ในการประมวลผลพร้อมๆ กันแบบขนาน แล้วส่งผลการทำงานไปรวมกันยังหน่วยประมวลผลกลาง การทำงานของการประมวลผลในลักษณะนี้ถูกออกแบบให้เหมาะกับการทำงานที่ต้องการความกว้างแถบ-ความถี่ (Bandwidth) ขนาดใหญ่และมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลสูง อย่างไรก็ตามเครื่องที่ใช้ในการประมวลผลลักษณะนี้มีราคาแพง ส่วนการประมวลผลแบบกระจายเป็นการนำสถานีงานหลายเครื่องที่ต่อบนระบบเครือข่ายมาช่วยแก้ปัญหาใหญ่ เช่น การจำลองแบบสภาพจราจรโดยกระจายโครงข่ายถนนออกเป็นโครงข่ายย่อย แล้วส่งไปจำลองแบบการทำงานบนสถานีงานแต่ละเครื่องในเครือข่าย แล้วประมวลผลโครงข่ายถนนย่อยแต่ละโครงข่ายเหล่านั้นพร้อมกันแบบขนาน ข้อดีของการประมวลผลแบบกระจายด้วยสถานีงานคือ สถานีงานมีราคาถูกและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการใช้กลุ่มสถานีงานในการจำลองแบบสภาพจราจรแบบกระจายจึงมีความเหมาะสมเพื่อใช้ในการลดเวลาการประมวลผลอย่างมาก

การวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ เน้นการสร้างแบบจำลองที่อธิบายพฤติกรรมของการจราจรบนถนนในระดับจุลภาค คือจำลองแบบรถในโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ด้วยหลักการประมวลผลแบบกระจายบนเครือข่ายท้องถิ่น โดยใช้กลุ่มสถานีงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโปรแกรมต้นแบบในการจำลองแบบการไหลของการจราจรโดยเน้นการเคลื่อนที่ของรถในระดับจุลภาคบนโครงข่ายถนนหลายทางแยกแบบกระจายด้วยกลุ่มสถานีงาน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. จำลองแบบโครงข่ายทางแยกต่างๆ ด้วยกลุ่มสถานีงานในลักษณะขนานกันอย่างน้อย 3 สถานีซึ่งเชื่อมต่อกันบนโครงข่ายท้องถิ่นด้วยโพรโทคอลที่ซีพี/ไอพี

2. การใช้งานโปรแกรมเป็นแบบภาวะเชิงโต้ตอบกับผู้ใช้
3. แสดงสภาพจราจรโดยแสดงแผนที่ถนน การเคลื่อนที่ของรถและการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟจราจรได้
4. จำลองแบบสภาพจราจรสำหรับทางแยกสามขาและทางแยกสี่ขาแบบที่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุมได้
5. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรทำได้ 2 แบบคือแบบเปลี่ยนตามผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรและแบบเปลี่ยนอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดจังหวะการเปลี่ยนแบบล่วงหน้า
6. จำลองแบบสภาพจราจรโดยจำลองแบบพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของรถตามประเภทของรถอย่างน้อย 3 ประเภทดังนี้คือ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถโดยประจำทาง และรถบรรทุก
7. ลักษณะการเคลื่อนที่พื้นฐานประกอบด้วย การเคลื่อนที่ตามรถคันหน้า การเปลี่ยนช่องทางจราจร การเคลื่อนที่ตามสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก
8. แบบจำลองสามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ โดยจะนำข้อมูลต่างๆ มาพิจารณาประกอบการตัดสินใจดังนี้ สัญญาณไฟจราจร อุปสรรคที่ขวางหน้ารถ เช่น การมีรถจอดขวางช่องทางจราจรที่อยู่ที่ช่องทางข้างเคียง อัตราเร็วสูงสุดที่กำหนดในถนนแต่ละสาย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ขนาดของรถและถนน อัตราเร็วของรถ อัตราเร่งของรถ และอัตราหน่วงสูงสุดของรถ
9. ถนนที่จำลองแบบมีทิศทางการเคลื่อนที่ได้สองทิศทางคือ ทิศทางขาเข้า และทิศทางขาออกจากบริเวณทางแยก ในทิศทางแต่ละทิศทางประกอบด้วยช่องทางจราจรไม่เกิน 7 ช่องทาง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์วิธีการจำลองแบบการไหลของจราจรบนถนนระดับจุลภาค
2. ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุและรูปแบบการการเชื่อมต่อกลุ่มสถานีงาน
3. ออกแบบวิธีการจำลองแบบการไหลของการจราจรบนถนนในระดับจุลภาคแบบกระจายด้วยกลุ่มสถานีงาน
4. พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการจำลองแบบสภาพจราจร
5. ทดสอบและแก้ไขปรับปรุงแบบจำลอง
6. วิเคราะห์และสรุปผลจากการจำลองแบบ พร้อมข้อเสนอแนะ
7. จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการควบคุมและการจัดการสภาพจราจร เช่นการเปลี่ยนแปลงลักษณะถนน การเปลี่ยนการกำหนดช่องทางให้เดินรถ โดยไม่ต้องทดลองกับสภาพจริงบนถนน

1. แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาหลักการควบคุม และจัดการจราจรขั้นสูง และการพัฒนาการเชื่อมต่อระบบเป็นโครงข่ายได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ รวมทั้งการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบการจำลองสภาพจราจรดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

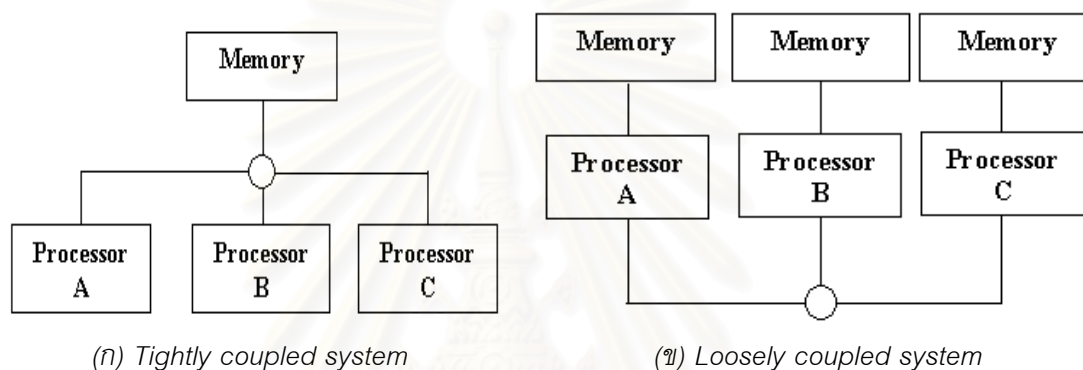
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาต้นแบบที่ใช้ในการจำลองแบบสภาพจราจรระดับจุลภาคด้วยการประมวลผลแบบกระจาย จำเป็นต้องศึกษาและประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนต่างๆ ของต้นแบบ ในงานวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบการจำลองแบบโดยใช้หลักการประมวลผลแบบกระจายด้วยเครือข่ายสถานีนงาน เป็นการประยุกต์ใช้หลักการประมวลผลแบบขนานซึ่งแสดงในหัวข้อ 2.1.1 ในส่วนของการสร้างและปล่อยรถเข้าไปยังถนนในต้นแบบการจำลองแบบ จำเป็นต้องประยุกต์ใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นของ Time headway ซึ่งได้รวบรวมทฤษฎีและหลักการในหัวข้อ 2.1.2 ส่วนของการเคลื่อนที่ของรถบนถนนนั้นจะมีทั้งการเคลื่อนที่ตามกันและการเปลี่ยนช่องทางการจราจรซึ่งคำนวณหาค่าอัตราความเร็วและความเร่งที่เหมาะสมซึ่งใช้กฎการเคลื่อนที่และทฤษฎีการไหลของการจราจรมาประยุกต์ดังแสดงในหัวข้อ 2.1.3 นอกจากการเคลื่อนที่ของรถแล้ว ขณะเคลื่อนที่ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบว่าจะมีการชนก่อนหรือไม่ โดยใช้ทฤษฎีการตัดส่วนซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อ 2.1.4 เป็นต้น

2.1.1 การประมวลผลแบบขนาน

การประมวลผลแบบขนานเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ที่ใช้เวลาในการประมวลผลนาน ให้ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง โดยแบ่งงานขนาดใหญ่ออกเป็นงานย่อยๆ แล้วประมวลผลงานย่อยเหล่านั้นพร้อมกัน นิยมประยุกต์ใช้ในงานที่มีความซับซ้อนและต้องใช้เวลาประมวลผลนานมากหากประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลเพียงตัวเดียว การประมวลผลแบบขนานแบ่งการพัฒนาออกเป็นระบบที่สำคัญ 2 ระบบคือ Tightly coupled system และ Loosely coupled system [2]

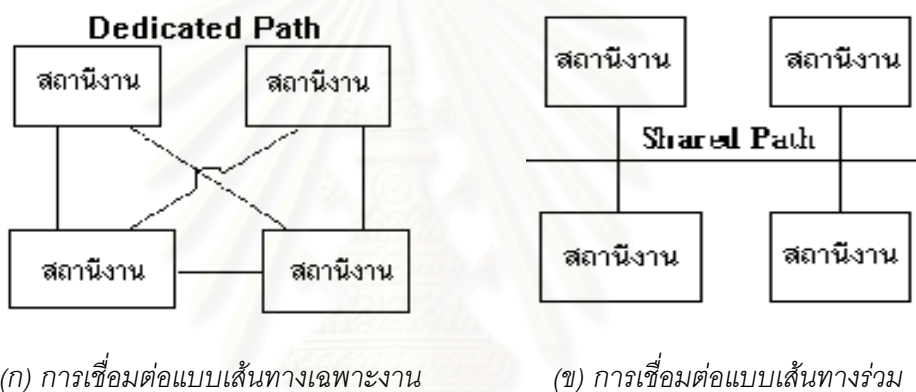
- **Tightly coupled system** เป็นการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวซึ่งภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลจำนวนมากเชื่อมต่อกับหน่วยความจำหลักขนาดใหญ่ร่วมกัน โดยหน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะประมวลผลพร้อมกัน แล้วส่งผลการทำงานไปรวมกันยังหน่วยประมวลผลกลาง ลักษณะของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.1ก ระบบที่ใช้หน่วยความจำร่วมกันมักจะมีหน่วยความจำแคช (Cache memory) สำหรับหน่วยประมวลผลแต่ละหน่วย ทำให้เกิดปัญหาว่าข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำแคชไม่ตรงกับค่าข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำหลัก เนื่องจากหน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยทำงานแบบไม่ประสานเวลา (Asynchronous) เมื่อหน่วยประมวลผลบางหน่วยแก้ไขค่าที่อยู่ในหน่วยความจำหลัก ทำให้ค่าที่อยู่ในหน่วยความจำแคชของหน่วยประมวลผลอื่นเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง



รูปที่ 2.1 Tightly coupled system และ Loosely coupled system

- **Loosely coupled system** หรือระบบการประมวลผลแบบกระจาย เป็นระบบการประมวลผลซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผลจำนวนหลายหน่วยเชื่อมต่อกันด้วยช่องทางการสื่อสารความเร็วสูงบนระบบเครือข่าย โดยหน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะมีหน่วยความจำแยกกัน ลักษณะของระบบเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.1ข ระบบที่ใช้หน่วยความจำแยกกันเป็นระบบหนึ่งที่มีความนิยมและเครื่องคอมพิวเตอร์แบบหนึ่งที่ตั้งอยู่ในประเภทนี้คือ สถานีงานแบบกลุ่ม (Clustered workstations) [3] ซึ่งใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ รายงาน [4] ได้แสดงความคิดเห็นว่าเครื่องคอมพิวเตอร์แบบนี้มีจุดน่าสนใจหลายอย่าง ประการแรกคือ ราคา เครื่องคอมพิวเตอร์แบบนี้มีราคาถูกสามารถสร้างจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อบนเครือข่ายที่มีอยู่แล้ว ประการที่สองคือเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนไปตามยุคสมัยและใช้ซอฟต์แวร์ที่เป็นมาตรฐานทำให้พัฒนาโปรแกรมได้ง่าย จุดด้อยของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบนี้ก็คือประสิทธิภาพที่จำกัดเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร อย่างไรก็ตาม ถ้าการคำนวณไม่จำเป็นต้องใช้การติดต่อสื่อสารมากนักก็เหมาะที่จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบนี้ ลักษณะการทำงานเป็นการประมวลผลงานขนาดใหญ่ โดยแบ่งเป็นงานย่อยๆ แล้วกระจายไปบนสถานีงานแต่ละเครื่องในเครือข่าย สถานีงานแต่ละเครื่องต่างประมวลผลเฉพาะงานย่อยที่ได้รับพร้อมกันแบบขนาน การติดต่อระหว่างสถานีจะทำเฉพาะเมื่อต้องการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเท่านั้น โดยเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีลักษณะโครงสร้างในการเชื่อมต่ออยู่สองแบบคือ แบบเส้นทางเฉพาะงาน

(Dedicated path) และแบบเส้นทางร่วม (Shared path) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบเส้นทางเฉพาะงานเป็นการเชื่อมต่อเส้นทางระหว่างสถานีงานสองเครื่องที่ติดต่อกันเท่านั้น การต่อดังวิธีนี้ทำให้การส่งข้อมูลระหว่างสถานีงานสองเครื่องไม่ถูกขัดจังหวะโดยสถานีงานอื่น และการเชื่อมต่อแบบเส้นทางร่วมเป็นการเชื่อมต่อสถานีงานต่างๆ ในระบบผ่านเส้นทางการส่งข้อมูลกลางร่วมกันซึ่งทำให้สามารถเพิ่มและลดปริมาณสถานีงานในระบบได้ง่าย ระบบการประมวลผลแบบกระจายนี้ทำให้สามารถลดปริมาณงานและเวลาในการประมวลผลต่อเครื่องให้ลดลงได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลโดยรวมของระบบให้ดีขึ้น ด้วยการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ที่มีราคาถูกหลายชุดซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังให้ประสิทธิภาพการทำงานเทียบเท่ากับการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีราคาแพงอีกด้วย นอกจากนี้หากมีสถานีงานสถานีใดสถานีหนึ่งเกิดขัดข้องระบบยังคงสามารถทำงานได้



รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อเส้นทางส่งข้อมูลแบบเส้นทางเฉพาะงานและเส้นทางร่วม

หลักการของการประมวลผลในงานวิจัยนี้มีลักษณะแบบ Loosely coupled system หรือระบบการประมวลผลแบบกระจาย ใช้การเชื่อมต่อแบบเส้นทางร่วม

2.1.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นของ Time headway

ในการจำลองแบบสภาพจราจรระดับจุลภาค คุณลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบจราจรคือ Time headway ซึ่งเป็นช่วงเวลาระหว่างรถคันที่ 1 และรถคันที่ 2 ที่วิ่งผ่านเส้นหยุด ค่า Time headway ถูกนำมาใช้ในการพิจารณาสภาพจราจรในด้านระยะการขับขี่ที่ปลอดภัย พฤติกรรมของผู้ขับ และประสิทธิภาพของระบบการจราจร เช่นหากค่า Time headway มีค่าน้อยมาก แสดงว่าระยะห่างระหว่างรถคันหน้าและรถที่ตามมาอยู่ห่างกันไม่มากนัก ในลักษณะนี้รถคันที่ตามมาควรรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยไว้เพื่อกรณีรถคันข้างหน้าเกิดการชะลอกระทันหัน แต่เนื่องจากในสภาพการจราจรจริงค่า Time headway มีค่าไม่คงที่ทำให้ใช้งานไม่

สะดวกจึงมีการนำการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติมาประยุกต์ใช้ โดยรวบรวมข้อมูลเชิงสถิติของ Time headway ในสภาพจราจรจริงแล้วใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง เพื่ออธิบายลักษณะการเกิดค่าพื้นฐานนี้

การแบ่งลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของ Time headway [5] นิยมพิจารณาตามระดับอัตราการไหล สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับคือ ระดับสภาพจราจรที่มีอัตราการไหลน้อย ระดับสภาพจราจรที่มีอัตราการไหลปานกลาง (Intermediate) และระดับสภาพจราจรที่มีอัตราการไหลหนาแน่น

- **การแจกแจงค่าความน่าจะเป็นของค่า Time headway ในสภาพจราจรแบบอัตราการไหลน้อย** ในสภาพจราจรลักษณะนี้ภาวะเชิงโต้ตอบกันระหว่างรถสองคันจะมีค่าน้อยมากค่า Time headway มีลักษณะแบบสุ่ม ในการจำลองแบบจึงนิยมใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสุ่ม โดยใช้การแจกแจงซึ่งกำลังเชิงนิเสธ (Negative Exponential Distribution) [5] ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.1

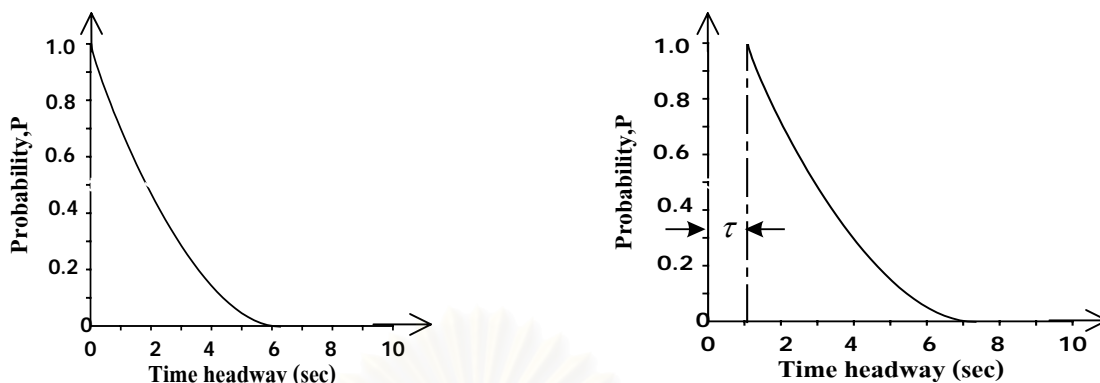
$$P(h \geq t) = e^{-\frac{t}{T}} \quad \dots (2.1)$$

โดยที่	T	คือ ค่ากลางโดยเฉลี่ยของค่า time headway ต่อคันโดย $T = \frac{3600}{v}$ (วินาที/คัน)
	v	คือ จำนวนรถในช่วงเวลาหนึ่งๆ (คันต่อชั่วโมง)
	t	คือ ระยะเวลาที่ต้องคอยจนกว่าจะมีรถคันถัดมาเคลื่อนที่เข้ามา (วินาที)
	h	คือ ค่า Time headway (วินาที)

การแจกแจงความน่าจะเป็นของ Time headway ด้วยการแจกแจงซึ่งกำลังเชิงนิเสธเป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก โดยมีลักษณะเส้นกราฟดังรูปที่ 2.3ก อย่างไรก็ตามค่า Time headway ระหว่างรถ 2 คันไม่ควรจะมีค่าน้อยมากจนเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นเพื่อให้การแจกแจงมีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริง Gerlough [6] จึงได้เสนอการแจกแจงซึ่งกำลังแบบเลื่อน (Shifted Exponential Distribution) โดยขยับเส้นกราฟออกไปเล็กน้อยตามแกนของเวลาซึ่งมีค่าเท่ากับ τ โดยหาได้จากสมการที่ 2.2

$$P(h \geq t) = e^{-\frac{(t - \tau)}{(T - \tau)}} \quad \dots (2.2)$$

โดยที่	τ	คือ ค่า Time headway ที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (วินาที)
--------	--------	---



(ก) กราฟแสดงค่า Time headway ด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ก่าลังเชิงนิเสธ (ข) กราฟแสดงค่า Time headway ด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ก่าลังแบบเลื่อน

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่า Time headway ด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็น

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของค่า Time headway กับค่า Time headway เมื่อเลื่อนเส้นกราฟออกมาตามแกนเวลาเท่ากับ τ ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่า Time headway น้อยมาก เป็นช่วงห้ามในการเคลื่อนที่ตามกัน ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับศูนย์

การจำลองแบบพฤติกรรมรถตามกันในงานวิจัยนี้ใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นของค่า Time headway แบบที่ก่าลังเชิงนิเสธและแบบที่ก่าลังแบบเลื่อน ในการจำลองแบบปริมาณรถที่เข้ามาในระบบการจำลองแบบ

- การแจกแจงค่าความน่าจะเป็นของค่า Time headway ในสภาพจราจรแบบอัตราการไหลปานกลาง Gerlough [5] ได้เสนอว่าการไหลของจราจรมีลักษณะผสมกันระหว่างการเคลื่อนที่ของรถแบบอิสระ (Free-flow vehicle) และการเคลื่อนที่ของรถที่ถูกกำหนดตามสภาพการจราจรข้างหน้า (Constrained Flow Vehicle) ในการจำลองแบบนี้ใช้ Composite headway model ซึ่งประกอบด้วย การแจกแจงแบบรวมกันคือ การแจกแจงที่ก่าลังเชิงนิเสธสำหรับการเคลื่อนที่ของรถแบบอิสระและการแจกแจงที่ก่าลังแบบเลื่อนสำหรับการเคลื่อนที่ของรถที่ถูกกำหนดตามสภาพการจราจรข้างหน้า

- การแจกแจงค่าความน่าจะเป็นของค่า Time headway ในสภาพจราจรแบบอัตราการไหลหนาแน่น ในสภาพจราจรลักษณะนี้รถแต่ละคันมีการเคลื่อนที่ตามๆ กัน ค่า Time headway มีค่าใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเป็นค่าคงที่ ในการจำลองแบบจึงนิยมใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบคงที่ โดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) [5]

2.1.3 จลนศาสตร์ (Kinematics)

จลนศาสตร์เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่อ้างอิงถึงแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่นั้น โดยอธิบายด้วยการกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration) และ เวลา (Time) ความรู้และทฤษฎีเกี่ยวกับจลนศาสตร์ด้านหลักการเคลื่อนที่วิถีตรงของวัตถุถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของรถในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีการเคลื่อนที่ต่างๆ ดังนี้

$$v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \dots (2.3)$$

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \dots (2.4)$$

$$v = u + at \quad \dots (2.5)$$

$$v^2 = u^2 + 2as \quad \dots (2.6)$$

$$s = ut + \frac{1}{2} at^2 \quad \dots (2.7)$$

โดยที่	v_{av}	คือ ความเร็วเฉลี่ย (Average Velocity) มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
	a_{av}	คือ ความเร่งเฉลี่ย (Average Acceleration) มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที ²
	Δs	คือ การกระจัด (Displacement) มีหน่วยเป็น เมตร
	Δt	คือ ช่วงเวลา มีหน่วยเป็น วินาที
	v	คือ ความเร็วปลาย มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
	u	คือ ความเร็วต้น มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
	a	คือ ความเร่ง มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที ²
	s	คือ ระยะทาง มีหน่วยเป็น เมตร
	t	คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที

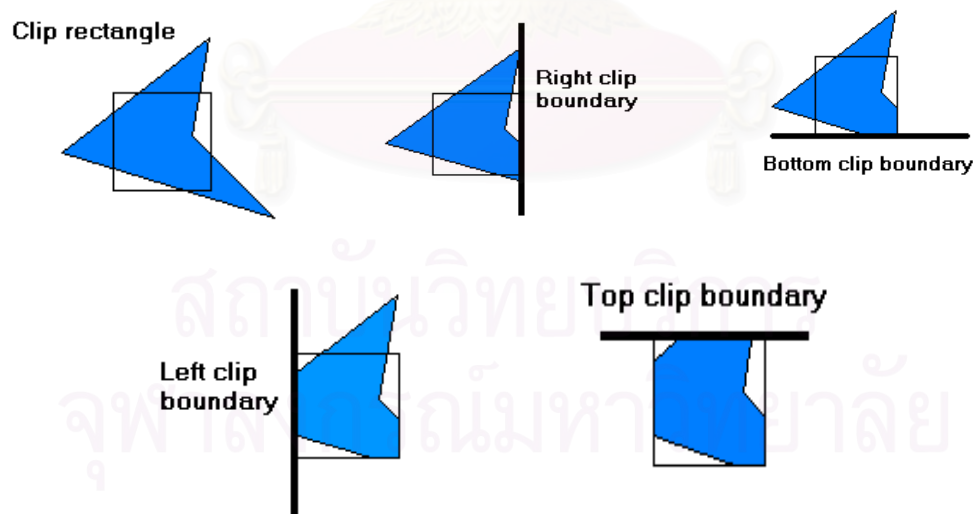
2.1.4 การตัดส่วน (Clipping) [7]

การตัดส่วนเป็นวิธีที่ใช้ในการหาส่วนของภาพภายในบริเวณสี่เหลี่ยมมุมฉากที่กำหนด โดยพิจารณาส่วนของภาพที่อยู่ภายในพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากดังกล่าว หากส่วนใดของภาพอยู่นอกบริเวณดังกล่าวจะถูกตัดออก ลักษณะภาพที่ใช้ในการตัดส่วนมีได้หลายรูปแบบเช่น เส้นตรง รูปวงกลมและรูปหลายเหลี่ยม



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการตัดส่วนรูปหลายเหลี่ยม

ภาพที่มีลักษณะต่างกัน มีขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมในการพิจารณาต่างกัน ขั้นตอนวิธีของ Sutherland และ Hodgman เป็นขั้นตอนวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตัดส่วนรูปหลายเหลี่ยม โดยใช้เส้นตรงความยาวไม่จำกัดจำนวนที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นแสดงขอบเขตของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่ใช้ในการตัด เริ่มตัดโดยพิจารณาภาพที่สนใจกับเส้นขอบขวาก่อน หากส่วนใดของภาพอยู่เกินเส้นขอบขวาก็ตัดออก ต่อมาจึงใช้เส้นขอบล่าง เส้นขอบซ้ายและเส้นขอบบน พิจารณาในลักษณะเดียวกันตามลำดับ จนได้รูปหลายเหลี่ยมที่อยู่ภายในบริเวณรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่ต้องการดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการตัดส่วนด้วยขั้นตอนวิธีของ Sutherland และ Hodgman

การตัดส่วนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองแบบลักษณะการเคลื่อนที่ของรถได้ โดยใช้หลักการตัดส่วนของภาพรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งใช้แทนรถหรือวัตถุที่อาจอยู่ในระยะการเคลื่อนที่ของรถที่กำลัง

พิจารณาและให้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากแทนบริเวณที่รถจะเคลื่อนที่ไป หากตัดส่วนแล้วพบว่าไม่มีภาพอยู่ในบริเวณรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากก็แสดงว่ามีรถหรือวัตถุขวางเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถอยู่ กรณีนี้รถต้องพิจารณาว่าจะเคลื่อนที่ต่อไปโดยเปลี่ยนช่องทางจราจรเพื่อหลบวัตถุดังกล่าวหรือหยุดรถอยู่ที่ตำแหน่งเดิมเพื่อให้วัตถุดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านไปก่อน

2.2 งานวิจัยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

ในส่วนนี้นำเสนองานวิจัยที่มีประเด็นที่น่าสนใจและมีความเกี่ยวข้องกับการจำลองแบบสภาพจราจรระดับจุลภาคทั้งแบบที่ประมวลผลเชิงลำดับภายในเครื่องเดียวและการประมวลผลแบบขนาน

2.2.1 INSECT [8]

แบบจำลองนี้พัฒนาโดย RJ Nairan ด้วยภาษา Fortran เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนที่ของรถบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุม โดยประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบรูปแบบทางแยกในลักษณะต่างๆ และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกนั้น ใน INSECT เน้นการเลียนแบบพฤติกรรมรถของผู้ขับบริเวณทางแยกเพื่อนำมาใช้สำหรับการออกแบบลักษณะทางกายภาพของทางแยกให้เหมาะสม โดยประกอบด้วยต้นแบบย่อย 5 ต้นแบบคือ ต้นแบบในการจำลองแบบพฤติกรรมรถของผู้ขับโดยใช้หลักการเคลื่อนที่ตามกัน ต้นแบบในการสร้างรถโดยใช้หาระยะห่างของรถในการเข้าสู่ระบบ ต้นแบบในการเปลี่ยนช่องทางจราจร ต้นแบบการเคลื่อนที่บริเวณทางแยกและต้นแบบในการเคลื่อนที่บริเวณทางวงเวียน สามารถจำลองแบบบริเวณทางแยกสามขา ทางแยกสี่ขาและวงเวียน ภาพกราฟิกถูกใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งานและแสดงผลภาพการเคลื่อนที่ของรถขณะจำลองแบบ เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาผลจากการจำลองแบบได้สะดวกขึ้น อย่างไรก็ตาม INSECT ไม่สามารถประยุกต์ใช้ในบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุมได้ เช่นกรณีที่ต้องการเลี้ยวขวาผ่านตลอดของการขับรถในช่องทางขวา (เล่นชิดขอบทางขวาของผิวทางทั้งหมด)

2.2.2 NETSIM [9]

แบบจำลองนี้เป็นเครื่องจำลองแบบสภาพจราจรระดับจุลภาค บริเวณถนนในเมือง พัฒนาโดยใช้ภาษา Fortran สามารถจำลองแบบการควบคุมและจัดการสภาพจราจรได้หลายวิธี เช่นการควบคุมสัญญาณไฟจราจร การกำหนดการใช้ช่องทางพิเศษ การหาเส้นทางในการเดินทาง การคำนวณการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการเดินทาง และจำลองแบบการเกิดอุบัติเหตุต่างๆ ใน NETSIM โครงข่ายถนนประกอบด้วยจุดและ

ทางเชื่อมแบบทิศทางเดียว การสร้างและปล่อยรถออกนอกกระบวนจะเกิดบริเวณจุด พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถประกอบด้วย การเคลื่อนที่ตามกัน การเปลี่ยนช่องทางจราจร และขั้นตอนวิธีแบบคิว อย่างไรก็ตาม NETSIM ไม่สนับสนุนการใช้งานแบบภาวะเชิงโต้ตอบ (Interactive mode) กับผู้ใช้เช่น ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ขณะประมวลผล อีกทั้งไม่มีความยืดหยุ่นในการพัฒนาเพิ่มเติมต้นแบบอื่นๆ เข้าไปในระบบได้

2.2.3 PARAMICS [10]

แบบจำลองนี้เป็นเครื่องจำลองแบบสภาพจราจรแบบหนาแน่นในระดับจุลภาคด้วยภาษา C โดยใช้หลักการประมวลผลแบบขนานในลักษณะ SIMD โดยใช้หน่วยประมวลผลจำนวนมากต่อเชื่อมกัน หน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะทำงานด้วยคำสั่งเดียวกันแต่ค่าที่ใช้ในการคำนวณต่างกัน PARAMICS ใช้งานบนเครื่อง TMC CM-200 การรับและการแสดงภาพการเคลื่อนที่ของรถแสดงด้วยภาพสามมิติบนเครื่องซิลิคอน-กราฟิก PARAMICS สามารถใช้จำลองแบบการเคลื่อนที่ของรถในถนนได้ปริมาณมากๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถจำลองแบบรถได้ถึง 200,000 คันบนถนน 7,000 สาย อย่างไรก็ตาม PARAMICS ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้นักเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายเพราะต้องใช้เครื่องที่มีหน่วยประมวลผลจำนวนมากซึ่งมีราคาแพงและยังขาดต้นแบบอีกหลายตัวที่ใช้ในการจำลองแบบ เช่น ต้นแบบเกี่ยวกับพฤติกรรมของคนขับสิ่งแวดล้อมขณะจำลองแบบการเกิดอุบัติเหตุและการหาเส้นทางแบบพลวัต (Dynamics)

2.2.4 AIMSUN2 [11]

แบบจำลองนี้ใช้หลักการประมวลผลแบบขนานร่วมกับการโปรแกรมด้วยสายโยงใย (Thread) บนเครื่อง SUN Sparc Server 1000 ใน AIMSUN2 โครงข่ายถนนถูกแบ่งออกเป็นโครงข่ายย่อยๆ โครงข่ายย่อยแต่ละโครงข่ายจะถูกนำไปประมวลผลบนสายโยงใยแต่ละเส้น (Thread) โดยมีลักษณะการทำงานแบบขนานกัน

2.2.5 POETS [12]

แบบจำลองนี้เป็นเครื่องมือในการจำลองแบบสภาพจราจรโดยใช้หลักการประมวลผลแบบขนานในลักษณะ MIMD เหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์จะถูกกระจายไปจำลองแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องในระบบ ใช้หลักการการโปรแกรมเชิงวัตถุด้วยภาษา C++ และ Mentat ซึ่งเป็นภาษาที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมวลผลแบบขนาน โปรแกรมจะจำลองแบบเหตุการณ์แบบระบบผสมระหว่างเหตุการณ์แบบต่อเนื่องและ

เหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้งานบนกลุ่มของเครื่อง SUN และแสดงผลบนเครื่องซีลิกอนกราฟิก อย่างไรก็ตาม POEST ยังไม่สามารถจำลองแบบสภาพจราจรที่มีรถจำนวนมากได้ เนื่องจากยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา

2.2.6 SIM-EN [13]

แบบจำลองนี้เป็นเครื่องมือในการจำลองแบบสภาพจราจรแบบไม่ต่อเนื่อง พัฒนาด้วยภาษาC++ โดยใช้หลักการ MMTS ซึ่งเป็นหลักการที่อนุญาตให้การคำนวณในส่วนต่างๆ ของการจำลองแบบทำงานแบบขนานกันได้ และใช้หลักการการแบ่งปันภาระระหว่างเครื่องหัวหน้าและเครื่องผู้ช่วย (master/slave load sharing) เพื่อกระจายการจำลองแบบไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆ ในระบบ การกระจายภาระในระบบเป็นการกระจายเชิงเหตุการณ์ (event-driven) ดังนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะทำหน้าที่ในการประมวลผลเหตุการณ์ต่างกัน

