

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247642

การประมาณเวลาในการเดินทางบนทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร
จากการประมาณผลภาพวิถีทัศน

นายวรพงศ์ วัฒนเสถียรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๐๐๐๕๓๓๑

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247642

การประมาณเวลาในการเดินทางบนทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร
จากการประมวลผลภาพวีดิทัศน์

นายวรงค์ วัจนะเสถียรกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 0 7 0 4 2 5 0 2 1

TRAVEL TIME ESTIMATION ON BANGKOK EXPRESSWAY
FROM VIDEO IMAGE PROCESSING

Mr. Worapong Wajanasathienkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณเวลาในการเดินทางบนทางพิเศษในเขต
	กรุงเทพมหานครจากการประมวลผลภาพวีดิทัศน์
โดย	นายวรพงศ์ วัจนะเสถียรกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.พลเทพ เลิศวรรณิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนัทธวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษม ชูจารุกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.พลเทพ เลิศวรรณิช)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศักดิ์ดา พรรณไวย)

วรพงศ์ วัจนะเสถียรกุล : การประมาณเวลาในการเดินทางบนทางพิเศษในเขต
กรุงเทพมหานครจากการประมวลผลภาพวีดิทัศน์. (TRAVEL TIME ESTIMATION ON
BANGKOK EXPRESSWAY FROM VIDEO IMAGE PROCESSING) อ. ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.
พลเทพ เลิศวรรณิช, 161 หน้า.

247642

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประมาณเวลาการเดินทางโดยใช้ค่าความเร็วที่
รวบรวมได้จากการประมวลผลภาพวีดิทัศน์แบบทันกาล พื้นที่ศึกษาได้แก่ทางพิเศษเฉลิมมหานคร
ช่วงดาวคะนอง-ท่าเรือระยะทาง 8.137 กม. มีสถานีรวบรวมความเร็วทั้งสิ้น 7 สถานี ข้อมูลที่ใช้ใน
การวิจัยอยู่ในช่วง 5:00-22:00 น. มีปริมาณการจราจร 6,140 คันต่อชั่วโมง ข้อมูลความเร็วนำมา
ประมาณค่าเวลาการเดินทางบนแต่ละช่วงทางได้จาก 4 วิธีได้แก่ การประมาณจากความเร็วที่จุด
กึ่งกลาง ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่าความเร็วโดยการถ่วงน้ำหนักจากปริมาณการจราจร และ วิธีชาน
อันโตนิโอ และรวมค่าเวลาการเดินทางของทั้งสายทางได้จาก 2 วิธีได้แก่ วิธี instantaneous และ
วิธี timeslice จากนั้นเปรียบเทียบกับค่าเวลาการเดินทางจริงที่รวบรวมได้จากกล้องวีดิทัศน์เป็น
จำนวน 1,632 คัน ผลการศึกษาพบว่าความถูกต้องขึ้นอยู่กับช่วงเวลา (และระดับการติดขัดของ
การจราจร) กล่าวคือในสภาพการจราจรคล่องตัววิธีชานอันโตนิโอจะให้ความถูกต้องสูงสุด (MAPE
มีค่าร้อยละ 11 เมื่อเทียบกับร้อยละ 14-15 โดยวิธีอื่นๆ) สภาพปริมาณการจราจรหนาแน่นวิธี
ความเร็วที่จุดกึ่งกลางจะให้ความถูกต้องสูงสุด (MAPE ในช่วงการจราจรเร่งด่วนเข้ามีค่าร้อยละ
12 เมื่อเทียบกับร้อยละ 23-26 โดยวิธีอื่นๆ) เมื่อเปรียบเทียบวิธีการรวมค่าเวลาการเดินทางของทั้ง
สายทางพบว่า วิธี timeslice จะให้ค่าเวลาการเดินทางรวมบนสายทางที่แม่นยำกว่าเมื่อพิจารณา
วิธีการประมาณค่าเวลาการเดินทางกรณี offline (ทราบข้อมูลทั้งหมด) และ online (มีการ
คาดการณ์ความเร็วในช่วงเวลาถัดไป) พบว่า วิธี online จะให้ความแม่นยำที่ไม่แตกต่างจากวิธี
offline มากนัก ในการนำวิธีการหาค่าเวลาการเดินทางไปใช้งานจริงอาจนำวิธีการประมาณค่า
เวลาการเดินทางวิธีต่างๆมาใช้ตามเวลา โดยสามารถปรับปรุงเพิ่มความแม่นยำได้มากกว่าการใช้
วิธีการหาค่าเวลาเดินทางวิธีเดียวตลอดทั้งวัน โดยมีความแม่นยำรวมร้อยละ 11 เมื่อเทียบกับการ
ใช้วิธีการประมาณค่าเวลาการเดินทางเดียวที่มีความแม่นยำร้อยละ 14-20

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนิติบัตร วรพงศ์ วัจนะเสถียรกุล
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สรวิศ นฤปิติ
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม พลเทพ เลิศวรรณิช

5070425021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : TRAVEL TIME / ESTIMATION / SPEED / EXPRESSWAY

WORAPONG WAJANASATHIENKUL : TRAVEL TIME ESTIMATION ON BANGKOK EXPRESSWAY FROM VIDEO IMAGE PROCESSING. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SORAWIT NARUPITI, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: PONLATHEP LERTWORAWANICH, Ph.D., 161 pp.

247642

The objective of this research is to determine travel time technique for traffic on using traffic speed from real-time image processing. They study area is the 8.137 km Chalem Mahanakorn expressway Dao-Kanong – Port section in Bangkok, where traffic speed were collected at 7 stations. The traffic data was obtained during 5:00-22:00, containing 6,140 vph. Four methods are used to convert speed into travel time for each link, namely mid-point, section average, weighted section average, and San Antonio's (lower speed). Two methods of link travel time aggregation into route travel time are instantaneous and timeslice. The estimated travel times were then compared with the actual travel time collection from 1,632 vehicles. The results indicate that the accuracy depends on time period (and level of traffic congestion). The San Antonio's method results in the highest accuracy during off-peak period (MAPE 11% compared to 14-15% from other methods). The mid-point method yields the highest accuracy during peak period (MAPE 12% compared to 23-26% from other methods). Considering route travel time, the time slice method gives slightly better accuracy than instantaneous method. Comparing the offline (all data present) and online (short-term forecast of speed in the next timeslice) travel time estimation, the two methods yield similar accuracy. The findings of the research imply that the practical travel time estimation may need several methods suitable for each time period. The improved estimation can increase the accuracy over a single method, decreasing the MAPE from 14-20% to 11%.

Department: <u>Civil Engineering</u>	Student's Signature <u>Worapong Wajanasathienkul</u>
Field of Study : <u>Civil Engineering</u>	Advisor's Signature <u>Sorawit Narupiti</u>
Academic Year : <u>2010</u>	Co-Advisor's Signature <u>Ponlathep Lertworawanich</u>