2.2.7 PADSIM [14]

แบบจำลองนี้ใช้หลักความน่าจะเป็นในการอธิบายลักษณะพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถในถนนและทางแยกแทนการกำหนดเส้นทางแก่รถแต่ละคัน โดยรับค่าข้อมูลจากระบบควบคุมจริงภายนอกเข้ามาสู่ระบบจำลองแบบ แล้วนำมาปรับค่าพารามิเตอร์ภายใน เพื่อเน้นใช้อธิบายความน่าจะเป็นในการเคลื่อนที่ของรถในระบบจราจร นอกจากนี้ยังใช้หลักการจำลองแบบโครงข่ายถนนย่อยๆ ขนานกัน โดยแบ่งโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ออกเป็นโครงข่ายถนนย่อยๆ แล้วกระจายไปจำลองแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องในระบบยูนิกซ์ให้ทำงานแบบขนานกัน และใช้ Distributed Shared Memory เพื่อบันทึกและเรียกใช้ข้อมูลต่างๆ ระหว่างโครงข่ายย่อยเหล่านั้นร่วมกัน อย่างไรก็ตามใน PADSIM ไม่ได้เน้นการทดลองในส่วนของการกระจายภาระ

จากงานวิจัยข้างต้น ช่วงแรกเป็นงานวิจัยที่พัฒนาโดยใช้ประมวลผลเชิงลำดับ [8,9] ซึ่งมีความสามารถในการจำลองแบบได้หลายต้นแบบ แต่เนื่องจากการทำงานที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้น การประมวลผลเชิงลำดับใช้เวลาในการประมวลผลนาน จึงได้พัฒนาเป็นการประมวลผลแบบขนาน ในงานวิจัย [10 และ 11] เป็นการพัฒนาในระบบ Tightly coupled system เครื่องที่ใช้มีราคาแพง ในขณะที่ในงานวิจัย [12 13 และ 14] เป็นการพัฒนาในระบบ Loosely coupled system ซึ่งให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกันด้วยเครื่องที่มีราคาถูกกว่า ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค จึงมีแนวโน้มในการพัฒนาการประมวลผลแบบกระจายมากขึ้น

บทที่ 3

การออกแบบตัวแบบในการจำลองแบบ

ส่วนแรกของบทจะนำเสนอตัวแบบที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนสำคัญ คือ ตัวแบบทางจรรยาจร และตัวแบบการประมวลผลแบบกระจาย ส่วนท้ายของบทนำเสนอคลาสไดอะแกรมของวัตถุทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งลำดับขั้นตอนการทำงานภายในระบบ

3.1 ตัวแบบทางจรรยาจร

ตัวแบบทางจรรยาจรเป็นตัวแบบที่ใช้แสดงลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบต่างๆ ของถนนบริเวณทางแยก โดยอธิบายด้วยตัวแบบย่อย 3 ตัวแบบคือ ตัวแบบโครงข่ายถนน ตัวแบบการเคลื่อนที่ของรถ และตัวแบบสัญญาณไฟจราจร

- **ตัวแบบโครงข่ายถนน** ใช้จำลองแบบลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนน เช่น ตำแหน่งของถนนและอัตราการไหลของถนนแต่ละสาย เป็นต้น
- **ตัวแบบการเคลื่อนที่ของรถ** ใช้จำลองแบบลักษณะการเคลื่อนที่ที่เลียนแบบจากการเคลื่อนที่จริงของรถ และพฤติกรรมของผู้ขับขี่
- **ตัวแบบสัญญาณไฟจราจร** ซึ่งจำลองแบบกลไกการทำงานของกรเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร

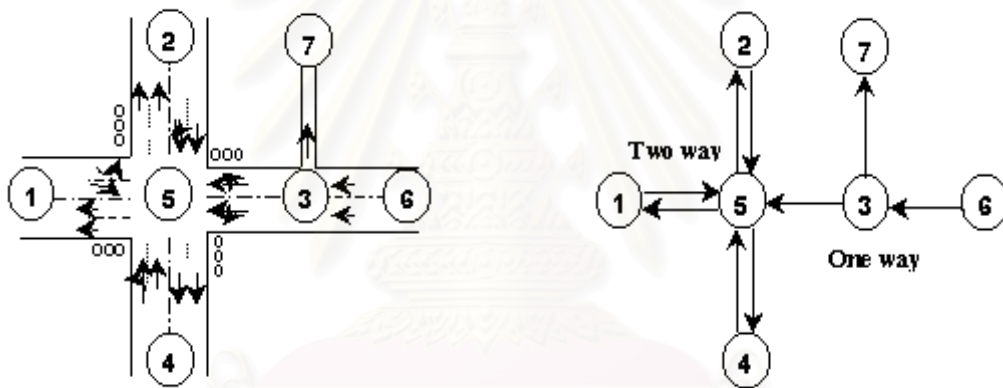
3.1.1 ตัวแบบโครงข่ายถนน

เป็นตัวแบบที่ใช้แสดงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนน โดยใช้โนดและทางเชื่อมในการอธิบาย ซึ่งประกอบด้วย

- **โนด (Node) และโนดขอบ (Boundary Node)** โดยโนดใช้แทนทางแยก โหนดขอบใช้แสดงขอบเขตโครงข่ายถนน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โหนดขอบจะใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างรถที่เข้ามาบริเวณที่จำลองแบบ (Begin node) รวมทั้งเป็นจุดที่รถออกจากการจำลองแบบเมื่อรถเคลื่อนที่มาสิ้นสุดที่โนดนี้ (End node)

- **ทางเชื่อม (Link)** ใช้แทนถนนระหว่างโหนดในระบบที่จำลองแบบ ทางเชื่อม 1 เส้นแทนทิศทางการเดินทางทิศทางเดียวซึ่งทิศทางแต่ละทิศทางประกอบด้วยช่องทางจราจรตั้งแต่ 1 ช่อง ในถนนเส้นหนึ่งมีทางเชื่อมหนึ่งเส้นหรือสองเส้นก็ได้ โดยแบบแรกแทนถนนที่มีการเดินทางทิศทางเดียวและแบบหลังสำหรับการเดินทางสองทิศทางสวนกัน การเดินทางสองทิศทางจะไม่มี การตัดกันของกระแสจราจรบนช่วงถนน (คล้ายกับมีเกาะกลางถนนระหว่างสองทิศทาง) ในถนนแต่ละสายมีข้อมูลลักษณะต่างๆ เช่นจำนวนช่องทางการจราจร ความเร็วสูงสุดที่อนุญาตในการขับขี่ อัตราการไหลขาเข้าและขาออก อัตราส่วนการเลี้ยงซ้าย เลี้ยวขวาและตรงไป รวมทั้งความยาวและรูปร่างของถนน เป็นต้น ทางเชื่อมสามารถแทนได้ด้วยค่า (X,Y) ซึ่ง X แสดงจุดต้นและ Y แสดงจุดปลายของช่วงโดยมีทิศทางการจราจรจาก X ไป Y

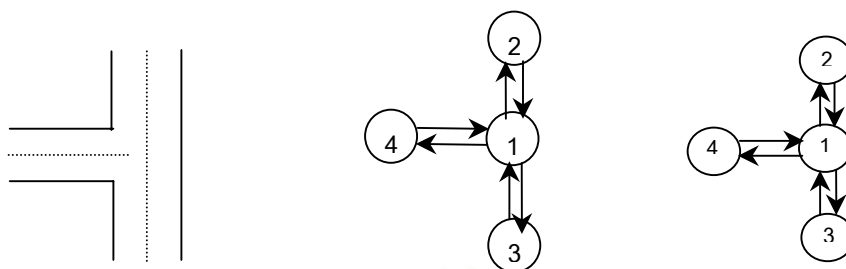
การใช้โหนดและทางเชื่อมอธิบายลักษณะทางกายภาพของถนน ช่วยให้การแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถบริเวณทางแยก รูปแบบการเคลื่อนที่ รวมทั้งข้อห้ามต่างๆ บริเวณทางเชื่อม สามารถทำได้ชัดเจนและเข้าใจได้ง่ายขึ้น เช่นการกำหนดทิศทางเลี้ยวซ้าย ขวา หรือการห้ามเลี้ยวในทิศทางต่างๆ



รูปที่ 3.1 ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน รูปที่ 3.2 โครงข่ายถนนเมื่อจำลองแบบด้วยโหนดและทางเชื่อม

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของโครงข่ายถนนซึ่งประกอบด้วยทางแยก 3 ขา และ 4 ขาเชื่อมต่อกันและรูปที่ 3.2 แสดงกราฟที่ใช้แทนลักษณะถนนและทางแยกในรูปที่ 3.1 โดยประกอบด้วยโหนดทั้งหมด 7 จุดเป็นโหนดขอบ 5 จุดซึ่งประกอบด้วยโหนด 1 2 4 6 และ 7 ประกอบด้วยทางเชื่อม 6 เส้นคือ ทางเชื่อมระหว่างโหนด 1 ไปยังโหนด 5 แทนด้วย $(1,5)$ $(5,1)$ $(2,5)$ $(5,2)$ $(4,5)$ $(5,4)$ $(3,5)$ $(3,7)$ และ $(6,3)$

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะทางแยกรูปตัวที แบบที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุม โดยแทนด้วยโหนดและทางเชื่อมดังรูปที่ 3.3ข ซึ่งประกอบด้วยโหนดทั้งหมด 4 จุด มีเส้นเชื่อม 3 เส้น มีการกำหนดทิศทางการเดินทางโดยถนนแต่ละสายสามารถเดินทางได้ทั้งทางตรง ทางเลี้ยวซ้าย และทางเลี้ยวขวาตามลักษณะทางกายภาพดังในรูปที่ 3.3ค



(ก) ทางแยกรูปตัวที (ข) เมื่อแทนด้วยโหนดและทางเชื่อม (ค) โดยสามารถเลี้ยวจุด 4 ไปยังจุด 2

รูปที่ 3.3 การกำหนดทิศทางการเลี้ยวบริเวณสามแยกรูปตัวที

3.1.2 ตัวแบบการเคลื่อนที่ของรถ

การควบคุมสัญญาณไฟจราจร ความเร็วของรถ ช่องทางจราจร และพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของรถเพื่อใช้สำหรับการตัดสินใจเปลี่ยนช่องทางจราจรและการหาอัตราเร็วและความเร่งที่เหมาะสม เมื่อถนนว่างผู้ขับขี่โดยทั่วไปจะพยายามรักษาความเร็วที่ต้องการให้คงที่ และในกรณีที่รถต้องวิ่งตามกัน รถที่วิ่งตามหลังจะปรับความเร็วของการวิ่งให้สัมพันธ์กับรถคันข้างหน้า โดยคำนึงถึงระยะห่างระหว่างรถที่เหมาะสม ในการจำลองแบบสภาพจราจรระดับจุลภาค ตัวแบบย่อยที่ใช้แสดงการเคลื่อนที่ของรถประกอบด้วย ตัวแบบการเคลื่อนที่ที่ตามกัน และตัวแบบการเปลี่ยนช่องทางจราจร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.2.1 ตัวแบบการเคลื่อนที่ที่ตามกันของรถ (Car Following Model)

พฤติกรรมรถตามกันเป็นพฤติกรรมที่สำคัญในการจำลองแบบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ การเคลื่อนที่ที่ตามกันใช้ในการหาค่าความเร่งหรือค่าความหน่วง เพื่อนำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างรถคันหน้ากับรถคันที่ตามมา สามารถแบ่งได้เป็นสองกรณีโดยกรณีแรก คือกรณีที่รถคันหน้ามีความเร็วมากกว่ารถคันที่ตามมา รถคันที่ตามมาซึ่งไม่สามารถแซงรถคันหน้าได้จะพยายามเร่งความเร็วเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ตามรถคันหน้า ส่วนในกรณีที่สองคือ กรณีที่รถคันที่ตามมามีความเร็วมากกว่ารถคันหน้า เพื่อให้รถคันที่ตามมาเคลื่อนที่ได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ชนคันหน้า รถคันที่ตามมาต้องชะลอความเร็ว

ในงานวิจัยนี้การเคลื่อนที่ที่ตามกันเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น โดยรถแต่ละคันจะคำนวณหาอัตราเร่งจากระยะห่างจากรถคันหน้าที่สามารถแล่นได้ ระยะดังกล่าวขึ้นกับค่าการขับขี่ที่ปลอดภัยในการขับขี่ของผู้ขับ (α , Safety factor) เราสามารถแบ่งลักษณะการเคลื่อนที่ที่ตามกันออกเป็น 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

● **ลักษณะการเคลื่อนที่แบบอิสระ** การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างรถคันหน้ากับรถคันที่ตามมา มีระยะมากกว่าระยะทางที่มากที่สุดที่รถคันที่ตามมาสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูงสุด (d^{upper}) รถคันที่ตามมามีลักษณะการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเสมือนไม่มีรถคันหน้า ในกรณีนี้ ถ้าความเร็วขณะนั้นน้อยกว่าความเร็วที่ต้องการเคลื่อนที่ รถคันที่พิจารณาสามารถเร่งความเร็วจนถึงความเร็วที่ต้องการได้โดยต้องไม่เกินอัตราเร่งสูงสุดของรถ แต่ถ้าความเร็วขณะนั้นมากกว่าความเร็วที่ต้องการเคลื่อนที่ รถต้องชะลอความเร็วลง

$$a_n \begin{cases} = a_n^{+max} & , V_n < V_n^{target} \\ = 0 & , V_n = V_n^{target} \\ = a_n^{-normal} & , V_n > V_n^{target} \end{cases} \dots (3.1)$$

- โดยที่
- V_n คือ ความเร็วปัจจุบัน
 - V_n^{target} คือ ความเร็วที่ต้องการ
 - a_n คือ อัตราการเร่ง
 - a_n^{+max} คือ อัตราการเร่งที่มากที่สุด (ความสามารถของเครื่องยนต์)
 - $a_n^{-normal}$ คือ อัตราการหน่วงปกติ

● **ลักษณะการชะลอกะทันหัน** การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างรถคันหน้ากับรถคันที่ตามมา สั้นกว่าระยะทางที่น้อยที่สุด (d^{lower}) ซึ่งหาได้จากผลรวมของระยะชะลอจนหยุดและระยะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ขณะนั้นโดยไม่มีความเร็วของรถคันที่ตามมา ในกรณีนี้รถคันที่ตามมาต้องเคลื่อนที่ได้ด้วยอัตราการชะลอที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการชนซึ่งหาได้จากสมการที่ 3.2

$$a_n^- = \max \left\{ a_n^{-max}, \frac{2 * (g_n - (v_n * t))}{t^2} \right\} \dots (3.2)$$

โดยที่	g_n	คือ ระยะห่างระหว่างรถคันหน้ากับรถคันที่ตามมา
	t	คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)
	a_n^-	คือ อัตราการหน่วง
	a_n^{+max}	คือ อัตราการหน่วงสูงสุด (ความสามารถของการชะลอ)

• **ลักษณะการเคลื่อนที่ตามกัน** การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างรถคันหน้ากับรถคันที่ตามมา มีค่าอยู่ระหว่าง d^{upper} และ d^{lower} ถ้าความเร็วของรถคันหน้าสูงกว่ารถคันที่ตามมา รถคันที่ตามมาสามารถเร่งความเร็วเพื่อให้ได้ระยะไกลเท่าที่รถจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ ในทางกลับกันถ้ารถคันหน้ามีความเร็วช้ากว่ารถคันที่ตามมา รถคันที่ตามมาต้องรักษาความเร็วไว้ให้คงที่หรือชะลอความเร็ว เพื่อให้ชนกับรถคันหน้า

ขั้นตอนการหาความเร่งของการเคลื่อนที่ตามกันมีดังนี้

1. เริ่มหาความเร่งที่ต้องการ (a^{target}) โดย

$$a^{target} = \frac{2 * (g_n - (v_n * t))}{t^2} \quad \dots (3.3)$$

2. เปรียบเทียบความเร่งที่ต้องการกับความเร่งสูงสุดของรถ

$$a_n \begin{cases} = a^{target} & , a^{target} \leq a_n^{+max} \\ = a_n^{+max} & , a^{target} > a_n^{+max} \end{cases} \quad \dots (3.4)$$

3. หาระยะทางการเคลื่อนที่ ($d_{forward}$) จากอัตราเร่งในข้อ 2 โดย

$$d_{forward} = (v_n * t) + \frac{a_n * t^2}{2} \quad \dots (3.5)$$

4. หาระยะทางการชะลอที่ปลอดภัย (d_{save}) จากความเร่งในข้อ 2 โดย

$$d_{save} = \frac{\alpha * v_n * t}{2} \quad \dots (3.5)$$

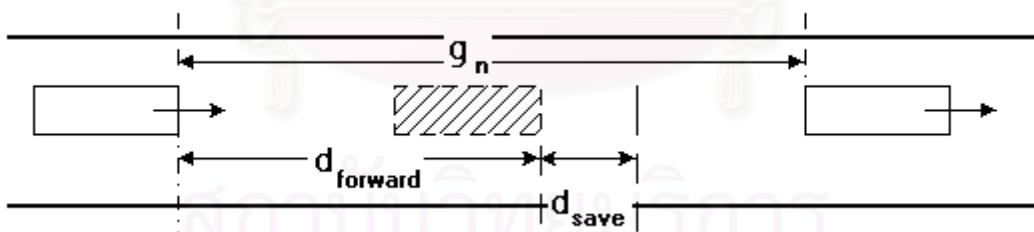
α (Safety factor) คือ ค่าการซ้ำซ้อนที่ปลอดภัยของผู้ขับ หากค่า α เท่ากับ 1 แสดงว่าผู้ขับมีความระวังในการเผื่อระยะการเคลื่อนที่ที่ปลอดภัย หากค่า α น้อยลงค่า d_{save} ก็จะลดลงเรื่อยๆ หากค่า α เท่ากับ 0 แสดงว่าผู้ขับเพิ่มอัตราเร่งในการเคลื่อนที่เต็มที่โดยไม่ชน (แม้จะไม่เผื่อระยะปลอดภัย)

5. ระยะการเคลื่อนที่ทั้งหมด d_{move} ซึ่งหาได้จาก

$$d_{move} = d_{forward} + d_{save} \quad \dots (3.6)$$

6. เปรียบเทียบระยะห่างกับรถคันหน้ากับระยะการเคลื่อนที่ทั้งหมด

กรณี $d_{move} \leq g_n$ ความเร่งสุดท้ายคือ a_n
 กรณี $d_{move} > g_n$ ทำวนซ้ำข้อ 2 โดยลดค่าลง 0.25 เท่า
 ดังนั้น $a_{target} = a_n - (0.25 * a_n)$

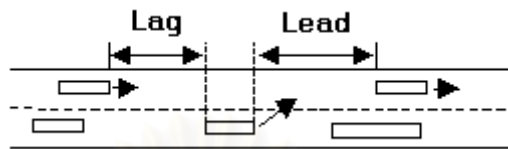


รูปที่ 3.4 ระยะ $d_{forward}$ และ d_{save} ของการเคลื่อนที่ตามกัน

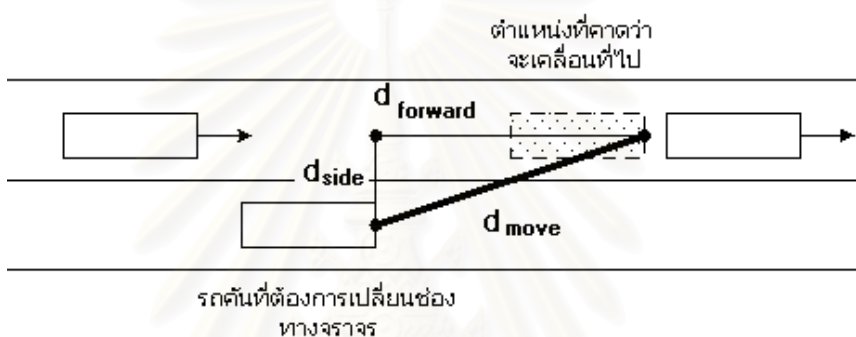
3.1.2.2 ตัวแบบการเปลี่ยนช่องทางการจราจร (Lane Changing Model)

ตัวแบบนี้จำลองแบบพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของผู้ขับขี่ เมื่อต้องการเปลี่ยนช่องทางการจราจร การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อรถกำลังเคลื่อนที่แบบตามกันมา แต่ไม่ต้องการชะลอความเร็วหรือรถอยู่ในช่องทางการจราจรที่ไม่ต้องการ เช่นอยู่ในช่องทางการจราจรที่สามารถเคลื่อนที่ตรงได้ทิศทางเดียวแต่รถต้องการเลี้ยวเพื่อเปลี่ยนไปยังช่องทางการจราจรที่เหมาะสม การเปลี่ยนช่องทางการจราจรของรถต้องพิจารณาปัจจัย ดังต่อไปนี้

คือ ตัดสินใจเลือกช่องทางจราจรที่ต้องการจะเปลี่ยนและตรวจระยะห่างระหว่างรถคันหน้ากับรถคันที่ตามมาในช่องทางจราจรที่ต้องการไป (Lead & Lag Gaps) ว่ามีช่องว่างพอที่จะแทรกเข้าไปได้หรือไม่ ถ้าระยะห่างดังกล่าวเหมาะสม รถคันดังกล่าวสามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนช่องทางจราจรที่ต้องการได้



รูปที่ 3.5 ระยะ Lead และ Lag ของรถที่ต้องการเปลี่ยนช่องทางจราจร



รูปที่ 3.6 ระยะทางการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนช่องทางจราจร

รูปที่ 3.6 แสดงรถในรูปที่ 3.5 ที่ต้องการเปลี่ยนช่องทางจราจรไปช่องทางซ้าย การหาระยะทางการเคลื่อนที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.7

$$d_{move} = \sqrt{d_{side}^2 + d_{forward}^2} \quad \dots (3.7)$$

- โดยที่ d_{side} คือระยะทางการเคลื่อนที่ด้านข้าง
- $d_{forward}$ คือระยะทางการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
- d_{move} คือระยะทางการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนไปช่องทางจราจรปลายทาง

การหาอัตราเร่งหาได้จากสมการที่ 3.8

$$a_n = \max\left\{ a_n^+, \frac{2 * (d_{\text{move}} - (v_n * t))}{t^2} \right\} \quad \dots (3.8)$$

นอกจากนี้ตัวแบบการเปลี่ยนช่องทางจราจรยังถูกนำมาประยุกต์ใช้กับลักษณะการเคลื่อนที่อื่นๆ อาทิ เช่น การแข่ง และการเคลื่อนที่หลบหลีกอุปสรรคบนถนน เช่น อุบัติเหตุ ทางกัน เป็นต้น

3.1.3 ตัวแบบสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่แบบเลี้ยวบริเวณทางแยก สัญญาณไฟจราจรแต่ละตัวจะควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ในช่องทางจราจรตามทิศทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา เคลื่อนที่ตรง เป็นต้น ในงานวิจัยนี้สัญญาณไฟจราจรประกอบด้วย 3 ช่วงคือ ไฟแดง ไฟเหลือง และไฟเขียว ลำดับของการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรคือ ไฟแดงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว และไฟเขียวเปลี่ยนเป็นไฟเหลืองและไฟแดงตามลำดับ การเลี้ยวซ้ายบริเวณทางแยก รถทุกคันสามารถเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายได้ทันที หากมีช่องว่างของกระแสจราจรในช่องทางเลี้ยวซ้ายปลายทางที่ต้องการเคลื่อนที่โดยไม่ต้องรอสัญญาณไฟจราจร (เลี้ยวซ้ายผ่านตลอด) ในทางแยกแต่ละแห่งการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรมีได้หลายจังหวะ (Phase) ซึ่งแต่ละจังหวะเป็นการกำหนดกลุ่มของการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายบริเวณทางแยก ในทิศทางตรงและเลี้ยวขวาจากผู้ใช้ โดยค่าปริยายที่มากที่สุดของจำนวนจังหวะในทางแยกแต่ละแห่งคือ 8 จังหวะดังแสดงในรูปที่ 3.6 จังหวะแต่ละจังหวะจะมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจร ซึ่งจะกำหนดโดยผู้ใช้ เช่น

- ระยะเวลาสัญญาณไฟเหลือง ซึ่งมีค่าปริยายคือ 3 วินาที
- ระยะเวลาสัญญาณไฟแดงเพื่อหยุดรถของถนนทุกสาย ซึ่งมีค่าปริยายคือ 1 วินาที
- ระยะเวลาในการเปลี่ยนจังหวะแต่ละจังหวะ (Phase Length) ซึ่งมีค่าปริยายเป็น 20 วินาที

ตารางที่ 3.1 ถ้าเลือกจังหวะ 1 สัญญาณไฟจราจรในถนน A จะเป็นไฟเขียว ดังนั้นรถที่อยู่ในถนน A สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกไปได้ทั้งทางตรงและเลี้ยวขวา ส่วนรถที่อยู่ในถนน B C และ D ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ต้องหยุดรอการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรครั้งต่อไป ถ้าเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรเป็นจังหวะ 5 ในลำดับต่อมา สัญญาณไฟจราจรในทางตรงที่ถนน A จะเปลี่ยนเป็นไฟเหลืองก่อนตามระยะเวลาที่สัญญาณไฟเหลืองของจังหวะ 1 เมื่อครบเวลาสัญญาณไฟเหลืองแล้ว สัญญาณไฟจราจรทิศทางเลี้ยวขวาของถนน A เปลี่ยนเป็นไฟแดง ทำให้รถทุกคันต้องเลี้ยวขวาต้องชะลอความเร็วเพื่อหยุดรอสัญญาณไฟจราจร

เช่นเดียวกับรถที่อยู่ในถนนสายอื่น เพื่อรอให้รถบางส่วนที่ออกจากถนน A มีเวลาเคลื่อนที่ออกจากทางแยก ก่อนที่จะมีรถออกมาจากถนน B สัญญาณไฟจราจรในถนน B ยังคงเป็นไฟแดงอยู่ จนกว่าจะครบระยะเวลา สัญญาณไฟแดงเพื่อหยุดรถของถนนทุกสายที่กำหนดในจังหวะ 1 ก่อน เมื่อครบเวลาดังกล่าวแล้วสัญญาณไฟจราจรที่ถนน B ในทางตรงจึงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว ทำให้รถที่อยู่ในถนน B ที่ต้องการเคลื่อนที่ตรงไปและอยู่ในช่องทางจราจรที่กำหนดทิศทางตรงไว้สามารถเคลื่อนที่ได้ การควบคุมการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรในงานวิจัยมี 2 ลักษณะคือ ลักษณะกำหนดการเปลี่ยนเองโดยผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร และการเปลี่ยนแบบอัตโนมัติ มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 จังหวะสัญญาณไฟจราจรของการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก

	ถนน A		ถนน B		ถนน C		ถนน D	
เฟส	→	↘	←	↙	↑	↗	↓	↘
1	○	○	●	●	●	●	●	●
2	●	●	○	○	●	●	●	●
3	●	●	●	●	○	○	●	●
4	●	●	●	●	●	●	○	○
5	○	●	○	●	●	●	●	●
6	●	○	●	○	●	●	●	●
7	●	●	●	●	○	●	○	●
8	●	●	●	●	●	○	●	○

○	ไฟเขียว
●	ไฟแดง

- การเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดการเปลี่ยนเองโดยผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร การเปลี่ยนในลักษณะนี้ผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรสามารถเปลี่ยนจังหวะในทางแยกแต่ละแห่งได้ทันที
- การเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรแบบอัตโนมัติ การเปลี่ยนในลักษณะนี้ จะต้องกำหนดตารางแสดงลำดับการเปลี่ยนจังหวะและระยะเวลาในการเปลี่ยนจังหวะแต่ละจังหวะไว้ล่วงหน้าก่อนเสมอ ค่าโดยปริยายของช่วงจังหวะสัญญาณไฟจราจรคือ 20 วินาที ผู้ใช้สามารถปรับระยะเวลาการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรได้ เมื่อครบเวลาในการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรแล้วระบบจะเปลี่ยนจังหวะซึ่งอยู่ในลำดับต่อมาในตารางจังหวะสัญญาณไฟจราจรโดยอัตโนมัติ

3.2 ตัวแบบการประมวลผลแบบกระจาย

ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนนและลักษณะการเคลื่อนที่ของรถภายในระบบการจำลองแบบได้ถูกประยุกต์โดยใช้หลักการออกแบบข้างต้น สำหรับการประมวลผลโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ ถูกออกแบบโดยประยุกต์หลักการประมวลผลแบบกระจาย โดยโครงข่ายถนนขนาดใหญ่จะถูกแบ่งออกเป็นโครงข่ายย่อย และถูกกระจายไปประมวลผลยังเครือข่ายสถานีงาน สถานีงานแต่ละเครื่องจะประมวลผลอย่างอิสระโดยมีการประสานเวลาระหว่างเครือข่าย รายละเอียดของการออกแบบมีดังนี้

3.2.1 การแบ่งภาระ

การแบ่งภาระงานในการจำลองแบบระดับจุลภาคสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ การแบ่งเชิงปริมาณรถและการแบ่งเชิงพื้นที่ [15]

- *การแบ่งเชิงปริมาณรถ* ในการการแบ่งในลักษณะนี้ ปริมาณรถที่แน่นอนจะถูกกำหนดให้ประมวลผลที่สถานีงานแต่ละเครื่อง ข้อดีของการแบ่งลักษณะนี้คือ ภาระในการประมวลผลมีความสมดุล เช่นมีสถานีงาน 2 เครื่อง รถภายในระบบทั้งหมด 500 คัน จากการแบ่งลักษณะนี้สถานีงานแต่ละเครื่องจะมีรถที่ต้องประมวลผลจำนวน 250 คัน ระหว่างการเคลื่อนที่ของรถจำเป็นต้องพิจารณาเวลาที่อยู่รอบข้างเสมอ เช่นรถคันที่อยู่ข้างหน้า รถที่อยู่ในช่องทางด้านข้างทั้งซ้ายและขวา หากรถที่อยู่รอบข้างเหล่านี้อยู่ภายในสถานีงานเดียวกันแล้ว ระหว่างการจำลองแบบไม่จำเป็นต้องติดต่อกับสถานีงานเครื่องอื่นๆ เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลข้างต้นทำให้ไม่เสียเวลาในการติดต่อสื่อสาร แต่เนื่องจากสถานีงานแต่ละเครื่องไม่สามารถระบุได้ว่ารถแต่ละคันที่ประมวลผลมีตำแหน่งอยู่ส่วนใดของพื้นที่ที่จำลองแบบ หากรถข้างเคียงไม่อยู่ภายในสถานีงานเดียวกัน การแบ่งวิธีนี้จะเสียเวลาในการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลรถกับสถานีงานเครื่องอื่นที่มีรถข้างเคียงอยู่ภายใน

- *การแบ่งเชิงพื้นที่* ในการแบ่งลักษณะนี้พื้นที่จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ และพื้นที่แต่ละส่วนจะถูกกระจายไปยังสถานีงาน ดังนั้นสถานีงานแต่ละเครื่องจะมีขอบเขตพื้นที่ที่รับผิดชอบแน่นอน การประมวลผลจะประมวลผลเฉพาะรถที่อยู่ภายในบริเวณที่รับผิดชอบเท่านั้น ดังนั้นระหว่างการประมวลผลรถที่อยู่ข้างเคียงส่วนใหญ่อยู่ภายในสถานีงานเดียวกัน เวลาในการติดต่อสื่อสารกับสถานีงานเครื่องอื่นจึงมีไม่บ่อยนัก การสื่อสารกับสถานีงานเครื่องอื่นมักเกิดในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ออกไปภายนอกบริเวณที่สถานีงานที่กำลังประมวลผลรับผิดชอบอยู่ไปยังบริเวณที่อยู่ภายในสถานีงานอีกเครื่องหนึ่ง สถานีงานต้นทางต้องถ่ายโอนรถคันดังกล่าวไปยังสถานีงานปลายทางที่มีขอบเขตที่อยู่ติดกัน รายงาน [16] ได้ทดลองและเปรียบเทียบเวลาที่

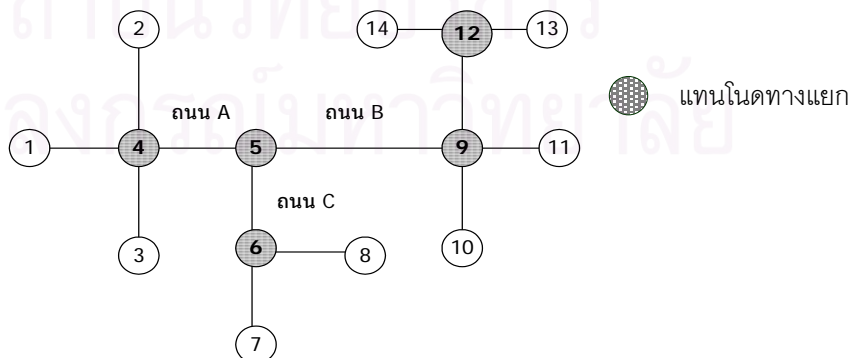
สูญเสียของการสื่อสารระหว่างการแบ่งเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่ พบว่าการในการแบ่งเชิงพื้นที่สูญเสียเวลาในการติดต่อสื่อสารน้อยกว่า

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบ่งภาวะเชิงพื้นที่ เพื่อลดเวลาในการประมวลผลให้น้อยลง โดยมีหลักในการพิจารณาการแบ่งพื้นที่ย่อยดังนี้