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง และผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษม ชูจารุกุล ซึ่งเป็นประธานคณะกรรมการ ดร.พลเทพ เลิศวรรณิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ดร.ศักดิ์ดา พรรณไวย ซึ่งเป็นกรรมการ ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะประเด็นที่สำคัญที่ควรพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้เขียนจนสามารถดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณทางพิเศษแห่งประเทศไทย และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติที่อำนวยความสะดวกและประสานงานในการรวบรวมข้อมูลในการวิจัยนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณนายปิติ โรจน์วรรณสินธุ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำวิจัย อีกทั้งรุ่นพี่ เพื่อน และน้องๆที่เป็นกำลังใจและช่วยสนับสนุนในระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้องที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา จึงทำให้ผู้เขียนสามารถดำเนินมาจนถึงจุดนี้ได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 ลำดับในการนำเสนอ	6
บทที่ 2 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา	7
2.1 การเก็บข้อมูลจราจร	7
2.2 การประมาณเวลาการเดินทาง.....	12
2.2.1 ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาที่มีการประมาณเวลาการเดินทาง	12
2.2.2 การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยตรง	15
2.2.3 การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมจากความเร็ว	15
2.2.4 การประมาณเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมจากปริมาณการจราจร.....	21
2.3 การปรับปรุงวิธีการประมาณเวลาการเดินทางให้เหมาะกับลักษณะการจราจร ...	23
2.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลเวลาการเดินทาง	24
2.5 สรุปการทบทวนผลงานที่ผ่านมา.....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	29
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ประมวลผลภาพ.....	31
3.2.1 อุปกรณ์ประมวลผลภาพ	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ลักษณะตำแหน่งการติดตั้ง.....	34
3.3 การตรวจสอบและปรับแก้อุปกรณ์ประมวลผลภาพ	36
3.4 การถอดข้อมูลการจราจร.....	42
3.5 การหาเวลาการเดินทางจริงด้วยวิธีการพิจารณาจากภาพวีดิทัศน์	46
3.6 พิจารณาลักษณะของข้อมูล	47
3.7 การหาค่าเวลาการเดินทาง	51
3.7.1 การหาค่าเวลาการเดินทางบนช่วงทางจากการคำนวณด้วยความเร็ว.....	51
3.7.2 การคาดการณ์โดยใช้วิธี Moving Average.....	54
3.7.3 การรวมเวลาการเดินทางทั้งเส้นทาง.....	54
3.8 การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะเวลาการเดินทางที่ได้แต่ละวิธี	55
3.9 การปรับปรุงวิธีการโดยประยุกต์ให้เหมาะสมกับลักษณะการจราจร.....	57
3.10 ตรวจสอบความแม่นยำและทำการเปรียบเทียบวิธีการ	58
3.11 ทดลองกระบวนการในกรณีนำไปใช้งานจริง	58
3.12 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
บทที่ 4 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา.....	59
4.1 ลักษณะข้อมูลปริมาณการจราจรบนช่วงทาง	59
4.2 ข้อมูลความเร็วบนช่วงทาง	61
4.3 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรและความเร็ว	68
4.4 การรวบรวมข้อมูลเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง.....	70
บทที่ 5 การประมาณเวลาการเดินทาง	74
5.1 การประมาณเวลาการเดินทางบนช่วงทาง (ข้อมูล SMS)	75
5.2 การประมาณเวลาการเดินทางทั้งเส้นทาง (ข้อมูล SMS).....	81
5.2.1 การรวมเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นโดยตรง ณ ช่วงเวลาเดียวกัน (Instantaneous)	81
5.2.2 การรวมเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นแบบขั้นบันได (Timeslice)	83
5.2.3 ผลต่างของวิธีการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice	83
5.2.4 การเปรียบเทียบวิธีการประมาณเวลาการเดินทางทั้งเส้นทาง	87

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3	การวิเคราะห์และเลือกใช้วิธีการหาค่าเวลาการเดินทางที่เหมาะสม (ข้อมูล SMS)	92
5.3.1	การเลือกวิธีการหาค่าเวลาการเดินทางให้เหมาะสมกับช่วงเวลา ตามสภาพข้อมูล (ปรับปรุงแบบที่ 1, D1).....	92
5.3.2	การเลือกวิธีการหาค่าเวลาการเดินทางให้เหมาะสมกับช่วงระยะเวลา เวลาการเดินทาง (ปรับปรุงแบบที่ 2, D2)	95
5.3.3	สรุปผลแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน..	104
5.4	การประมาณเวลาการเดินทางบนช่วงทาง (ข้อมูล TMS)	106
5.5	การประมาณเวลาการเดินทางทั้งเส้นทาง (ข้อมูล TMS)	109
5.5.1	การรวมเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นโดยตรง ณ ช่วงเวลาเดียวกัน (Instantaneous)	109
5.5.2	การรวมเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นแบบชิ้นบันได (Timeslice)	110
5.5.3	ผลต่างของวิธีการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice	110
5.5.4	การเปรียบเทียบวิธีการประมาณเวลาการเดินทางทั้งเส้นทาง	114
5.6	การวิเคราะห์และเลือกใช้วิธีการหาค่าเวลาการเดินทางที่เหมาะสม (ข้อมูล TMS).....	118
5.6.1	การเลือกวิธีการหาค่าเวลาการเดินทางให้เหมาะสมกับช่วงเวลา ตามสภาพข้อมูล (ปรับปรุงแบบที่ 1, D1).....	118
5.6.2	การเลือกวิธีการหาค่าเวลาการเดินทางให้เหมาะสมกับ ช่วงระยะเวลาการเดินทาง (ปรับปรุงแบบที่ 2, D2).....	120
5.6.3	สรุปผลแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน..	127
5.7	สรุปการประมาณเวลาการเดินทาง	128
บที่ 6	แนวทางการหาค่าเวลาการเดินทางแบบ Online	132
6.1	การคาดการณ์ข้อมูลเพื่อหาเวลาการเดินทาง.....	132
6.2	เวลาการเดินทางทั้งเส้นทางจากข้อมูลการคาดการณ์.....	134
6.3	เวลาการเดินทางทั้งเส้นทางโดยเริ่มจากข้อมูลในช่วงเวลาก่อนหน้า.....	140
6.4	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบ.....	146

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	152
7.1 สรุปผลการวิจัย	152
7.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลการจราจร	152
7.1.2 วิธีการประมาณค่าเวลาการเดินทาง.....	153
7.1.3 การรวมค่าเวลาการเดินทางทั้งเส้นทาง.....	154
7.1.4 การหาค่าเวลาการเดินทางทั้งเส้นทางแบบ Online.....	154
7.1.5 แนวทางการเลือกใช้วิธีการประมาณเวลา	155
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	156
รายการอ้างอิง.....	158
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	161

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของข้อมูลจากแต่ละอุปกรณ์.....	8
2.2 การเปรียบเทียบระบบ GPS ANPR และ Remote Sensing	11
2.3 ผลของช่วงความถี่การเฉลี่ยข้อมูลต่อความแม่นยำในการประมาณ	25
3.1 ตัวอย่างสถานะและแผนการแก้ไขอุปกรณ์ประมวลผลภาพ.....	38
3.2 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลภาพเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2553.....	39
3.3 ตัวอย่างข้อมูลในการนำมาใช้ที่แปลงจากข้อมูลที่บันทึก.....	45
3.4 ตัวอย่างข้อมูลจัดเรียงในการนำมาใช้งาน	46
3.5 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายแต่ละสถานี	47
3.6 รูปแบบการเติมข้อมูลที่ขาดหายโดยการเฉลี่ยจากข้อมูลแนวราบ.....	48
3.7 รูปแบบการเติมข้อมูลที่ขาดหายโดยการเฉลี่ยจากข้อมูลแนวตั้ง.....	48
3.8 รูปแบบการเติมข้อมูลที่ขาดหายโดยการ Moving average.....	49
3.9 ตัวอย่างค่าการประมาณจากการเลือกใช้ค่า n	50
3.10 ตัวอย่างความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเลือกใช้ค่า n	50
3.11 การรวมเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นโดยตรง.....	54
3.12 การรวมเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นแบบขั้นบันได	55
4.1 ตัวอย่างข้อมูลความเร็วเฉลี่ยทุก 5 นาทีแต่ละสถานี.....	61
4.2 ตัวอย่างการจัดเรียงข้อมูลภาพถ่ายวิดีโอที่ค้นเพื่อใช้ถอดข้อมูล.....	71
4.3 ตัวอย่างค่าเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง	72
5.1 สรุปค่าความคลาดเคลื่อน MAPE ในแต่ละช่วงเวลา (SMS)	90
5.2 สรุปวิธีที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงเวลาตามสภาพข้อมูล (SMS).....	93
5.3 การเปรียบเทียบผลจากวิธีการปรับปรุงแบบที่ 1 (SMS)	94
5.4 การเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาการเดินทาง (SMS).....	99
5.5 การเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาการเดินทาง (นำข้อมูลช่วง 5:00-6:00น. ออก - SMS)	101
5.6 MAPE ของวิธีการหาค่าเวลาการเดินทางอ้างอิงแต่ละรูปแบบ (SMS)	102
5.7 การเปรียบเทียบผลจากวิธีการปรับปรุงแบบที่ 2 (SMS)	103
5.8 การเปรียบเทียบผลจากวิธีการทั้งหมด (SMS)	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.9	สรุปค่าความคลาดเคลื่อน MAPE ในแต่ละช่วงเวลา (TMS) 117
5.10	สรุปวิธีที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงเวลาตามสภาพข้อมูล (TMS)..... 118
5.11	การเปรียบเทียบผลจากวิธีการปรับปรุงแบบที่ 1 (TMS)..... 119
5.12	การเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาการเดินทาง (TMS) 124
5.13	การเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาการเดินทาง (นำข้อมูลช่วง 5:00-6:00น. ออก - TMS) 126
5.14	การเปรียบเทียบผลจากวิธีการปรับปรุงแบบที่ 2 (TMS)..... 127
5.15	การเปรียบเทียบผลจากวิธีการทั้งหมด (TMS) 128
5.16	ผลของจำนวนสถานีเก็บข้อมูลที่มีต่อความคลาดเคลื่อนในการ ประมาณเวลาการเดินทาง (SMS) 129
6.1	ตัวอย่างการคาดการณ์ข้อมูลปริมาณการจราจร..... 133
6.2	ค่า MAPE วิธีการประมาณเวลาการเดินทางด้วยข้อมูลการคาดการณ์ ทั้งหมด (SMS)..... 137
6.3	ค่า MAPE วิธีการประมาณเวลาการเดินทางด้วยข้อมูลการคาดการณ์ ทั้งหมด (TMS) 138
6.4	ค่า MAPE วิธีการประมาณเวลาการเดินทางโดยเริ่มจากข้อมูลที่มี ในช่วงเวลาก่อนหน้า (SMS) 143
6.5	ค่า MAPE วิธีการประมาณเวลาการเดินทางโดยเริ่มจากข้อมูลที่มี ในช่วงเวลาก่อนหน้า (TMS)..... 144
6.6	การเปรียบเทียบค่า MAPE จากวิธีการทั้งหมด (SMS) 147
6.7	การเปรียบเทียบค่า MAPE จากวิธีการทั้งหมด (TMS)..... 150