1. โครงข่ายถนนย่อยแต่ละโครงข่ายจะประกอบด้วยจำนวนโหนดที่เป็นทางแยกเฉลี่ย (node) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนโหนดทางแยกทั้งหมดกับจำนวนสถานีงาน
2. โหนดทางแยกใกล้เคียงที่อยู่ภายในโครงข่ายถนนย่อยเดียวกัน ต้องมีถนนที่เชื่อมต่อกัน
3. ถนนที่อยู่ระหว่างโครงข่ายย่อย 2 โครงข่ายจะถูกแบ่งระยะประมาณครึ่งความยาวถนน การแบ่งจะทำให้เกิดโหนดขอบใหม่ขึ้นมาดังอธิบายในหัวข้อ 3.1.1 โหนดขอบนี้จะเป็นโหนดแสดงขอบเขตบริเวณที่จะจำลองแบบและเป็นโหนดแลกเปลี่ยนสื่อสารกับสถานีงานที่อยู่ติดกันเพียงสถานีงานเดียว ซึ่งทำให้การแบ่งบริเวณกลางถนนเกิดการสูญเสียที่เกิดจากการสื่อสารและถ่านโหนดข้ามบริเวณมีไม่มากนัก อีกทั้งลดความยุ่งยากในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของรถด้วย เนื่องจากการแบ่งด้วยหลักการนี้จะกำหนดให้รถเคลื่อนที่ได้ทิศทางเดียวคือทิศทางตรงไปยังช่องทางจราจรที่เชื่อมกันในบริเวณปลายทาง สำหรับการแบ่งโครงข่ายถนนในบริเวณอื่นก็สามารถทำได้เช่นกัน แต่มีข้อสังเกตที่ควรพิจารณา คือ

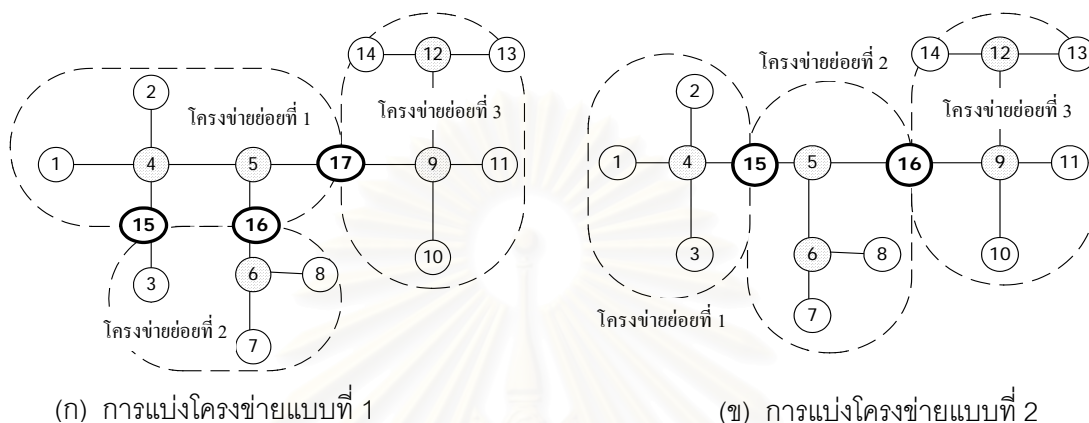
- การเกิดโหนดขอบใหม่ภายหลังการแบ่ง เนื่องจากยังมีโหนดขอบใหม่มากภาระงานของการส่งข้อมูลระหว่างสถานีงานก็มากตามไปด้วย ในความเป็นจริงควรแบ่งให้เกิดโหนดขอบน้อยที่สุดเพื่อทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลน้อย

- ความยุ่งยากในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ระหว่างช่องทางจราจรในสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทาง ตัวอย่างเช่นโครงข่ายในรูปที่ 3.7 หากต้องการแบ่งถนน A ที่อยู่ระหว่างจุดที่ 4 และ 5 โดยเลือกแบ่งบริเวณจุดที่ 5 การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของช่องทางจราจรในถนน A จะประกอบไปด้วยทิศทางหลายทิศทางเช่น ทิศทางเลี้ยวขวาไปยังถนน C ทิศทางตรงไปยังถนน B ซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรแบ่งบริเวณช่วงกึ่งกลางถนนซึ่งจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงเพียงทิศเดียว



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างโครงข่ายถนน

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างโครงข่ายที่ประกอบด้วยโหนดทางแยกทั้งหมด 5 โหนด (โหนด 4 5 6 9 และ 12) หากมีสถานีงาน 3 เครื่อง จากเงื่อนไขแรกโครงข่ายย่อยแต่ละโครงข่ายจะมีโหนดทางแยกเฉลี่ยประมาณ 2 จุด หากจาก $5 \text{ (จุด)} / 3 \text{ (สถานีงาน)}$



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการแบ่งโครงข่ายย่อย

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการแบ่งโครงข่ายจากรูปที่ 3.7 โดยรูปที่ 3.8ก ภายหลังการแบ่งในโครงข่ายย่อยที่ 3 โหนดทางแยกที่ 3 และ 6 ไม่มีถนนที่เชื่อมถึงกันและทำให้เกิดจุดขอบเขตใหม่ 3 จุดคือ โหนด 15 16 และ 17 เมื่อเปรียบเทียบกับกรแบ่งในรูปที่ 3.8ข ซึ่งเกิดโหนดขอบเพียง 2 จุดคือโหนด 15 และ 16 อีกทั้งทุกโหนดทางแยกมีถนนเชื่อมกันหมด การแบ่งในรูปที่ 3.8ข จึงเหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตาม การสมมูลภาวะในโครงข่ายย่อยยังขึ้นกับปัจจัยอื่นด้วย อาทิเช่น อัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกบริเวณโหนดขอบ

3.2.2 การประสานเวลา

ในการประมวลผลแบบขนานในลักษณะกระจาย บางครั้งสถานีงานแต่ละเครื่องอาจจะมีปริมาณรถที่อยู่ภายในโครงข่ายย่อยที่รับผิดชอบไม่เท่ากัน สถานีงานที่มีปริมาณรถน้อยกว่าอาจใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าสถานีงานเครื่องอื่นที่มีปริมาณรถมากกว่า หากไม่มีการประสานเวลาระหว่างสถานีงานภายในระบบ เมื่อมีการสื่อสารเพื่อขอข้อมูลสำหรับตรวจสอบการเคลื่อนที่ของรถเพื่อถ่ายโอนรถไปยังสถานีข้างเคียง จะเกิดการเหลื่อมล้ำของเวลาซึ่งเป็นสาเหตุให้การจำลองแบบไม่เป็นจริง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบให้มีการประมวลผลแบบกระจายโดยมีการประสานเวลาโดยใช้หลักการกีดขวาง (Barrier)

หลักการกีดขวาง เป็นหลักการที่กำหนดให้สถานีงานแต่ละเครื่องหยุดรอจนกว่าสถานีงานทุกเครื่องในระบบจะประมวลผลเสร็จ โดยมีสถานีงานเครื่องหนึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องหัวหน้าเพื่อควบคุมการกีดขวาง ส่วน

สถานงานที่เหลือเป็นเครื่องผู้ช่วย อย่างไรก็ตาม ทั้งเครื่องหัวหน้าและเครื่องผู้ช่วย ต่างมีหน้าที่ในการประมวลผลโครงข่ายย่อยที่สถานงานแต่ละเครื่องได้รับติดต่อเช่นกัน หน้าที่พอสั่งเซปของทั้งเครื่องหัวหน้าและเครื่องผู้ช่วยมีดังนี้

เมื่อเริ่มจำลองแบบ เครื่องหัวหน้าจะส่งตัวบ่งชี้การติดต่อไปยังเครื่องผู้ช่วย เมื่อเครื่องผู้ช่วยตอบรับพร้อมที่จะทำงาน เครื่องหัวหน้าจะส่งข้อมูลเริ่มต้น อาทิเช่น หน่วยเวลาของการเคลื่อนที่ (Time slice) และระยะเวลาในการประมวลผล (Time period) ไปยังเครื่องผู้ช่วย เมื่อเครื่องผู้ช่วยทุกเครื่องพร้อมที่จะทำงาน เครื่องหัวหน้าจะส่งตัวบ่งชี้เริ่มการทำงานไปยังเครื่องผู้ช่วยให้ทุกเครื่องเริ่มประมวลผลพร้อมกัน เมื่อเครื่องผู้ช่วยเครื่องใดประมวลผลครบหนึ่งรอบเวลาประมวลผล เครื่องผู้ช่วยต้องส่งตัวบ่งชี้การทำงานเสร็จไปยังเครื่องหัวหน้าและหยุดรอเพื่อรับตัวบ่งชี้จากเครื่องหัวหน้าเพื่อประมวลผลในรอบถัดไป ช่วงระยะเวลานี้เครื่องผู้ช่วยต้องหยุดรอและไม่สามารถประมวลผลได้ เมื่อเครื่องหัวหน้าได้รับตัวบ่งชี้การทำงานเสร็จจากเครื่องผู้ช่วย เครื่องหัวหน้าจะตรวจสอบตัวบ่งชี้การทำงานเสร็จจากเครื่องผู้ช่วยทุกเครื่องภายในระบบ หากเครื่องผู้ช่วยส่งมาครบทุกเครื่อง เครื่องหัวหน้าจะส่งตัวบ่งชี้การทำงานในรอบการประมวลผลถัดไปไปยังเครื่องผู้ช่วยทุกเครื่อง เครื่องผู้ช่วยจึงสามารถประมวลผลต่อไปได้แต่หากยังส่งมาไม่ครบทุกเครื่อง เครื่องผู้ช่วยเครื่องที่ประมวลผลเสร็จแล้วต้องหยุดรอสถานงานเครื่องที่ยังประมวลผลไม่เสร็จ

3.3 คลาสไดอะแกรม

ตัวแบบข้างต้นสามารถนำมาออกแบบและพัฒนาเป็นคลาสต่างๆ ในโปรแกรมการจำลองแบบได้จำนวนมาก โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ของคลาสได้ 5 กลุ่มคือ คลาสสำหรับจัดการรถ คลาสสำหรับจัดการถนน คลาสสำหรับจัดการสัญญาณไฟจราจร คลาสจัดการงานที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร และคลาสสำหรับจัดการเชื่อมต่อสถานงานในระบบ คลาสเหล่านี้พัฒนาขึ้นโดยใช้หลักการ Link List เนื่องจากนำมาประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและสะดวก เช่นสามารถปรับเปลี่ยนและเพิ่มขนาดได้สะดวกไม่จำเป็นต้องกำหนดขนาดที่แน่นอน และสะดวกแก่การจัดการกับวัตถุที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้งนี้ได้กำหนดเป็นคลาสแม่ชื่อ TList ที่ใช้สำหรับคลาสอื่นๆ สืบทอดคุณสมบัติของการจัดการวัตถุใน Link List ไปใช้ได้ อาทิเช่น TListVehicle ทำหน้าที่จัดการรถทั้งหมดในระบบโดยเก็บวัตถุของ TVehicle ซึ่งเป็นวัตถุของรถไว้ใน List และ TListRoad เป็นวัตถุของถนนทั้งหมดของระบบ โดยคลาสของถนนมีชื่อว่า TRoad เป็นต้น

คลาสทั้งหมดที่ถูกพัฒนาขึ้นมีรายละเอียดที่แบ่งได้ตามกลุ่มต่างๆ ดังนี้

3.3.1 คลาสในกลุ่มรถ

- TListVehicle เป็นคลาสที่สืบทอดมาจาก TList และเป็นคลาสหลักของระบบ ซึ่งทำหน้าที่เก็บรวบรวมรถทุกคันที่อยู่ภายในระบบ (TVehicle) โดยมีหน้าที่ในการควบคุมการสร้างรถเข้ามาในระบบ การจำลองแบบรวมทั้งการลบรถออกจากระบบและการแทรกรถเข้าสู่ระบบด้วย และหน้าที่อื่นๆ เช่น กำหนดลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของรถ เก็บข้อมูลของรถเพื่อนำไปวิเคราะห์ คำนวณค่าน้ำยา ตรวจสอบการชนระหว่างรถเป็นต้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เรียกใช้คลาสสำหรับการติดต่อสื่อสารกับสถานีงานเครื่องอื่นที่มีถนนเชื่อมต่อกัน ทั้งนี้เพื่อส่งรถไปยังถนนปลายทางในสถานีข้างเคียง ด้วยการเรียกใช้ TTableTask ที่จัดการกับข้อมูลการส่งรถข้ามระบบ
- TVehicle เป็นคลาสที่ใช้แทนรถยนต์ เก็บคุณสมบัติ และตัวดำเนินการต่างๆ ของรถ เช่น ค่าอ้างอิงของรถ ชนิด ความเร็ว ความเร่ง สถานะการเคลื่อนที่ ความกว้าง ความยาว ตัวดำเนินการสำหรับการเคลื่อนที่หรือการตรวจสอบการชน เป็นต้น คลาสนี้มีสมาชิกที่เป็นตัวชี้ (Pointer) ของ TLane ซึ่งเป็นคลาสที่เก็บข้อมูลแสดงช่องทางจราจรปัจจุบันที่รถคันนั้นอยู่

3.3.2 คลาสในกลุ่มถนน

- TListRoad เป็นคลาสที่สืบทอดมาจาก TList เช่นกัน โดยมีหน้าที่รวบรวมถนนทุกสายที่อยู่ภายในระบบและเก็บถนนที่เป็นทางเข้าและปล่อยรถที่สร้างใหม่เข้าสู่ระบบ TListRoad เป็นคลาสที่ควบคุมการสร้างถนน (TRoad) วาดเส้นถนนและแสดงสัญญาณไฟจราจรที่อยู่ในถนนแต่ละสาย
- TRoad เป็นคลาสที่ใช้แทนถนน เก็บคุณสมบัติและตัวกระทำต่างๆ ของถนน เช่น ค่าอ้างอิงของถนน ชื่อถนน ค่าทางแยกที่ถนนตั้งอยู่ ตัวดำเนินการกำหนดค่าตำแหน่งถนน เป็นต้น ในถนนแต่ละสายมีทิศทางการเดินรถได้ไม่เกินสองทิศทางซึ่ง กำหนดด้วยสมาชิก TListLane หนึ่งหรือสองตัวก็ได้
- TListLane เป็นคลาสที่สืบทอดมาจาก TList ใช้แทนทิศทางการเดินรถภายในถนน และเก็บกลุ่มของช่องทางจราจรที่ประกอบเป็นหนึ่งทิศทางทางการเดินรถ ทิศทางแต่ละทิศทางประกอบด้วยช่องทางจราจร ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 7 ช่องทาง โดยมีหน้าที่ควบคุมการและเรียกใช้งานคลาส TLane และมี TObject ที่ใช้แสดงภาพสัญญาณไฟจราจร ในกรณีที่ TListLane เป็นทิศทางการเดินรถที่ปล่อยรถเข้าสู่ระบบ จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางการเดินรถที่สำคัญหลายค่า อาทิเช่น เก็บค่าอัตราการไหลของปริมาณรถต่อชั่วโมง (Flowrate) ซึ่งใช้คำนวณค่า Time headway ของถนนซึ่งเป็นค่าช่วงระยะเวลาที่ควบคุมการสร้างและปล่อยรถเข้า ใช้คำนวณปริมาณรถโดยจำแนกตามชนิดซึ่งอยู่ภายในช่องทางจราจรทั้งหมดในทิศทางนี้ เก็บจำนวนช่องทางจราจรที่สามารถเคลื่อนที่เลี้ยวในทิศทางตรง ซ้าย ขวา ในกรณีที่ เป็นทิศทางเชื่อมต่อกับถนนที่อยู่ในสถานี

งานข้างเคียงและมีค่าตรรกะที่ใช้บ่งชี้ว่าเป็นทิศทางที่เชื่อมต่อกับสถานีงานเครื่องอื่นหรือไม่ด้วย (connectListLane) เป็นต้น

- TLane เป็นคลาสที่ใช้แทนช่องทางจราจร 1 ช่อง เก็บค่าคุณสมบัติและตัวดำเนินการของช่องทางจราจร อาทิเช่น ค่าอ้างอิงของช่องทางจราจร ตำแหน่งของถนนที่อยู่ ความกว้างของช่องทาง ตัวดำเนินการสำหรับตรวจสอบทางเชื่อมกับช่องทางจราจรใดในทิศทางการเลี้ยวแต่ละทิศทาง เป็นต้น

3.3.3 คลาสในกลุ่มสัญญาณไฟจราจร

- TlistControlLight เป็นคลาสที่สืบทอดมาจาก TList เช่นกัน ทำหน้าที่รวบรวมและควบคุมการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรทั้งแบบกำหนดเองโดยผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรและแบบอัตโนมัติ โดยมีสมาชิกที่สำคัญคือ TControlLight ที่เป็นคลาสของสัญญาณไฟจราจร และมีตัวดำเนินการที่ตรวจสอบการเปลี่ยนสัญญาณไฟเหลือง เป็นต้น

- TcontrolLight เป็นคลาสที่ใช้ควบคุมการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรในทางแยกแต่ละแห่ง เช่น เปลี่ยนจากไฟเขียวเป็นไฟเหลือง จากไฟเหลืองเป็นไฟแดง จากไฟแดงเป็นไฟเขียว และยังเก็บค่าจังหวะต่างๆ ของสัญญาณไฟจราจร เช่น จังหวะของการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดให้มีไม่เกิน 8 จังหวะ (TPhaseControl) ค่าอ้างอิงจังหวะปัจจุบันที่กำลังใช้ควบคุมและค่าอ้างอิงจังหวะถัดไปกรณีเปลี่ยนตามผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น

- TphaseControl เป็นคลาสที่ใช้แทนจังหวะหนึ่งชุดในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของกลุ่มถนนที่อยู่ทางแยกเดียวกัน ในถนนแต่ละสายจะมีสีสัญญาณไฟจราจรควบคุมต่างกัน จังหวะแต่ละจังหวะมีค่าระยะเวลาครบรอบในการแสดงสัญญาณ (Phase Length) ระยะเวลาการเกิดไฟเหลือง และระยะเวลาการเกิดไฟแดงในถนนทุกสายพร้อมกัน (ระยะเวลาเหลื่อมล้ำในการเปลี่ยนสัญญาณไฟแดงเป็นไฟเขียว)

- TgroupRoad เป็นคลาสที่ใช้แทนสีของสัญญาณไฟจราจรในถนนแต่ละสายแยกตามทิศทางการเคลื่อนที่ (ซ้าย ขวา ตรง) ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทิศทางเลี้ยวซ้ายสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ตลอด ดังนั้นสัญญาณไฟจราจรในทิศทางนี้จึงเป็นไฟเขียวเสมอ โดยการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรจะถูกควบคุมผ่านสมาชิกของ TListLane

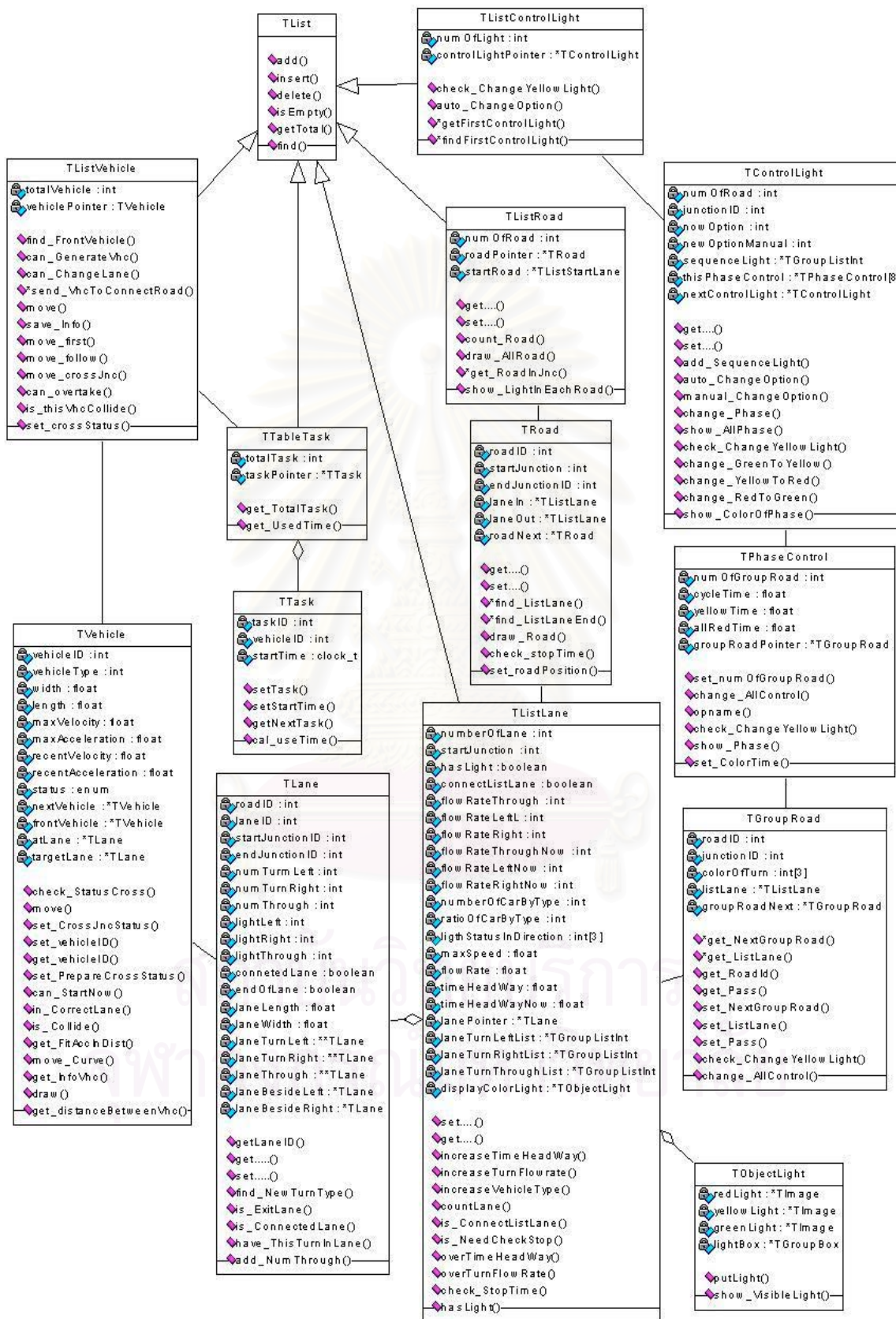
- TObjectLight เป็นคลาสที่ใช้แสดงภาพสัญญาณไฟจราจรและสามารถกำหนดตำแหน่งการวางสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกซึ่งถูกเรียกใช้โดยคลาส TlistLane

3.3.4 คลาสในกลุ่มจัดการงานสำหรับติดต่อสื่อสาร

- TtableTask เป็นคลาสที่สืบทอดมาจาก TList และถูกสร้างขึ้นในช่วงเริ่มต้นของระบบ (สร้างเพียงตัวเดียว) ทำหน้าที่เก็บรายการวัตถุของคลาส TTask ของสถานีงานทั้งหมดซึ่งใช้สำหรับจัดการการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีงาน ทั้งนี้เพื่อสถานีงานต่างๆ สามารถตรวจสอบข้อมูลของ TTask ของสถานีงานใดๆ ได้
- Ttask เป็นคลาสที่ใช้แทนงานที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับจัดการการติดต่อกับสถานีงานเครื่องอื่น เช่น ข้อมูลการส่งรถข้ามสถานีงาน การตรวจสอบความพร้อมสำหรับการรับรถ เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ค่าอ้างอิง Task ค่าเวลาในการเริ่มต้นส่ง เป็นต้น นอกจากนี้คลาส TTask ยังมีหน้าที่คำนวณเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดในการส่งข้อมูลเมื่อได้รับข้อมูลตอบรับจากสถานีงานปลายทาง TTask ถูกสร้างขึ้นใน TListVehicle ด้วยตัวดำเนินการสำหรับการเคลื่อนที่ของรถคันแรกที่อยู่บนถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานเครื่องอื่น เมื่อมีรถเคลื่อนที่ถึงจุดขอบและต้องการเคลื่อนที่ไปยังถนนปลายทางที่อยู่บนสถานีงานปลายทาง TTask จะถูกจัดเก็บใน TTableTask ของระบบต่อไป

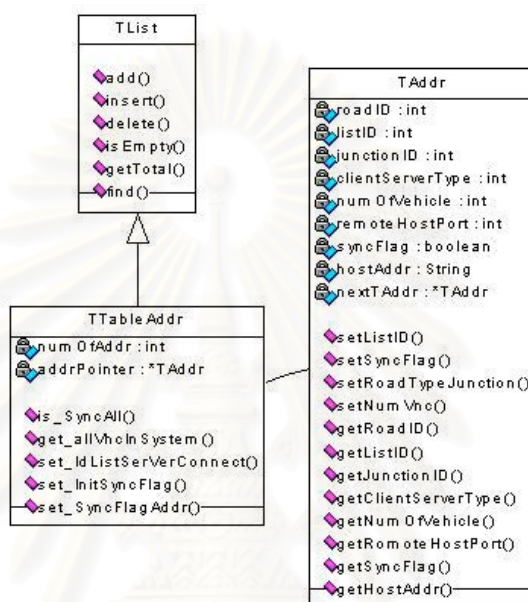
3.3.5 คลาสในกลุ่มการเชื่อมต่อสถานีงาน

- TTableAdd เป็นคลาสที่ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลของสถานีงานต่างๆ ที่เชื่อมต่อภายในระบบ โดยพัฒนาให้รองรับการทำงานตามหลักการที่คิดวางดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ข้างต้น คลาสหลักนี้คือ TTableAddr ทำหน้าที่เก็บวัตถุที่เก็บค่าเครือข่ายของสถานีงานคือ TAddr ทั้งหมดในระบบ TTableAddr ถูกสร้างจากระบบหลักในครั้งแรก โดยมีตัวกระทำที่สำคัญคือ การตรวจสอบการประสานเวลาของสถานีงานทุกเครื่องเมื่อประมวลผลครบ 1 รอบ (Time step)
- TAddr เป็นคลาสที่เก็บรายละเอียดข้อมูลการเชื่อมต่อของสถานีงาน เช่น ที่อยู่ของสถานีปลายทาง (RemoteHostAddr) พอร์ตของของสถานีปลายทาง (RemoteHostPort) ตัวบ่งชี้การประสานงาน (SyncFlag) และถนนที่เกิดการเชื่อมต่อ เป็นต้น



รูปที่ 3.9 คลาสไดอะแกรมของระบบการจำลองแบบ

รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ของคลาส 4 กลุ่มคือ คลาสในกลุ่มรถซึ่งประกอบด้วย TListVehicle TVehicle คลาสในกลุ่มถนนซึ่งประกอบด้วยคลาส TListRoad TRoad TListLane และ TLane คลาสในกลุ่มสัญญาณไฟจราจรซึ่งประกอบ TListControlLight TControlLight TPhaseControl TGroupRoad และ TObjectLight และคลาสในกลุ่มจัดการงานสำหรับติดต่อสื่อสารซึ่งประกอบด้วย TTableTask และ TTask

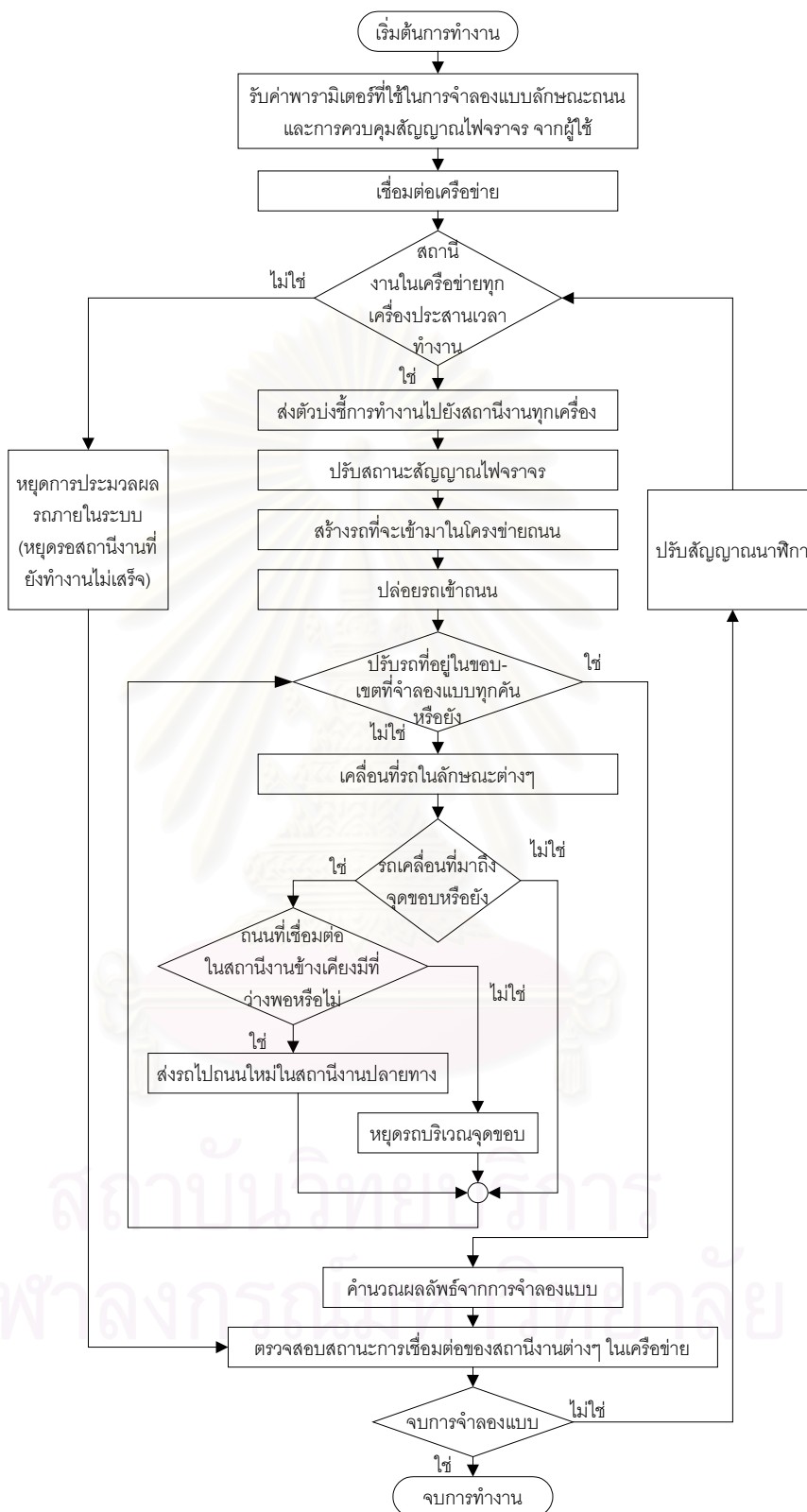


รูปที่ 3.10 คลาสไดอะแกรมในกลุ่มการเชื่อมต่อสถานีงาน

รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ของคลาสในกลุ่มการเชื่อมต่อสถานีงานที่สำคัญสองคลาสคือ คลาส TTableAdd และ Taddr

3.4 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

เนื่องจากการออกแบบการประมวลผลแบบกระจายในแบบหัวหน้า/ผู้ช่วย ลำดับขั้นตอนการทำงานหลักจึงแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ลำดับขั้นตอนการทำงานหลักของเครื่องหัวหน้า และลำดับขั้นตอนการทำงานหลักของเครื่องผู้ช่วย ขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกันคือการประมวลผลการเคลื่อนที่ของรถ ส่วนการทำงานที่ต่างกันคือการจัดการติดต่อสื่อสารกับสถานีงานเครื่องอื่นและควบคุมการประสานเวลา หน้าที่นี้เป็นหน้าที่ของเครื่องหัวหน้า ลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมดมีดังนี้