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	แหล่งที่มาของการบริการข้อมูลการจราจรแบบทันกาล9
2.2	ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลเวลาการเดินทาง..... 10
2.3	โครงข่ายถนนที่ติดตั้งระบบการหาเวลาการเดินทาง..... 10
2.4	ลักษณะเวลาและระยะทางในแต่ละช่วงเวลาเดินทาง 16
2.5	ลักษณะของเวลาการเดินทางบนช่วงทาง..... 19
2.6	รูปแบบช่วงทางบนทางพิเศษ 22
3.1	ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย 28
3.2	ลักษณะพื้นที่และการจราจรบนทางพิเศษคลองรัช..... 29
3.3	แผนที่จุดสำรวจในการเก็บข้อมูลสายดาวคะนอง-ท่าเรือ 31
3.4	ตำแหน่งกล้องวีดีทัศน์และป้ายบอกทางของการทางพิเศษ..... 32
3.5	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดีทัศน์ของการทางพิเศษ 32
3.6	ภาพอุปกรณ์ประมวลผลภาพที่พัฒนาในระยะแรก 33
3.7	ตัวอย่างภาพอุปกรณ์ประมวลผลภาพแยกติดตั้ง 33
3.8	ตัวอย่างตำแหน่งติดตั้งกล้อง..... 34
3.9	ลักษณะการเก็บข้อมูล..... 34
3.10	ตำแหน่งติดตั้งกล้องประมวลผลภาพบนทางพิเศษ สายดาวคะนอง-ท่าเรือ 35
3.11	ระยะทางระหว่างกล้องประมวลผลภาพบนทางพิเศษสายดาวคะนอง-ท่าเรือ 35
3.12	การแก้ไขปรับปรุงอุปกรณ์ในภาคสนามเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2553 37
3.13	รายละเอียดของกล้องประมวลผลภาพที่นำมาศึกษา 40
3.14	มุมกล้องและตำแหน่งของบริเวณตรวจจับ (sensor) 42
3.15	ตัวอย่างข้อมูลและความหมายตัวแปรต่างๆจากระบบประมวลผลภาพ 43
3.16	ตัวอย่างภาพจากกล้องต้นทางและปลายทาง..... 47
3.17	ตัวแปรข้อมูลบนทางหลัก..... 51
3.18	ความเร็วเฉลี่ย..... 52
3.19	ความเร็วโดยถ่วงน้ำหนักจากปริมาณการจราจร 52
3.20	ความเร็วโดยวิธีชานอันโตนิโอ 53
3.21	ความเร็วโดยวิธีความเร็วที่จุดกึ่งกลาง 53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ข้อมูลปริมาณการจราจร.....	59
4.2 แผนภูมิลักษณะข้อมูลความเร็วแต่ละสถานี.....	64
4.3 แผนภูมิความสัมพันธ์ค่า TMS และ SMS แต่ละสถานีในพื้นที่ศึกษา.....	65
4.4 ข้อมูลความเร็ว.....	66
4.5 ตัวอย่างการจราจรช่วงที่มีความแตกต่างของข้อมูลในช่วงเวลาใกล้เคียงกันสูง	67
4.6 แผนภูมิปริมาณการจราจรและความเร็วแต่ละสถานี.....	68
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการจราจร.....	69
4.8 ตัวอย่างภาพการถอดข้อมูลเวลาการเดินทาง	72
4.9 ข้อมูลเวลาการเดินทางและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	73
5.1 รายละเอียดการกำหนดช่วงทาง	75
5.2 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการเดินทางบนช่วงทางในแต่ละวิธี (SMS)	76
5.3 เวลาการเดินทางบนช่วงทางที่ได้จากวิธีประมาณเวลาเดินทางแต่ละวิธี (SMS)	79
5.4 เวลาการเดินทางด้วยวิธี Instantaneous (SMS).....	82
5.5 เวลาการเดินทางด้วยวิธี TimeSlice (SMS).....	83
5.6 ผลต่างวิธีการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice (SMS)	84
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเดินทางและผลต่างของวิธีการรวม เวลาการเดินทาง (SMS)	85
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice (SMS).....	86