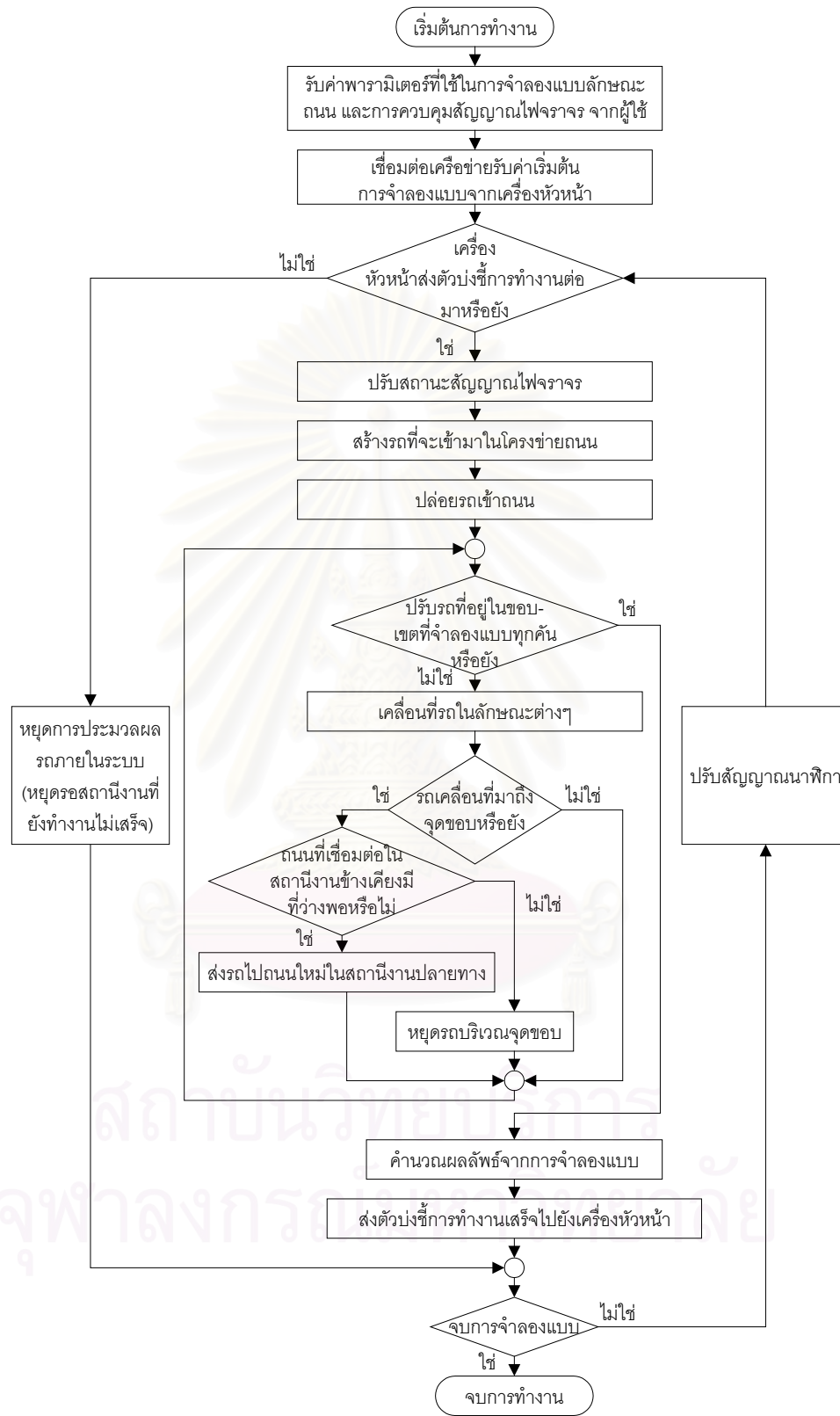


รูปที่ 3.11 ลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของเครื่องหัวหน้า

ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของเครื่องหัวหน้า

1. เริ่มจำลองแบบโดย
 - 1.1 รับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ เช่น ช่วงเวลาที่ต้องการจำลองแบบ หน่วยเวลาการจำลองแบบ ช่วงระยะเวลาการประมวลผลครบรอบเป็นต้น
 - 1.2 ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนนที่ต้องการจำลองแบบ เช่น จำนวนทางแยก จำนวนช่องทางจราจรในแต่ละแยก
2. เชื่อมต่อสถานีงานทั้งหมดภายในระบบโดยส่งการร้องขอการติดต่อไปยังสถานีงาน
3. เครื่องหัวหน้าพร้อมจำลองแบบและสถานีงานทุกเครื่องในระบบมีการประสานเวลาคบหรือยัง หากใช่ทำในขั้นตอนที่ 4 หากไม่ใช่ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 10.
4. ส่งตัวบ่งชี้การทำงานต่อไปยังสถานีงานทุกเครื่องเพื่อให้ประมวลผลต่อได้
5. เปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร
6. สร้างรถที่จะเข้าสู่ระบบและปล่อยรถเข้ามาในระบบ
7. เคลื่อนที่รถทุกๆ คันในระบบโดยเลือกการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ ดังรูป 3.13
8. แสดงภาพกราฟิกในการเคลื่อนที่ของรถ
9. คำนวณผลลัพธ์จากการจำลองแบบ
10. ปรับสัญญาณนาฬิกาและวนทำซ้ำรอบใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3



รูปที่ 3.12 ลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของเครื่องผู้ช่วย

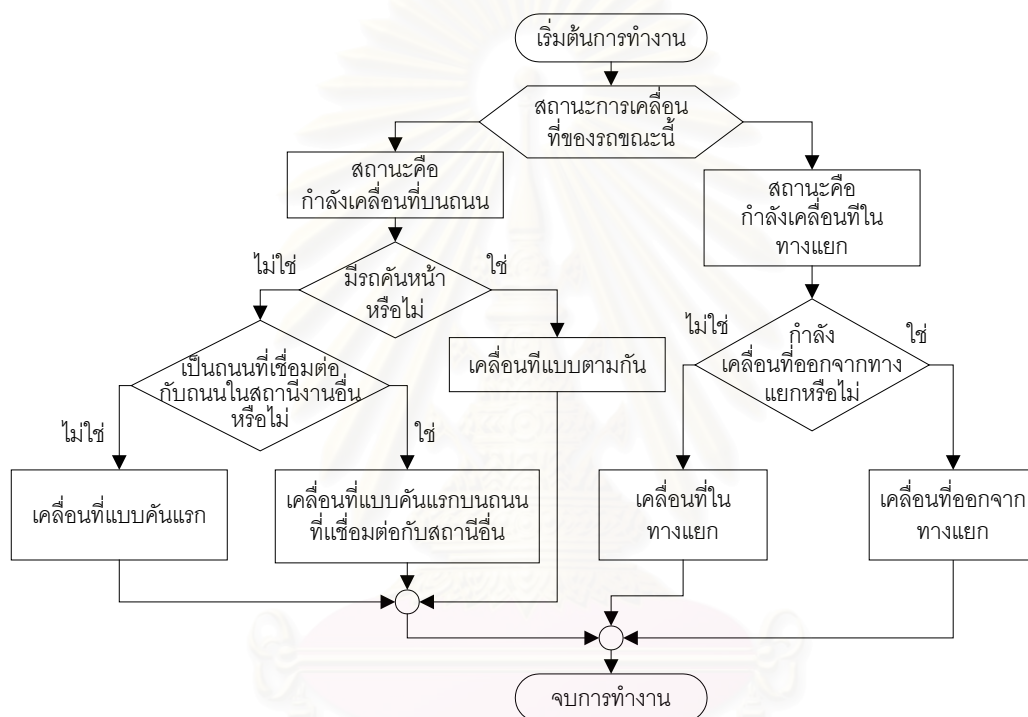
ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของเครื่องผู้ช่วย

1. เริ่มจำลองแบบโดย
 - 1.1 รับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบจากผู้ใช้ เช่น ช่วงเวลาที่ต้องการจำลองแบบ หน่วยเวลาการจำลองแบบ และช่วงระยะเวลาการประมวลผลครบรอบเป็นต้น
 - 1.2 ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนนที่ต้องการจำลองแบบ เช่น จำนวนทางแยก จำนวนช่องทางจราจรในแต่ละแยก
2. เชื่อมต่อเครื่องหัวหน้าและสถานีงานที่มีถนนเชื่อมต่อกัน เมื่อติดต่อกับเครื่องหัวหน้าได้แล้ว รอรับค่าเริ่มต้นการประมวลผลจากเครื่องหัวหน้า และส่งตัวบ่งชี้การทำงานไปยังเครื่องหัวหน้า (ตัวประสานเวลา)
3. เมื่อเครื่องหัวหน้าส่งตัวบ่งชี้การทำงานต่อมายังสถานีงานเริ่มประมวลผล
4. เปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร
5. สร้างรถที่จะเข้าสู่ระบบและปล่อยรถเข้ามาในระบบ
6. เคลื่อนที่รถทุกๆ คันในระบบโดยเลือกการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 3.13
7. แสดงภาพกราฟิกในการเคลื่อนที่ของรถ
8. คำนวณผลลัพธ์จากการจำลองแบบ
9. ส่งตัวบ่งชี้การทำงานเสร็จไปยังเครื่องหัวหน้า (ประสานเวลา)
10. ปรับสัญญาณนาฬิกาและวนทำซ้ำรอบใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3

ส่วนนี้จะแสดงลำดับขั้นตอนการประมวลผลการเคลื่อนที่ของรถในลักษณะต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยลักษณะหลัก 5 อย่างโดยมีขั้นตอนการทำงานหลักในการพิจารณาเลือกลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.13 การเคลื่อนที่ที่กรณีเป็นรถคันแรกในถนนทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.14 การเคลื่อนที่ที่กรณีเป็นรถคันแรกบนถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่น ดังแสดงในรูปที่ 3.15 การเคลื่อนที่ที่ตามกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.16 การเคลื่อนที่บริเวณทางแยกดังแสดงในรูปที่ 3.17 และการเคลื่อนที่ออกจากบริเวณทางแยกดังแสดงในรูปที่ 3.18

การเคลื่อนที่แต่ละลักษณะมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.13 ลำดับขั้นตอนการการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ

ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการทำงานเพื่อเลือกลักษณะการเคลื่อนที่ของรถโดยพิจารณาสถานะการเคลื่อนที่ของรถ

1. กรณีสถานะการเคลื่อนที่ เป็นการเคลื่อนที่ปกติบนถนน ตรวจสอบว่าเป็นรถคันแรกในช่องทางจราจรที่กำลังอยู่หรือไม่ หากไม่มีรถคันหน้าแสดงว่าเป็นรถคันแรก เลือกลักษณะการเคลื่อนที่โดยพิจารณาถนนว่าเป็นถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่นหรือไม่ หากเป็นถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่น การเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่แบบรถคันแรกบนถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่น มีขั้นตอนการทำงานละเอียดดังรูปที่ 3.15

ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.14 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ของรถในกรณีที่เป็นคันแรกบนถนนทั่วไปโดยพิจารณาสถานะการเคลื่อนที่ของรถ และสัญญาณไฟจราจรขณะนั้น

1. สถานะของรถคือหยุดรอสัญญาณไฟแดงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว

1.1 กรณีสัญญาณไฟจราจรเป็นไฟแดง รถจะไม่เคลื่อนที่ แต่จะหยุดรอจนกว่าสัญญาณไฟจราจรจะเปลี่ยน

1.2 กรณีสัญญาณไฟจราจรเป็นไฟเขียว รถพร้อมที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ทางแยก อย่างไรก็ตามต้องตรวจสอบค่า Startup Lost Time ว่าสามารถเคลื่อนที่ได้หรือยัง หากค่า Startup Lost Time เท่ากับศูนย์ รถจะเคลื่อนที่เข้าสู่ทางแยก แต่หากยังไม่เท่ากับศูนย์ รถจะยังไม่เคลื่อนที่

2. กรณีสถานะการเคลื่อนที่ไม่ได้หยุดรอสัญญาณไฟแดงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว พิจารณาตำแหน่งของรถว่าอยู่ในระยะห่างมากกว่าครึ่งของความยาวถนนหรือไม่

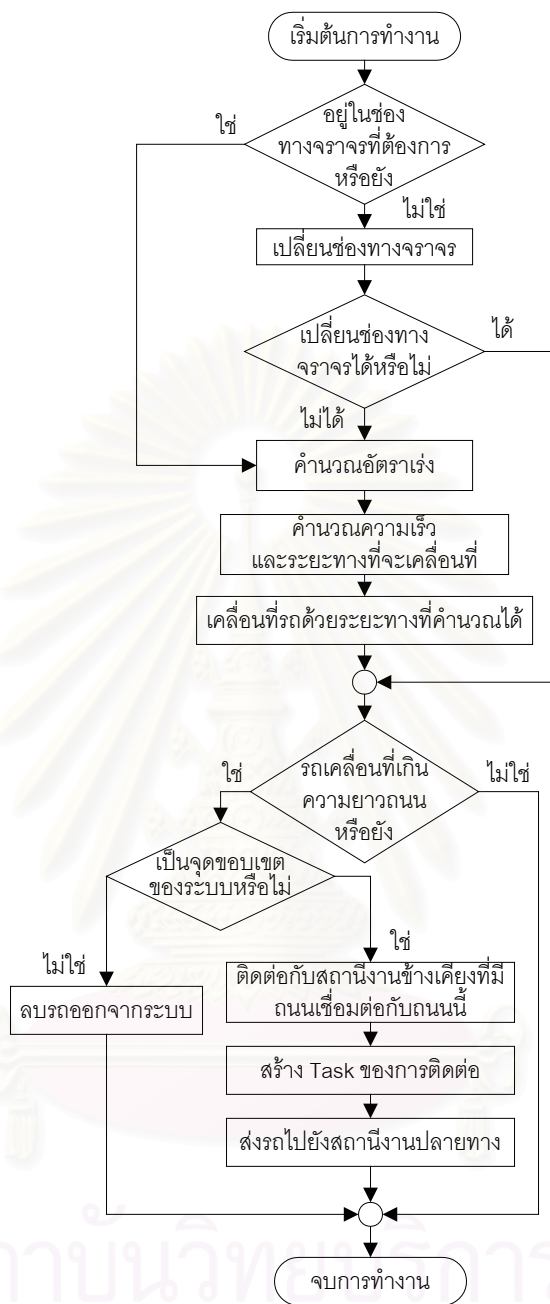
2.1 กรณีตำแหน่งรถอยู่มากกว่าครึ่งความยาวถนน

2.1.1 สัญญาณไฟจราจรเป็นไฟแดง รถจะเคลื่อนที่แบบชะลอความเร็วลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเคลื่อนที่มาจอดที่เส้นหยุดก่อนเข้าสู่ทางแยก หากเคลื่อนมาถึงเส้นหยุดจะเปลี่ยนสถานะการเคลื่อนที่เป็นสถานะหยุดรอสัญญาณไฟแดงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว

2.1.2 สัญญาณไฟจราจรเป็นไฟเขียว รถจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต้องการ หากเคลื่อนที่เริ่มเข้าสู่ทางแยกต้องพิจารณาการเคลื่อนที่ว่าจะชนกับรถคันอื่นๆ ที่อยู่ในทางแยกหรือไม่ และเปลี่ยนสถานะการเคลื่อนที่ของรถเป็นกำลังเคลื่อนที่บริเวณทางแยก

2.2 กรณีตำแหน่งรถอยู่น้อยกว่าครึ่งความยาวถนน รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต้องการได้โดยไม่ต้องพิจารณาสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากอยู่ห่างระยะเส้นหยุดมาก

3. จบการทำงาน

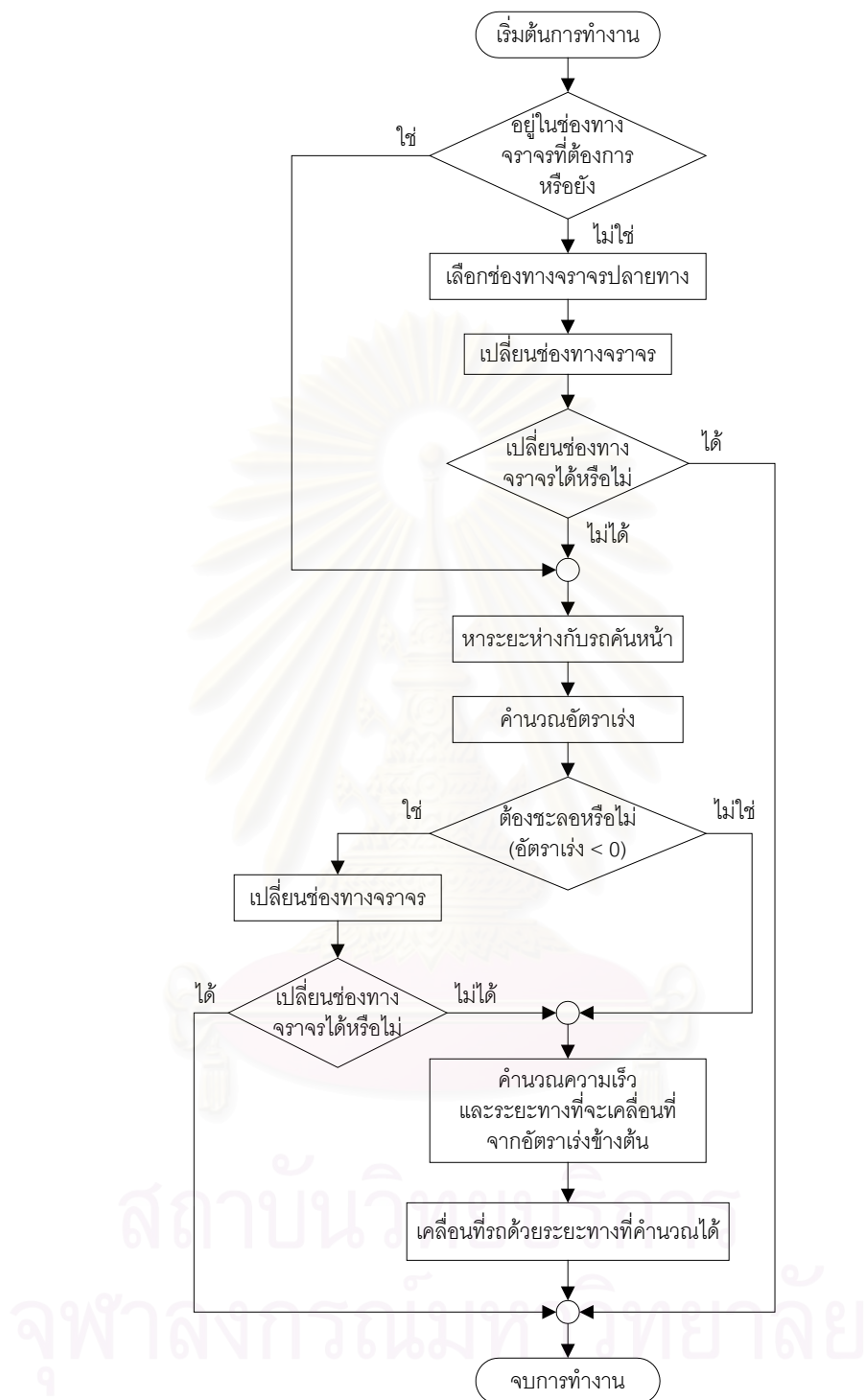


รูปที่ 3.15 ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ในกรณีที่เป็นคันแรกบนถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่น

ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ของรถในกรณีที่เป็นคันแรกบนถนนที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่น โดยพิจารณาช่องทางจราจรว่าอยู่ในช่องทางจราจรที่ต้องการหรือยัง

1. กรณียังไม่อยู่ในช่องทางจราจรที่ต้องการ เปลี่ยนช่องทางจราจร หากเปลี่ยนช่องทางจราจรได้ข้ามไปทำข้อที่ 3.
2. กรณีอยู่ในช่องทางจราจรที่ต้องการแล้วหรือไม่สามารถเปลี่ยนช่องทางจราจรได้ คำนวณอัตราเร่งตามที่ต้องการ โดยที่ความเร็วที่ได้จากอัตราเร่งต้องไม่เกินความเร็วที่ถนนจำกัด
3. ตรวจสอบว่ารถเคลื่อนที่มาถึงจุดขอบถนนหรือยัง โดยพิจารณาตำแหน่งที่รถอยู่ว่ามากกว่าความยาวถนนหรือไม่
4. กรณีเคลื่อนที่มาถึงจุดขอบแล้ว พิจารณาว่าเป็นจุดขอบที่เชื่อมต่อกับสถานีงานอื่นหรือไม่
5. กรณีเป็นจุดขอบที่ต่อเชื่อมกับสถานีงานอื่น ทำการตรวจสอบที่ว่างในช่องทางจราจรเดียวกันที่อยู่ในสถานีงานปลายทาง โดยสร้าง Task เพื่อใช้ในการติดต่อ
6. กรณีไม่เป็นจุดขอบที่ต่อเชื่อมกับสถานีงานอื่น ลบรถที่กำลังพิจารณาออกจากระบบ
7. กรณียังเคลื่อนที่ไม่ถึงจุดขอบ จบการทำงาน

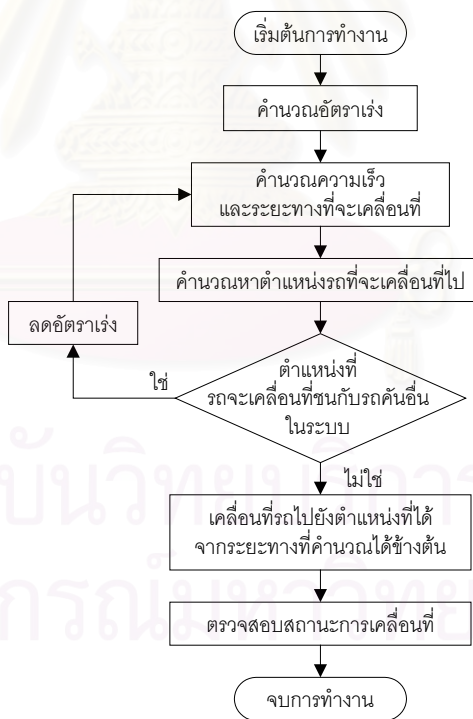


รูปที่ 3.16 ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่แบบตามกัน

ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.16 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ของรถแบบตามกัน โดยพิจารณาช่องทางจราจรว่าอยู่ใน ช่องทางจราจรที่ต้องการหรือยัง

1. กรณียังไม่อยู่ในช่องทางจราจรที่ต้องการ ทำการเปลี่ยนช่องทางจราจร หากเปลี่ยนช่องทางจราจรได้จบการทำงาน
2. กรณีอยู่ในช่องทางจราจรที่ต้องการแล้วหรือไม่สามารถเปลี่ยนช่องทางจราจรได้ คำนวณอัตราเร่งโดยพิจารณาตามระยะห่างระหว่างรถคันหน้า
 - 2.1. หากความเร่งน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าต้องชะลอ ทำขั้นตอนที่ 3.
 - 2.2. หากความเร่งมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์โดยที่ความเร็วที่ได้จากอัตราเร่งต้องไม่เกินความเร็วที่ถนนจำกัด ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 4.
3. เปลี่ยนช่องทางจราจรอีกครั้ง แล้วทำขั้นตอนที่ 4
4. คำนวณความเร็ว ระยะทางเคลื่อนที่ และทำการเคลื่อนที่รถ
5. จบการทำงาน



รูปที่ 3.17 ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ขณะอยู่บริเวณทางแยก

ขั้นตอนการทำงาน

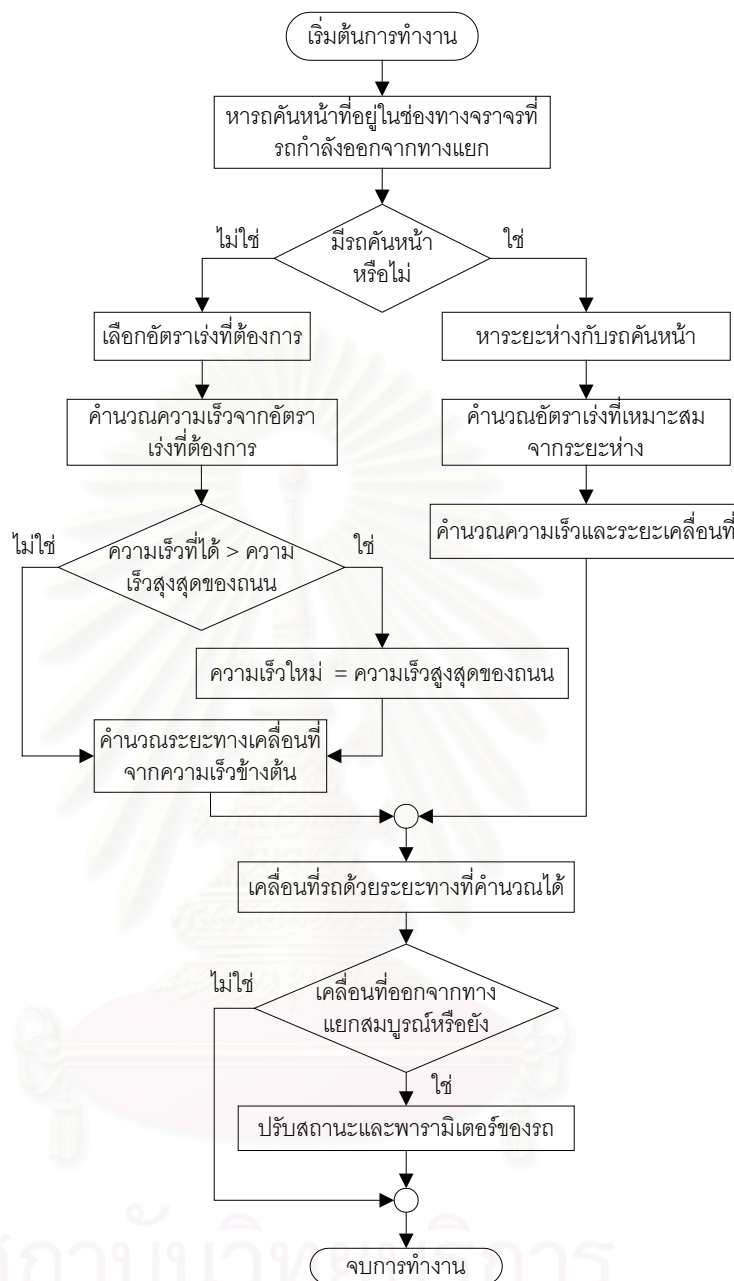
รูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ของรถขณะอยู่ในบริเวณทางแยก

1. คำนวณอัตราเร่ง ความเร็ว และระยะที่จะเคลื่อนที่จากความเร็วที่คำนวณได้
2. ตรวจสอบว่า ณ ตำแหน่งที่จะเคลื่อนที่ไป ชนกับรถคันใดในระบบหรือไม่ หากชน ลดอัตราเร่งลง จนทำ
ขั้นตอนที่ 1
3. คำนวณความเร็ว ระยะทางเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่รถ
4. ตรวจสอบสถานะการเคลื่อนที่ของรถว่าเคลื่อนที่ออกจากทางแยกหรือ หากใช้เปลี่ยนสถานะ
5. จบการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน

รูปที่ 3.18 แสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ของรถขณะกำลังออกจากทางแยก โดยพิจารณาหารถคันหน้า
ที่อยู่ในช่องทางจราจรปลายทางที่ต้องการเคลื่อนที่เข้าเมื่อออกจากทางแยก ซึ่งเป็นรถคันสุดท้ายที่อยู่ในช่อง
ทางปลายทางนั้น

1. กรณีมีรถคันหน้า หาระยะห่างกับรถคันหน้า คำนวณอัตราเร่งที่เหมาะสมจากระยะห่างที่ได้ โดยอัตราเร่ง
ที่ได้เมื่อเคลื่อนที่แล้วต้องมีระยะเคลื่อนที่ที่มากที่สุดรวมกับระยะหยุดด้วยความเร่งจากการคำนวณ ซึ่งระยะ
ที่ได้นี้ต้องไม่ทำให้ชนกับรถคันหน้า
2. กรณีไม่มีรถคันหน้า ทำการคำนวณอัตราเร่งตามที่ต้องการ โดยที่ความเร็วที่ได้จากอัตราเร่งต้องไม่เกิน
ความเร็วจำกัดของถนนปลายทาง
3. เคลื่อนที่รถด้วยระยะทางที่ได้จากการคำนวณ
4. ตรวจสอบสถานะการเคลื่อนที่ของรถว่าเคลื่อนที่ออกจากทางแยกเข้าสู่ถนนปลายทางสมบูรณ์หรือยัง
หากใช้เปลี่ยนสถานะการเคลื่อนที่ของรถจากกำลังเคลื่อนที่ออกจากทางแยก เป็นการเคลื่อนที่บนถนนทั่วไป
5. จบการทำงาน



รูปที่ 3.18 ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ขณะกำลังออกจากบริเวณทางแยก

3.5 การจินตทัศน์

การจินตทัศน์ในงานวิจัยนี้เป็นการแสดงผลการจำลองแบบสภาพจราจรที่ได้ในลักษณะภาพกราฟิกแบบเคลื่อนไหว โดยแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ของรถบนถนนในช่องทางจราจรแต่ละช่อง พร้อมการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจร สถานีงานแต่ละเครื่องจะแสดงการจินตทัศน์ภายในบริเวณโครงข่ายถนนที่ได้รับผิดชอบและทำการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีเมื่อแต่ละองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีองค์ประกอบดังนี้

- **แผนที่ถนน** การจินตทัศน์จะแสดงลักษณะทางกายภาพของถนน ในลักษณะการมองมุมก้มจากระดับสูงซึ่งทำให้เห็น ความกว้าง จำนวนช่องทางจราจรในแต่ละทิศทางการเดินทาง ความยาว ตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งปลายของถนนแต่ละสาย ตำแหน่งการวางสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก เส้นขอบถนนและเส้นแบ่งช่องทางจราจร

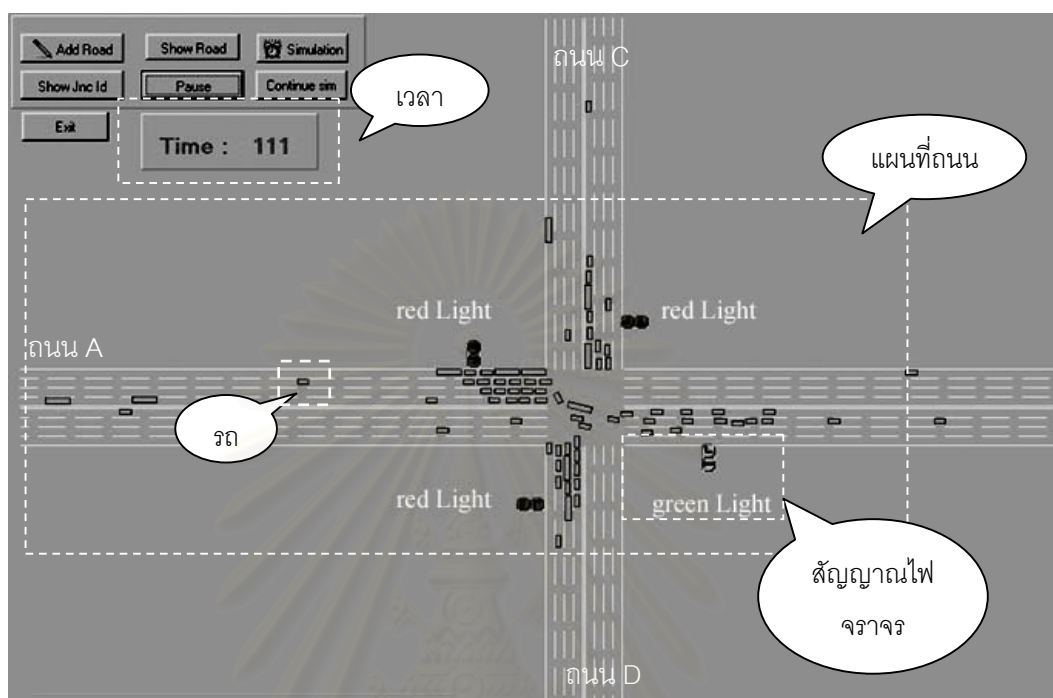
- **รถ** การจินตทัศน์จะแสดงลักษณะของรถตามชนิด โดยในที่นี้จะต่างกันที่ความกว้างและความยาวของรถ ตำแหน่งของรถบนถนน และการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ ตามสถานะการรถที่เกิดขึ้นในแบบจำลองโดยนำข้อมูลมาจากคลาสในกลุ่มรถ การปรับภาพการจินตทัศน์ของรถเกิดขึ้นทุกครั้งที่ภายหลังประมวลผลลักษณะการเคลื่อนที่ของรถแต่ละคันเสร็จ ระยะเวลาการเคลื่อนรถในแผนที่ถนนหาได้จากการคำนวณจากอัตราเร่งหรืออัตราหน่วงที่ได้จากหลักการเคลื่อนที่ในหัวข้อ 3.1.2

- **เวลา** การจินตทัศน์จะแสดงเวลาปกติที่ผ่านไปขณะประมวลผล (เวลาในการเคลื่อนที่จริงบนถนน) มีหน่วยเป็นวินาที การปรับเวลาจะเกิดขึ้นเมื่อประมวลผลรถทุกคันภายในระบบครบหนึ่งรอบ

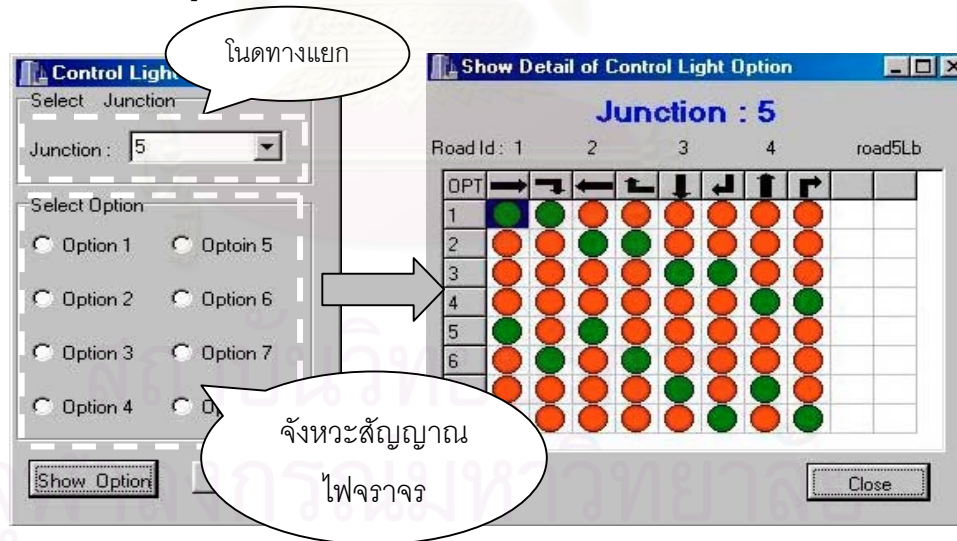
- **สัญญาณไฟจราจร** การจินตทัศน์จะแสดงตารางจังหวะสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายบริเวณทางแยก การปรับสัญญาณไฟจราจรเกิดขึ้นได้สองลักษณะคือ เมื่อการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรเป็นแบบเปลี่ยนตามผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร การปรับสัญญาณไฟจราจรจะเกิดขึ้นทันทีที่ผู้ควบคุมสัญญาณเปลี่ยนจังหวะสัญญาณ และเมื่อการเปลี่ยนเป็นแบบอัตโนมัติ การปรับสัญญาณไฟจราจรจะเกิดขึ้นเมื่อครบรอบระยะเวลาการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรตามค่าที่กำหนดไว้ในตารางจังหวะสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายบริเวณทางแยก

รูปที่ 3.19 แสดงภาพการจินตทัศน์บริเวณโครงข่ายถนนตัวอย่าง ที่มีลักษณะเป็นทางแยก 4 ขาที่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุม โดยประกอบด้วย ถนน A ถนน B ถนน C และถนน D ถนนแต่ละสายมีทิศทางการเดินทางสองทิศทาง แต่ละทิศทางประกอบด้วยช่องทางจราจรจำนวน 4 ช่องทาง จากรูปที่ 3.19 แสดงเวลาที่ประมวลผลผ่านไปแล้วเป็นเวลา 111 วินาที ที่ถนน D สัญญาณไฟจราจรเป็นไฟเขียวทั้งทิศทางตรงและทิศทางเลี้ยวขวา เพราะฉะนั้นรถที่อยู่บนถนน D สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางแยกได้ ขณะที่รถที่อยู่บนถนนสายอื่นจะต้องหยุดชะงักบริเวณเส้นหยุด เนื่องจากสัญญาณไฟจราจรเป็นไฟแดง รถที่อยู่บนถนน A ดังแสดง

ในรูปที่ 3.19 แสดงพฤติกรรมรถเคลื่อนที่แบบตามกัน โดยมีรถคันหน้าอยู่ในแถวคอยเพื่อรอการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรในช่องทางจราจรที่ 3



รูปที่ 3.19 การจินตทัศน์สภาพจราจรบริเวณทางแยก



รูปที่ 3.20 จังหวะสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายบริเวณทางแยก

รูปที่ 3.20 แสดงจังหวะสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายบริเวณในดทางแยก 5 โดยมีจังหวะการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรจำนวน 8 จังหวะ แต่ละจังหวะกำหนดสัญญาณไฟจราจรของถนนแต่ละสายไว้

บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองสภาพจริงระดับจุลภาค ส่วนแรกเป็นการทดลองการเคลื่อนที่ในแบบจำลองตามหลักการเคลื่อนที่ในหัวข้อ 3.1.2 ต่อมาจะมีการประมวลผลทั้งแบบแบบเชิงลำดับและประมวลผลแบบกระจายภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นเดียวกัน พร้อมนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาข้อสรุปสำหรับพัฒนางานวิจัยต่อไป

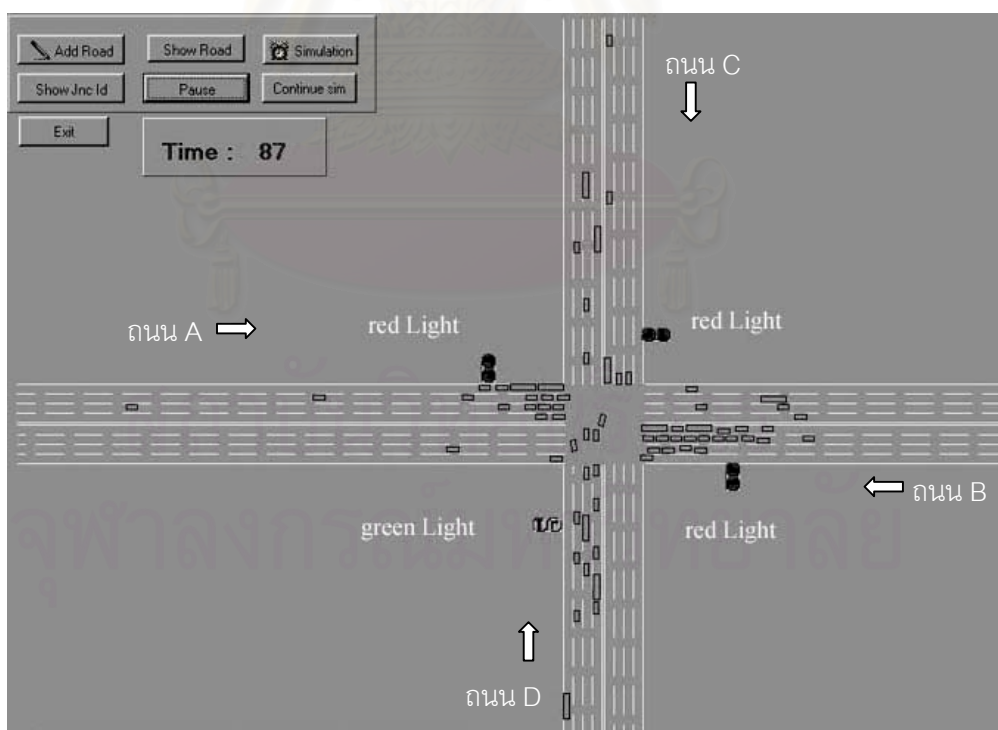
4.1 การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของการจราจรในแบบจำลอง

การตรวจสอบการเคลื่อนที่ตามหลักการเคลื่อนที่ในหัวข้อ 3.1.2 ทำโดยบันทึกการประมวลผลของการเคลื่อนที่ในรูปแบบของตัวแปร ระยะทาง ความเร็ว ความเร่ง ระยะทางสัมพัทธ์ และความเร็วสัมพัทธ์เป็นเวลา 30 นาทีแล้วสุ่มตรวจสอบชุดตัวอย่างข้อมูลจำนวนหนึ่งจากชุดข้อมูลทั้งหมด โดยพิจารณาตัวแปรข้างต้นของชุดตัวอย่างข้อมูลว่ามีการเคลื่อนที่ของรถแต่ละคันตรงตามหลักการเคลื่อนที่หรือไม่ ทั้งนี้การสุ่มตัวอย่างการตรวจสอบ ทำโดยเลือกชุดตัวอย่างที่มีการเคลื่อนที่ตามกันของรถ 3 คัน ในช่วงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ต่างๆ อันได้แก่ การเคลื่อนที่ปกติ การเร่งและการชะลอผ่านทางแยก โดยบันทึกชุดตัวอย่างข้อมูลออกเป็น 7 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยกราฟ 5 กราฟคือ 1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา 2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา 3) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา 4) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาและ 5) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลา ดังแสดงในภาคผนวก ก. กราฟข้างต้นจะสื่อถึงความเหมาะสมของการเคลื่อนที่ของรถ

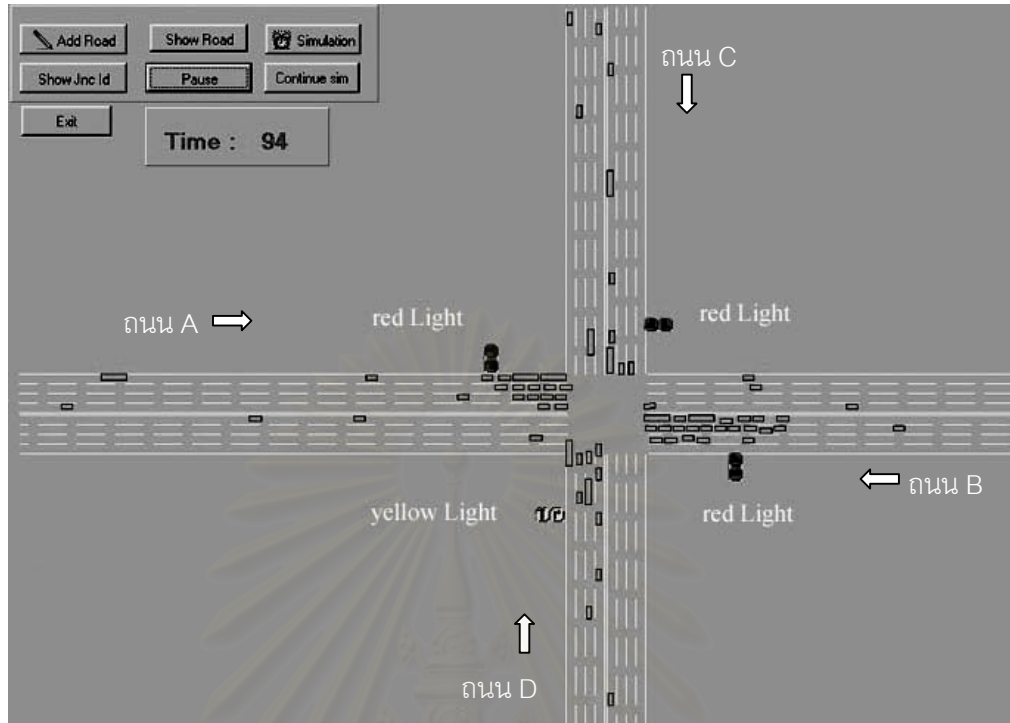
ระหว่างการประมวลผล สามารถพิจารณาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถในกระแสจราจรได้จากการจินตทัศน์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.5 ซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรเป็นระยะเวลา 50 วินาทีจากวินาทีที่ 87 ถึงวินาทีที่ 137 จากรูปที่ 4.1 ณ วินาทีที่ 87 สัญญาณไฟจราจรของถนน D ทั้งทิศทางตรงและเลี้ยวขวาเป็นไฟเขียว ดังนั้นรถทุกคันในถนน D สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกไปได้ ณ วินาทีที่ 94 สัญญาณไฟจราจรของถนน D เปลี่ยนเป็นไฟเหลือง ดังนั้นรถทุกคันในถนน D จะเริ่มชะลอความเร็วเพื่อหยุดบริเวณทางแยกดังแสดงในรูป 4.2 ณ วินาทีที่ 101 สัญญาณไฟจราจรของถนน D เปลี่ยน

เป็นไฟแดง รถในถนน D จะหยุดบริเวณเส้นหยุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ในขณะที่สัญญาณไฟจราจรของถนน B เป็นไฟเขียว รถที่อยู่บนถนน B สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้ วินาทีที่ 119 สัญญาณไฟจราจรบนถนน B เปลี่ยนเป็นไฟเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และในวินาทีที่ 137 สัญญาณไฟจราจรบนถนน B เปลี่ยนเป็นไฟแดง ดังนั้นรถทุกคันในถนน B จะต้องหยุดบริเวณเส้นหยุด ในขณะที่สัญญาณไฟจราจรบนถนน A เปลี่ยนเป็นไฟเขียว รถทุกคันที่อยู่บนถนน A สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางแยกได้ทั้งทิศทางตรง เลี้ยวซ้ายและ เลี้ยวขวา

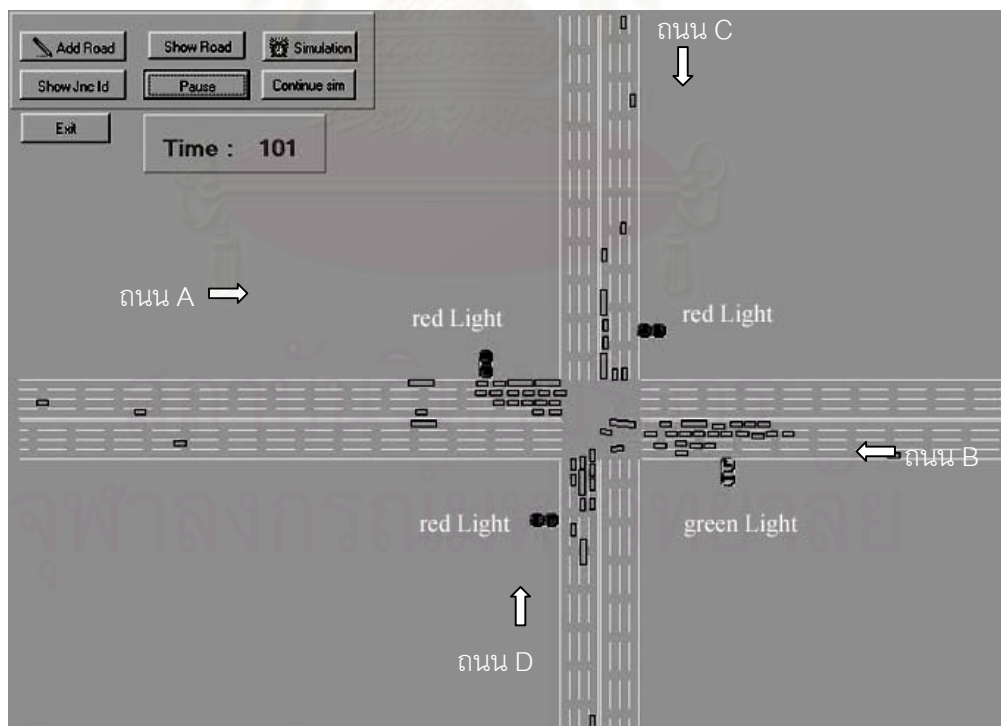
จากการตรวจสอบพบว่า ในแบบจำลองสามารถเคลื่อนที่รถในกระแสจราจรได้ตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นขณะจำลองแบบ อาทิเช่น ลักษณะการเคลื่อนที่แบบตามกัน การเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนช่องทางจราจร การเร่ง และการหน่วงตามจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่เกิดขึ้น เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ดังกล่าวกับจราจรจริง อีกทั้งขาดแคลนข้อมูลการเปรียบเทียบทางภาคสนาม อย่างไรก็ตามหากต้องการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ของแบบจำลองนี้ก็สามารถทำได้ โดยการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรให้เหมาะสมหรือเพิ่มเติมตรรกะการเคลื่อนที่ดังกล่าวได้ เนื่องจากในหลักการเคลื่อนที่ตามกันในหัวข้อ 3.1.2 ของแบบจำลองนี้มีการกำหนดค่าตัวแปรและตรรกะการเคลื่อนที่ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้



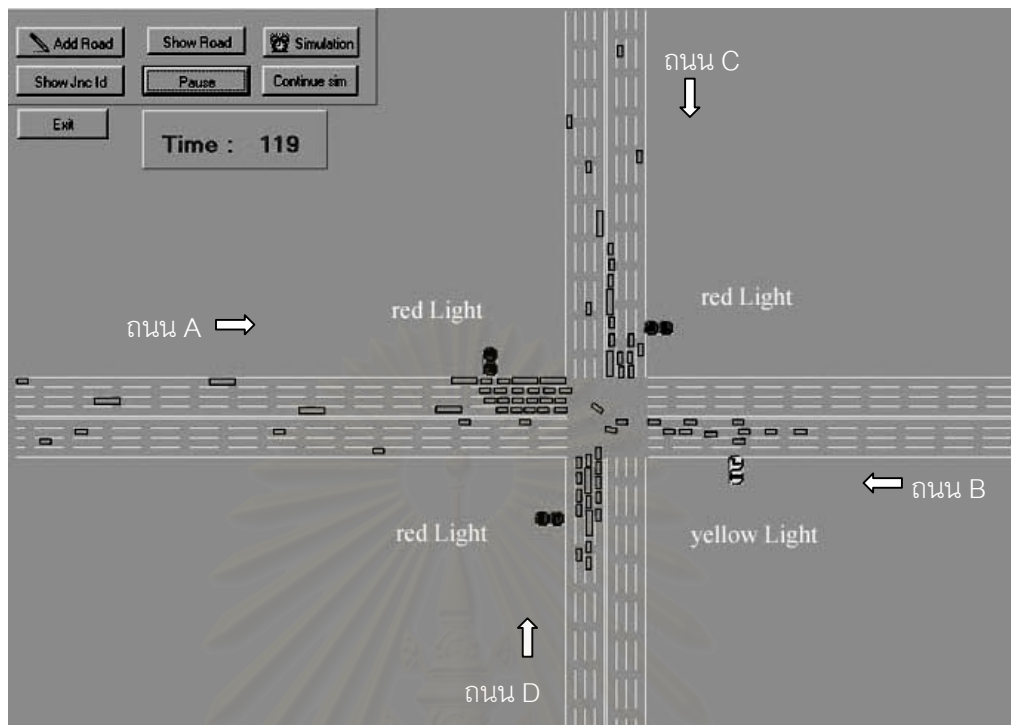
รูปที่ 4.1 การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 87



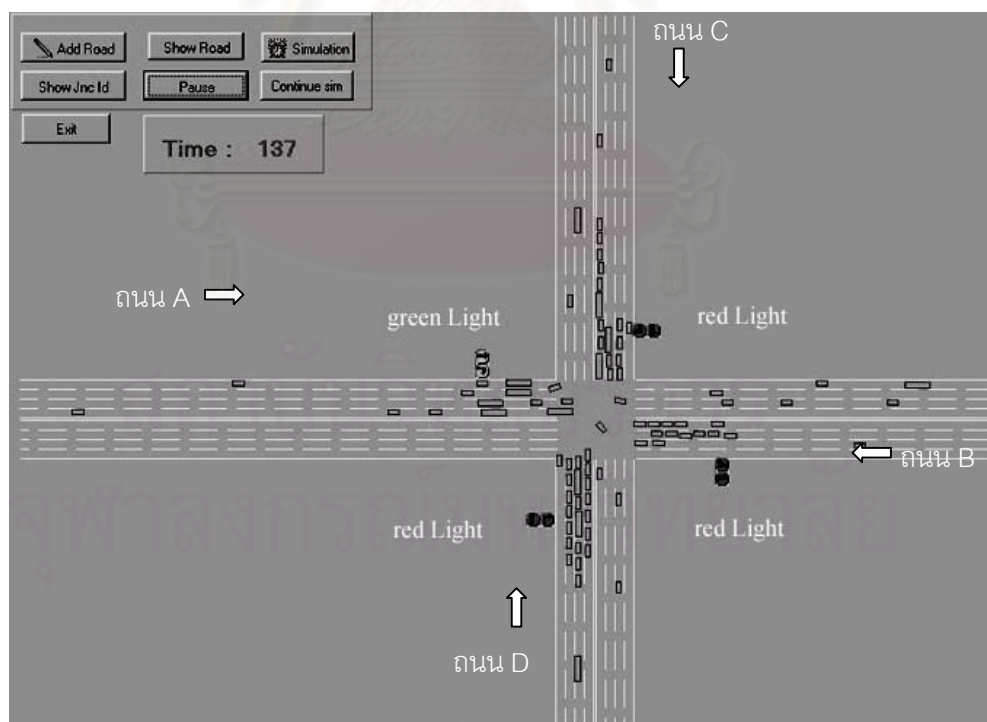
รูปที่ 4.2 การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 94



รูปที่ 4.3 การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 101



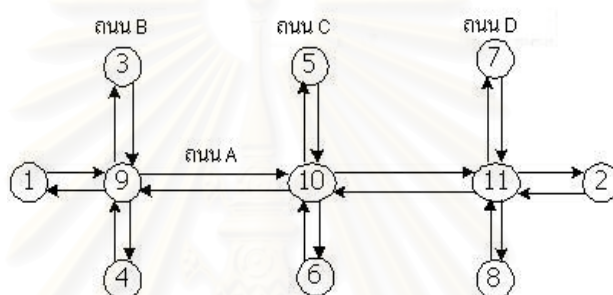
รูปที่ 4.4 การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 119



รูปที่ 4.5 การจินตทัศน์สภาพจราจร ณ วินาทีที่ 137

4.2 การออกแบบการประมวลผลแบบกระจาย

เพื่อให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการประมวลผลแบบกระจายและการประมวลผลแบบเชิงลำดับเป็นไปอย่างเหมาะสม หน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะใช้ค่าตัวแปรและสิ่งแวดล้อมสำหรับการจำลองแบบเหมือนกัน และการติดต่อสื่อสารจะกระทำแบบประสานเวลา โดยโครงข่ายถนนทดสอบประกอบด้วยทางแยก 4 ขาจำนวน 3 ทางแยกเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 4.6 โดยมีถนน A เป็นถนนหลัก มีถนน B ถนน C และถนน D ตัดผ่าน ทางแยกแต่ละแห่งซึ่งสัญญาณไฟจราจรควบคุม ถนนแต่ละสายมีการเดินรถสองทิศทางระหว่างทิศทางทั้งสองมีเกาะกลางถนนกว้าง 1 เมตร ถนนในแต่ละทิศทางมีช่องทางจราจรจำนวน 4 ช่องทาง



รูปที่ 4.6 โครงข่ายถนนทดสอบ

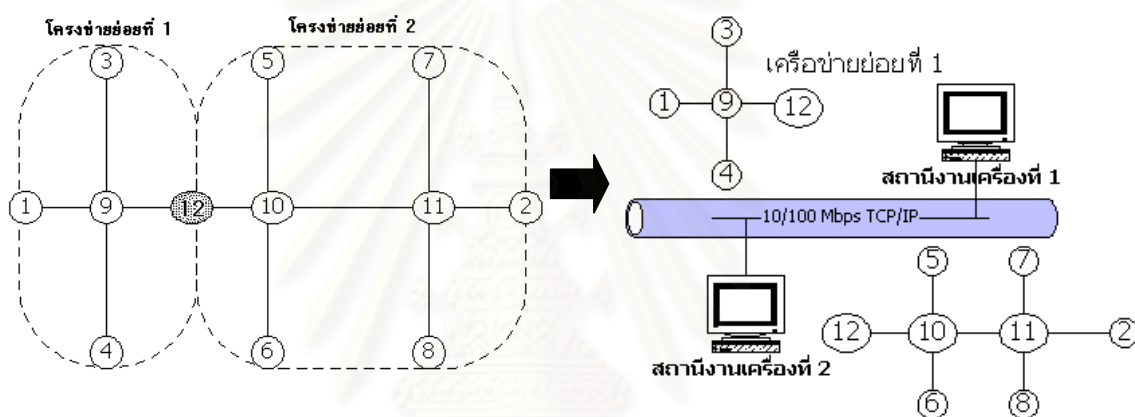
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบเริ่มต้นของถนนแต่ละสายในโครงข่ายถนนทดสอบ

	ถนน A	ถนน B	ถนน C	ถนน D
ความเร็วสูงสุด (กม./ชม.)	80	80	80	80
อัตราการไหลเข้า (คัน/ชม.)	2000	2000	2000	2000
อัตราการเลี้ยวซ้าย (เปอร์เซ็นต์)	20	15	10	30
อัตราการเลี้ยวขวา (เปอร์เซ็นต์)	20	40	10	30
อัตราการเคลื่อนที่ตรง (เปอร์เซ็นต์)	60	45	80	40

ภายในระบบมีเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 3 เครื่อง ทุกเครื่องมีหน่วยประมวลผล Pentium III 866 MHz หน่วยความจำคือ 256 Mbyte ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows98 และเชื่อมต่อด้วยเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ที่ใช้ฮับ (Hub) ความเร็ว 10/100 Mbps

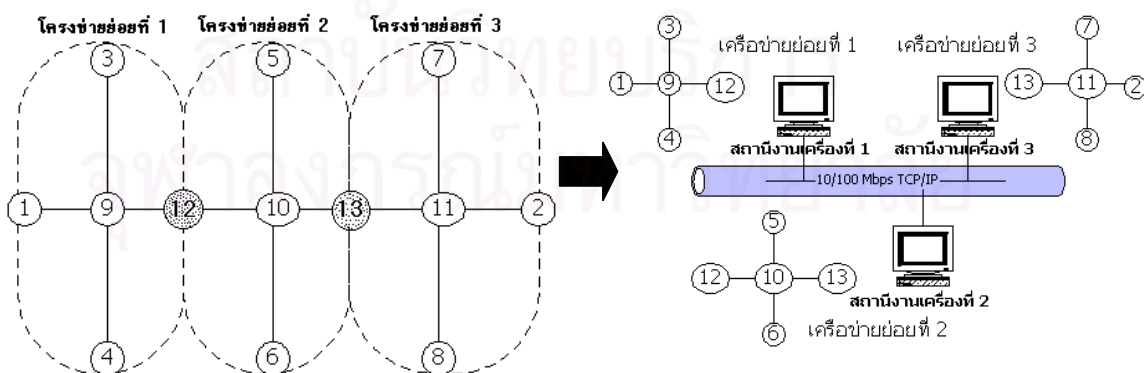
การทดลองแบ่งเป็นสามส่วนคือ

- แบบที่ 1 ประมวลผลโครงข่ายถนนทดสอบทั้งหมดภายในสถานีงานเครื่องเดียว
- แบบที่ 2 ประมวลผลโครงข่ายถนนทดสอบภายในสถานีงาน 2 เครื่องโดยแบ่งโครงข่ายย่อยดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การแบ่งโครงข่ายถนนทดสอบออกเป็นโครงข่ายย่อย 2 โครงข่าย

- แบบที่ 3 ประมวลผลโครงข่ายถนนทดสอบภายในสถานีงาน 3 เครื่องโดยแบ่งโครงข่ายย่อยดังรูปที่ 4.8

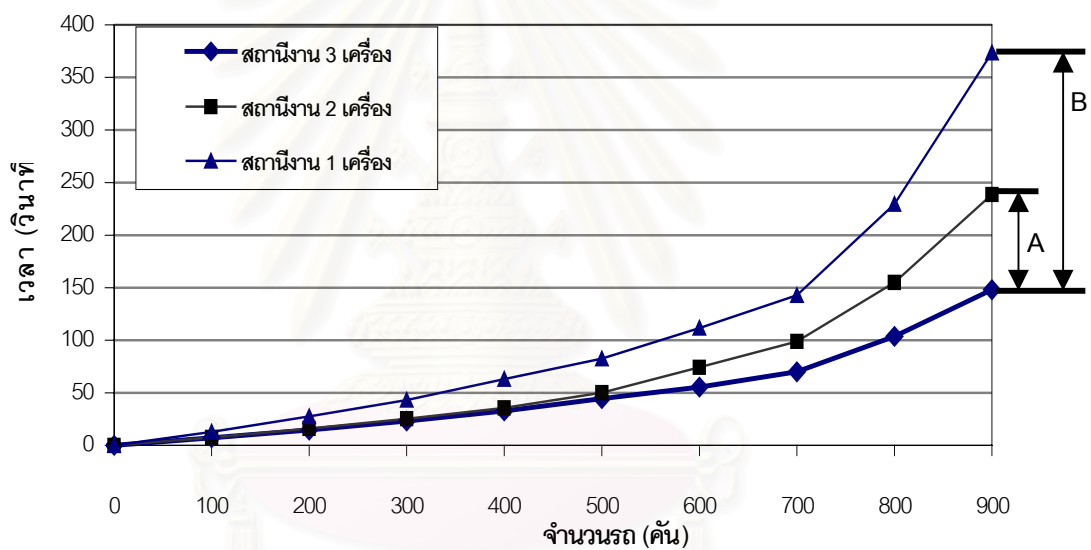


รูปที่ 4.8 การแบ่งโครงข่ายถนนทดสอบออกเป็นโครงข่ายย่อย 3 โครงข่าย

4.3 ผลการทดลอง

การทดลองในแต่ละแบบคือ แบบการประมวลผลด้วยสถานีงาน 1 เครื่อง 2 เครื่องและ 3 เครื่องจะทำซ้ำ 5 ครั้งภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นเดียวกัน แล้วเฉลี่ยหาค่ากลางข้อมูลที่ต้องการวัดอีกครั้งหนึ่งคือ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับปริมาณรถในระบบ

เนื่องจากปริมาณรถโดยรวมของทั้งระบบที่มีจำนวนเดียวกันอาจเกิดจากสัดส่วนของปริมาณรถที่แตกต่างกันในสถานีงานต่างๆ ซึ่งทำให้ไม่สามารถวัดได้ในทุกกรณีในทางปฏิบัติ การทดลองนี้จึงวัดผลการทดลองเมื่อภาระจำนวนรถในสถานีงานแต่ละเครื่องใกล้เคียงกันด้วยเงื่อนไขการปล่อยรถเข้าสู่ระบบและการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเดียวกัน การวัดเวลาได้ใช้การวัดจากเวลาเริ่มต้นการประมวลผลเป็นหลัก



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถในระบบกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่า เมื่อประมวลผลโครงข่ายถนนทดสอบด้วยองค์ประกอบเริ่มต้นของถนนแต่ละสายดังแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อปริมาณรถในระบบจำนวนไม่มากนักในช่วง 200 คันแรก การประมวลผลแบบกระจายด้วยสถานีงาน 2 เครื่องและ 3 เครื่องใช้เวลาในการประมวลผลที่ใกล้เคียงกับการประมวลผลเชิงลำดับด้วยสถานีงานเพียงเครื่องเดียว (ปริมาณรถ 200 คัน สถานีงาน 1 เครื่องใช้เวลา 27.56 วินาที สถานีงาน 2 เครื่องใช้เวลา 16.06 วินาทีและสถานีงาน 3 เครื่องใช้เวลา 14.52 วินาที) แต่เมื่อปริมาณรถในระบบเพิ่มมากขึ้น การประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องและ 3 เครื่องจะทำงานได้เร็วกว่าในเครื่องเดียว โดยในช่วง 300 ถึง 500 คัน การประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องทำงานได้ใกล้เคียงกับการประมวลผลด้วยสถานีงาน 3 เครื่อง (ปริมาณ 500 คัน สถานีงาน 2 เครื่องใช้เวลา 50.16 วินาที และสถานีงาน

3 เครื่องใช้เวลา 44.55 วินาที) และช่วงมากกว่า 600 ถึง 900 คัน การประมวลผลด้วยสถานีงาน 3 เครื่องทำงานได้เร็วกว่าสถานีงาน 2 เครื่อง โดยเฉพาะเมื่อประมวลผลรถปริมาณ 900 คัน สถานีงาน 2 เครื่องใช้เวลา 238.66 วินาที และสถานีงาน 3 เครื่องใช้เวลา 148.01 วินาที จากการทดลองได้เปรียบเทียบปริมาณรถเพียง 900 คันเนื่องจาก เมื่อประมวลผลรถปริมาณมากกว่า 900 คันด้วยสถานีงาน 1 เครื่อง เกิดข้อจำกัดของระบบด้านทรัพยากร (Resource) ในกรณีที่เพิ่มและลดอัตราการใช้ของถนนแต่ละสายในสัดส่วนที่เท่ากันแล้ว เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะมีค่าอยู่ระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยสถานีงาน 1 เครื่อง และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องหรือ 3 เครื่อง ดังแสดงด้วยลูกศร A และ B ตามลำดับ

4.4 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลแบ่งออกเป็นรูปแบบ 3 รูปแบบคือ การวัดค่าสปีดอัปเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความเร็วในการประมวลผล การวัดค่าประสิทธิภาพของระบบเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากรและการวัดค่าสปีดอัปเมื่อเทียบกับเวลาจริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 สปีดอัป (Speed Up)

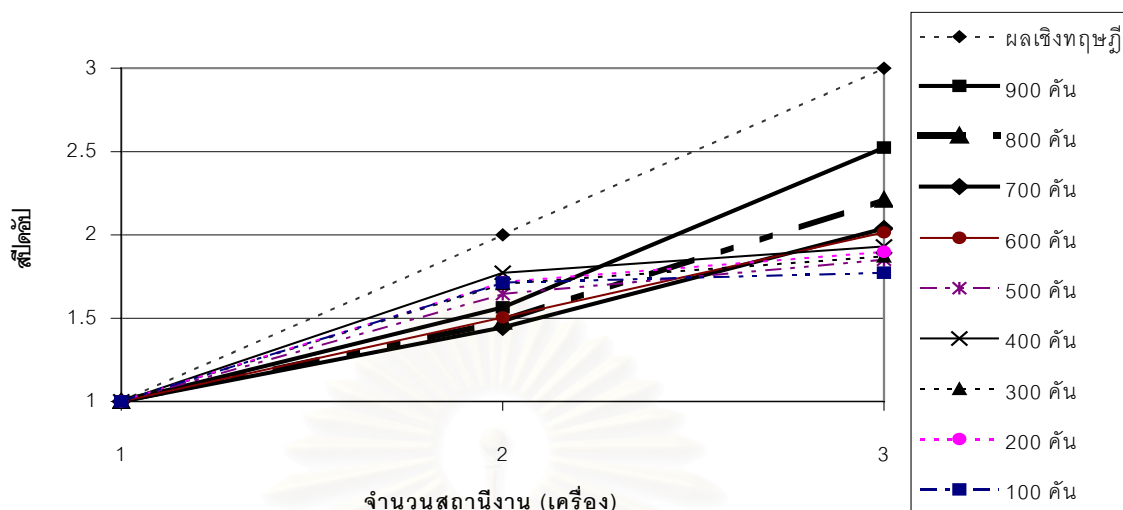
ค่าสปีดอัป [2] เป็นการวัดประสิทธิภาพเชิงความเร็วของการประมวลผล หาได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างเวลาของการประมวลผลแบบเชิงลำดับเทียบกับเวลาของการประมวลผลแบบขนาน คำนวณได้จากสมการ

$$S = \frac{T_s}{T_p} \quad \dots (4.1)$$

โดยที่ T_s คือเวลาของการประมวลผลแบบเชิงลำดับ

T_p คือเวลาของการประมวลผลแบบขนาน

รูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนสถานีงานเป็น 2 เครื่องและ 3 เครื่อง ค่าสปีดอัปก็เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยจำแนกเป็น 2 ช่วงๆ ได้ดังนี้คือ ช่วงแรก คือช่วง 100 ถึง 500 คันแรก เมื่อประมวลผลด้วยสถานีงาน 3 เครื่องมีค่าสปีดอัปเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการประมวลผลด้วย 2 เครื่องจาก 1.64 เป็น 1.85 เนื่องจากเวลาที่ใช้ในกระบวนการประมวลผลปริมาณรถแบบขนานกันมีค่าไม่ต่างกันมากนัก และช่วงที่สองคือ ช่วงปริมาณรถ 600 ถึง 900 คัน ค่าสปีดอัปเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปริมาณรถมากๆ เช่น 900 คัน ค่าสปีดอัปเพิ่มเป็น 0.84



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีงานกับความเร็วในการประมวลผล

ดังนั้นเมื่อปริมาณรถในระบบมีน้อยการประมวลผลเชิงลำดับในเครื่องเดียวจึงเหมาะสมกว่าแต่เมื่อปริมาณรถมากขึ้นการกระจายการประมวลผลไปยังสถานีงาน 2 เครื่องและ 3 เครื่องสามารถช่วยลดเวลาในการประมวลผลให้เร็วขึ้น

4.4.2 ประสิทธิภาพของระบบ (System Efficiency)

ประสิทธิภาพของระบบ [2] เป็นการวัดประสิทธิภาพเชิงความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากร หาได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างค่าสปีดอัปกับจำนวนสถานีงานที่ใช้ในการประมวลผล คำนวณได้จากสมการ

$$E = \frac{S}{n} \quad \dots (4.2)$$

โดยที่ S

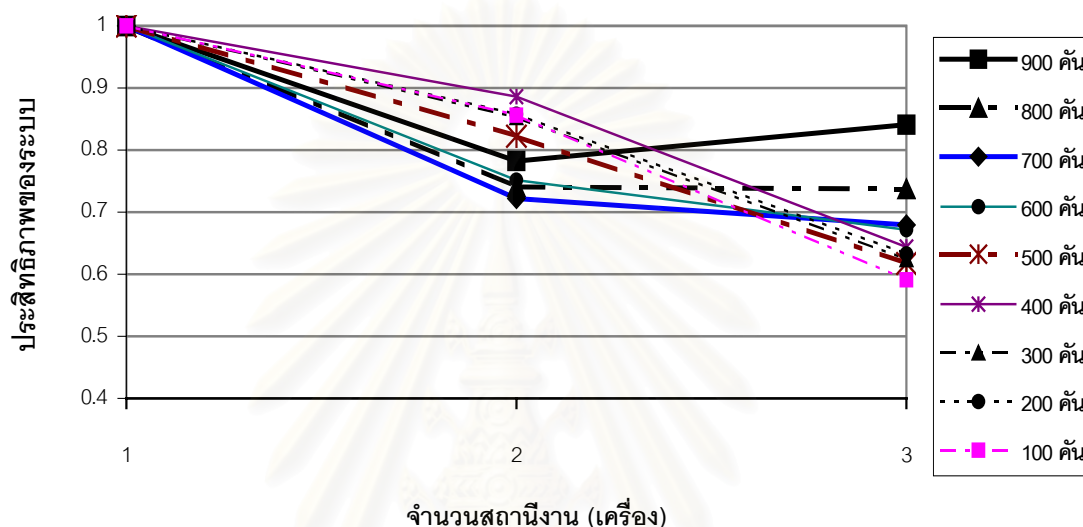
คือสปีดอัป

n

คือจำนวนสถานีงาน

รูปที่ 4.11 ในช่วงปริมาณรถ 100 ถึง 700 คัน เมื่อเทียบการประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องและ 3 เครื่องแล้วแนวโน้มของเส้นกราฟจะลดลง เนื่องจากการประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องและ 3 เครื่องให้ค่าสปีดอัปที่ใกล้เคียงกัน (700 คัน สถานีงาน 2 เครื่องมีค่าสปีดอัป 1.44 และสถานีงาน 3 เครื่องมีค่าสปีดอัป

2.03) แสดงให้เห็นว่า การประมวลผลปริมาณรถดังกล่าวด้วยสถานีงาน 2 เครื่องก็มีประสิทธิภาพเพียงพออยู่แล้ว ดังนั้นหากนำสถานีงานมาช่วยประมวลผลเพิ่มความคุ้มค่าของระบบจึงไม่เพิ่มขึ้นแต่เมื่อปริมาณรถมากขึ้นในช่วงมากกว่า 700 คัน ประสิทธิภาพการทำงานด้วยสถานีงาน 3 เครื่องมีแนวโน้มดีขึ้น และดีมากที่สุดเมื่อมีปริมาณรถจำนวน 900 คันซึ่งมีค่าสปีดอัปเป็น 0.84 ส่วนการประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องให้ประสิทธิภาพของระบบได้ดีที่สุด 0.88 เมื่อมีปริมาณรถจำนวน 400 คัน



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีงานกับประสิทธิภาพของระบบ

ดังนั้นเมื่อมีปริมาณรถในระบบน้อย การกระจายการประมวลผลแบบสถานีงาน 2 เครื่องจะให้ประสิทธิภาพเชิงความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากรที่ดีกว่าการประมวลผลแบบสถานีงาน 3 เครื่องและเมื่อปริมาณรถมากขึ้นการกระจายการประมวลผลไปยังสถานีงาน 3 เครื่องจะให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ดียิ่งขึ้น

4.4.3 สปีดอัปเมื่อเทียบกับเวลาจริง (Real time)

การวัดค่าสปีดอัปเมื่อเทียบกับเวลาจริง [2] เป็นการวัดประสิทธิภาพเชิงความเร็วของการประมวลผลด้วยตัวแบบการจำลองกับเวลาจริง โดยที่ค่าเวลาจริง คือเวลาที่ระบบใช้สำหรับการทำงานจริง (เทียบได้กับเวลาที่รถใช้ในการเคลื่อนที่บนถนนจริง) หาได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเวลาจริงกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง คำนวณได้จากสมการ

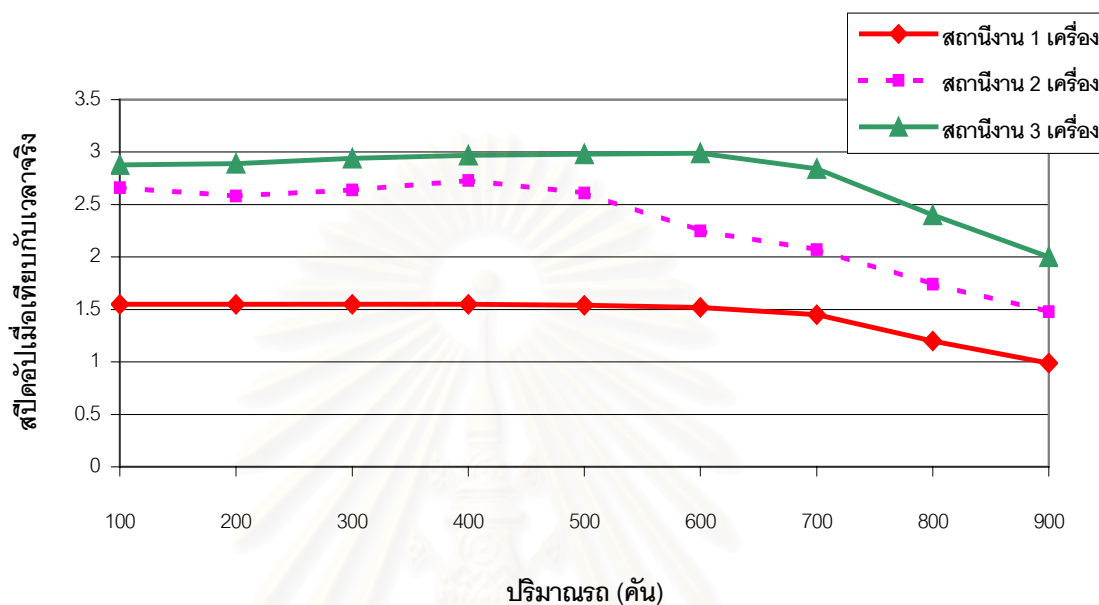
$$S = \frac{T_{\text{wall clock}}}{T_{\text{simulated}}} \quad \dots (4.3)$$

โดยที่ $T_{wall\ clock}$

คือเวลาจริง

 $T_{simulated}$

คือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยต้นแบบ



รูปที่ 4.12 ค่าสปีดอัปเมื่อเทียบกับเวลาจริง

รูปที่ 4.12 แสดงค่าสปีดอัปเมื่อประมวลผลด้วยสถานีงานเพียงเครื่องเดียวเทียบกับเวลาจริงพบว่า การทำงานเร็วขึ้น 1.5 เท่า แต่หากมีปริมาณรถในระบบมากกว่า 600 คันแนวโน้มค่าสปีดอัปจะลดลงจนกระทั่งมีความเร็วเท่ากับเวลาจริงเมื่อมีปริมาณรถ 900 คันซึ่งเป็นปริมาณรถจำกัดที่สามารถประมวลผลด้วยสถานีงานเพียงเครื่องเดียว เมื่อประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องเทียบกับเวลาจริงพบว่า การทำงานเร็วขึ้นประมาณ 2.65 เท่า แต่หากมีปริมาณรถในระบบมากกว่า 500 คันแนวโน้มค่าสปีดอัปจะลดลง จนกระทั่งเมื่อปริมาณรถ 900 คันค่าสปีดอัปจะเร็วกว่าเวลาจริงประมาณ 1.48 เท่า เมื่อประมวลผลด้วยสถานีงาน 3 เครื่องเทียบกับเวลาจริงพบว่า การทำงานเร็วขึ้นประมาณ 2.9 เท่า แต่เมื่อมีปริมาณรถในระบบมากกว่า 600 คันแนวโน้มค่าสปีดอัปจะลดลง จนกระทั่งเมื่อปริมาณรถ 900 คันค่าสปีดอัปจะเร็วกว่าเวลาจริงประมาณ 2 เท่า

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสปีดอัปเมื่อเทียบกับเวลาจริงพบว่า เมื่อกระจายการประมวลผลไปยังสถานีงานจำนวนมากขึ้น (2 เครื่องหรือ 3 เครื่อง) สามารถช่วยเพิ่มความเร็วในการประมวลผลเมื่อเทียบกับเวลาจริงให้เร็วขึ้นได้ โดยช่วงปริมาณรถไม่มากนักจะสามารถประมวลผลได้เร็วกว่าเวลาจริงมากกว่าเมื่อปริมาณรถมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อจะเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถจำลองแบบการไหลของการจราจรบนโครงข่ายถนนหลายทางแยกในระดับจุลภาคด้วยการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ ได้ อาทิเช่น การเคลื่อนที่ตามกัน การเปลี่ยนช่องทางจราจร การเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร และสามารถควบคุมสัญญาณไฟจราจรทั้งแบบการเปลี่ยนตามผู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรและการเปลี่ยนแบบอัตโนมัติ การไหลของกระแสจราจร พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถภายในระบบและการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก สามารถเห็นได้จากการจินตทัศน์ซึ่งจะแสดงผลการจำลองแบบสภาพจราจรที่ได้ในลักษณะภาพกราฟิกแบบเคลื่อนไหว สถานีงานแต่ละเครื่องจะแสดงการจินตทัศน์ภายในบริเวณโครงข่ายถนนที่รับผิดชอบและเปลี่ยนแปลงแบบทันกาล เมื่อแต่ละองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลง ช่วยให้ทำความเข้าใจรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย เมื่อต้องการทดลองทั้งการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและลักษณะการปล่อยรถเข้าสู่ระบบ

การตรวจสอบการเคลื่อนที่ตามหลักการเคลื่อนที่ในหัวข้อ 3.1.2 ทำโดยบันทึกการประมวลผลของการเคลื่อนที่ในรูปของตัวแปร ระยะทาง ความเร็ว ความเร่ง ระยะทางสัมพัทธ์ และความเร็วสัมพัทธ์ โดยใช้ค่ามาตรฐานของรถ 3 ชนิดในด้านขนาด ความเร็ว ความเร่งและความหน่วง โดยสุ่มตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ตามกันของรถ 3 คัน จากผลการทดลองพบว่า แบบจำลองสามารถเคลื่อนที่รถในกระแสจราจรได้ผลสอดคล้องตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นขณะจำลองแบบ อาทิเช่น ลักษณะการเคลื่อนที่แบบตามกัน การเคลื่อนที่เปลี่ยนช่องทางจราจร การเร่งและการหน่วงตามจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่เกิดขึ้น

กรณีที่โครงข่ายถนนมีขนาดใหญ่และมีปริมาณรถจำนวนมาก เมื่อนำหลักการประมวลผลแบบกระจายด้วยเครือข่ายสถานีงานมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมต้นแบบพบว่า การประมวลผลด้วยกลุ่มสถานีงาน

3 เครื่องมีการประมวลผลได้เร็วขึ้นกว่าแบบสถานีงาน 2 เครื่องตามลำดับ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาหลักการควบคุมและจัดการจราจรขั้นสูง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาการเชื่อมต่อบริเวณเป็นโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ต่อไปได้ด้วยสถานีงานที่เพิ่มขึ้น

เมื่อประมวลผลภายในเครื่องเดียวในช่วงปริมาณรถไม่เกิน 700 คัน ประสิทธิภาพเชิงความเร็วในการประมวลผลเป็น 1.5 เท่าเมื่อเทียบกับเวลาจริง (หมายถึงเวลาที่รถใช้ในการเคลื่อนที่จริงบนถนน) และค่าสปีดอัปเดตลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณรถในระบบมากขึ้นเกิน 900 คันเนื่องจากเกิดข้อจำกัดของระบบด้านทรัพยากร (Resource) แต่เมื่อประมวลผลด้วยการแบ่งโครงข่ายออกเป็นโครงข่ายย่อยๆ กระจายไปยังสถานีงานในระบบ 2 เครื่องและ 3 เครื่องตามลำดับทำให้สามารถประมวลผลรถได้มากกว่า 900 คัน และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรถในระบบที่เท่ากัน การประมวลผลด้วยสถานีงาน 1 เครื่อง และกระจายไปยังสถานีงาน 2 เครื่องและ 3 เครื่องตามลำดับพบว่า สปีดอัปเดตของการประมวลผลมีค่าดีขึ้น เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางทรัพยากร พบว่าในช่วงที่ปริมาณรถในระบบไม่มากนัก (น้อยกว่า 600 คัน) การประมวลผลด้วยสถานีงาน 2 เครื่องจะให้ความคุ้มค่าด้านทรัพยากรของระบบที่ดีกว่าการประมวลผลด้วยสถานีงาน 3 เครื่อง แต่เมื่อปริมาณรถมากขึ้น (มากกว่า 600 คัน) สามารถสรุปโดยทั่วไปได้ว่า การประมวลผลแบบกระจายไปยังสถานีงานสามเครื่องจะให้ความคุ้มค่าด้านทรัพยากรของระบบที่ดีขึ้น และประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะดีที่สุดเมื่อสถานีงานแต่ละเครื่องมีการกระจายภาระการประมวลผลด้วยปริมาณรถที่ใกล้เคียงกัน เมื่อสถานีงานแต่ละเครื่องมีความสามารถในการประมวลผลที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ต้นแบบที่ใช้ในการจำลองแบบนี้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น จึงควรพัฒนาลักษณะการเคลื่อนที่บางประการดังที่จะเสนอแนะเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ควรเพิ่มความสามารถในการข้ามการจินตทัศน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยรวมของระบบ
2. กรณีรถติดหรือเกิดการชนกันบริเวณทางแยก ต้นแบบการจำลองแบบควรสามารถเปลี่ยนเส้นทางการเคลื่อนที่บริเวณทางแยกได้โดยอัตโนมัติ
3. ควรปรับปรุงเงื่อนไขและขั้นตอนการแบ่งพื้นที่โครงข่ายถนนออกเป็นโครงข่ายย่อยๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. เนื่องจากในระบบการจำลองแบบนี้มีสถานีงานจำกัดเพียง 3 เครื่อง จึงคาดว่าหากเพิ่มสถานีงานมากขึ้นค่าสปีดอัปเดตควรมีแนวโน้มที่ดีขึ้นด้วย เพื่อให้สามารถสรุปแนวโน้มได้ดีขึ้นจึงควรทดลองให้มีสถานีงานภายในระบบมากขึ้นเพื่อดูผลด้านสปีดอัปเดตต่อไป

5. ควรเพิ่มหรือปรับปรุงตัวแบบการจรรยาให้ใกล้เคียงสภาพเป็นจริงมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. May, A. D. Traffic flow fundamentals. New Jersey: Prentice hall, 1990.
2. Lewis, G. Introduction to parallel computing. New Jersey: Prentice hall, 1992.
3. Tomassini, M. Parallel and distributed evolutionary algorithms: A review. In K. Miettinen; M. Makela; P. Neittaanmaki. and J. Periaux (eds.), Evolutionary algorithms in engineering and computer science. Chichester: John Wiley and Sons, 1999.
4. Ctagnera, K., et al. Clustered Workstations and their Potential Role as High Speed Compute Processors. NAS Computational Services Technical Report RNS-94-003, NAS Systems Division, NASA Ames Research Center, 1994.
5. Gerlough, D. L., Barnes, F., and Andre, S. Poisson and Other Distributions in Traffic. Eno Foundation. (1971): 35-49.
6. Gerlough, D. and Huber, M. Traffic flow theory. Transportation Research Board, Special Report. 165 (1975): 7-47.
7. Foley, J., et al. Computer graphics principles and practice. New York: Addison-Wesley, 1996.
8. Young, M., Taylor, M. A. P., and Gipps, P. G. Microcomputer in traffic engineering. Taunton: Research Studies Press, 1989.
9. Paksarsawan, S., Montgomery, FO., and Clark, SD. How TRAF-NETSIM works. ITS Working Paper 380, Institute for Transport Studies, University of LEEDS, (December 1992): ISSN 0142-8942.
10. Cameron, G., Wylie, B. J. N., and McArthur, D. PARAMICS-Moving vehicles on the connection machine. Proceedings of Supercomputing '94 (1994): 291-300.
11. Barecelo, J., Ferrer, J. L., Garcia, D., and Grau, R. Microscopic traffic simulation for ATT systems analysis a parallel computing version. Simulation Assisted Design and Assessment of Vehicle Guidance Systems, Accepted for publication in International Transactions on Operations Research 25 (1998): 50-66.
12. Mabry, S. and Gaudiot, J. Distributed parallel object-oriented environment for traffic simulation (POETS). Proceedings of the Winter Simulation Conference (1994): 1093-1100.
13. Creagh, J. SIM-ENG: A traffic simulation engine. Proceedings of the Thirty-Second Annual Simulation Symposium (1998): 4-10.

14. Bargiela, A. and Peytchev, E. Parallel simulation of city traffic flows using PADSIM. Proceedings of Modelling and Simulation Conference ESM'95 (June 1995): 330-334.
15. Gollu, A. Object management systems. Doctoral Dissertation, California, PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California, 1995.
16. Gipps, P. G. A behavioral car-following model computer simulation. Transportation research 15b(1981): 105-111.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

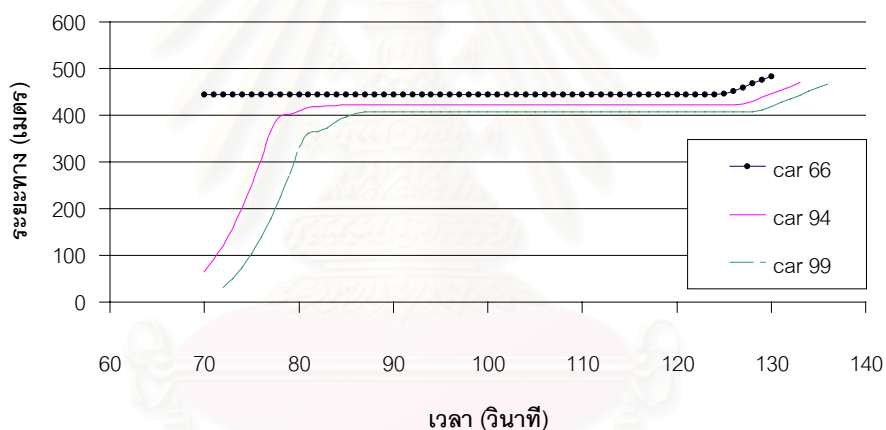
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

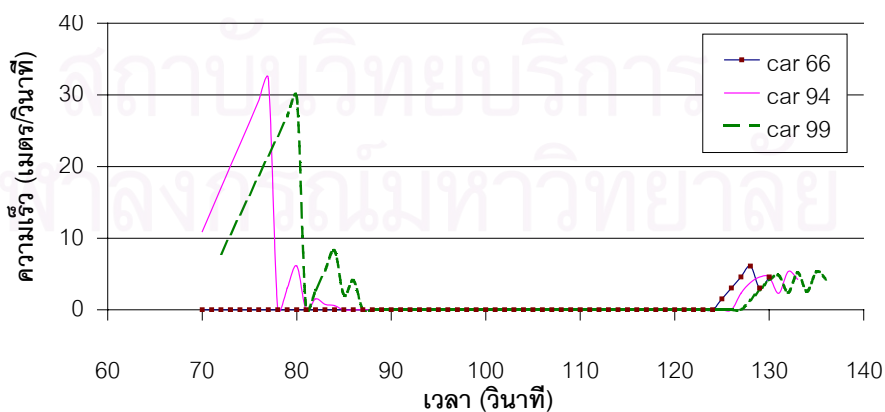
ผลการทดลองการเคลื่อนที่ในแบบจำลอง

ภาคผนวก ก นี้แสดงผลการทดลองหลักการเคลื่อนที่ที่ตามกัน โดยทำการทดลอง 7 ชุด แต่ละชุด อธิบายด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังมีรายละเอียดดังนี้

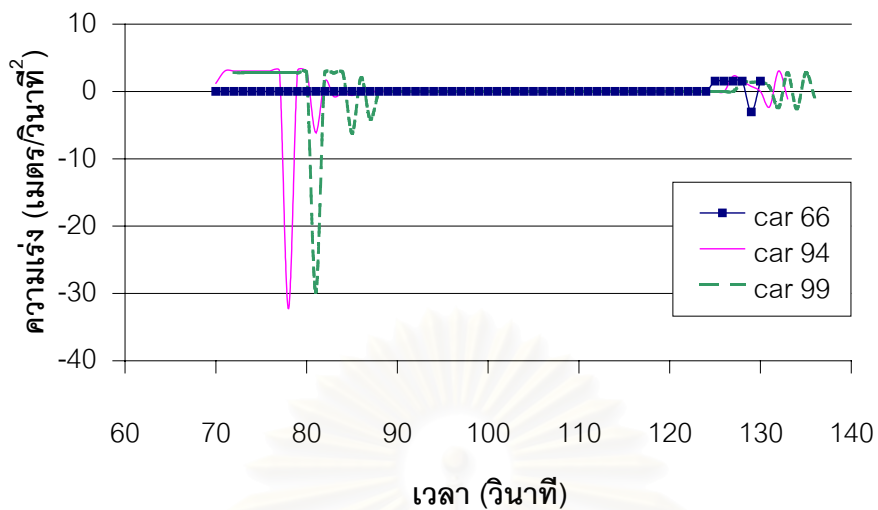
- ชุดที่ 1 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 66 94 และ 99



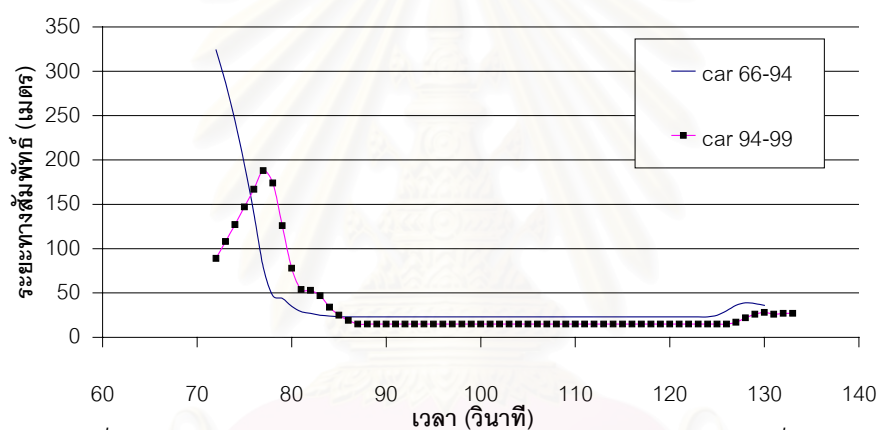
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99



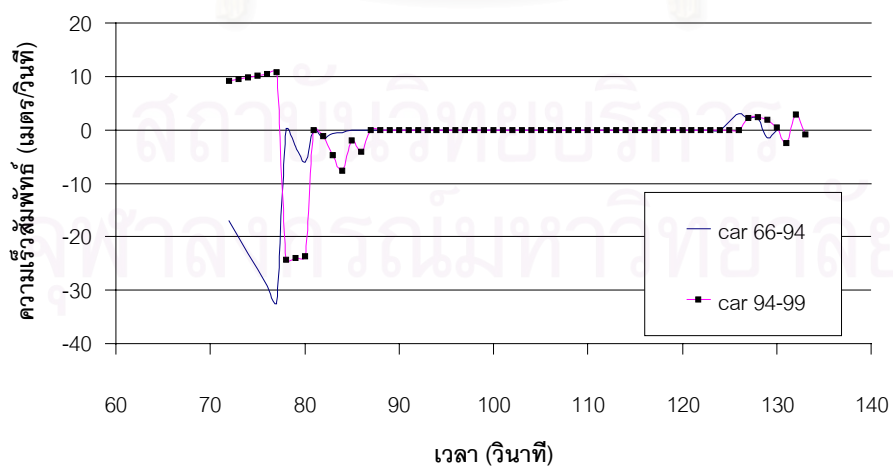
รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99

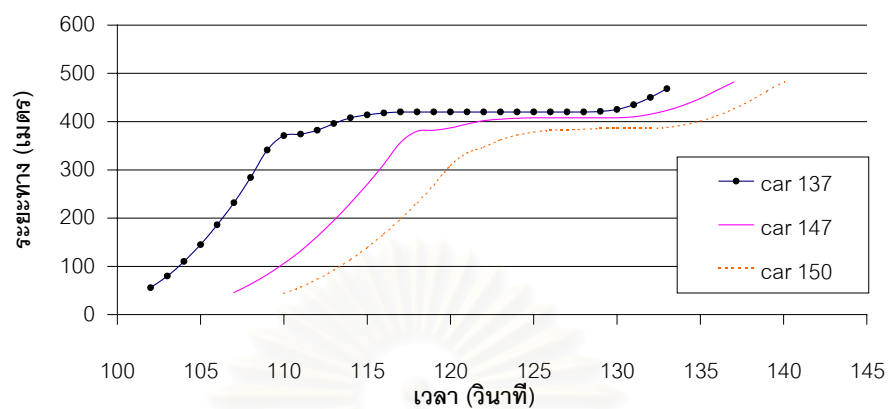


รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99

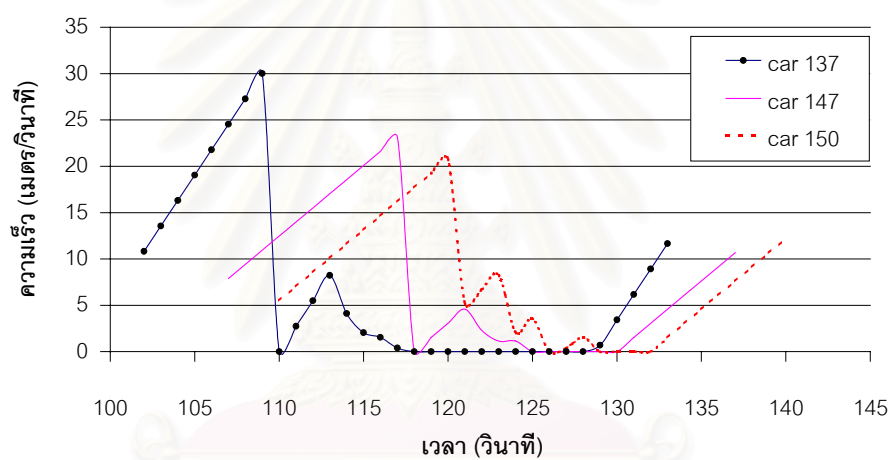


รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 66 94 และ 99

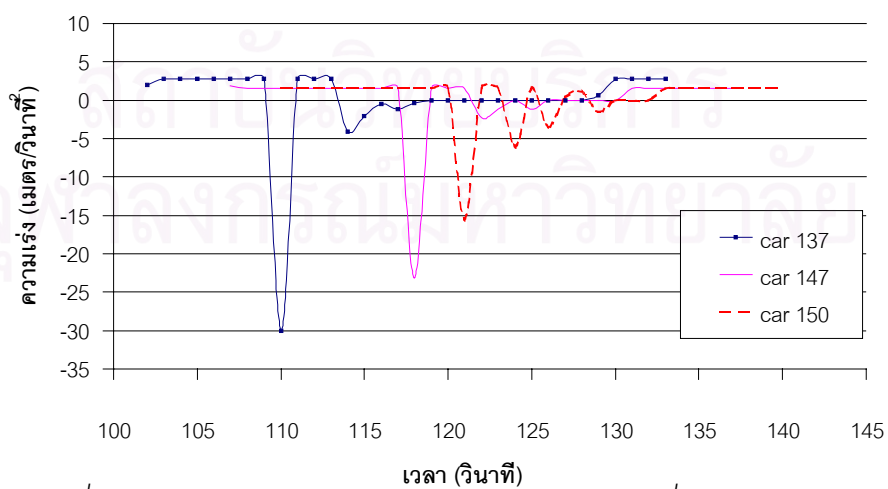
● ชุดที่ 2 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 137 147 และ 150



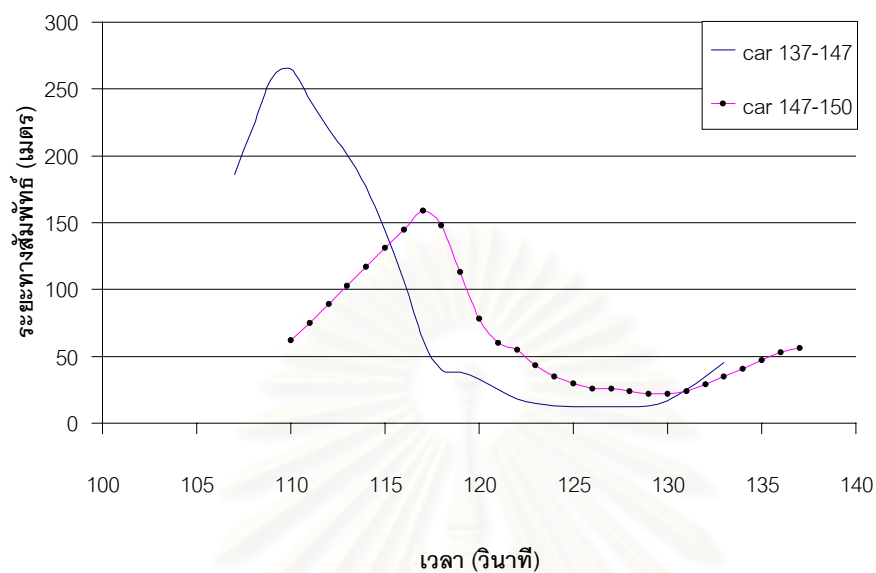
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150



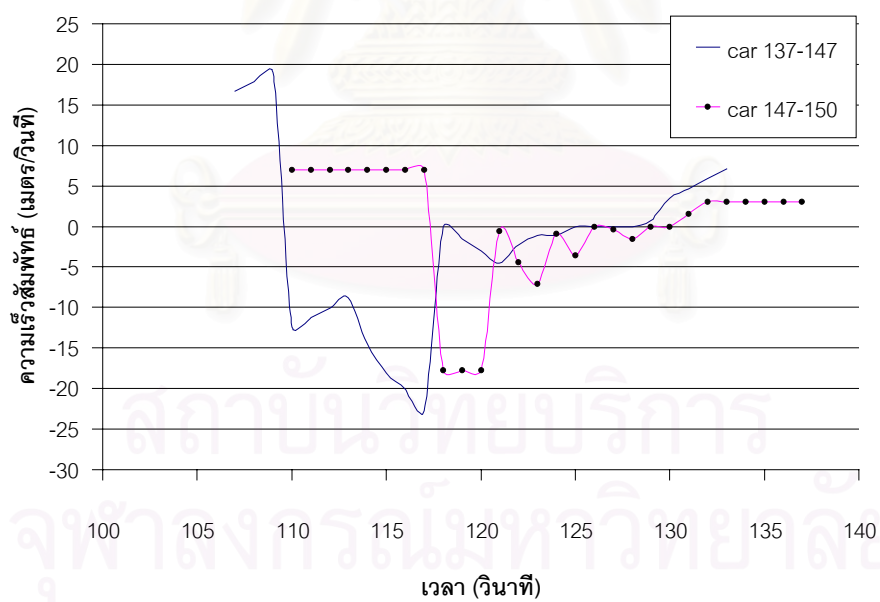
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150



รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150

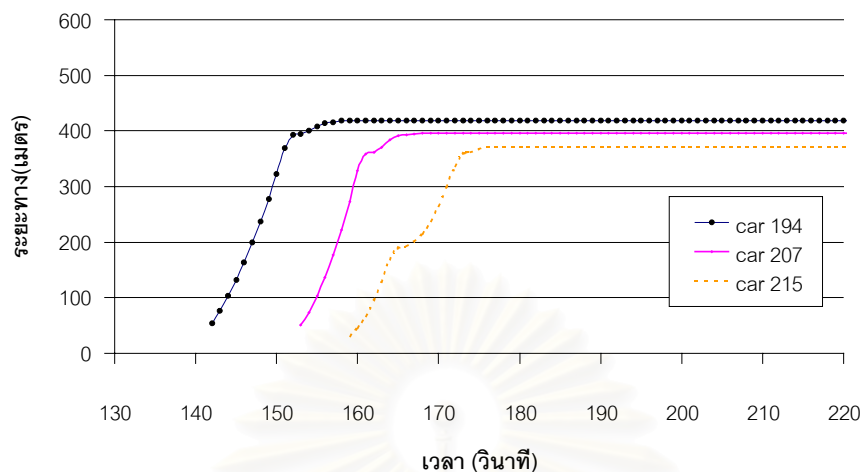


รูปที่ ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150

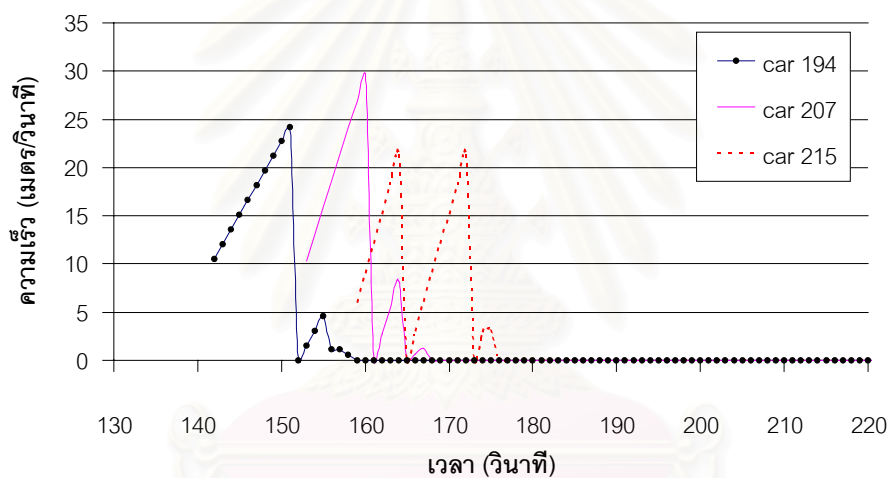


รูปที่ ก.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 137 147 และ 150

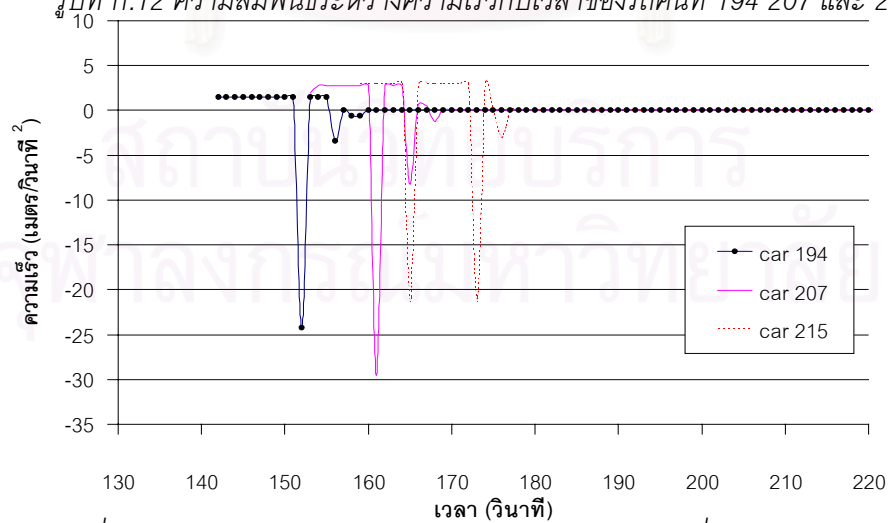
● ชุดที่ 3 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 194 207 และ 215



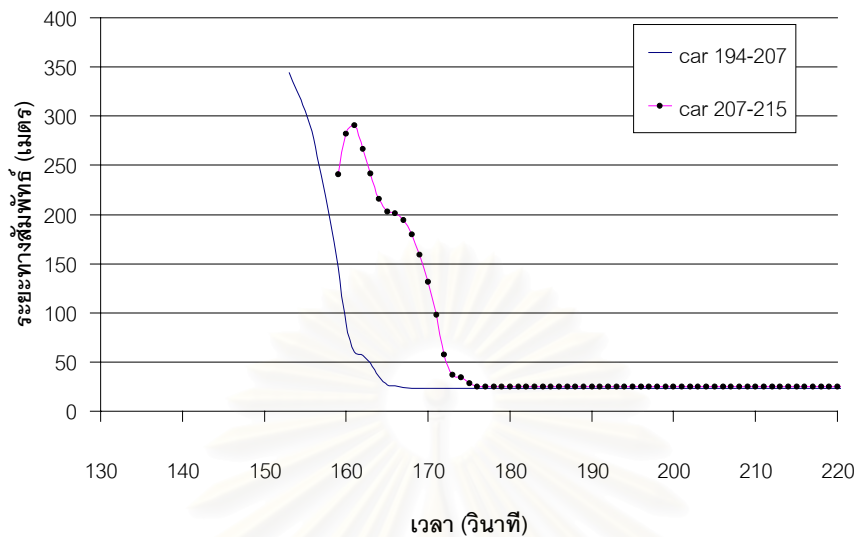
รูปที่ ก.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 194 207 และ 215



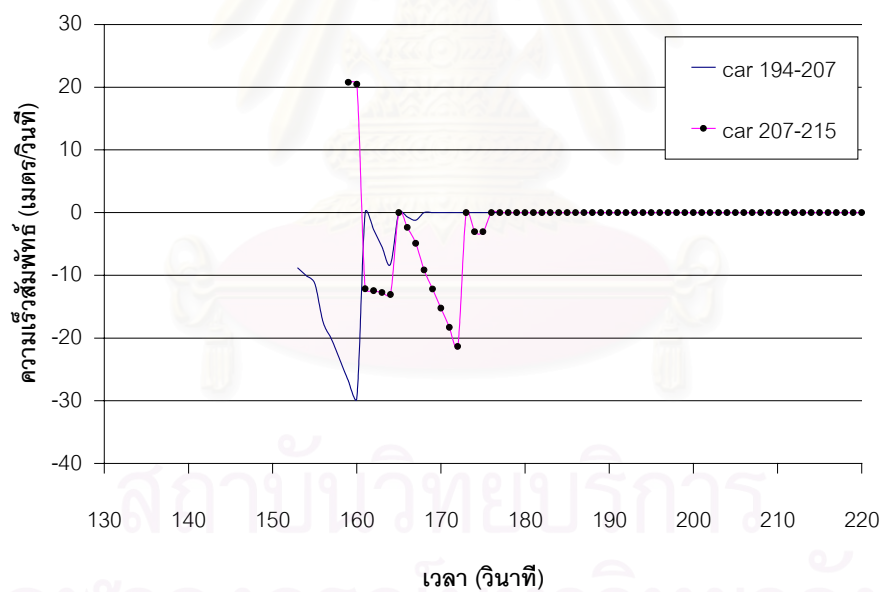
รูปที่ ก.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 194 207 และ 215



รูปที่ ก.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 194 207 และ 215

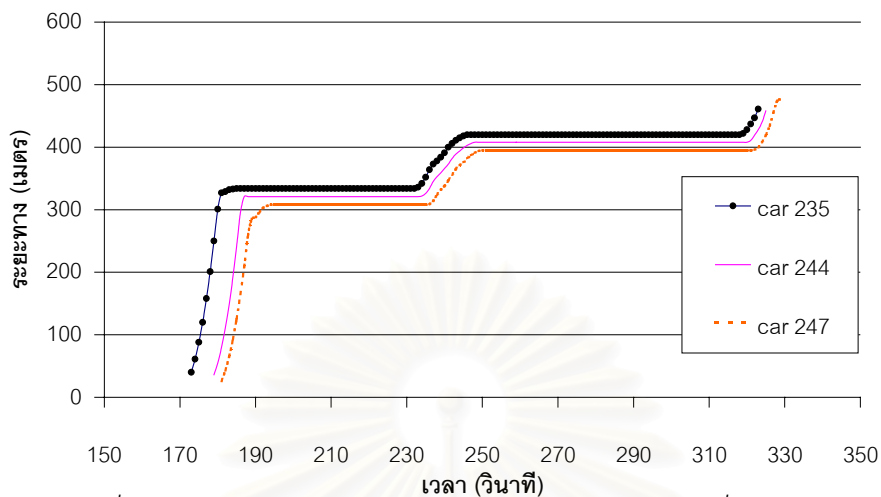


รูปที่ ก.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 194 207 และ 215

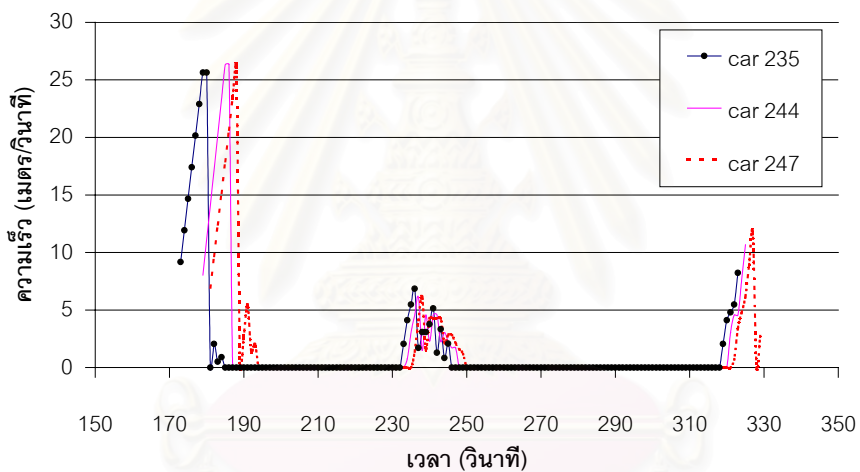


รูปที่ ก.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 194 207 และ 215

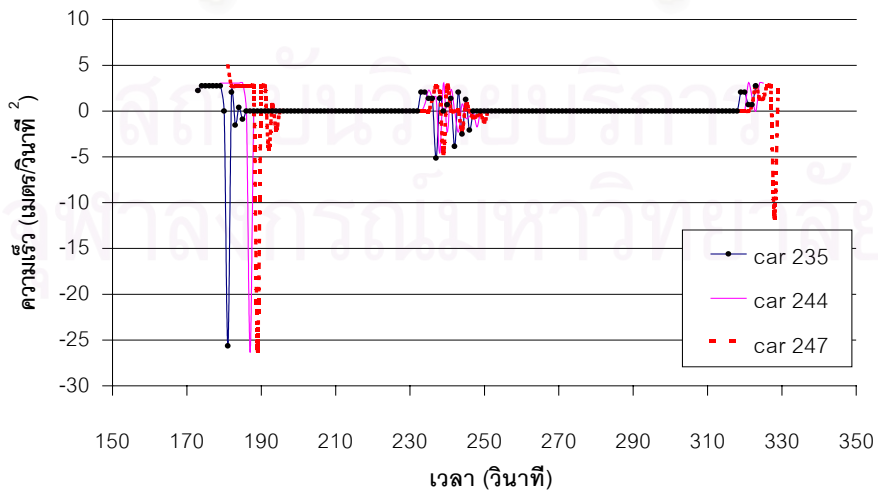
● ชุดที่ 4 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 235 244 และ 247



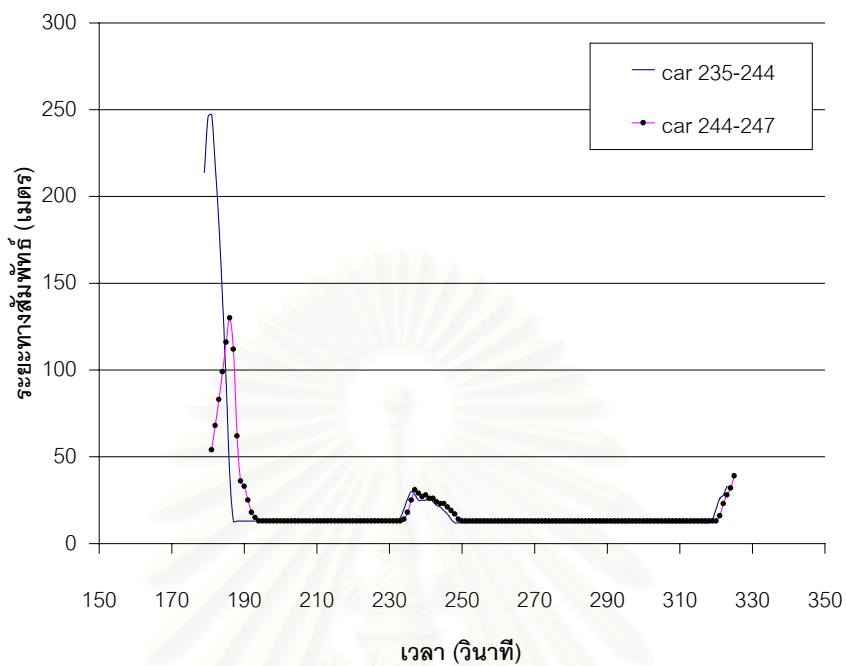
รูปที่ ก.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247



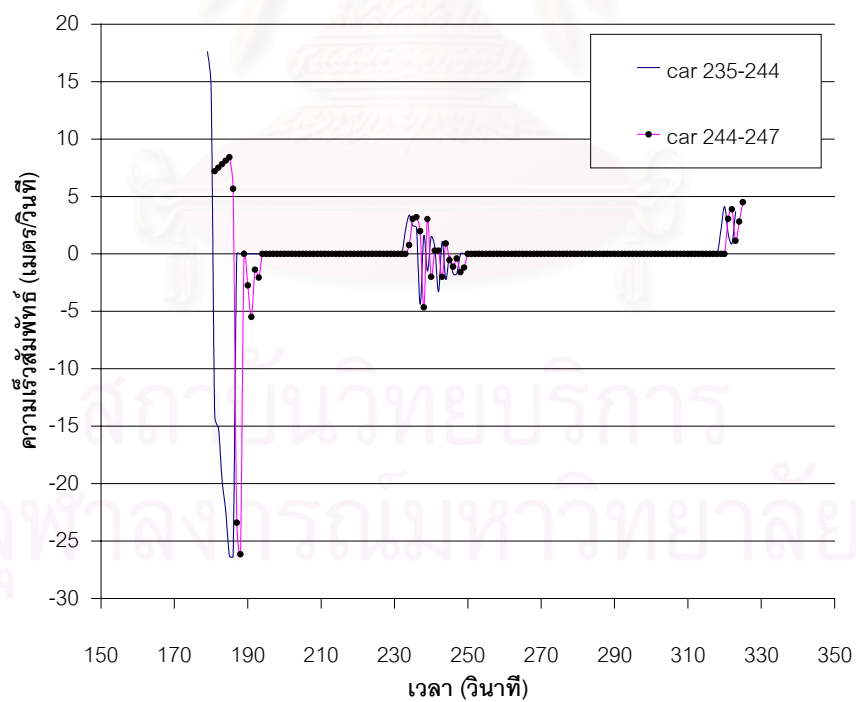
รูปที่ ก.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247



รูปที่ ก.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247

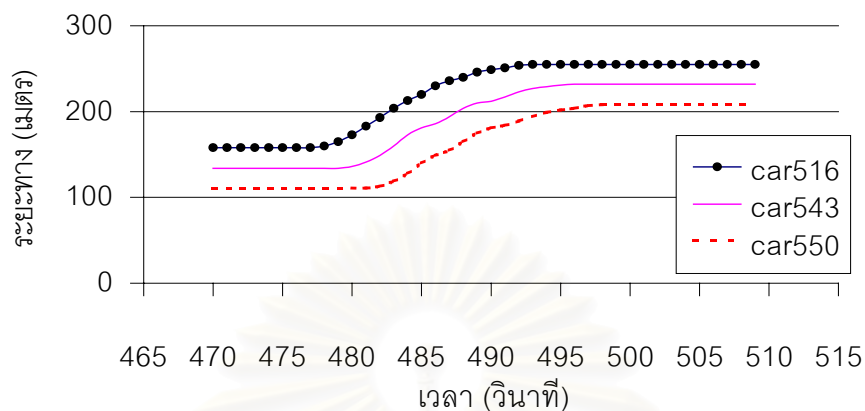


รูปที่ ก.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247

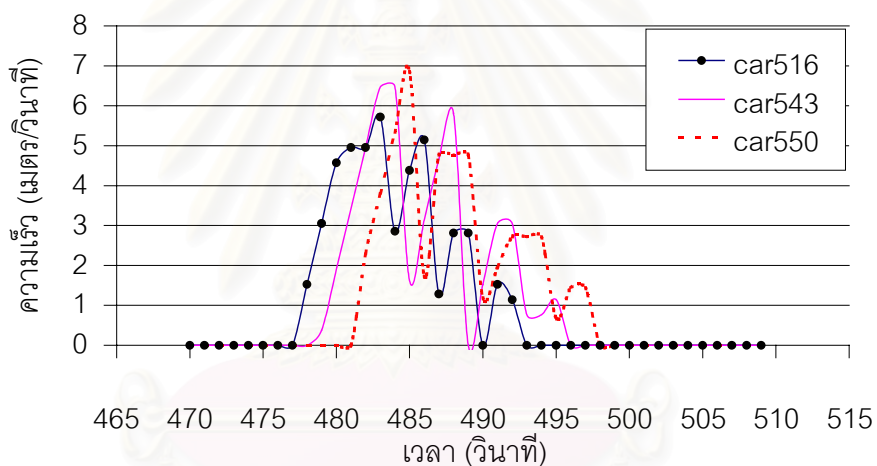


รูปที่ ก.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 235 244 และ 247

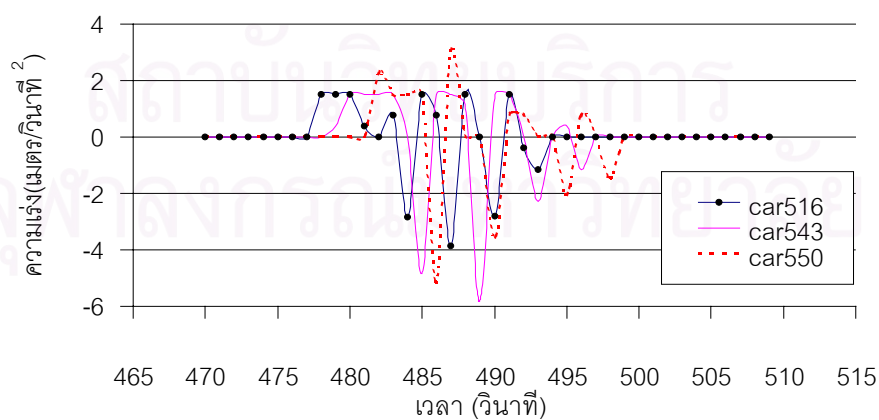
● ชุดที่ 5 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 516 543 และ 550



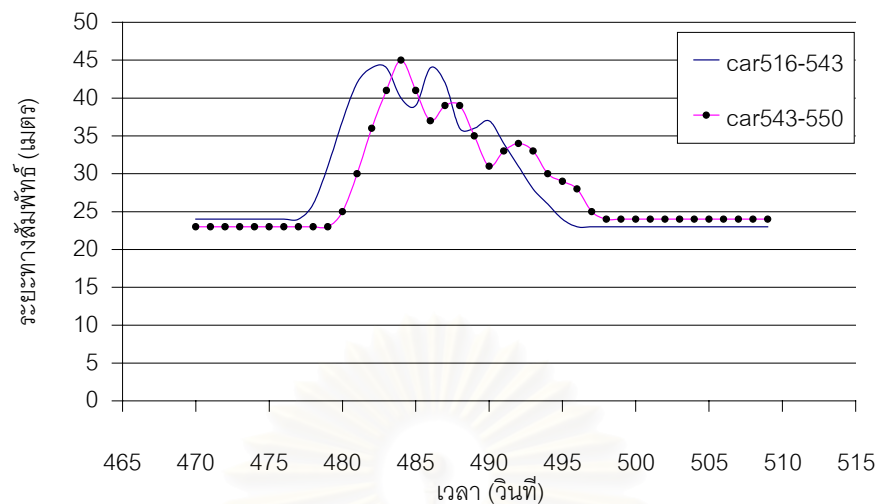
รูปที่ ก.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550



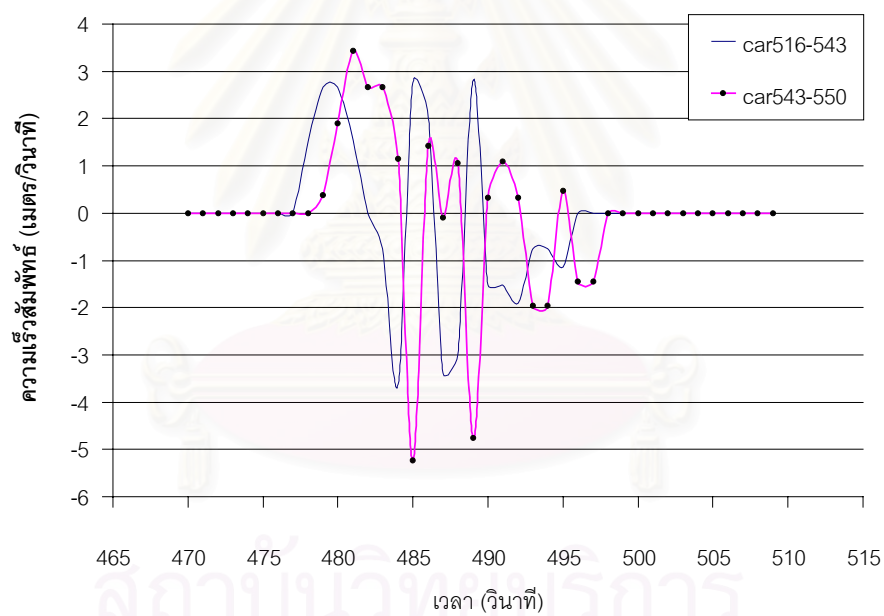
รูปที่ ก.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550



รูปที่ ก.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550

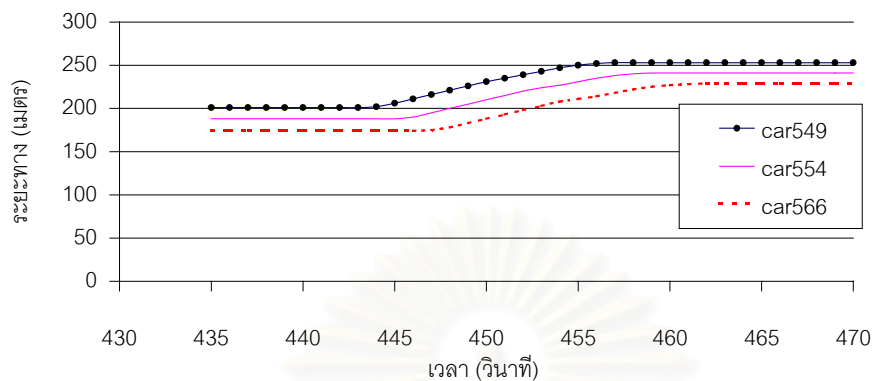


รูปที่ ก.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550

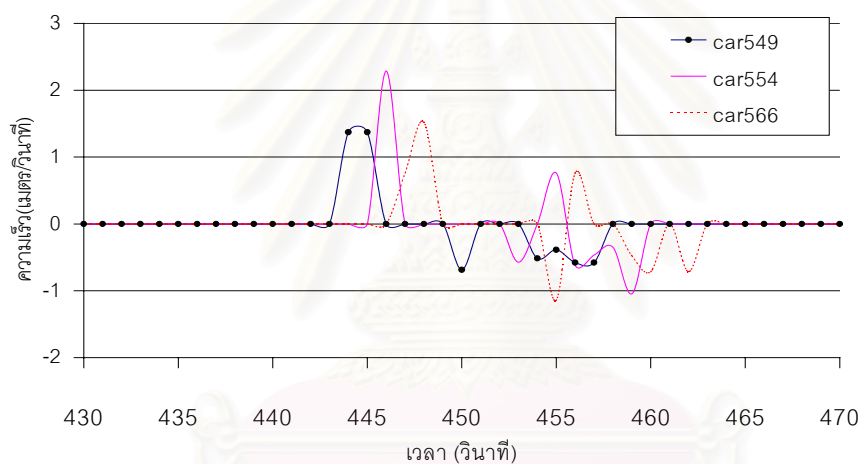


รูปที่ ก.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 516 543 และ 550

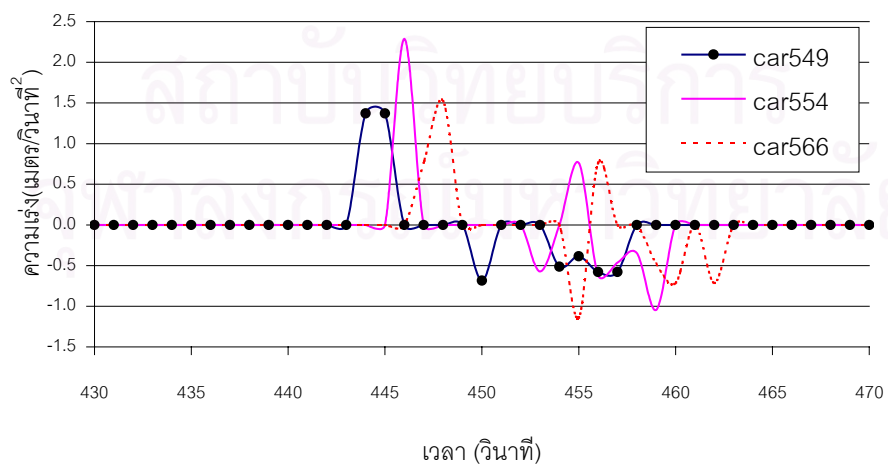
● ชุดที่ 6 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 549 554 และ 566



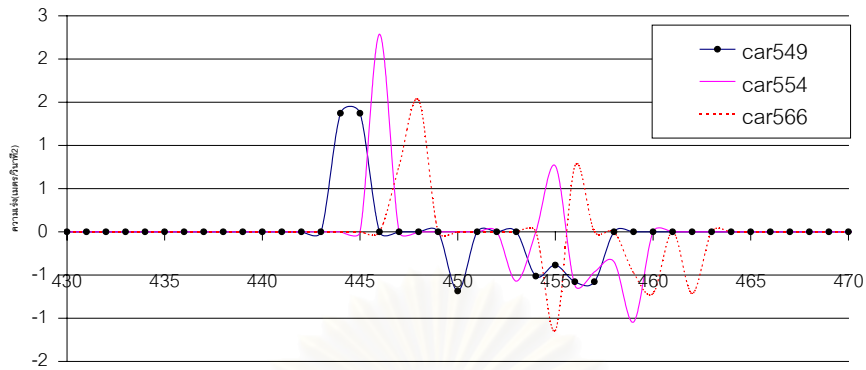
รูปที่ ก.26 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 566



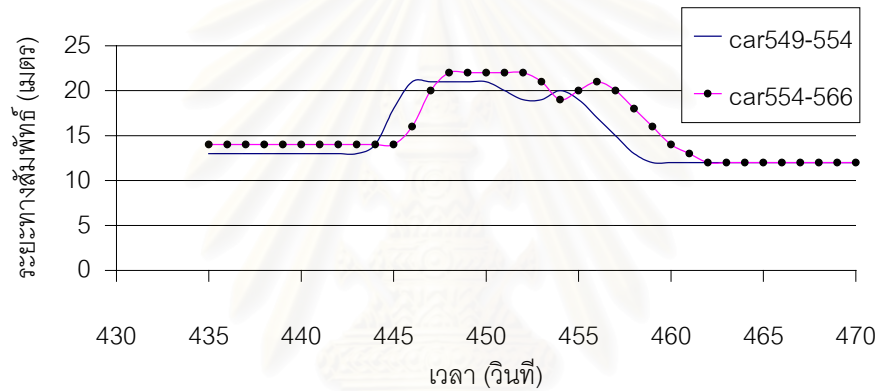
รูปที่ ก.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 566



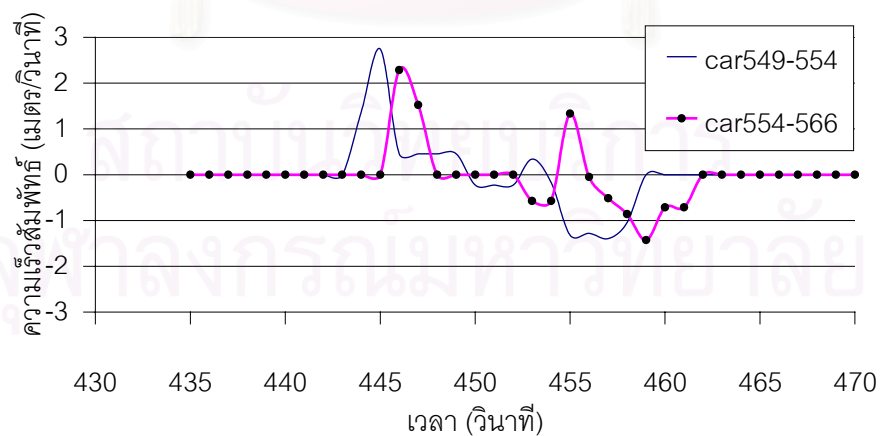
รูปที่ ก.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 566



รูปที่ ก.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 566

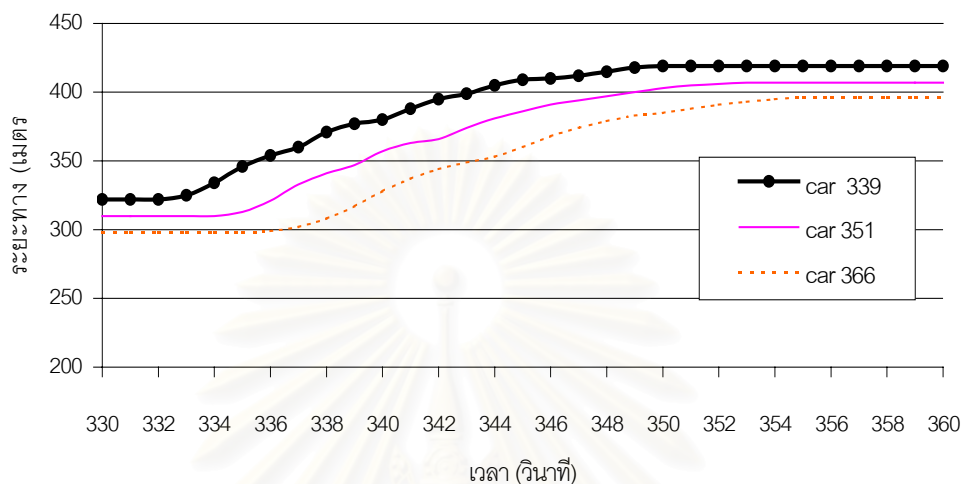


รูปที่ ก.29 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 566

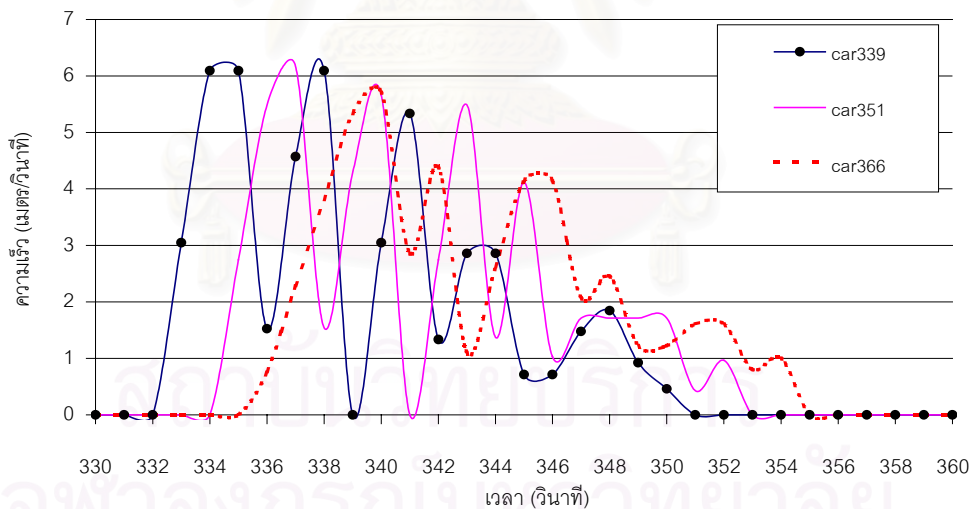


รูปที่ ก.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 549 554 และ 566

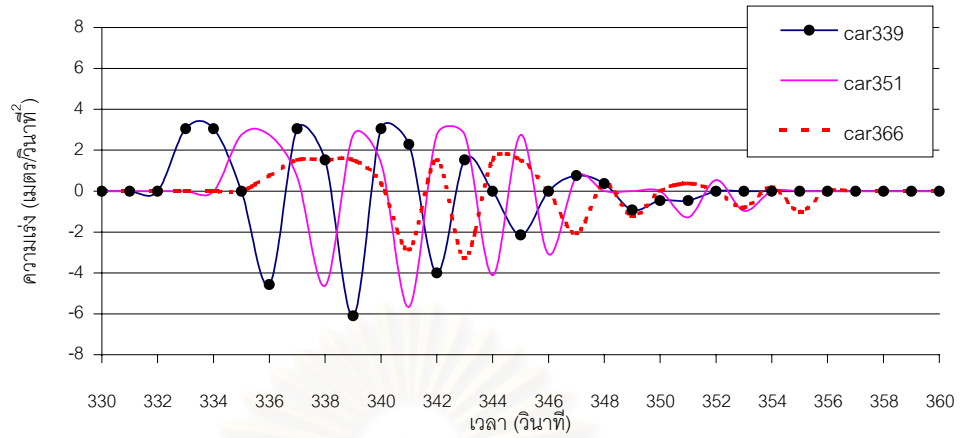
- ชุดที่ 7 การเคลื่อนที่ของรถคันที่ 339 351 และ 366