5.9 ผลต่างวิธีการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice (SMS) ช่วง 6:00-10:00 น.	86
5.10 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณเวลาการเดินทาง (SMS)	88
5.11 ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE ในการประมาณเวลาการเดินทาง (SMS).....	89
5.12 การจัดเรียงเวลาการเดินทางเปรียบเทียบค่า MAPE (การรวมเวลาแบบ Instantaneous-SMS).....	96
5.13 การจัดเรียงเวลาการเดินทางเปรียบเทียบค่า MAPE (การรวมเวลาแบบ Timeslice-SMS)	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Instantaneous-SMS).....	98
5.15 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Timeslice-SMS)	98
5.16 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Instantaneous-SMS-นำข้อมูล 5:00-6:00 น. ออก).....	100
5.17 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Timeslice-SMS-นำข้อมูล 5:00-6:00 น. ออก)	100
5.18 ตัวอย่างภาพในช่วงเวลาฝนตก	105
5.19 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการเดินทางบนช่วงทางในแต่ละวิธี (TMS)	106
5.20 เวลาการเดินทางบนช่วงทางที่ได้จากวิธีประมาณเวลาเดินทางแต่ละวิธี (TMS).....	108
5.21 เวลาการเดินทางด้วยวิธี Instantaneous (TMS)	109
5.22 เวลาการเดินทางด้วยวิธี TimeSlice (TMS)	110
5.23 ผลต่างวิธีการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice (TMS)	111
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเดินทางและผลต่างของวิธีการรวมเวลา การเดินทาง (TMS)	112
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการรวมเวลาการเดินทางแบบ Instantaneous และ Timeslice (TMS).....	113
5.26 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณเวลาการเดินทาง (TMS).....	115
5.27 ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE ในการประมาณเวลาการเดินทาง (TMS).....	116
5.28 การจัดเรียงเวลาการเดินทางเปรียบเทียบค่า MAPE (การรวมเวลาแบบ Instantaneous-TMS)	121
5.29 การจัดเรียงเวลาการเดินทางเปรียบเทียบค่า MAPE (การรวมเวลาแบบ Timeslice-TMS)	122
5.30 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Instantaneous-TMS).....	123

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.31 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Timeslice-TMS)	123
5.32 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Instantaneous-TMS-นำข้อมูล 5:00-6:00 น. ออก)	125
5.33 การเปรียบเทียบค่า MAPE ตามช่วงระยะเวลาการเดินทาง (การรวมเวลาแบบ Timeslice-TMS-นำข้อมูล 5:00-6:00 น. ออก).....	125
5.34 จำนวนสถานีเก็บข้อมูล – ความคลาดเคลื่อน	129
5.35 การกระจายตัวของค่าเวลาการเดินทาง	131
6.1 เวลาการเดินทางทั้งเส้นทางจากข้อมูลการคาดการณ์ทั้งหมด	134
6.2 ผลต่างวิธีการประมาณเวลาจากข้อมูลคาดการณ์ทั้งหมด	135
6.3 เวลาการเดินทางทั้งเส้นทางโดยเริ่มจากข้อมูลในช่วงเวลาก่อนหน้า	140
6.4 ผลต่างวิธีการประมาณเวลาที่เริ่มจากข้อมูลที่มีในช่วงเวลาก่อนหน้า	141