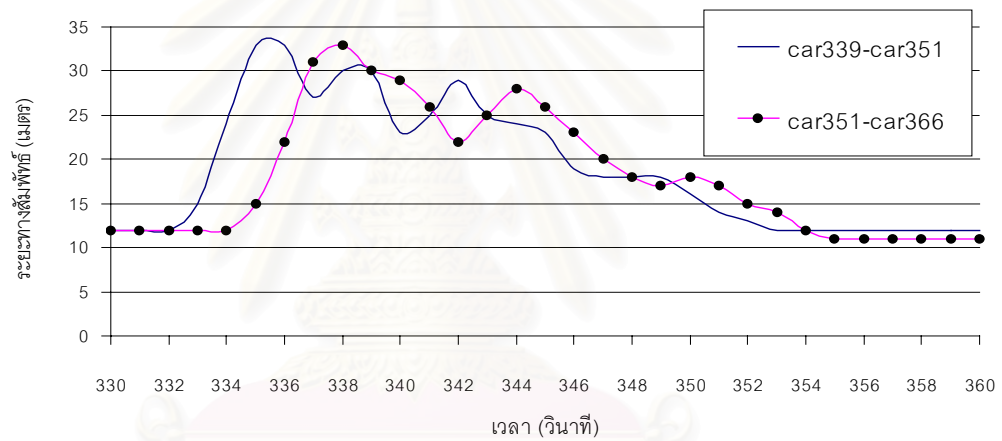
รูปที่ ก.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 366



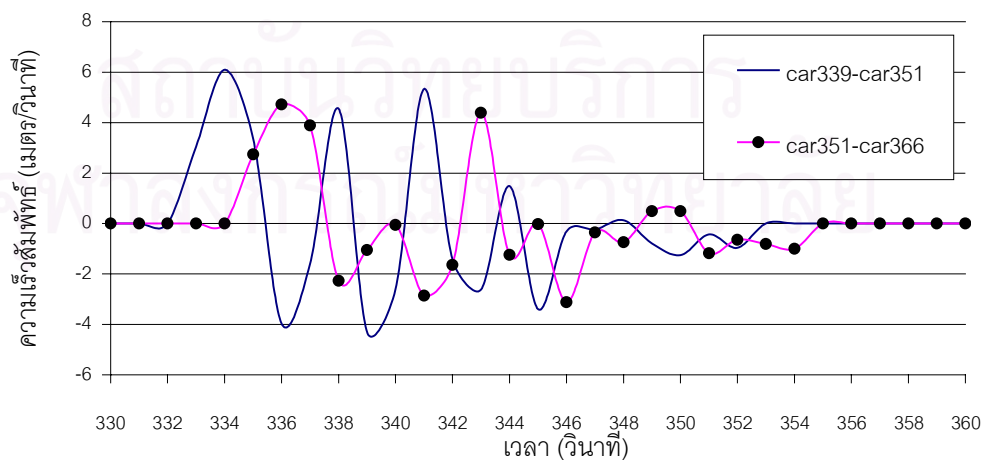
รูปที่ ก.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 366



รูปที่ ก.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 366



รูปที่ ก.34 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 366

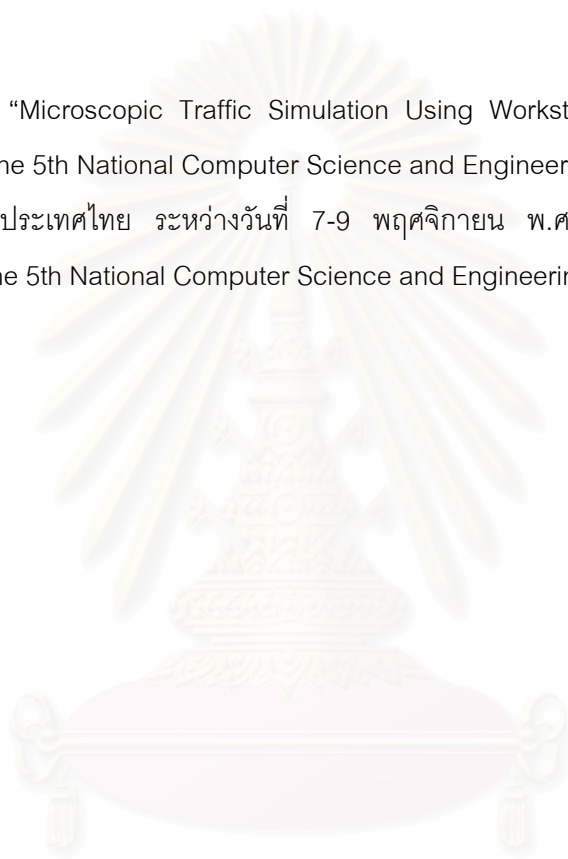


รูปที่ ก.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับเวลาของรถคันที่ 339 351 และ 366

ภาคผนวก ข

บทความที่นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ

บทความเรื่อง “Microscopic Traffic Simulation Using Workstation Clusters” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 5th National Computer Science and Engineering จัดที่โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว เชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 7-9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2544 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceeding of the 5th National Computer Science and Engineering Conference



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Microscopic Traffic Simulation using Workstation Clusters

R. Saengpongpaew, S. Phiphobmongkol

Department of Computer Engineering,
Faculty of Engineering, Chulalongkorn
University, Bangkok, 10330, Thailand.
Phone (66-0) 22186958, Fax (66-0)22186955

S. Narupiti

Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Chulalongkorn
University, Bangkok, 10330, Thailand.
Phone (66-0)22186473

Abstract

For many years analytical models have been used in the field of microscopic traffic modeling because it can reproduce a high degree of accuracy of the simulated road network and conditions constraining traffic flows. However, the simulation time of microscopic simulation tends to increase almost exponentially with respect to model size. Therefore to achieve a reasonable speed in simulation, this paper proposes loosely coupled distributed workstation clusters to speed-up processing time. The entire traffic network is divided into subnetworks by considering the characteristic of the network and each subnetwork is simulated over a network of workstations. The management of time synchronization uses the barrier concept which blocks all subnetworks until all participating subnetworks in the simulation execute the barrier.

1. Introduction

Computer simulation has been accepted as popular approach in conducting traffic studies. Existing traffic modeling can be classified into two approaches: Macroscopic and Microscopic depending on the detail level of the simulation process. In macroscopic approach, the flow behaviors are analogous to a hydrodynamic behavior. Traffic flow is regarded as a particular fluid process whose state is characterized by aggregate variables such as traffic density, traffic volume, and mean speed [1]. However, this model does not properly represent real traffic behavior in a congested situation and does not reproduce the inherently fluctuation nature of real world situations [2]. Microscopic approaches are characterized by the description of individual vehicles and relations between them, producing a high degree of detail. It contains a lot of components of the infrastructure (lanes, intersections, traffic lights, etc.), decision rules, and dynamic entities like vehicles.

For many years analytical models have been used in the field of microscopic traffic modeling [3]. Nonetheless, traffic simulations subject to certain difficulties yet to be

resolved, since the potential quantity of vehicles and parallel events lead to large amount of CPU processing time. The intuitive solution is to speed-up the processing time by allocating more processing power for the simulation. More processing power can be deployed through a massively parallel processor system (MPPs) or the distributing simulation over workstation clusters. Parallel machines are designed to have very low communication overhead and very high bandwidth among their processors. They are suitable for applications that require high bandwidth and need relatively large amount of message passing. The disadvantages are their high price and relatively slower processor speed compared with workstations. On the other hand, workstations are widely available and have faster processors. So usage of workstation clusters in distributed traffic simulation is more reasonable for increasing executing speed.

This paper proposes a prototype of a traffic simulator designed for a parallel processing implemented by distributing simulation over workstation clusters. The model can reduce the computation time by dividing a large scale model into smaller submodels. This method is a traditional approach for distributed traffic simulation. Each submodel is divided by means of spatial partitioning method. In spatial partitioning, a road network is parted into sections and each section is allocated to a processor, which simulates vehicle movements in that section.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 discusses the literature on the distributed traffic simulation model. Sections 3 and 4 illustrate the designed model and the prototype implementation. Finally, Section 5 concludes the paper with suggestions.

2. Related Work

Several models have been designed and developed in distributed processing techniques to improve efficiency and accuracy of large scale traffic simulations. SIM-ENG [4] is a simulation engine that is proper for discrete-event simulation of traffic. Their distribution of network load is an event oriented which handles the various event

processes in the whole traffic simulation. Consequently, each subsystem is responsible for executing different event processes. In POETS [5], independent objects are communicated and distributed for processing to autonomous host processors through a synchronous message passing. HLA [6] is another approach of distributed traffic simulation model. A set of interoperable federates cooperate and communicate via the HLA Run Time Infrastructure. Each federate, an object model, describes a different functional subsystem of the entire traffic system. Those researches mostly address traffic simulation system by dividing many events or object models into each submodel and distributing among the network of workstations. The communication overhead occurs so frequently. This model aims to use the benefit of distributed processing by means of distributing the group of related object/event that occur in the same area to process on the workstation clusters. Each group of those object/events is separated and executed completely on different workstations. The communication cost of this approach, which arises only when the vehicle moves pass the road on the different workstation, is less than distributing each object/event to the workstation clusters. PADSIM [7] introduces an approach for parallel simulation base on the processing of probabilistic information associates with events and measurements in traffic systems. However, PADSIM does not focus on the experimental benefit of distributed model.

3. Simulation Modeling Design

A model developed in the study consists of two main components. One is roadway submodel describes the geometric of the network and the other is the vehicle movement which replicates vehicle and traffic behaviors. Each is described in following.

3.1 Roadway Sub Model

The physical network is modeled using three basic building blocks: nodes, links, and traffic lights.

- Nodes: A node is either an intersection of several roadways or the boundary points of the simulated network. A node, which delimits the boundary of the simulated network, is labeled as a boundary node. The boundary node may have one or both of the following features: a random traffic generator represents the incoming traffic flow from outside the simulated traffic network, and a sink represents the leaving traffic of the simulated network

An example of nodes is shown in figure 1. The picture (a) is the actual road network which is represented by nodes and links in (b). Node 1, 2, 3, 6, 8, 9, and 10 are the boundary node of the system and node 4, 5, and 7 are the intersection nodes.

- Links: Links are unidirectional roadways that connect nodes. They can be one or two directions and each direction is composed of one or more lanes. The description of the road section contains all of the general road attributes. The simulation acquires the description from the road attributed for accomplishing the traffic behavior. A user manually predefines road attributes such as the number of lanes, lane length, lane width, maximum speed of the vehicles in that road, the feasible turns from road, etc.

- Traffic light: Traffic light is a control device of turning movement. Every traffic light is associated with one or more lanes in a particular direction. The traffic lights control the vehicle movement in straight and right turn except the left turn. In left turn the vehicle can move as soon as it can find the available gap in the target lane.

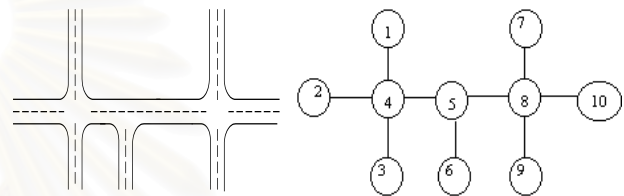


Figure 1: Schematic picture of the road

3.2 Vehicle Movement

Interaction with vehicles ahead, which response to traffic controls, desired speed, and lane, uses to determine the movements of vehicles. These interactions are manifested in lane changes decisions and acceleration and deceleration rate applied at the given time. The simulator maintains a linked list of vehicles in each lane and move individual vehicle according to the car following, lane changing described in this section.

3.2.1 The Car Following Model

The car following model calculates a vehicle's acceleration rate, taking into consideration its relationship with the leading vehicle. The model is based on the gap distance and relative speed of the leading and the following vehicles. A vehicle is classified into one of three regimes: free flowing, emergency decelerating and car following.

- Free flowing regime: if the gap distance is larger than the longest distance (d^{upper}), which a following vehicle moves with its maximum speed, then the vehicle does not interact with the leading vehicle. In this case, if the vehicle's current speed is lower than its target speed, it accelerates at the maximum acceleration rate to achieve its target speed as quickly as possible. If the current speed

is higher than the target speed, the vehicle decelerates with the normal deceleration rate to slow down.

- Emergency deceleration: if a vehicle has a gap distance smaller than a pre-determined threshold (d^{lower}), which is calculated by the sum of stopping distance and the constant speed moving distance, then the vehicle is in the emergency regime. In this case the vehicle uses an appropriate deceleration rate to avoid collision.

- Car following: if a vehicle has a gap between d^{upper} and d^{lower} , it is in the car-following regime. If the leading vehicle's speed is faster than the following speed, the following one accelerates at maximum speed as far as the gap is available. On the other hand if the leading is slower than the following speed, the following one maintains its speed (acceleration rate = 0).

3.2.2 The Lane Changing Model

The lane changing model represents the behavior of lane switching. It occurs when a vehicle is in the undesired lane such as a vehicle that is in the through-only lane but wants to make a turn and must change to an appropriate lane. Once a vehicle has decided to change the lane, it examines the lead and lag gaps in the target lane to determine whether the desired change can be executed. If both the lead and lag gaps are acceptable, the lane change will take place.

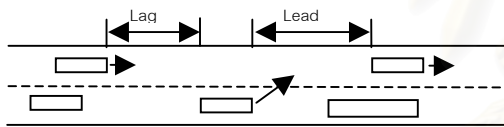


Figure 2: Lead and lag gaps for lane changing

4. Prototype Implementation

The traffic system representation and behaviors described in Section 3 is applied to the simulation model. The model is implemented in the distributed processing environments. Traffic network will be broken into small subnetworks and each subnetwork is allocated to a workstation. Then each workstation will process independently with a connection (synchronization) between them. The detail of the implementation is illustrated in this section.

4.1 Partitioning Traffic Network

According to an affiliation of the partitioning method and distributed processing, a vast traffic network has been divided into subnetworks depending on the available workstations in a system. Each workstation handles the

processing of each traffic subnetwork. An appropriate partitioning can reduce the communication overhead between the subnetworks in the different computing units and it can be viewed as a loosely couple multiprocessor system. In the prototype, the entire network of roads and intersections is segmented into smaller road links and intersections. In order to group entities into subnetworks, the following rules ensure that logic of the simulation is respected:

1. Each subnetwork is composed of the average number of intersection nodes which can be found from the ratio of the total intersection nodes per available workstations in the network. The number of intersection nodes in each subnetwork is thus equal to the nearest rounded integer value from the above calculation. Figure 3 shows the traffic network that consists of 5 intersection nodes (node 4, 5, 6, 9 and 12). If there are 3 available workstations on this system, the average node in each subnetwork is 5 intersection nodes / 3 workstations \approx 2 nodes.

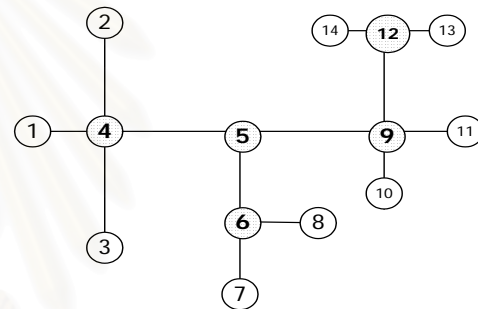


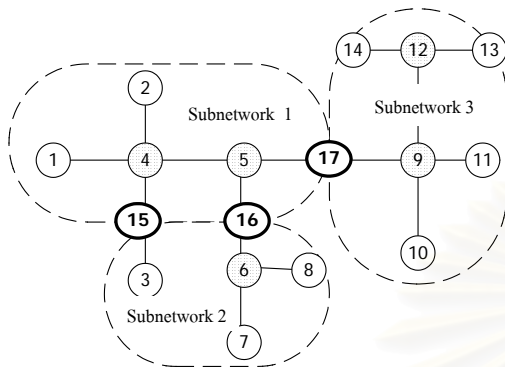
Figure 3: The traffic network

2. The road in between two subnetworks is cut approximately half way of the road distance. This created a new boundary node that is shared by both neighboring subnetworks. Because of the amount of communication subnetwork envelopes are established at this boundary node, partitioning the network into groups of intersection nodes must be considered carefully such that the number of new boundary nodes is kept low.

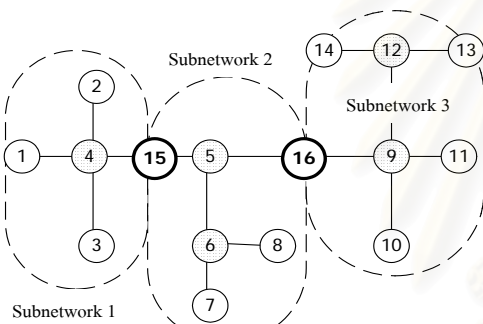
3. The adjacent intersection nodes, which have the connected road are grouped together in the same subnetwork. Figure 4 shows the example of the traffic network partitioning that consists of 5 intersection nodes for 3 workstations in the system. Each subnetwork may have 1 or 2 nodes. In figure 4 (a) the intersection node in the subnetwork 2 does not connect to all the roads around it while in 4 (b) all roads are connected. The partitioning method in figure 4 (b) is more appropriate than (a) because the number of new boundary nodes are less than in (a).

Figure 5 shows the partitioning model and boundary nodes. This entire network in figure 3 is divided into three subnetworks with the partitioning method in figure 4 (b).

The subsystems contain the following: node 1, 2, 3, 4, and 15 in the first subnetwork, node 5, 6, 7, 8, 15, and 16 in the second subnetwork, and node 9, 10, 11, 12, 13, 14 and 16 in the third subnetwork. Node 15 is a shared boundary node for the first and the second subnetwork, while node 16 is a shared boundary node between the second and the third subnetworks.



4 (a)



4 (b)

Figure 4: The partitioning traffic network into 3 workstation clusters

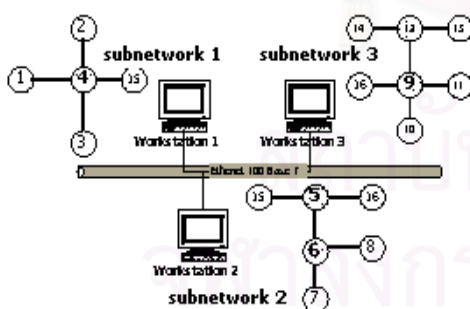


Figure 5: Distributed traffic simulation using workstation clusters

An advantage of this partitioning method is the load balancing among the workstation clusters. Each subnetwork is responsible to process the maximum

number of cars equally. The less the boundary nodes, the less the communication amount clusters. Because these boundary nodes are the areas where transfer vehicles' information. If there is a vehicle passing the boundary node, the vehicle in the source subnetwork will take into account the information of the last vehicle in the same lane of the destination subnetwork residing on the another workstation. With this approach, the communication for vehicle transferring will occur only within two subnetworks. But if the partitioning is done at the intersection node, the movement of vehicles will be complicated because it needs to communicate with several subnetworks. Comparing with the proposed method, this partitioning at the intersection nodes will have more communication overhead and computation time.

4.2 Time Synchronization

During the distributed processes, if each subnetwork handles different number of vehicles, the subnetwork which controls large amount of vehicles will spend more processing time than the fewer ones. If the system is not synchronized, then a vehicle moving across the boundary nodes will incur a large penalty on the entire system. To overcome this problem, the barrier methodology is employed. The barrier is a software block that disallows the progress of time, until the barrier is executed by all subnetworks involved in the simulation. Implementation of barrier uses the following two communication steps. First, when the barrier is executed, a message is sent to all subnetworks in the system. In the next step, this barrier waits until it receives the corresponding message from all other subnetworks.

Among the simulation, one of subnetworks will be selected to be the master machine. The master machine handles not only the subnetwork simulation, but also the responsibility for providing the outgoing synchronized information to other slave machines such as time unit, time period and sending a registration request to each slave machine. The slave machines sequentially execute their simulation and send the barrier flag to the master machine every time step. If the master machine receives the synchronizing flags from all subnetworks completely, it will force to start the simulation of all slave machines in the next time step. If a subnetwork spends computational time per one time step more than the others, the master and the other slave machines will wait for that subnetwork.

5. Results

In this research experiment, testing was performed on a network of 3 workstations (CPU 866 MHz , RAM 256 Mbyte and Ethernet 100 Mbps) with equal number of

vehicles generated. The tested network as shown in figure 6 consists of 3 intersecting nodes, each subnetwork processes within the area of one intersection node. The time step for this simulator update was one second.

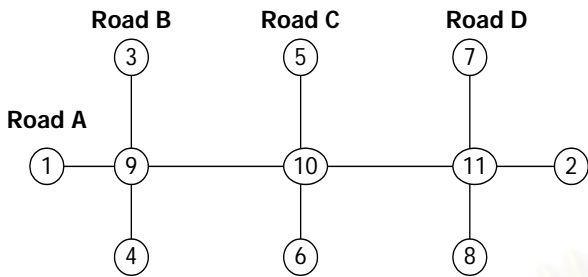


Figure 6: Tested traffic network

	Road A	Road B	Road C	Road D
Maximum Velocity (Km/hour)	80	80	80	80
Flow rate (vehicles/hour)	2000	2000	2000	2000
Turn Left (%)	20	15	10	30
Turn Right (%)	20	40	10	30
Through (%)	60	45	80	40

Table 1: Initial condition of each road

Table 1. shows the initial condition of each road in tested traffic network. In the tested system, there are 3 method to experiment. First, all intersections in the tested traffic network was processed on only one workstation. Second, the tested traffic network was parted into 2 subnetworks and allocated to process on 2 workstations as shown in figure 7. Finally the tested network was parted into 3 subnetworks and allocated to process on 3 workstations as shown in figure 8.

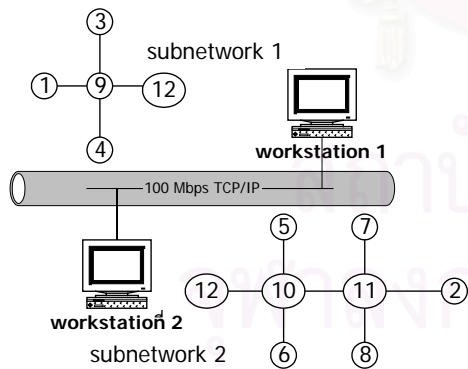


Figure 7: Distributed two subnetworks on two workstations

Speedup which includes network communication costs on the number of processors depicted in figure 9. Speedup, $S(n)$, is defined as the execution time on one processor over n processors for the given problem size of

vehicles. Figure 9 shows that when the number of vehicles are less than 500, processing with three workstations increase speed up slightly compared to two workstations. It is obvious that when the number of vehicles are 900, the speedup with three workstations was approximately 2.5, while two workstations was approximately 1.5. Therefore, speed up performance with clustered workstation will increase when the number of vehicles in the simulation system is great. However, the speedup does not increase linearly as the number of processors increases. The speedup tends to become saturated and the speedup curve flattens. This is a consequence of Amdahl's law.

The system efficiency, $E(n)$ reflects the relationship between speedup achieved and degree of processor node utilization. In figure 10, while the number of vehicles are less than 500, the system efficiency processing with three workstations is less than two workstations. As a consequence of Amdahl's law, the efficiency drops with an increasing number of processors. However, when the number of vehicles are 900, processor node utilization with three workstations increased slightly.

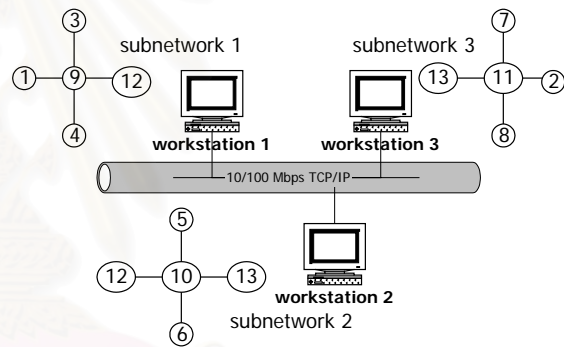


Figure 8: Distributed three subnetworks on three workstations

6. Conclusion and Future Work

This paper proposes the design and implementation of microscopic traffic simulation that uses workstation clusters. In this model a large network is divided into several smaller subnetworks by means of the spatial characteristic of the network, and those subnetworks are simultaneously simulated on the available workstations on the network. In a microscopic simulation approach the traffic network is represented at the lane level and the movements of individual vehicles are simulated on a given traffic network, using car following, lane changing and traffic signal control model. The time synchronization of the whole network uses the help of the barrier concept that disallows the progress of time, until the barrier is executed by all system involved in the simulation.

As future work, we will investigate in advanced features of the simulation such as incident/accident modeling and dynamic re-routing which allows vehicles to dynamically choose the routes in which they will traverse the road network to reach their destinations.

7. References

- [1] Barecelo, J., Ferrer, J. L., Garcia, D., and Grau, R. "Microscopic traffic simulation for ATT systems analysis a parallel computing version" Simulation Assisted Design and Assessment of Vehicle Guidance system, Accepted for publication in International transactions on Operations Research 25, 1998, pp. 50-66.
- [2] Cameron, G., Wylie, B., and McArthur, D. "PARAMICS-Moving vehicles on the connection machine" Proceedings of Supercomputing '94, 1994, pp. 291-300.
- [3] Schulze, T., and Fliess, T. "Urban traffic simulation with psycho-physical vehicles-following models" Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, 1997, pp.1222-1229.
- [4] Creagh, John. "SIM-ENG : A Traffic Simulation Engine" Proceedings of the Thirty-Second Annual Simulation Symposium, 1998, pp.4-10.
- [5] Mabry, S., and Gaudiot, J. "Distributed parallel object-oriented environment for trafficsimulation (POETS)" Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference, 1994, pp. 1093-1100.
- [6] Klein, U., Schulze, T., and Straburger, S. "Traffic simulation based on the high level architecture" Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998, pp. 1095-1104.
- [7] Bargiela, A., and Peytchev, E. "Parallel simulation of city traffic flows using PADSIM" Proceedings of Modelling and Simulation Conference ESM'95 June, 1995, pp. 330-334.
- [8] Kumar, V., and et all. "Introduction to parallel computing : design and analysis of algorithms". Californai: Benjamin / Cummings. 1994.

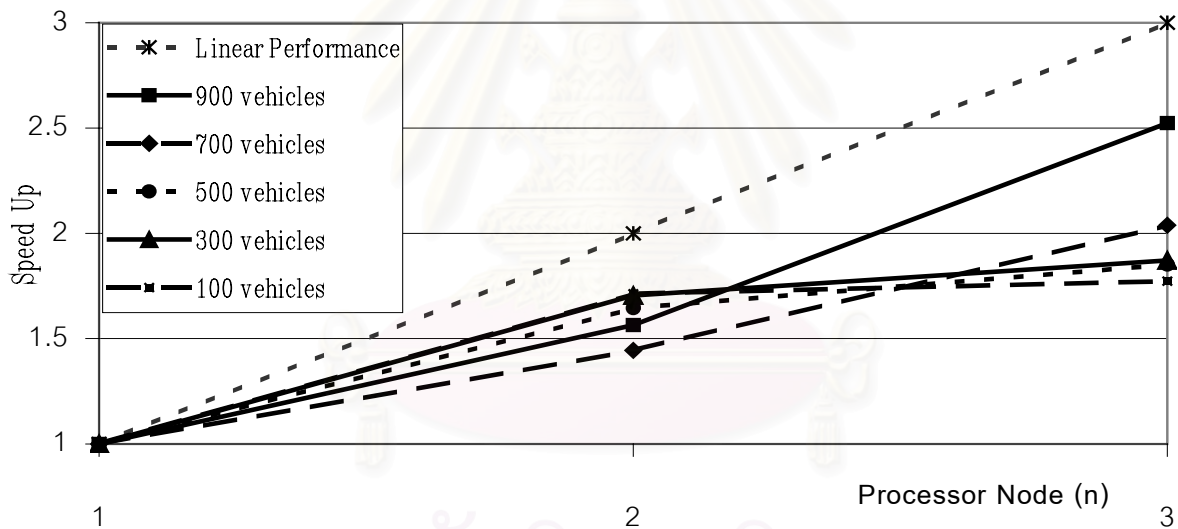


Figure 9: Speedup with Communication Costs

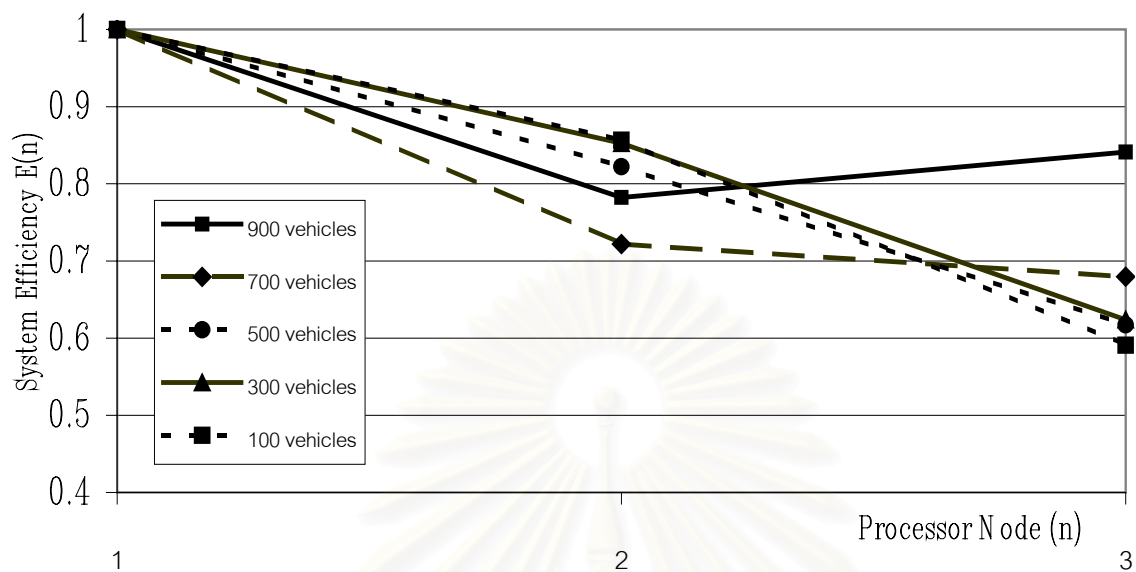


Figure 10: System Efficiency on tested Network

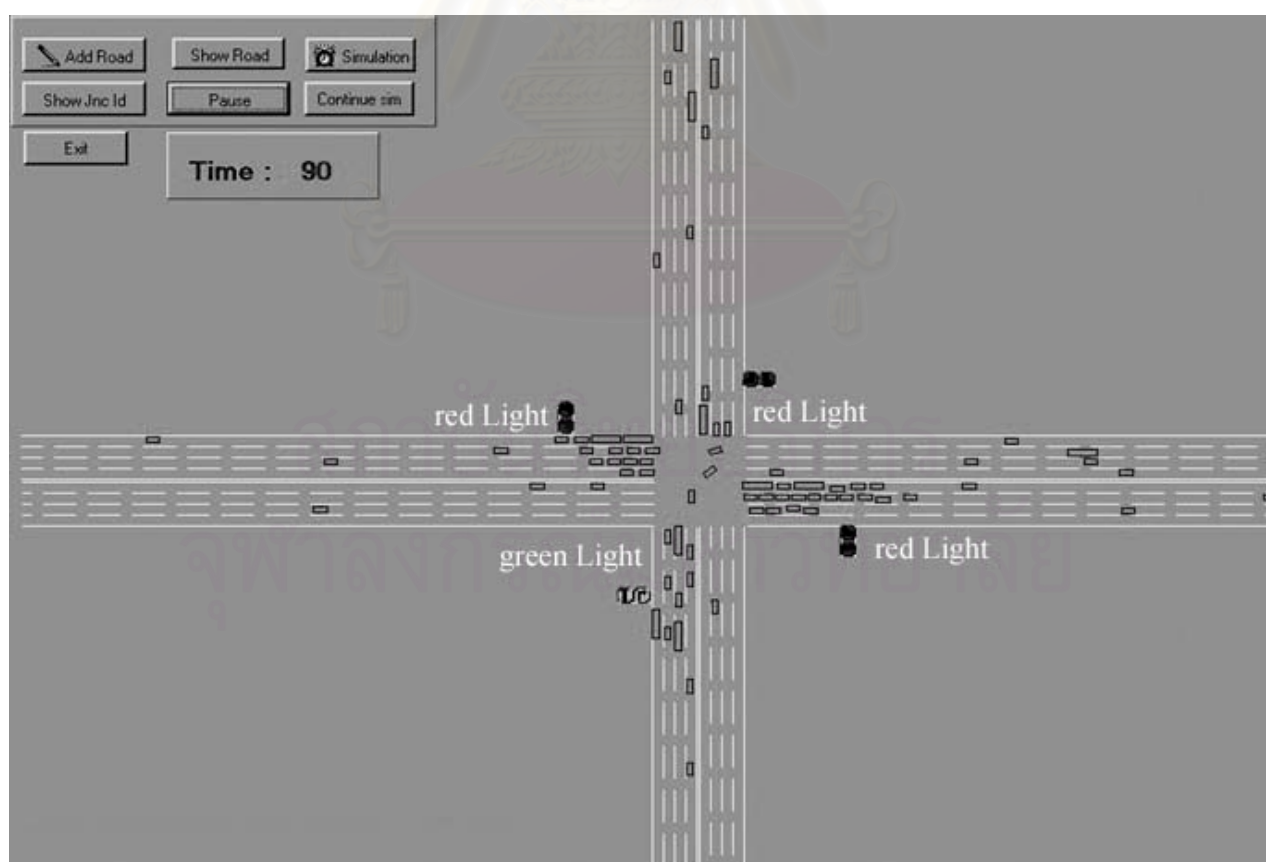


Figure 11: Visualization of traffic simulation on one intersection

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรตนา แสงผ่องแผ้ว เกิดวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และยังสามารถนำผลงานวิจัยด้านการจำลองสภาพจราจรบนถนนระดับจุลภาคแบบกระจายด้วยกลุ่มสถานีงานในระดับชาติ ในปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย