การประมาณเวลาการเดินทางบนลิงก์ด้วยลิงก์อื่นที่มีความสัมพันธ์กัน ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลแบบทันกาลบนลิงก์นั้น

นายณรงค์ อินทร์ธิรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TRAVEL TIME ESTIMATION ON A LINK WITHOUT REAL-TIME DATA BY CORRELATED LINK

Mr. Narong Intiruk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณเวลาการเดินทางบนลิงก์ด้วยลิงก์อื่นที่มีความสัมพันธ์กันในกรณีที่ไม่มีข้อมูลแบบทันกาลบนลิงก์นั้น
โดย	นายณรงค์ อินทร์ธิรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกรี สินธุภิญโญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. บุญเสริม กิจศิริกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกรี สินธุภิญโญ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัทที นิภานันท์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. วสันต์ ภัทรอธิคม)

ณรงค์ อินทร์ธิรักษ์ : การประมาณเวลาการเดินทางบนลิงก์ด้วยลิงก์อื่นที่มีความสัมพันธ์กันในกรณีที่ไม่มีข้อมูลแบบทันกาลบนลิงก์นั้น. (TRAVEL TIME ESTIMATION ON A LINK WITHOUT REAL-TIME DATA BY CORRELATED LINK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สุกรี สินธุภิญโญ, 80 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการในการประมาณเวลาการเดินทางบนส่วนย่อยของถนน (ลิงก์)โดยการใช้ข้อมูลจากลิงก์อื่น วิธีการนี้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมากโดยเฉพาะในกรณีที่ลิงก์ไม่มีข้อมูล ณ ขณะที่ต้องการคำนวณเวลาการเดินทาง วิธีการนี้ได้ใช้การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ที่ต้องการทำนายกับลิงก์อื่นๆ เราได้ทำการวัดความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ด้วยขั้นตอนวิธีการไดนามิกไทม์วอร์ปปิง (Dynamics Time Warping Algorithm) และได้นำขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด K ลำดับ (K-Nearest Neighbor) มาใช้ในการเลือกลิงก์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ เวลานั้น เราพบว่าตำแหน่งของลิงก์ วันในสัปดาห์ และช่วงเวลาที่จะทำนายการทำนายมีผลความต่อความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่างๆ

ในการทดลองได้แสดงให้ว่าเราจะสามารถทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ ขณะนั้น โดยใช้ข้อมูลจากลิงก์อื่นได้หากลิงก์เหล่านั้นเคยมีความสัมพันธ์กันในอดีต โดยถึงแม้ว่าค่าจำกัดความเร็วบนลิงก์จะมีการเปลี่ยนแปลงไปพบว่าความสัมพันธ์ของลิงก์ต่างๆ ยังสามารถนำมาใช้ในการทำนายได้เช่นเดิม นอกจากนี้วิธีการที่ได้นำเสนอยังสามารถใช้งานได้ในกรณีที่ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้า (upstream) หรือ ลิงก์ต่อหลัง (downstream) มีไม่เพียงพอ โดยผลลัพธ์การหาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่างๆ ยังสามารถนำไปใช้งานกับระบบควบคุมการจราจรได้ อย่างไรก็ตามหากเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนลิงก์ต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปเราจำเป็นจะต้องคำนวณความสัมพันธ์ใหม่อีกครั้ง

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5670183621 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS: TRAVEL TIME ESTIMATION / CORRELATION ANALYSIS / LINK / WITHOUT DATA / GPS

NARONG INTIRUK: TRAVEL TIME ESTIMATION ON A LINK WITHOUT REAL-TIME DATA BY CORRELATED LINK. ADVISOR: ASST. PROF. DR. SUKREE SINTHUPINYO, 80 pp.

This thesis presents a novel method to estimate travel time on a road segment using information from other road segments. This method is useful especially in the case that real-time traffic on such road segment is not available. The proposed method is based on the correlation between the road segment itself and the most related road segment. We measure the relation between road segments by dynamic time warping algorithm and apply the K-Nearest Neighbor algorithm to select the best neighbor segment to estimate the travel time on the target road segment. We found that the best attributes set that can measure the correlation between road sections consists of location of the road segments, day of the week, and current time.

The experiment results show that we can estimate the travel time on a target link by some another link, if those links have distance correlation in the past. Even though the speed limit on the link is changed, the correlation can still be useful. Moreover, our proposed method can work in the case that the data from upstream link or downstream link are not enough. In addition, the correlation results can be used to control the traffic system in the area where the data exist. However, we will need to find the correlation again if the condition on the road has changed.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีไม่ได้หากขาดบุคคลที่ค่อยให้คำปรึกษาและแนะนำให้จุดที่พกพร่องต่างๆ ดังนั้นจึงขอขอบพระคุณท่านอาจารย์สุกรี สินธุภิญโญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยแนะนำชี้แนะแนวทางการทำวิจัยที่ถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งทำให้สามารถทำงานวิจัยได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และคอยให้กำลังใจเสมอๆ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ ดร.วสันต์ ภัทรอธิคม หัวหน้าห้องปฏิบัติการการประเมินและรายงานสภาพการจราจร ที่เสียสละเวลาเพื่อให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการทำวิจัยทั่วไปและการทำวิจัยในด้านของการประมาณเวลาการเดินทาง อีกทั้งยังคอยให้สนับสนุนในเรื่องของข้อมูลจีพีเอส (GPS) ข้อมูลถนนแบบดิจิทัลและอัลกอริทึมแมปแมตชิง (Map Matching Algorithm) ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้โอกาสให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และคอยให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอดจนผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จตามความตั้งใจ และขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์ 2
1.3 วัตถุประสงค์ 2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.7 เค้าโครงวิทยานิพนธ์ 3
บทที่ 2 5
2.1 การประมาณเวลาการเดินทาง 5
2.1.1 วิธีการวัดค่าเวลาการเดินทาง 5
2.1.2 เทคนิคและปัญหาการทำนายเวลาการเดินทาง 6
2.2 การวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidian distance) 7
2.3 การวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิง 7
2.1.1 หลักการของไดนามิกไทม์วอร์ปปิง 8
2.4 แมปแมตชิง (Map Matching) 11
2.5 โหนดเอ็กซ์แอล (NodeXL) 12
2.5.1 การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบความใกล้ชิดของการเป็นศูนย์กลาง (closeness centrality) 12
2.5.2 การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบการคั่นกลางของความเป็นศูนย์กลาง (betweenness centrality) 13

2.5.3 การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบระดับการเป็นศูนย์กลาง (degree centrality) 13
2.6 ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด (Nearest Neighbor Algorithm) 14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.8 สรุป 16
บทที่ 3 17
3.1 การเตรียมข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ 17
3.1.1 การจับคู่ข้อมูล GPS กับข้อมูลลิงก์ 18
3.1.2 การคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ 18
3.2 การจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์เชิงพื้นที่ 20
3.3 การวัดระยะความสัมพันธ์เชิงความเร็วเฉลี่ย 21
3.3.1 การวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidian distance) 21
3.3.2 การวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิง 22
3.4 โครงสร้างข้อมูลผลลัพธ์ 23
3.5 การเลือกลิงก์ที่เหมาะสมในการทำนาย 24
3.6 การทดสอบความสัมพันธ์ลิงก์และการวัดผลความคลาดเคลื่อน 24
บทที่ 4 27
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง 27
4.1.1 ข้อมูลแผนที่ดิจิทัลที่ใช้ในการทดลอง 28
4.1.2 ข้อมูลที่ใช้เรียนรู้ความสัมพันธ์ 31
4.1.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ 35
4.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์และการทำนายเวลาการเดินทาง 37
4.2.1 การทำนายการเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลในอดีต 37
4.2.2 การทำนายการเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์รอบข้าง 40
4.2.3 การทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กัน 42
4.2.3.1 แบบที่หนึ่งพิจารณาความสัมพันธ์แบบตลอดทั้งวัน 43
4.2.3.1.1 การทดลองทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์มากกว่า 1 ลิงก์ 48

หน้า

4.2.3.2 แบบที่สองพิจารณาความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา 52
4.3.2.3 การทดสอบและประเมินผลการทำนายเวลาด้วยวิธีการแบบ K-Fold 57
4.3 สรุป 69
บทที่ 5 70
5.1 บทสรุป 70
5.2 ข้อเสนอแนะ 71
รายการอ้างอิง 72
ภาคผนวก 73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 80

สารบัญตาราง

หน้า

3.1 ตัวอย่างตารางข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ของช่วงเวลาต่าง ๆ.....20
4.1 รายละเอียดข้อมูล GPS ที่ใช้เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของลิงก์.....32
4.2 รายละเอียดข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์.....33
4.3 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการทำนายเวลาการเดินทาง.....36
4.4 ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในอดีต.....38
4.5 ผลการทดลองคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลในอดีต.....39
4.6 ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง ที่ใช้ในการทดลองทำนายจากลิงก์รอบข้าง....40
4.7 ผลการทดลองคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์รอบข้าง.....41
4.8 ผลการทดลองการทำนายเวลาการเดินทางด้วยลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดแบบพิจารณาตลอดทั้งวัน..... 47
4.9 ผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการทำนายกับจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนาย แบบพิจารณาตลอดทั้งวัน.....51
4.10 ผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการทำนายกับจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนายแบบพิจารณาเป็นช่วงเวลาย่อย.....56
4.11 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาการเดินทางด้วยวิธีการต่าง ๆ.....57
4.12 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 1.....59
4.13 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 2.....61
4.14 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3.....63
4.15 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3.....65
4.16 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3.....67
4.17 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3.....68

สารบัญรูปภาพ

หน้า

2.1 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลด้วยระบบ AVI (Automatic Vehicle Identification).....6
2.2 ลักษณะการวัดระยะโดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปปิง.....8
2.3 ตัวอย่างเมทริกซ์ค่าใช้จ่ายในบริเวณใกล้เคียงหลังจากการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันก์การวัดระยะแบบแมนฮัตตัน.....9
2.4 ลักษณะของเส้นทางการบิดเบือนตามเงื่อนไขในวัดระยะโดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปปิง.....10
2.5 เส้นทางการบิดเบือนที่ดีที่สุดระหว่างลำดับข้อมูล X และ Y.....10
2.6 ตัวอย่างการจับคู่ข้อมูลตำแหน่งโดยประมาณลงบนถนนด้วยแมปแมตชิง.....11
2.7 ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบความใกล้ชิดของการเป็นศูนย์กลาง.....12
2.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบการคั่นกลางของความเป็นศูนย์กลาง.....13
2.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบระดับการเป็นศูนย์กลาง.....14
2.10 ตัวอย่างการใช้ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดในการจัดหมวดหมู่ข้อมูล.....15
3.1 ภาพรวมกระบวนการทำงานของวิธีการที่นำเสนอ.....17
3.2 โครงการการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของลิงก์.....18
3.3 กระบวนการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ.....19
3.4 ตัวอย่างการจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์ในเชิงพื้นที่.....20
3.5 ตัวอย่างการวัดระยะข้อมูลโดยใช้การวัดระยะแบบยุคลิด.....21
3.6 ตัวอย่างการวัดระยะข้อมูลโดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปปิง.....22
3.7 ลักษณะการกำหนดเงื่อนไขในการวัดระยะด้วยไดนามิกไทม์วอร์ปปิง.....23
3.8 เวกเตอร์โครงสร้างผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของลิงก์ต่าง ๆ ต่อ 1 ลิงก์ใด ๆ.....23
3.9 การเลือกลิงก์ที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการทำนายเวลาการเดินทาง.....24
3.10 ตัวอย่างการสุ่มทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์.....25
4.1 กระบวนการเก็บข้อมูล GPS ที่ใช้ในการทดลอง.....28
4.2 ตัวอย่างการสร้างลิงก์จากข้อมูลจุด GPS.....29
4.3 ตัวอย่างแผนที่ดิจิทัล.....29
4.4 ลักษณะเส้นทางที่ทำการทดลองบน Google Maps.....30
4.5 ลักษณะเส้นทางที่ทำการทดลองบนแผนที่ดิจิทัล.....30
4.6 โครงสร้างข้อมูล GPS ที่ใช้เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของลิงก์.....31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

4.7 กราฟจำนวนข้อมูล GPS ในช่วงวันที่ 01/03/2556 – 31/03/2556 ที่ทำการทดลอง.....32
4.8 กราฟความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ณ ช่วงเวลา 08.00 น. – 20.00 น.....34
4.9 ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางบลิงก์ที่ต้องการทดสอบ.....35
4.10 กราฟความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางบนลิงก์ที่ทำการทดสอบ.....36
4.11 กราฟเวลาที่ใช้ในการเดินทางบนลิงก์ที่ทำการทดสอบ.....37
4.12 กราฟความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ที่ต้องการทำนายในอดีด.....37
4.13 กราฟผลการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จากข้อมูลในอดีต.....38
4.14 กราฟผลการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจากลิงก์รอบข้าง.....42
4.15 ผลการวัดระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ที่มีความระยะความสัมพันธ์ใกล้สุด.....43
4.16 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันใกล้สุด.....46
4.17 กราฟผลการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในเดินทางจริง.....48
4.18 เครือข่ายความสัมพันธ์ของลิงก์ 10 ลำดับแรกของลิงก์ต่าง ๆ.....48
4.19 กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดในการทำนายเวลาการเดินทางเมื่อปรับค่าจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนาย ด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์แบบตลอดทั้งวัน.....51
4.20 กราฟเครือข่ายความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่างๆในช่วงเวลา 15.00 – 16.00 น.....52
4.21 กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาในการเดินทางเมื่อปรับค่าจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนาย ด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์แบบแบ่งช่วงเวลาย่อย.....56
4.22 กราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ด้วยวิธีต่าง ๆ.....57
4.23 กราฟข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของFold-1...58
4.24 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 1.....59
4.25 กราฟข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของFold-2...60
4.26 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 2.....61
4.27 กราฟข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของFold-3...62
4.28 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3.....63
4.29 กราฟข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของFold-4...64
4.30 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 4.....65

4.31 กราฟข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของFold-5...66
4.32 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 5.....67
4.33 กราฟค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ความผิดพลาดในการคำนวณเวลาการเดินทางด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งหมด 5 fold.....68

บทที่ 1

บทนำ

การวิจัยและพัฒนาด้านการประมาณเวลาการเดินทางมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ในปัจจุบันมีนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางให้แก่ผู้ใช้รถบนท้องถนนออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นส่วนทำให้เทคโนโลยีทางด้านระบบขนส่งมีความทันสมัยมากขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ได้นำเสนอวิธีการเพื่อมีส่วนช่วยให้งานวิจัยด้านการประมาณการเดินทางให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยเนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ได้ศึกษา จากนั้นกล่าวถึง แนวทางในการศึกษาวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์รวมถึงได้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวเค้าโครงวิทยานิพนธ์

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาจราจรติดขัดบนท้องถนนเป็นปัญหาที่สำคัญ แต่การแก้ไขให้หายขาดนั้นเป็นไปได้ยาก อย่างไรก็ตาม ปัญหานี้ควรต้องได้รับการบรรเทา เพราะมีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ ทำให้เสียเวลา ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง เพิ่มขึ้นและการสิ้นเปลืองพลังงานที่มากขึ้น ปัจจุบันมีศึกษาวิจัยวิธีการนำเทคโนโลยีมาช่วยเพื่อบรรเทาปัญหานี้ โดยหนึ่งในวิธีการบรรเทาปัญหาคือ ระบบการประมาณเวลาการเดินทาง (Travel-Time Estimation System) ซึ่งจะช่วยประมาณเวลาการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งด้วยการวิเคราะห์สภาพการจราจร ณ ขณะนั้นเพื่อช่วยประกอบการตัดใจเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทาง

กรุงเทพมหานครเป็นหนึ่งเมืองที่ประสบปัญหาการจารจรอย่างมาก ในวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2555 สำนักข่าวบีบีซี (BBC) ได้เผยผลสำรวจเมืองที่เกิดปัญหาการจารจรมากที่สุดในโลกพบว่ากรุงเทพมหานครเป็นเมือง อันดับ 1 ใน 10 ของโลกที่ประสบปัญหาจราจรติดขัดอย่างมาก ภาครัฐมีความพยายาม ในการบรรเทาด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ป้ายจราจรอัจฉริยะ กล้องตรวจสอบปริมาณรถบริเวณแยกสำคัญ และในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนา ระบบประมาณเวลาการเดินทาง (Travel-Time Estimation System) ซึ่งได้ใช้ข้อมูลจากรถแท็กซี่ที่วิ่งให้บริการบนถนนเส้นทางต่าง ๆ ภายในกรุงเทพมหาครฯและปริมณฑลมาใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณเพื่อประมาณเวลาการเดินทางบน

ถนนต่าง ๆ แต่ในการวิจัยพบปัญหาว่าระยะห่างของข้อมูลมีความไม่คงที่กล่าวคือข้อมูลจะมีความห่างมากเกินไปเมื่อสภาพการจราจรคล่องตัวทำให้ลิงก์ (Link) อาจจะไม่มีข้อมูลตกอยู่เป็นผลให้ไม่สามารถคำนวณ เพื่อประมาณเวลาการเดินทางในส่วนนั้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่ารถแท็กซี่ในประเทศไทยมีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ใน ช่วง 30 วินาที ถึง 3 นาทีต่อ 1 ข้อมูล ซึ่งสามารถทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวได้เช่นกัน นอกจาก นี้อีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญคือในเวลาหนึ่ง ๆ รถแท็กซี่จะไม่ได้วิ่งให้บริเวณครอบคลุมถนนทั้งหมดทำให้เกิดปัญหาในการคำนวณเวลาเดินทางบนลิงก์บนเส้นทางนั้น ๆ

จากปัญหาที่ได้กล่าวไปข้างต้นเป็นผลให้ไม่สามารถคำนวณเพื่อประมาณเวลาการเดินทางในลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลได้จึงทำให้ภาพรวมของการประมาณเวลาการในการเดินทางบนถนนเส้นนั้น ๆ เกิดความผิดพลาดอย่างมากเป็นผลให้ไม่ สามารถนำระบบดังกล่าวไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหานี้โดยการ ศึกษาและจัดกลุ่มความสัมพันธ์ลิงก์ในเชิงของความเร็ว เพื่อให้สามารถนำข้อมูลจากลิงก์เดียวไปใช้ทำนายในลิงก์อื่นได้โดยสมมติฐานของงานวิจัยนี้คือหากลิงก์ใด ๆ ณ บริเวณเดียวกันมีความเร็วบนลิงก์ในอดีตที่ใกล้เคียงกันมาโดยตลอด จะมีโอกาสสูงมากที่ในปัจจุบันและอนาคตจะมีความเร็วที่ใกล้เคียงกันเช่นเคยในสถานะการณ์ปกติ

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีการประมาณเวลาการเดินทางบนลิงก์ในกรณีที่ลิงก์นั้นไม่สามารถประมาณเดินเวลาการได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลแบบทันกาล ด้วยจะนำข้อมูลจากลิงก์อื่นที่เหมาะสมที่มีข้อมูล ณ เวลาการนั้นมาใช้การในการทำนาย การเลือกลิงก์ที่เหมาะสมได้ใช้แนวคิดการหาความสัมพันธ์มาวิเคราะห์เพื่อทำให้สามารถเลือกได้อย่างเหมาะสม โดยได้นำไดนามิกไทม์วอร์ปปิง (Dynamic Time Warping) มาประยุกต์ใช้ในการวัดระยะความสัมพันธ์ในเชิงความเร็วเฉลี่ย โดยขั้นตอนและวิธีการโดยละเอียดจะกล่าวในบทที่ 3 อีกครั้ง

1.3 วัตถุประสงค์

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลิงก์เพื่อทำให้ระบบประมาณเวลาการเดินทางบนลิงก์สามารถประมาณเวลาการ เดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ เวลาปัจจุบันได้ ด้วยการเลือกข้อมูลบนลิงก์ที่เหมาะสมมาใช้ในการทำนาย

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความเร็ว ตำแหน่ง และเวลาจากรถแท็กซี่ภายในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งปัจจุบันมีการเก็บข้อมูลโดยบริษัทเจ้าของแท็กซี่และมีการรวบรวมโดยห้องวิจัยระบบจราจรอัจริยะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และในงานวิจัยจึงมีขอบเขตดังนี้

1. ศึกษาความสัมพันธ์เชิงความเร็วของลิงก์เฉพาะช่วงเวลา 08.00 ถึง 20.00 น. ระหว่างวันจันทร์ถึงศุกร์

2. ศึกษาความสัมพันธ์เชิงความเร็วเฉลี่ยของลิงก์โดยไม่ครอบคุมถึงกรณีที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น การปิดถนน หรือการเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่มีผลทำให้ความสัมพันธ์ของลิงก์มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยด้านการประมาณเวลาการเดินทาง
2. ศึกษาและเตรียมข้อมูลลิงก์เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลเชิงพื้นที่
3. ศึกษาและทดลองการจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์เชิงพื้นที่
4. ศึกษาและเตรียมข้อมูลความเร็วของรถที่เคยวิ่งให้บริการบนลิงก์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มความสัมพันธ์เชิงความเร็วบนลิงก์
5. ศึกษาและทดลองวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงความเร็ว
6. ทดลองประมาณเวลาการการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลและปรับปรุงการจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อให้สามารถประมาณเวลาได้ดียิ่งขึ้น
7. เขียนเอกสารวิชาการเพื่อเผยแพร่งานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลงานวิจัยชิ้นนี้คาดว่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงทั้งในด้านของการเพิ่มประสิทธิภาพและการนำไปประยุกต์ใช้งานที่สำคัญได้ดังนี้

1. สามารถบอกได้ว่าควรนำข้อมูลจากลิงก์ใดบนถนนไปใช้ทำนายลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ได้อย่างเหมาะสม ทำให้สามารถประมาณเวลาเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลนั้นได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

2. ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลิงก์สามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนการจัดการสภาพการจราจรได้ในเส้นทางต่าง ๆ ได้อย่างดียิ่ง

1.7 เค้าโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 5 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่เป็นมาและความสำคัญของปัญหา แนวทางในการศึกษาวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของงานวิจัยประกอบด้วย การวัดระยะข้อมูลแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิง การคำนวณค่าเฉลี่ยแบบเส้นเฉลี่ย (moving average) การจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ nodeXL และขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor Algorithm) นอกจากนี้ได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ กระบวนการหาความสัมพันธ์เชิงความเร็วเฉลี่ยของลิงก์ การปรับวิธีการวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิงให้เหมาะสมกับการใช้งาน วิธีการประมาณเวลาการเดินทาง และการวิธีการประเมินผล

บทที่ 4 กล่าวถึงข้อมูล GPS ที่ใช้ในการทดลอง ผลทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่าง ๆ และผลการทดสอบประมาณเวลาการเดินทาง

บทที่ 5 บทสรุป กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

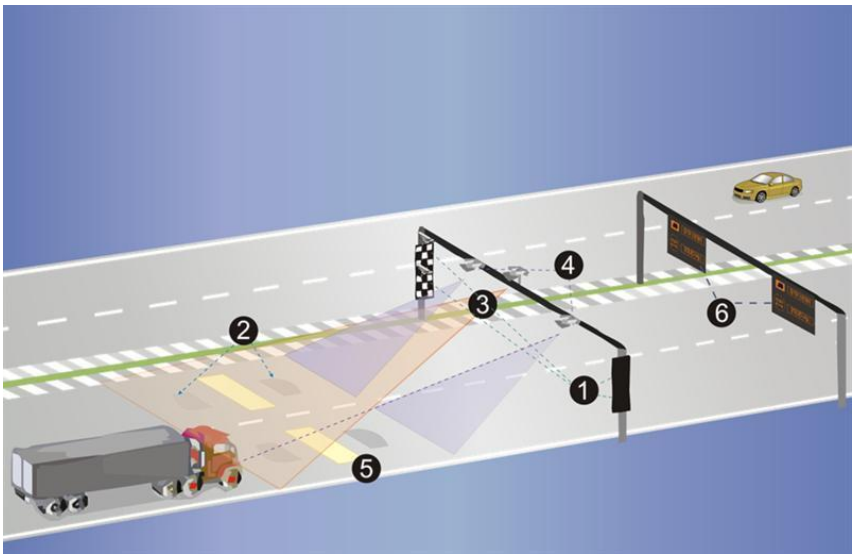
2.1 การประมาณเวลาการเดินทาง

การประมาณเวลาการเดินทางเป็นการประมาณเวลาที่ใช้เดินทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นกับสภาพแวดล้อมระหว่างสองจุดนั้นเช่น ผู้คน รถ หรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้นแม้ว่าจะเดินทางบนเส้นทางเดิมด้วยวิธีการเดิมก็อาจจะใช้เวลาการเดินทางที่แตกต่างกันได้**[1]**

2.1.1 วิธีการวัดค่าเวลาการเดินทาง

ปัจจุบันวิธีการวัดค่าเวลาการเดินทางสามารถแบ่งได้สองประเภทหลักคือ วิธีการการวัดค่าเวลาเดินทางแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ซึ่งดังนี้

- การวัดค่าเวลาการเดินทางแบบอยู่กับที่ เป็นการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของ ยานพาหนะตามท้องถนนหรือเส้นทางต่าง ๆ ซึ่งอาจจะตรวจสอบจากภาพหรือเสียง โดยการวัดค่าเวลาการเดินทางทำโดยการตรวจสอบยานพาหนะ ณ ตำแหน่งที่ติดต่อกันใด ๆ ที่ติดตั้งอุปกรณ์ไว้เมื่อพบว่ามียาน พาหนะปรากฏ แล้วก็จะนำเวลาที่พบยานพาหนะ ณ บริเวณสองจุดนั้นมาคำนวณหาค่าเวลาการเดินทางระหว่างสองบริเวณนั้น ๆ ทั้งสองได้ โดอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในงานลักษณะนี้คือ AVI (Automatic Vehicle Identification) คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบและระบุยานพาหนะแบบอัตโนมัติซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 เป็นต้น



http://media.brintex.com/Occurrence/27/ShowcaseItem/834/item-fullscreen.jpg
รูปที่ 2.1: ตัวอย่างการเก็บข้อมูลด้วยระบบ AVI (Automatic Vehicle Identification)

- การวัดค่าแบบเคลื่อนที่ เป็นการวัดค่าเวลาการเดินทางจากระหว่างสองจุดใด ๆ โดยจะไม่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบไว้ตามถนนแต่จะใช้การตรวจสอบตำแหน่งและเวลา ณ ตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะแต่ละคันเพื่อใช้อ้างอิงในการคำนวณเวลาการเดินระหว่างสองจุดใด ๆ ได้ ซึ่งปัจจุบัน GPS ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการใช้งานในลักษณะนี้เพราะนอกจากจะสามารถบันทึกเวลาได้แล้วยังสามารถทราบถึงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ หรือแม้กระทั่งทิศการการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ด้วย

2.1.2 เทคนิคและปัญหาการทำนายเวลาการเดินทาง

เทคนิคการทำนายเวลาการเดินทางแบ่งเป็นสองจำพวกใหญ่คือเทคนิคการทำนายเวลาการเดินทางด้วยการถดถอย (regression) และเทคนิคอนุกรมเวลา (time series) มีการใช้ข้อมูลในเวลาการเดินทางในอดีตมาวิเคราะห์ โดยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ทฤษฎีคลุมเครือ (Fuzzy Theory) หรือ ทฤษฎีทางสถิติต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ เพื่อสร้างโดเมลการทำนายเวลาการเดินทางปัญหาของการทำนายเวลาการเดินทางที่สำคัญคือข้อมูลที่ต้องใช้ในการทำนายเวลาการเดินทางยังกระจายไม่ครอบคลุมถนนทุกเส้นทางในช่วงเวลาต่าง ๆ นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการทำนายเวลาการเดินทางคือสภาพแวดล้อมของถนนที่มีความหลากหลายทำให้ไม่

สามารถสร้างโมเดลที่การทำนายที่ครอบคลุมทั้งหมดได้ อีกทั้งสภาพแวดล้อมในสถานที่ต่างก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดเวลา

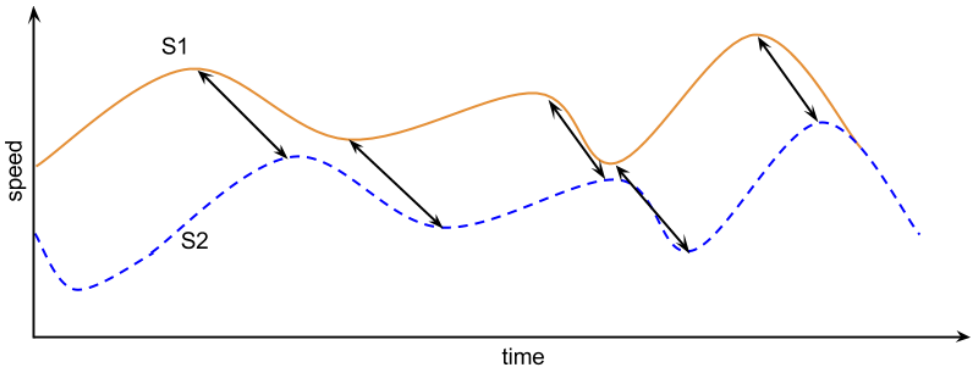
2.2 การวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidian distance)

การวัดระยะแบบยุคคลิดคือการวัดระยะห่างระหว่างสองจุดข้อมูลในสเปซด้วยการประยุกต์ใช้จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส การวัดระยะแบบยุคลิดสามารถวัดได้กับขนาดของข้อมูลแบบหลายมิติ ระยะห่างระหว่างจุดที่วัดได้แสดงถึงความคล้ายกันของข้อมูลทั้งสองจุดโดยหากข้อมูลมีความคล้ายกันมากระยะห่างระหว่างจุดจะมีค่าน้อยและในทางกลับกันหากข้อมูลมีความแตกต่างกันมากระยะห่างระหว่างสองจุดจะมีค่ามากตามลำดับ ปัจจุบันมีการนำมา ประยุกต์ใช้กันการวัดระยะแบบยุคคลิดจำนวนมากอาทิเช่น การจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะข้อมูลที่คล้ายกัน (data clustering) เป็นต้น โดยการวัดระยะแบบยุคลิกสามารถวัดได้ดังสมการที่ 1 ซึ่ง x และ y เป็นชุดข้อมูลที่มีขนาด n มิติเท่านั้น

$$\mathrm{d}(\mathrm{x},\mathrm{y}) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \cdots + (x_n - y_n)^2} \qquad (1)$$

2.3 การวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิง

ไดนามิกไทม์วอร์ปปิงเป็นวิธีการวัดความคล้ายกันของลำดับข้อมูลสองชุดโดยทำการค้นหาแนวการบิดเบือน (warp) ที่จะทำให้ข้อมูลทั้งสองชุดมีความคล้ายกันมากที่สุด[7] โดยข้อมูลที่นำมาพิจารณา ส่วนมากจะขึ้นกับเวลาดังแสดง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะทำให้การวัดระยะโดยไดนามิกไทม์วอร์ปปิงจะช่วยให้สามารถวัดระยะของข้อมูลที่เกิดขึ้น ในเวลาใกล้เคียงกันได้ โดยการนำมา ใช้ในงานวิจัยนี้จะทำให้สามารถวัดความเร็วบนลิงก์ ณ เวลาหนึ่งเทียบกับลิงก์ อื่นในอีกเวลาหนึ่งได้ ทำให้สามารถทราบได้ว่าลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันนั้นมีความสัมพันธ์กัน ณ เวลาอื่นใดบ้างนอกจากในช่วงเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.2: ลักษณะการวัดระยะโดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปปิงเพื่อตรวจสอบความคล้ายกันของลำดับข้อมูล S1 และ S2 โดยสังเกตุได้ว่า S2 และ S2 มีลักษณะกราฟที่คล้ายกันแต่ S2 จะมีการเลื่อนในแกนเวลา ดังนั้นหากใช้วิธีการวัดระยะแบบโดยตรงจะทำให้ได้ผลว่าลำดับข้อมูล S1 และ S2 ไม่มีความคล้ายกันแต่หากใช้การวัดแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิงจะทำให้สามารถตรวจสอบได้ผลว่า S1 และ S2 คล้ายกัน

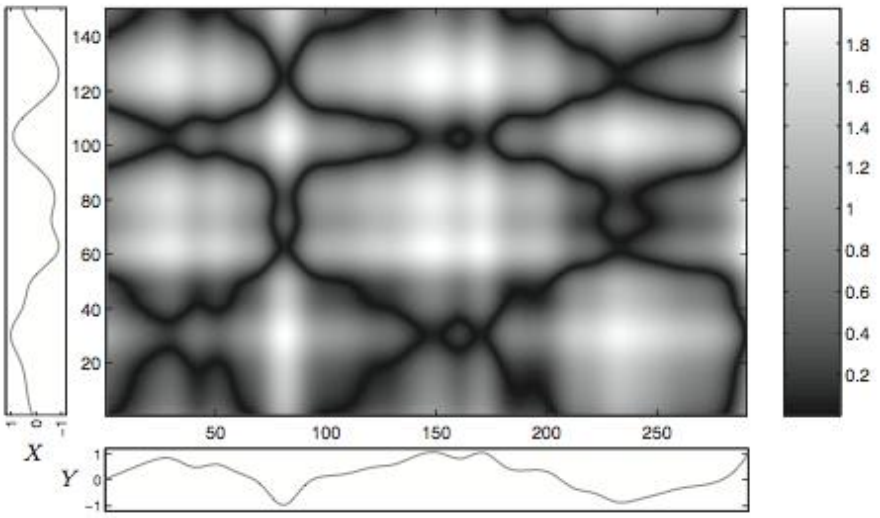
2.1.1 หลักการของไดนามิกไทม์วอร์ปปิง

วัตถุประสงค์ของการใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปปิงคือเพื่อเปรียบเทียบลำดับข้อมูล X = $\{x_1,x_2,x_3,.....x_N\}$ โดยที่ N คือขนาดของเซตข้อมูล X และลำดับข้อมูล Y = $\{y_1,y_2,y_3,.....y_M\}$ โดยที่ M คือขนาด ของเซตข้อมูล Y โดยกำหนดให้ F เป็นพื้นที่คุณลักษณะ (feature space) ที่จะพิจารณาค้นหา แนวการบิดเบือนที่จะทำให้ข้อมูลทั้งสองชุดมีระยะที่คล้ายกันมากที่สุดแล้ว x_n , y_m ϵ F สำหรับ n $\in$ [1 : N] และ m $\in$ [1 : M] การค้นหาแนวการบิดจำเป็นจะต้องคำนวณระยะห่างระยะข้อมูลใน Y และ X ทั้งหมดก่อน โดยจะเรียกระยะห่างของแต่ละคู่ลำดับว่าค่าใช้จ่ายในบริเวณใกล้เคียง (local cost) ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 2

$$c : F \times F \longrightarrow R \geq 0 \qquad (2)$$

โดยที่ c คือ ฟังก์ที่ใช้ในการวัดระยะระหว่างข้อมูลในแต่ละลำดับ เช่น ฟังก์ชันการวัดระยะแบบแมนฮัตตัน (Manhattan distance) เป็นต้น

จากฟังก์ชันนี้หาก c(x,y) มีค่าน้อยแสดงว่า x และ y มีความคล้ายกันมากและหาก c(x,y) มีค่าน้อยแสดงว่า x และ y มีความแตกต่างกันมาก



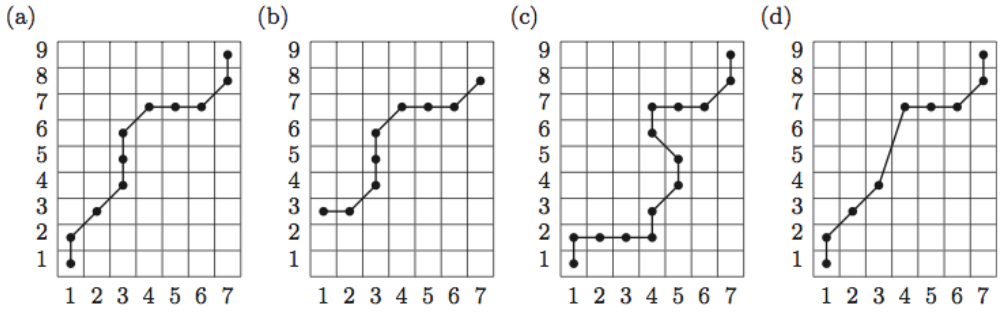
รูปที่ 2.3: ตัวอย่างเมทริกซ์ค่าใช้จ่ายในบริเวณใกล้เคียงหลังจากการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันก์การวัดระยะแบบแมนฮัตตันของแต่ละคู่ลำดับในเซตข้อมูลโดยสีเข้มแสดงถึงค่าใช้จ่ายที่น้อยและสีอ่อนแสดงถึงค่าใช้จ่ายมาก

เมื่อได้เมทริกซ์ค่าใช้จ่ายในบริเวณใกล้เคียงแล้วต่อไปคือการค้นหาเส้นทางการบิดเบือน (warpping path) เพื่อที่จะ ทำให้สามารถวัดระยะของลำดับข้อมูลทั้งสองให้มีระยะคล้ายกันมากที่สุด กำหนดให้ p คือเซตของเส้นทางบิดเบือนโดยที่ $p_l = (n_l,m_l) \in [1 : N]\times[1 : M]$ สำหรับ $l \in [1 : L]$ โดยมีเงื่อนไข 3 อย่างดังนี้

1. เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) : $p_1 = (1, 1)$ และ $p_L = (N, M)$
2. เงื่อนไขทางเดียว (Monotonicity condition) : $n_1 \le n_2 \le \dots \le n_L$ และ $m_1 \le m_2 \le \dots \le m_L$
3. เงื่อนไขขนาดการเดิน (step size condition) : $p_l + 1 - p_l \in \{ (1, 0), (0, 1), (1, 1) \}$ และ $l \in [1 : L - 1]$

โดยค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิดเบือนผ่านเส้นทาง p จะมีค่าเป็นผลรวมของค่าค่าใช้จ่ายในบริเวณใกล้เคียงของคู่ลำดับ (n_l ,m_l) ใด ๆ บน p ดังสมการ 3

$$c_p(X,Y) := \sum_{l=1}^{L} c_p(n_l , m_l) \quad (3)$$

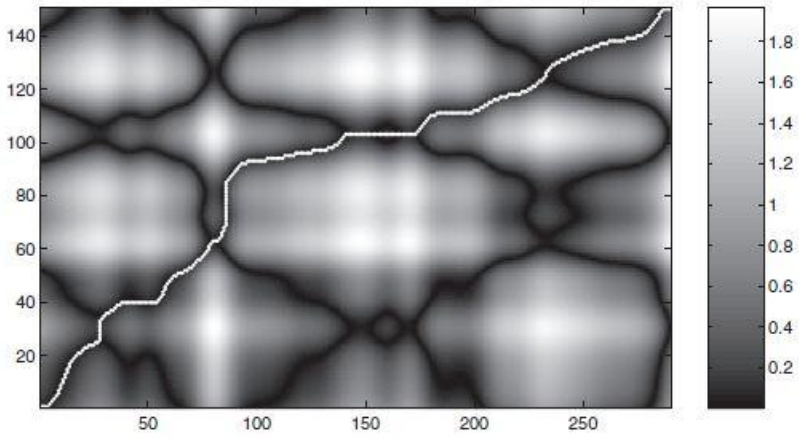


รูปที่ 2.4: ลักษณะของเส้นทางการบิดเบือนตามเงื่อนไขข้อ 1 ถึง 3 โดย (a) คือการบิดเบือนตามเงื่อนไขทุกข้อ (b) คือการบิดเบือนตามเงื่อนไขยกเว้นข้อ 1 (c) คือการบิดเบือนตามเงื่อนไขยกเว้นข้อ 2 และ (d) คือการบิดเบือนตามเงื่อนไขยกเว้นข้อ 3

อย่างไรก็ตามแม้เส้นทางที่สามารถบิดเบือนมีได้มากกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.4 แต่การใช้งานจะเลือกเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดแทนด้วย p* ดังนั้นค่าระยะห่างระหว่างชุดลำดับข้อมูล X และ Y ที่วัดด้วยวิธีไดนามิกไทม์วอร์ปปิงเขียนได้ ดังสมการที่ 4 ซึ่งจากผลดังกล่าวจะทำให้ได้เส้นทางการบิดเบือนที่ดีที่สุดที่จะทำให้ระยะห่างระหว่างลำดับข้อมูล X และ Y มีค่าน้อยที่สุดแสดงดังรูปที่ 2.5

$$DTW(X,Y) = c_{p^*}(X,Y) \tag{4}$$

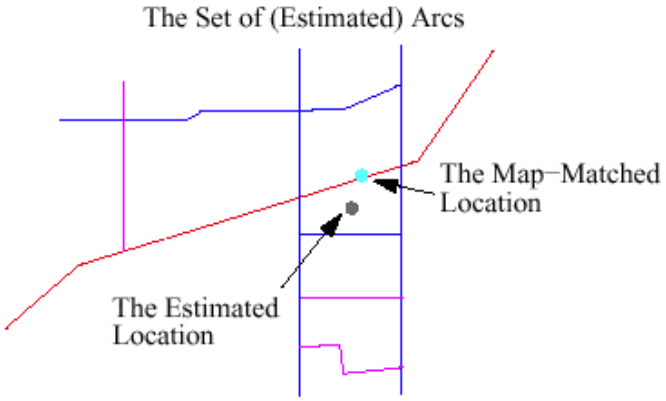
$$= \min\{ c_p(X,Y) \mid p \text{ เป็นเส้นทางบิดเบือน } \}$$



รูปที่ 2.5: เส้นทางการบิดเบือนที่ดีที่สุดระหว่างลำดับข้อมูล X และ Y ซึ่งจะทำให้การวัดระยะห่างของชุดข้อมูล X และ Y ได้ค่าน้อยที่สุด

2.4 แมปแมตชิง (Map Matching)

เนื่องจากอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง (GPS) ในปัจจุบันยังมีการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของรถ ซึ่งค่าระยะความผิดพลาดในระบุตำแหน่งจะขึ้นกับประสิทธิ์ภาพของอุปกรณ์รับสัญญาณ แมปแมตชิงเป็นขั้นตอน วิธีการ (algorithm) เพื่อทำให้สามารถระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงของรถมากขึ้น หลักการทำงานของแมปแมตชิงคือจะทำการจับคู่ (match) ตำแหน่งที่ได้รับด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณเข้ากับส่วนย่อยของถนน (road segment) ซึ่งโดยส่วนมากตำแหน่งที่ได้รับมาด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณจะปรากฏอยู่บริเวณด้านข้างของถนน ดังนั้นเมื่อสามารถจับคู่กับส่วนย่อยของถนนในบริเวณนั้นได้ก็จะทำให้ได้ตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากขึ้น โดยในบางครั้งอาจจะมีส่วนย่อยของถนน ณ บริเวณนั้นมากกว่าหนึ่งข้อมูลที่มีโอกาสจับคู่กับตำแหน่งที่รับเข้ามาดังรูปที่ 2.6 ดังนั้น เพื่อที่จะทำให้สามารถเลือกส่วนย่อยของถนนที่เหมาะสมในการจับคู่มากที่สุดจึงต้องพิจารณาตัวแปรในหลายด้านเช่น ทิศทางการเคลื่อนที่ของตำแหน่ง ตำแหน่งที่ได้รับก่อนหน้า และโครงสร้างของเครือข่ายของถนน ณ บริเวณ ที่พิจารณาเป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะใช้แมปแมตชิงเพื่อเตรียมข้อมูลความเร็วของรถที่เคยวิ่งให้บริการบนลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ



https://users.cs.jmu.edu/bernstdh/web/common/lectures/images/probstmt2.gif

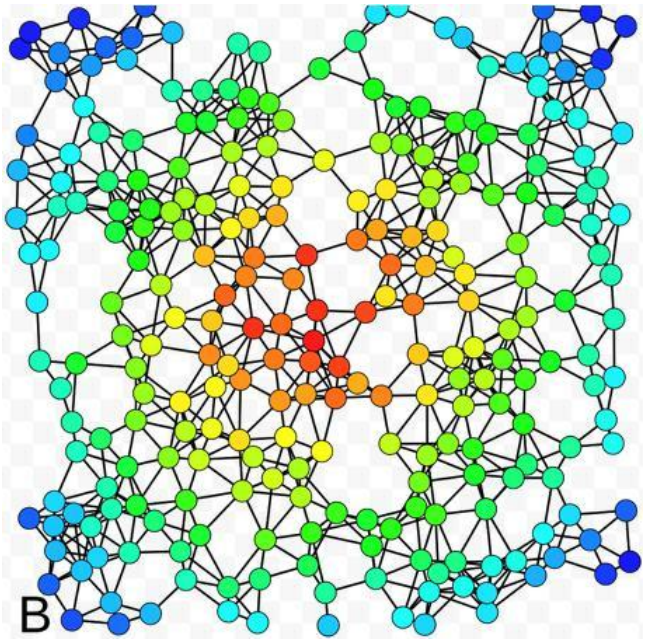
รูปที่ 2.6: ลักษณะตำแหน่งโดยประมาณที่ได้รับจากอุปกรณ์รับสัญญาณ (Estimated Location) และตำแหน่งที่ถูกจับคู่ด้วยแมปแมตชิง (Matched Location)

2.5 โหนดเอ็กซ์แอล (NodeXL)

โหนดแอ็กซ์แอลเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นเครือข่ายได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มนักวิจัยชื่อ “Social Media Research Foundation” ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยชั้นนำของโลกหลายแห่งและบริษัทไมโครซอฟท์ ในปัจุบันได้รับความนิยมในการใช้เพื่อแสดงภาพรวมและวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ของบุคคลในเครือข่ายสังคมออนไลน์ (social network) อย่าง Facebook และ Twitter เป็นต้น โหนดแอ็กซ์แอลมีฟังก์ชันที่สามารถใช้งานได้หลากหลายอาทิเช่น การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่าย (centrality) โดยสามารถวัดด้วยสามแบบดังนี้

2.5.1 การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบความใกล้ชิดของการเป็นศูนย์กลาง (closeness centrality)

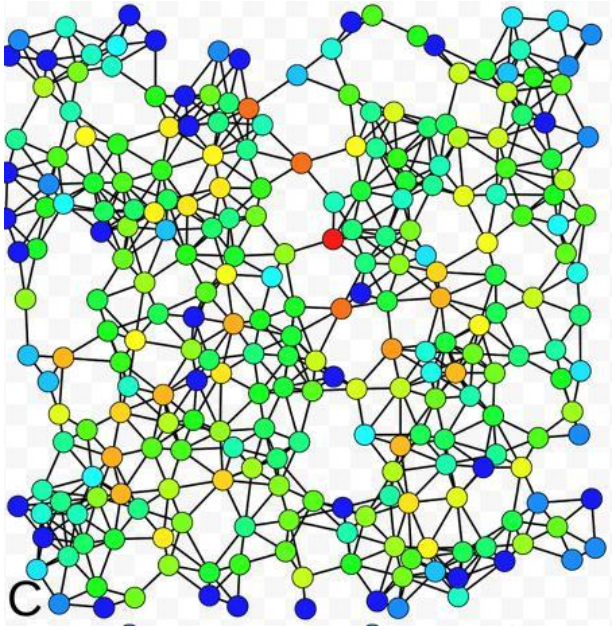
การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบความใกล้ชิดของการเป็นศูนย์กลางจะทำการหาผลรวมของระยะห่างของโหนดตนเองกับ โหนดเพื่อนบ้าน (neighbors node) ในเครือข่ายทั้งหมด จากนั้นจะเลือกโหนดที่มีผลรวมระยะห่างน้อยที่สุดเป็นโหนดที่สำคัญที่สุด [8]



รูปที่ 2.7: ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบความใกล้ชิดของการเป็นศูนย์กลาง

2.5.2 การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบการคั่นกลางของความเป็นศูนย์กลาง (betweenness centrality)

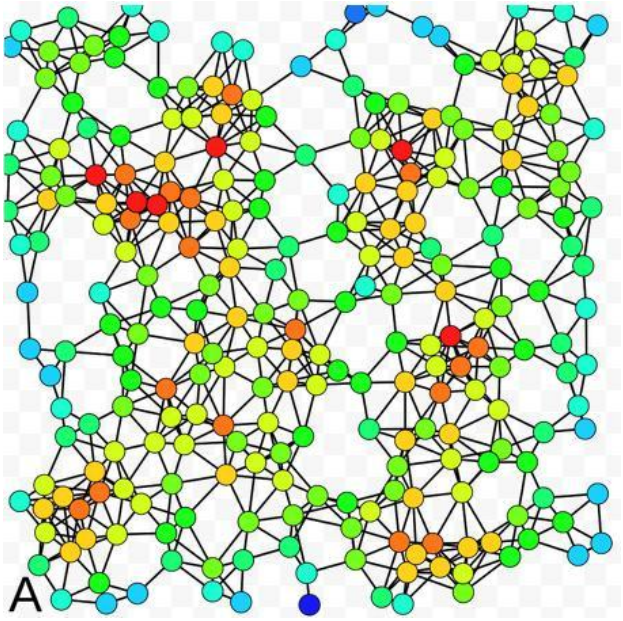
การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบการคั่นกลางของความเป็นศูนย์กลางจะทำการวิเคราะห์จากค่าความ เป็นโหนดคั่นระหว่างสองโหนดใด ๆ ในเครือข่าย โดยที่โหนดคั่นจะต้องอยู่ในเส้นทางที่สั้นที่สุด (shortest path) ระหว่างสองโหนดนั้น ๆ โดยหากโหนดใดมีจำนวนครั้งที่เป็นโหนดคั่นมากที่สุดจะถูกเลือกเป็นโหนดที่สำคัญที่สุด [8]



รูปที่ 2.8: ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบการคั่นกลางของความเป็นศูนย์กลาง

2.5.3 การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบระดับการเป็นศูนย์กลาง (degree centrality)

การวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบระดับการเป็นศูนย์กลางจะทำการวิเคราะห์จำนวนโหนดรอบข้างที่มีผลต่อ โหนดที่กำลังพิจารณา โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้สองลักษณะคือ โหนดเพื่อนบ้านที่มีทิศทางเข้าไปยังโหนดที่กำ ลังพิจารณาและโหนดที่มีทิศทางออกจากโหนดที่กำลังพิจารณา โด้โหนดที่โหนดเพื่อนบ้านมีทิศเข้าหามากที่สุดจะถูกเลือกให้เป็นโหนดสำคัญ [8]

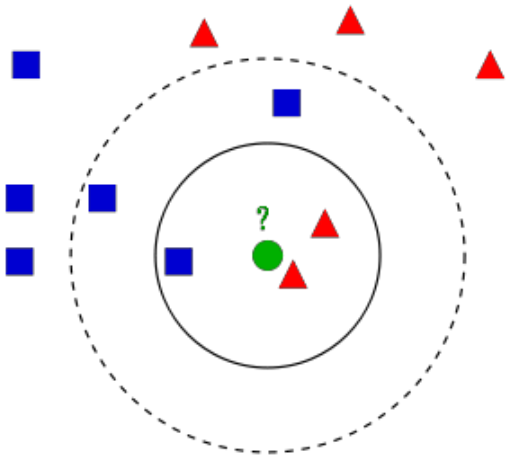


รูปที่ 2.9: ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดสำคัญของเครือข่ายแบบระดับการเป็นศูนย์กลาง

นอกจากนี้โหนดเอ็กซ์แอลสามารถจะทำการจัดกลุ่มข้อมูล โดยใช้โหนดสำคัญซึ่งจะได้จากทั้งสามวิธีที่ได้กล่าวไปเป็น จุดศูนย์กลางของกลุ่ม และจากนั้นจึงทำการวัดระยะระหว่างโหนดต่างๆ ในเครือข่ายกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มเพื่อ กำหนดกลุ่มให้กับโหนดนั้น ๆ ต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้โหนดเอ็กซ์แอลในการช่วยจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีตำแหน่งอยู่บริเวณใกล้เคียงกันและมีความเส้นทางที่เชื่อมต่อถึงกันได้

2.6 ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด (Nearest Neighbor Algorithm)

ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดเป็นวิธีการที่จะพิจารณาระยะห่างระหว่างข้อมูลใหม่กับข้อมูลเดิมที่ทราบกลุ่มข้อมูลมาก่อนซึ่งจะทำการเลือกข้อมูลที่มีระยะใกล้กับข้อมูลใหม่นั้นมาจำนวน k ตัวตามลำดับของระยะห่าง โดยสามารถใช้งานได้ทั้งการจัดหมวดหมู่ (classification) หรือ การถดถอย (regression) หากเป็นการทำการจัดหมวดหมู่จะทำการตรวจสอบว่าในจำนวนข้อมูลใกล้สุด k ตัวที่เลือกมานั้น ข้อมูลถูกจัดอยู่ในหมวดหมู่ ใดมากที่สุดก็จะจัดให้ข้อมูลใหม่นั้นด้วย หรือหากเป็นการใช้งานเพื่อการถดถอดก็จะนำข้อมูล k ตัวที่เลือกได้มาใช้งานโดยอาจจะเป็นการนำมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งการหาค่าเฉลี่ยนั้นสามารถทำได้ด้วยตรงคือให้น้ำหนักของข้อมูลทุกตัวที่เลือกได้ให้มีความสำคัญเท่ากันหรือจะหาค่าเฉลี่ยโดยการให้น้ำหนักตามระยะห่างของ 15 ข้อมูล แต่ข้อเสียของขั้นตอนวิธีนี้คือจำเป็นต้องเลือกค่า k ที่ เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 2.10



http://en.wikipedia.org/wiki/File:KnnClassification.svg

รูปที่ 2.10: ตัวอย่างการใช้ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดในการจัดหมวดหมู่ข้อมูล(classification) โดยลงกลมสีเขียวคือข้อมูลใหม่ ที่ จะพิจารณา สี่ เหลี่ ยมสีน้ำเงินและสามเหลี่ยมสีแดงคือข้อมูลที่ทราบหมวดหมู่อยู่แล้ว จากรูปหากเลือกค่า k ที่ 3 จะได้ว่าข้อมูลใหม่จะถูกจัดหมวดหมู่เป็นเช่นเดียวกับสามเหลี่ยมสี่แดงแต่หากเลือกค่า k ที่ 5 กลับได้ว่าข้อมูลใหม่จะถูกจัดหมวดหมู่เป็นเช่นเดียวกับสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณเวลาการเดินทางได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง แต่งานวิจัยส่วนมากจะเน้นศึกษากรณีที่อัตราการส่งข้อมูลสูง (High Sampling Frequency) และได้ศึกษาเฉพาะถนนที่เป็นเส้นทางด่วนเป็นหลักเท่านั้น แต่ปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณเวลาการเดินทางภายใต้อัตราการส่งข้อมูลต่ำ (Low Sampling Frequency) มีการได้รับความสนใจมากขึ้น เช่น [2] ใช้โมเดลจากสถิติโดยใช้สมมติฐานว่าลิงก์ต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันและการใช้โมเดลเครือข่าย (Network Model) เพื่อสร้างโมเดลความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการเดินทางของลิงก์ต่าง ๆ และใช้ข้อมูลที่ได้แบบความถี่ต่ำประมาณความสัมพันธ์ลิงก์ที่สัมพันธ์กัน มีการพิจารณา เงื่อนไขระหว่างเส้นทางเช่น แยก จุดจอดรถประจำทาง เวลาระหว่างวัน และสภาพอากาศเป็นต้น [3] ใช้วิธีการประมาณเส้นทางระหว่างสองจุด ข้อมูลที่ต่อกันและประมาณเวลาการเดินทางด้วยวิธีการของ Bayesian โดยใช้ข้อมูลความเร็วจากรถพยาบาล [4] ใช้โมเดลทางสถิติในการเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้มากที่สุดระหว่างสองจุดข้อมูลที่ต่อกันซึ่งพบว่าเส้นทางระหว่างสองจุดนั้นอาจจะประกอบด้วยหลายลิงก์โดยได้ใช้ maximum likelihood ในการประมาณเวลาการเดินทางบนลิงก์ระหว่างเส้นทางของจุดสองจุดนั้น นอกจากนี้ Google ได้นำข้อมูลที่เป็นข้อมูลทางสถิตของเวลาการเดินทางบนเส้นทางต่าง ๆ มาใช้ในการท านายในกรณีที่ไม่มีข้อมูลแบบทันกาลบน Google Map

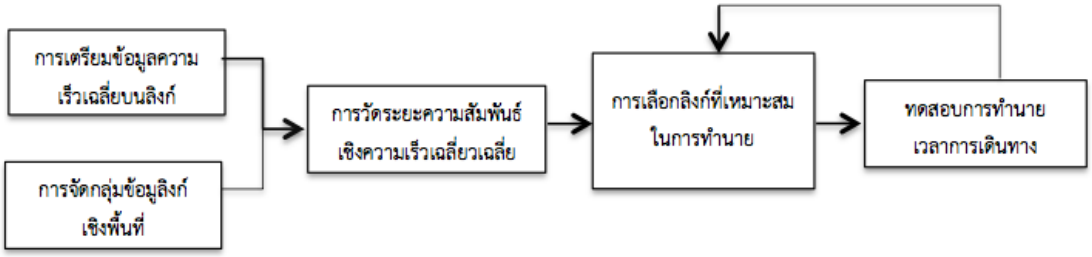
2.8 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวการประมาณเวลาการเดินทางและเครื่องมือที่จำเป็นในงานวิจัยรวมถึงทฤษฎีในการวัดค่าความพันธ์ของข้อมูลที่สำคัญเช่น วิธีการวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidian distance) และการวัดระยะห่างของชุดข้อมูลแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิง จากนั้นจะได้กล่าวถึงวิธีการในการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเชื่อมต่อเป็นเครือข่าย (Network) โดยใช้ NodeXL ซึ่งจำเป็นต้องใช้เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์ก่อนการคำนวณความสัมพันธ์ นอกจากนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด (Nearest Neighbor Algorithm) ซึ่งจะใช้เพื่อทำการเลือกลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันใกล้สุดในการทำนายเวลาการเดินทางต่อไป และในส่วนสุดท้ายได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงวิธีการที่ได้นำเสนอขั้น

บทที่ 3

วิธีการที่นำเสนอ

จากปัญหาและข้อจำกัดที่ได้กล่าวไปในข้างต้นจึงได้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ด้วยแนวคิดของการทำนายข้อมูลที่ขาดหายไปจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยแนวคิดนี้จะทำโดยจากการเรียนรู้ความสัมพันธ์กันของข้อมูลที่ต้องการทำนายและข้อมูลที่จะใช้ทำนายผ่านข้อมูลที่เคยเกิดขึ้นในอดีตซึ่งแนวคิดนี้สามารถแบ่งส่วนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1: ภาพรวมการทำงาน ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ และกลุ่มข้อมูลลิงก์ที่ได้จากการจัดกลุ่มตามพื้นที่จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกันเพื่อวัดระยะความสัมพันธ์ของลิงก์ซึ่งจะทำให้ได้กลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงของความเร็วในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยที่ช่วงเวลาที่ต่างกันลิงก์อาจจะมีความสัมพันธ์กับกลุ่มลิงก์ที่แตกต่างกันได้โดยก่อนการทำนายทุกครั้งจะต้องทำการคำนวณเลือกลิงก์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการทำนายคือลิงก์ที่มีระยะความสัมพันธ์ใกล้สุดและมีข้อมูล ณ เวลานั้นก่อน จากนั้นจะทำการทดสอบการทำนายด้วยการสุ่มเลือกลิงก์ที่ต้องการทำนายเพื่อวัดผล และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำนายด้วยการปรังปรุงวิธีการวัดระยะความสัมพันธ์ลิงก์เชิงความเร็วเฉลี่ย

3.1 การเตรียมข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์

ปัจจุบันศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) โดยห้องปฏิบัติการวิจัยระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะได้มีการเก็บข้อมูลตำแหน่ง ความเร็ว และเวลาของรถแท็กซี่จำนวน 500 คันโดยประมาณที่ วิ่งให้บริการ ณ ถนนเส้นต่าง ๆ ภายในกรุงเทพมหานครจำนวนมาก โดยภายใน 1 วันมีการเก็บข้อมูลประมาณ 1 ล้านข้อมูล และขณะนี้มีข้อมูลย้อนหลังจากมากกว่า 3 ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้ประโยชน์จากข้อมูลความเร็ว และเวลาเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของลิงก์บนถนนเส้นต่าง ๆ เพื่อการใช้งานข้อมูลดังกล่าวงานวิจันนี้จะทำการแบ่งช่วงเวลาของข้อมูลออกเป็นทุก ๆ 1 ชั่วโมงจากเวลา 8.00 ถึง 20.00 น. ดังนั้น

เป้าหมายของการ เตรี ยมข้อมูลคือการหาค่าความเร็วเฉลี่ยของรถแท็กซี่ที่สามารถวิ่งให้บริการบนลิงก์ต่าง ๆ ณ ช่วงเวลาที่กำหนด โดยได้โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

ลิงก์ ID	**ความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลา** 08.00 – 09.00	**ความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลา** 09.00 – 10.00	.....	**ความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลา** 19.00 – 20.00

รูปที่ 3.2: โครงการการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของลิงก์ โดยแต่ละลิงก์ที่ต้องการจัดกลุ่มความสัมพันธ์จะมีข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถแท็กซี่ที่เคยวิ่งผ่านลิงก์นั้น ณ ช่วงเวลาที่กำหนดต่าง ๆ

การเตรียมข้อมูลสามารถแบ่งการทำงานได้ 2 ขั้นตอนคือ

3.1.1 การจับคู่ข้อมูล GPS กับข้อมูลลิงก์

เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งที่ได้รับจากรถแท็กซี่มีเฉพาะค่าละติจูดและลองจิจูดเท่านั้นดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งานจริงเราจำเป็นต้องทราบว่าตำแหน่งเหล่านั้นอยู่บนลิงก์ใดของถนนก่อนถึงจะสามารถนำข้อมูลความเร็วและเวลามาใช้เป็นข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของลิงก์ได้การทำงานลักษณะนี้จะทำโดยการจับคู่ (Match) ตำแหน่งละติจูล และลองจิจูดที่ได้รับมาเข้ากับข้อมูลลิงก์ที่มีอยู่ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้การทำแมปแมตชิง[5] ซึ่งเป็นวิธีที่ ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยหลักทำงานคือจะทำการเลือกลิงก์ที่เป็นตัวเลือกสำคัญ (Candidate link) บริเวณรอบตำแหน่งของจุดที่ต้องการจับคู่ตามระยะความผิดพลาดของ GPS จากนั้นจะคำนวณเพื่อหาลิงก์ที่เหมาะ สมมากที่สุดเพื่อจับคู่กับตำแหน่งนั้น

3.1.2 การคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์

หลังจากที่สามารถจับคู่ข้อมูลที่รับได้รับจากรถแท็กซี่กับข้อมูลิงก์ได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ โดยการคำนวณความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างผลรวมความเร็วของรถแท็กซี่ที่ถูกจับคู่กับลิงก์นั้นทั้งหมดกับจำนวนข้อมูลรถแท็กซี่ที่ถูกจับคู่กับลิงก์นั้นของแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 5 และแสดงกระบวนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.3

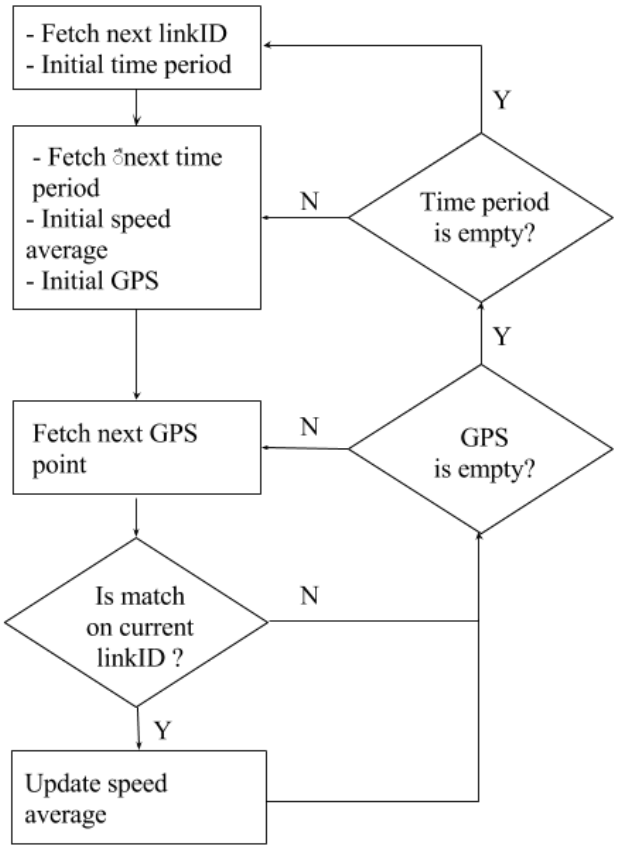
$$V_t^{(l)} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^{(t)} \qquad (5)$$

โดยที่

$V_t^{(l)}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยของช่วงเวลา t บนลิงก์ l

$v_i^{(t)}$ คือ ความเร็วของจุด GPS ที่ i ของช่วงเวลาที่ t บนลิงค์ l

N คือ จำนวนจุด GPS ทั้งหมดที่มีของช่วงเวลา t บนลิงก์ l



รูปที่ 3.3: กระบวนการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ

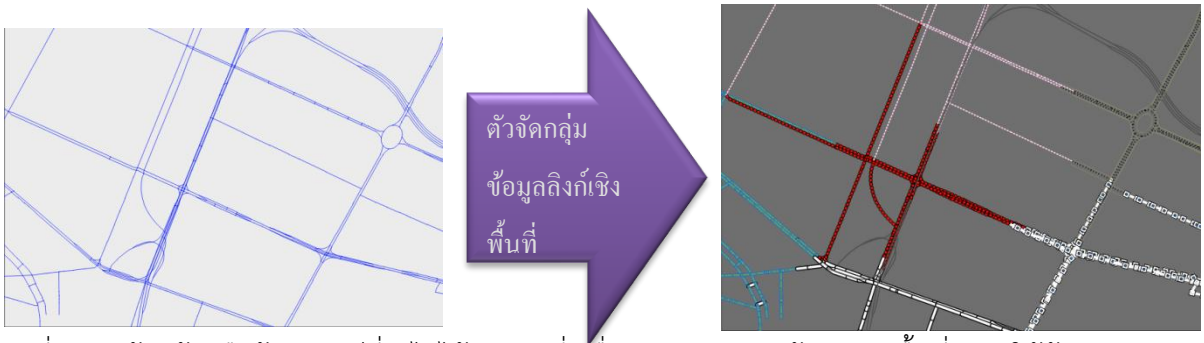
gid integer	t1 double precision	t2 double precision	t3 double precision	t4 double precision	t5 double precision
76196	109	84	30	45	27
192223	109	84	30	45	27
603794	74	0	76	0	0
157178	85	29	108	0	57
129199	85	29	108	0	57

ตารางที่ 3.1: ตัวอย่างตารางข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ของช่วงเวลาต่าง ๆ
โดย t1 คือเวลา 08.00 และเพิ่มขึ้นทุก 1 ชั่วโมงเป็น t2, t3, .., t_n ตามลำดับ

เมื่อจบการทำงานในส่วนนี้จะทำให้ได้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่าง ๆ ซึ่งจะมีลักษณะข้อมูลดังตารางที่ 3.1 เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ทางด้านความเร็วบนลิงก์ต่อไป

3.2 การจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์เชิงพื้นที่

เนื่องจากเป้าหมายของการงานวิจัยคือทำการจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาที่กำหนด แต่ก่อนการดำเนินการจัดกลุ่มตามความสัมพันธ์ในเชิงความเร็วนั้นจำเป็นจะต้องทำการจัดกลุ่มลิงก์ในเชิงของพื้นที่ก่อน เพื่อทำให้ข้อมูลลิงก์ที่สัมพันธ์กันในเชิงความเร็วเฉลี่ยอยู่บริเวณพื้นที่เดียวกันเพราะหากพิจารณา ข้อมูลลิงก์ทั้งหมดเป็นเพียงพื้นที่กลุ่มเดียวและทำการจัดกลุ่มความสัมพันธ์เชิงความเร็วเฉลี่ยทันทีจะทำให้ข้อมูลที่ถูก จัดกลุ่มความสัมพันธ์นั้นอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องอาจจะมีลิงก์ที่อยู่ห่างไกลกันมากแต่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาที่พิจารณาสัมพันธ์กันจึงถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มความสัมพันธ์เดียวกัน ดังนั้นการจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์เชิงพื้นจะทำให้ข้อมูลลิงก์ที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มความสัมพันธ์เดียวกันมีความถูกต้องมากขึ้น



รูปที่ 3.4: ด้านซ้ายคือข้อมูลลิงก์ที่ยังไม่ได้จัดกลุ่มซึ่งเมื่อผ่านตัวจัดกลุ่มข้อมูลเชิงพื้นที่จะทำให้ข้อมูลลิงก์ถูกจัดกลุ่มดังรูปด้านขวา โดยลักษณะเส้นที่ต่างกันแสดงบริเวณของกลุ่มข้อมูลที่ต่างกัน

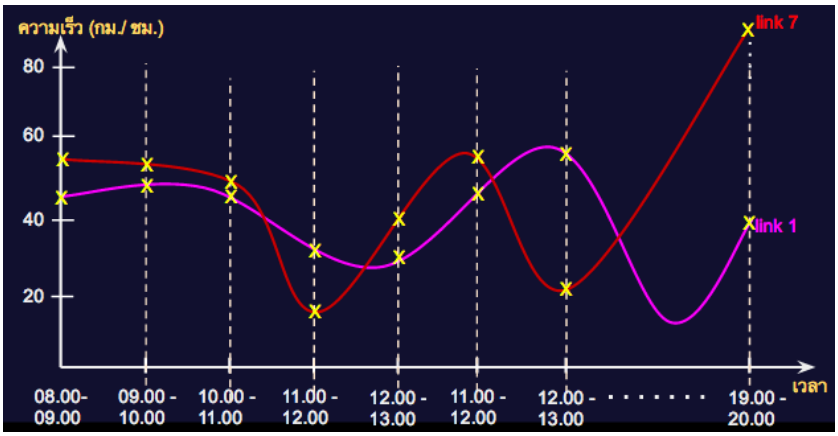
การจัดกลุ่มข้อมูลลิงก์เชิงพื้นที่จะทำการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ NodeXL[6] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบเครือข่าย ซึ่งนิยมใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของบุคคล ในสังคมเครือข่ายซึ่งสามารถทำการจัดกลุ่มบุคคลที่มีการความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันได้อย่างสมเหมาะสม โดยในการประยุกต์ใช้กับเครือข่ายถนนจะทำให้ สามารถจัดกลุ่มถนนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน และเชื่อมต่อถึงกันได้ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการทำงานในส่วนนี้จะทำให้ได้กลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีโอกาสที่จะมีความสัมพันธ์ในเชิงของความเร็วที่ถูกต้องมากขึ้น

3.3 การวัดระยะความสัมพันธ์เชิงความเร็วเฉลี่ย

จากที่ได้กลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงของพื้นจะทำให้ได้กลุ่มข้อมูลลิงก์ที่มีอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกัน แต่การจัดกลุ่มในลักษณะของเชิงพื้นเพียงอย่างนั้นไม่เพียงพอต่อการนำไปทำนายข้อมูลที่ขาดหายไปได้เพราะถึงแม้ว่าข้อมูลลิงก์จะอยู่บริเวณพื้นที่เดียวกันแต่อาจจะไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงความเร็ว ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลความเร็วของลิงก์หนึ่ง ๆ ไปใช้ทำนายลิงก์อื่นได้โดยตรง ดังนั้นนอกจากการจัดกลุ่มในเชิงพื้นที่แล้วยังต้องวัดระยะความ สัมพันธ์ข้อมูลในเชิงความเร็วภายในอีกครั้งเพื่อให้สามารถระบุได้ว่าข้อมูลความเร็วของลิงก์ใดใดสามารถใช้แทนลิงก์ใดได้บ้าง

3.3.1 การวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidian distance)

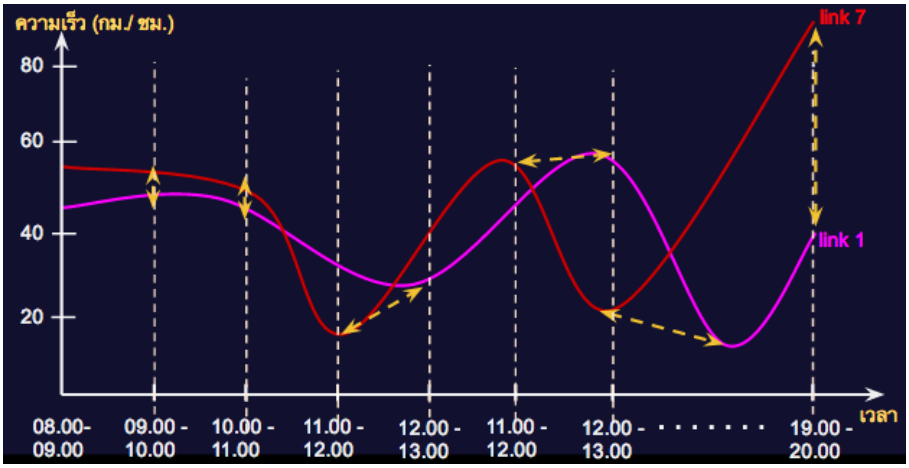
จะสามารถวัดระยะห่างของข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ในช่วงเวลาที่ตรงกันดังรูปที่ 3.5 โดยหากข้อมูลมีระยะห่างที่น้อยแสดงว่าลิงก์ทั้งสองมีค่าความสัมพันธ์กันมาก โดยการวัดระยะห่างของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของลิงก์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1



รูปที่ 3.5: ตัวอย่างการวัดระยะข้อมูลแบบยุคลิด ซึ่งจะทำการวัดระยะของความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาที่ตรงกัน ของ Link 1 และ Link 7

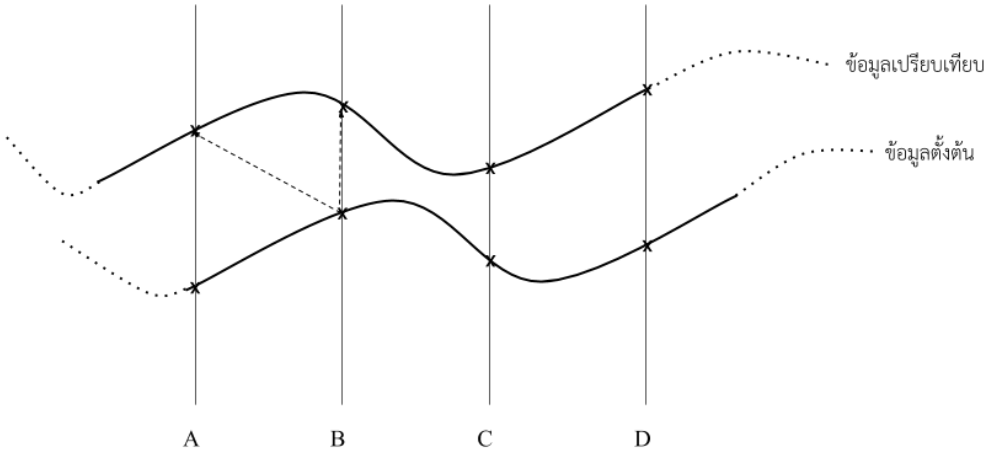
3.3.2 การวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิง

เนื่องจากการวัดระยะแบบยุคลิดจะสามารถวัดระยะของข้อมูลในช่วงที่ตรงกันเท่านั้นดังรูปที่ 5 แต่ในความ เป็นจริงแล้วความสัมพันธ์ของความเร็วบนลิงก์ใด ๆ สามารถที่จะมีความสัมพันธ์ในต่างเวลาได้เช่น กรณีที่ความเร็วบนลิงก์ใด ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นในเวลาหนึ่งแล้วทำให้ความเร็วบนอีกลิงก์หนึ่งมีความเร็วที่เพิ่มในเวลาถัดมาได้ ดังนั้นการวัดระยะห่างเฉพาะช่วงเวลาเดียวอาจจะทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้มาอาจจะยังไม่ดีในกรณีที่ความเร็วเฉลี่ยมีการเลื่อน (shift) ทางด้านของเวลาขึ้นการวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิงจะทำให้สามารถวัดระยะของข้อมูลแบบตรงเวลาและแบบ เลื่อนเวลาได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.6 โดยจะมีการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมจากเงื่อนไขพื้นฐานของการวัดระยะเช่น การกำหนดให้ค่าระยะเวลาการเลื่อนต้องไม่เกิน 1 ช่วงเวลา และ กำหนดให้ลิงก์ที่จะใช้ในการทำนายลิงก์อื่นต้อง มีความเร็วในช่วงเวลาก่อนหน้าหรือความเร็ว ณ ช่วงเวลาที่ต้องการจะทำนายเท่านั้น เพราะหากลิงก์ที่จะใช้ในการทำนายลิงก์อื่นมีข้อมูลอยู่ในช่วงเวลาที่เกินช่วงเวลาที่ต้องการใช้ข้อมูลในการทำนายไปก็จะทำให้ไม่สามารถทำนายลิงก์อื่น ณ เวลานั้นได้



รูปที่ 3.6: ตัวอย่างการวัดระยะด้วยไดนามิกไทม์วอร์ปปิง ซึ่งจะทำการเลือกวัดระยะของความเร็วเฉลี่ย ช่วงเวลาที่เหมาะสมมากที่สุด ของ Link 1 และ Link 3 ที่สามารถมีการเลื่อนทางด้านเวลาได้

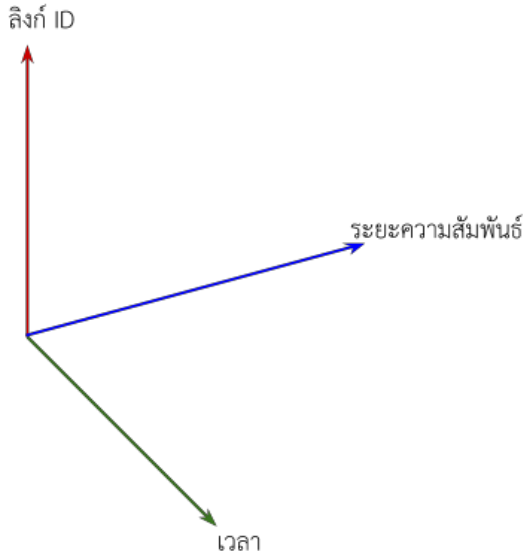
เนื่องจากวัดระยะแบบไดนามิกไทม์วอร์ปปิงมีคุณสมบัติในการวัดระยะข้อมูลที่มีการเลื่อนเหลี่ยมกันได้ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งการนำวิธีการนี้มาใช้งานสามารถที่จะกำหนดเงื่อนไขในการวัดระยะข้อมูลที่มีการเลื่อนได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขการวัดระยะข้อมูลโดยกำหนดให้มีการเลื่อนได้ไม่เกิน 1 ช่วงข้อมูล (เลื่อนไม่เกินหนึ่งชั่วโมง) และกำหนดให้ข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบต้องเกิดขึ้นก่อนหรือเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกับข้อมูลตั้งต้นเสมอดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7: ลักษณะการกำหนดเงื่อนไขในการวัดระยะด้วยไดนามิกไทม์วอร์ปปิง โดยเมื่อกำลังพิจารณาวัดระยะข้อมูลระหว่างข้อมูลตั้งต้น ณ ช่วงเวลา B กับข้อมูลเปรียบเทียบ เงื่อนไขการวัดระยะจะพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลเปรียบเทียบเฉพาะช่วงเวลา A หรือ B ของข้อมูลเปรียบเทียบเท่านั้น

3.4 โครงสร้างข้อมูลผลลัพธ์

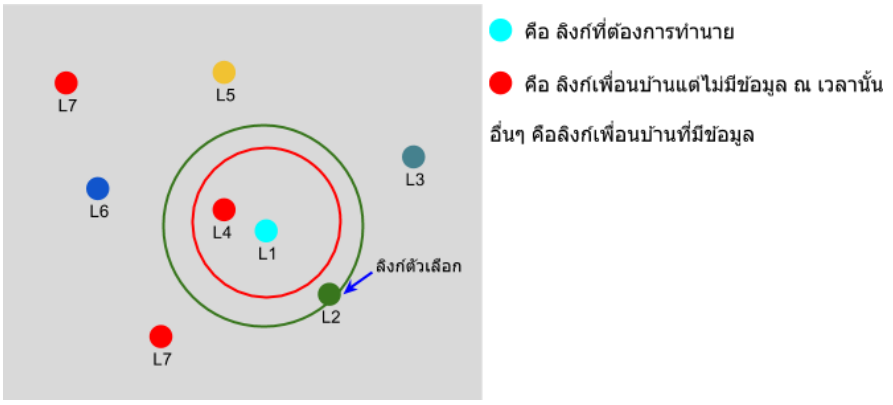
หลังจากการกระบวนการวัดระยะความสัมพันธ์ ข้อมูลจะถูกนำมาเก็บในรูปแบบโครงสร้างเฉพาะเพื่อให้สามารถเรียกใช้งานได้ง่าย โดยแต่ละลิงก์จะมีโครงสร้างผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8: เวกเตอร์โครงสร้างผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของลิงก์ต่าง ๆ ต่อ 1 ลิงก์ใด ๆ

3.5 การเลือกลิงก์ที่เหมาะสมในการทำนาย

เมื่อสามารถจัดกลุ่มลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงของความเร็วเฉลี่ยแล้วจะทำให้ได้ตารางค่าระยะห่างข้อมูลแบบยุคคลิด (Euclidian Distance) ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจากตารางข้อมูลนี้จะใช้เป็นตารางในการตัดสินใจว่าควรใช้ข้อมูลจากลิงก์ใดทำนายลิงก์ใด ณ เวลาที่ลิงก์ใดลิงก์หนึ่งไม่มีข้อมูล โดยการพิจารณาเลือกลิงก์ที่เหมาะสมที่ควรใช้ในการ ทำนายจะประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด โดยกำหนดค่า K = 1 และกำหนดให้ความเร็วของลิงก์เป็นป้ายของกลุ่มข้อมูล (label) และทำการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมว่าต้องเป็นลิงก์ที่ มีข้อมูล ณ ช่วงเวลาที่ต้องการซึ่งเท่านั้นแสดงได้ดังรูปที่ 12 ดังนั้นจะทำให้สามารถเลือกลิงก์ที่มีระยะข้อมูลแบบยุคคลิดที่ใกล้ที่สุดและมีข้อมูล ณ เวลานั้นซึ่งจะเป็นลิงก์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการทำนาย



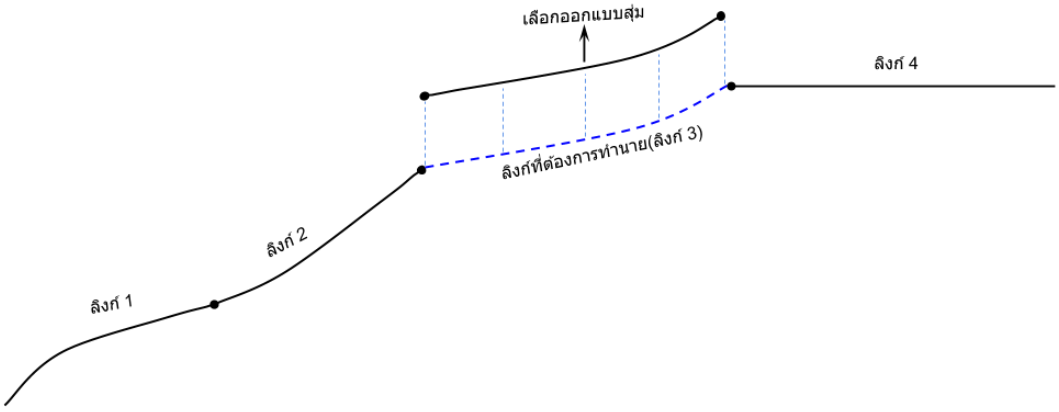
รูปที่ 3.9: การเลือกลิงก์ที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการทำนายเวลาการเดินทาง จุดสีฟ้าคือลิงก์ที่ต้องการทำนายจุดสีแดงคือลิงก์เพื่อนบ้านแต่ไม่มีข้อมูล ณ เวลานั้นและจุดที่เขียวคือลิงก์เพื่อนบ้านที่มีข้อมูล ณ เวลานั้นโดยจากรูปวงกลมสีแดงแสดงบอกว่าจุดสีแดงที่อยู่ในวงกลมแม้จะเป็นจุดที่มีระยะใกล้กับจุดสีฟ้ามากที่สุดแต่ไม่สามารถใช้งานได้เพราะ ณ เวลานั้นลิงก์ L4 ไม่มีข้อมูลอยู่จึงไม่สามารถนำไปใช้ทำนายลิงก์ที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงจะได้ว่าลิงก์ L2 ซึ่งแทนด้วยจุดสีเขียวที่อยู่ในวงกลมสีเขียวแต่ไม่อยู่ในวงกลมสีแดงจะเป็นลิงก์ตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการทำนาย

3.6 การทดสอบความสัมพันธ์ลิงก์และการวัดผลความคลาดเคลื่อน

ในปัจจุบันที่มีการเก็บข้อมูลตำแหน่งและความเร็วจากรถด้วยความถี่ 1 ข้อมูลต่อ 1 วินาทีบนถนนบางเส้นภายในกรุงเทพมหานครดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลนี้มาเป็นเวลาที่ใช้อ้างอิง

(reference)ในการทดสอบได้โดยสามารถ คำนวณ เวลาอ้างอิงได้จากผลต่างของเวลา ณ จุด GPS แรกที่พบบนลิงก์และจุด GPS สุดท้ายที่พบบนลิงก์ ดังนั้นเมื่อ ทราบค่าเวลาที่ใช้เดินทางบนลิงก์ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเวลาใช้จริงก็สามารถนำมาใช้เป็นเวลาอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับเวลาเวลาที่ทำนายได้

การทดสอบความสัมพันธ์ลิงก์จะทำได้ด้วยการสุ่มเลือก (random selection) ทำนายเวลาที่ใช้ในเดินทางบนลิงก์ที่ซึ่งทราบเวลาการเดินทางที่ใกล้เคียงกับค่าเวลาที่ใช้จริง ซึ่งการทำนายจะนำข้อมูลความเร็วจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กับลิงก์ที่สุ่มได้ ไปใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการเดินบนลิงก์ นั้นดังสมการที่ 6 โดยการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จะวัดจากค่าเปอร์ เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่าความเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ โดยการสุ่มเลือกทำนายเวลาการเดินบนลิงก์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10: ตัวอย่างการสุ่มทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์โดยจะทำการเลือกลิงก์ที่ต้องการทำนายออกเพื่อทำให้ไม่ ทราบค่าเวลาที่ใช้เดินทางบนลิงก์จากนั้นใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์มาทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์นั้นแทน

$$t_{predict} = \frac{S_{predict}}{V_d} \quad (6)$$

$$MAPE = 100 * \left| \frac{t_{predict} - t_{real}}{t_{real}} \right| \frac{1}{N} \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(t_{predict}^{(i)} - t_{real}^{(i)})^2 \quad (8)$$

โดยที่

$S_{predict}$ คือ ความยาวของลิงก์ที่ต้องการทำนาย (เมตร)

V_d คือ ความเร็วบนลิงก์ที่ใช้ทำนาย (เมตร/วินาที)

MAPE คือ ร้อยละของค่าเฉลี่ยของผลต่างของเวลาที่ทำนายได้และเวลาที่ใช้จริง

MSE คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างของเวลาที่ทำนายได้และเวลาที่ใช้จริง

$t_{predict}$ คือ เวลาการเดินทางที่สามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของลิงก์

t_{real} คือ เวลาที่คำนวณจากผลต่างของเวลาของจุด GPS ณ จุดต้นและจุดปลายของลิงก์จากข้อมูล GPS ที่อ้างอิงซึ่งเก็บมีการเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที

N คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ

บทที่ 4

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ผลทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ ผลการทดสอบประมาณเวลาการเดินทาง

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดข้อมูล GPS ที่จะใช้ในการทดลองเส้นทางที่ใช้ในการทดลอง วิธีการการเก็บข้อมูลที่ใช้ในเรียนรู้ความเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์และวิธีการเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นผลเฉลย ผลทดลองการหาความสัมพันธ์ของลิงก์ต่าง ๆ และผลทดลองการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันเทียบกับการทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลในอดีตและการทำนายเวลาการเดินทางจากข้อมูลของลิงก์รอบข้างมาใช้ในการทำนาย

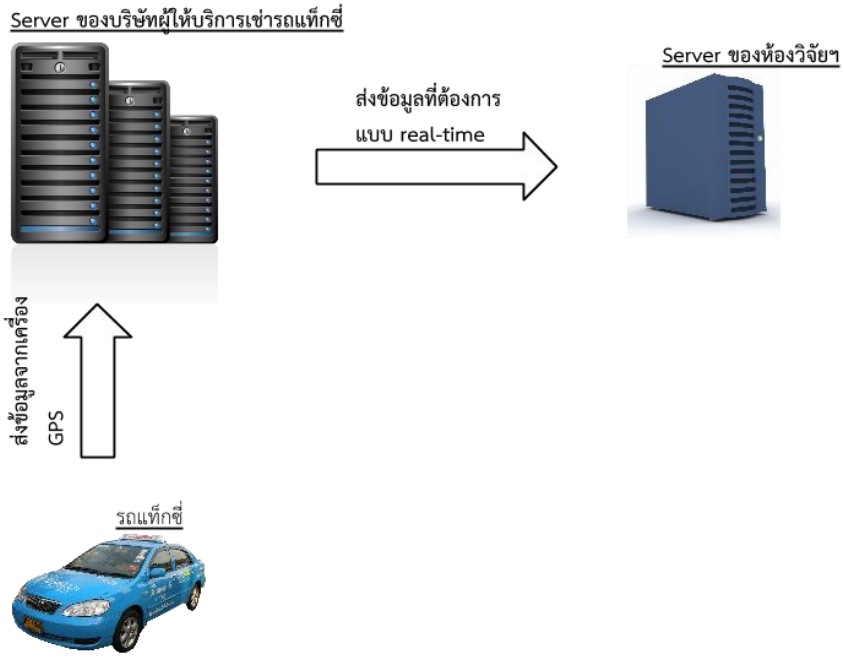
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการเก็บข้อมูลเพื่อนามาใช้เพื่อคำนวณและประมาณเวลาการเดินทางในเส้นทางต่าง ๆ แบ่งออกเป็นสองแบบหลักคือการวัดข้อมูลแบบคงที่โดยการใช้อุปกรณ์จำพวกอุปกรณ์วิเคราะห์และระบุยานพาหนะและอีกแบบหนึ่งคือการวัดข้อมูลแบบเคลื่อนที่โดยการติดอุปกรณ์ที่สามารถระบุตำแหน่งได้ไว้บนยานพาหนะที่ กำลังเคลื่อนที่อยู่บนท้องถนนเช่น อุปกรณ์ GPS เป็นต้น ในงานวิจัยเลือกใช้ข้อมูลที่ถูกเก็บแบบเคลื่อนที่เนื่องจากยานพาหนะจะต้องเคลื่อนที่กระจายไปตามเส้นทางต่าง ๆ ในแต่ละวัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ได้ครอบคลุมจำนวนเส้นทางมากกว่าการใช้เป็นอุปกรณ์วัดคงที่

ปัจจุบันบริษัทผู้ให้บริการให้เช่ารถแท็กซี่ภายในประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์ GPS มาใช้งานเพื่อใช้ในระบบระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถแท็กซี่ ซึ่งให้ทำกระบวนการติดตามรถกลับคืนในกรณีที่รถเกิดการสูญหายสามารถทำได้ง่ายมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงความหนาแน่นของปริมาณรถแท็กซี่ในพื้นที่ต่าง ๆ

นอกจากการนำเทคโนโลยี GPS มาประยุกต์งานใช้ประโยชน์ในการติดตามรถแท็กซี่แล้ว ข้อมูลนี้ยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษางานวิจัยทางด้านการประเมินสภาพการจราจร โดยปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิจัยระบบการขนส่งฉัยริยะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ได้ทำการเชื่อมโยงเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล GPS ที่ได้รับจากแท็กซี่ที่วิ่งให้บริการในเส้นทางต่าง ๆ จากบริษัทผู้ให้บริการเช่ารถแท็กซี่ภายในกรุงเทพมหานคร ซึ่งปัจจุบันมีจำนวนรถแท็กซี่ที่ใช้เก็บข้อมูลประมาณ 500 คัน โดยกระบวนการเก็บข้อมูลและการเชื่อมต่อข้อมูลแสดงดัง

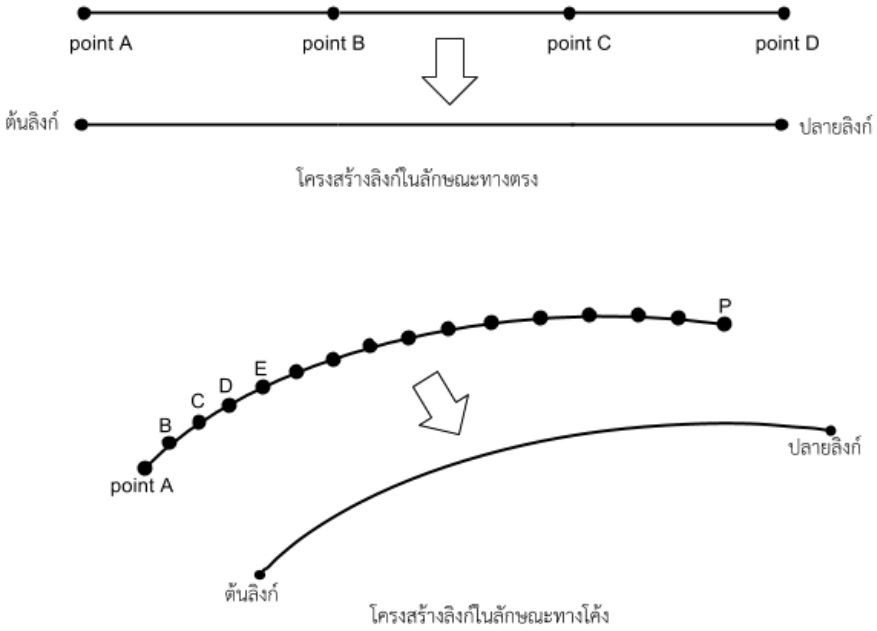
รูปที่ 4.1 โดยกระบวนเก็บข้อมูลเริ่มจากอุปกรณ์ GPS จะทำการระบุตำแหน่ง ณ ปัจจุบันของยานพาหนะจากนั้นทาการส่งข้อมูลข้อมูลไปยัง server ที่ใช้จัดเก็บข้อมูลของบริษัทผู้ให้บริการเช่ารถแท็กซี่เพื่อเก็บข้อมูลไว้และส่งไปยัง server ของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบการขนส่งฉัยริยะเพื่อนำมาวิจัยและพัฒนาต่อไปซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการขอข้อมูลเพื่อ GPS เพื่อทดลองการหาความสัมพันธ์ทางด้านการเปลี่ยนแปลงของสภาพการจราจรบนถนนเส้นต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 4.1: กระบวนการเก็บข้อมูล GPS ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ข้อมูลแผนที่ดิจิทัลที่ใช้ในการทดลอง

แผนที่ดิจิทัลเป็นข้อมูลถนนที่เก็บอยู่ในรูปแบบการเข้ารหัสตัวเลขหลายชุดโดยรหัสข้อมูลหนึ่งจะแทนด้วยบางส่วนของถนนบนแผนที่ในงานวิจัยนี้เรียกว่า “ลิงก์ ” ซึ่งกระบวนการสร้างลิงก์ ทำด้วยการลากเส้นตรงจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งหนึ่งซึ่งตำแหน่งเหล่านั้นเกิดขึ้นจากค่าละติจูลและค่าลองจิจูดตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของโลกแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.2 เมื่อนำลิงก์ต่าง ๆ มาต่อเรียงกันจะทำให้เกิดเป็นแผนที่ที่ประกอบด้วยถนนเส้นทางต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3

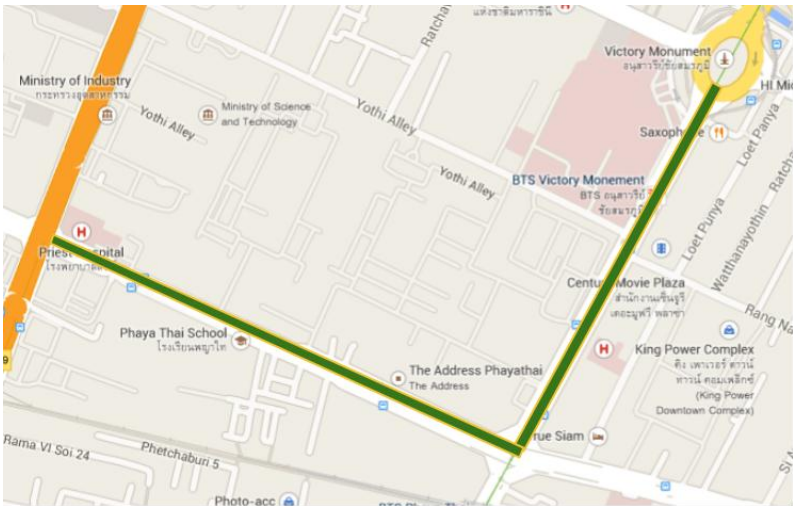


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการสร้างลิงก์จากข้อมูลจุด GPS

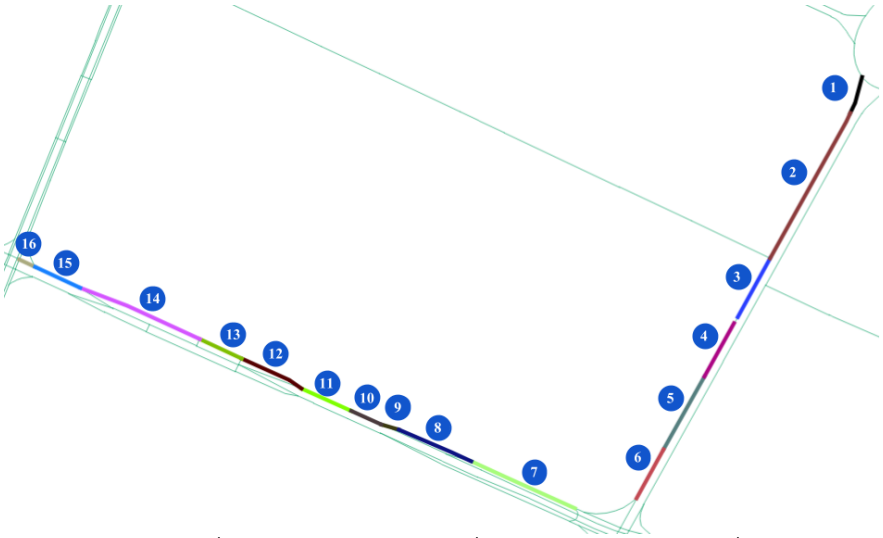
รูปที่ 4.3: ตัวอย่างแผนที่ดิจิทัล

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการสร้างข้อมูลแผนที่ดิจิทัลนำมาใช้งานโดยแผนที่ของประเทศไทยจะประกอบด้วยจำนวนลิงก์ทั้งหมดประมาณ 604,019 ลิงก์ ซึ่งมากกว่า 200,000 ลิงก์จะอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล นอกจากนี้ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิจัยระบบการขนส่งฉัยริยะศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ได้นำข้อมูลแผนที่ดิจิทัลนี้มาใช้

ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยทางด้านการประเมินสภาพและรายสภาพการจราจรบนท้องถนนอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่าง ๆ ซึ่งได้ทำการทดลองบนส่วนหนึ่งบนถนนศรีอยุธยาและถนนพญาไทบนลิงก์ทั้งหมด 7 ลิงก์ โดยมีลักษณะเส้นทางดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4: ลักษณะเส้นทางที่ทำการทดลองบน Google Maps



รูปที่ 4.5: ลักษณะเส้นทางที่ทำการทดลองบนแผนที่ดิจิทัล

4.1.2 ข้อมูลที่ใช้เรียนรู้ความสัมพันธ์

แหล่งข้อมูลความสัมพันธ์ของสภาพการจราจรบนถนนในแต่ละเส้นทาง สามารถทราบได้จากการเรียนรู้ได้จากข้อมูลความเร็วที่ รถสามารถเคลื่อนที่ บนถนนได้ ณ เวลาต่าง ๆ งานวิจัยนี้จึงได้เลือกนำข้อมูลความเร็วบนถนน ณ จุดต่าง ๆ บนลิงก์ ในเวลาที่แตกต่างกันมาใช้ในการเรียนความสัมพันธ์การเพิ่มลดของระดับความเร็วบนลิงก์ต่าง ๆ นอกจากความเร็วที่ต้องใช้เพื่อหาความสัมพันธ์แล้วยังจำเป็นต้องใช้ข้อมูลตำแหน่งคือค่าละติจูดและลองจิจูดลองตำแหน่งนั้น ๆ เพื่อนำได้จับคู่กับลิงก์ให้สามารถทราบได้ว่าตำแหน่งดังกลกำลังเคลื่อนที่อยู่บนถนนในเส้นทางใด ณ เวลานั้น โดยข้อมูลที่ใช้เพื่อการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากรถแท็กซี่ที่วิ่งให้บริการบนส่วนหนึ่งของถนนศรีอยุธยาและถนนพญาไทซึ่งอยู่ภายในกรุงเทพมหานครระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2556 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2556

- โครงสร้างข้อมูล

ข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ GPS บนรถแท็กซี่ที่วิ่งให้บริการอยู่บนท้ องถนนประกอบด้วยหลายข้อมูลแต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกเฉพาะข้อมูลที่ จำเป็นที่ต้องการใช้เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของลิงก์เท่านั้นโดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.6 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

GPS
row_id*
source_id
date_time
lat
long
speed
heading
linkid

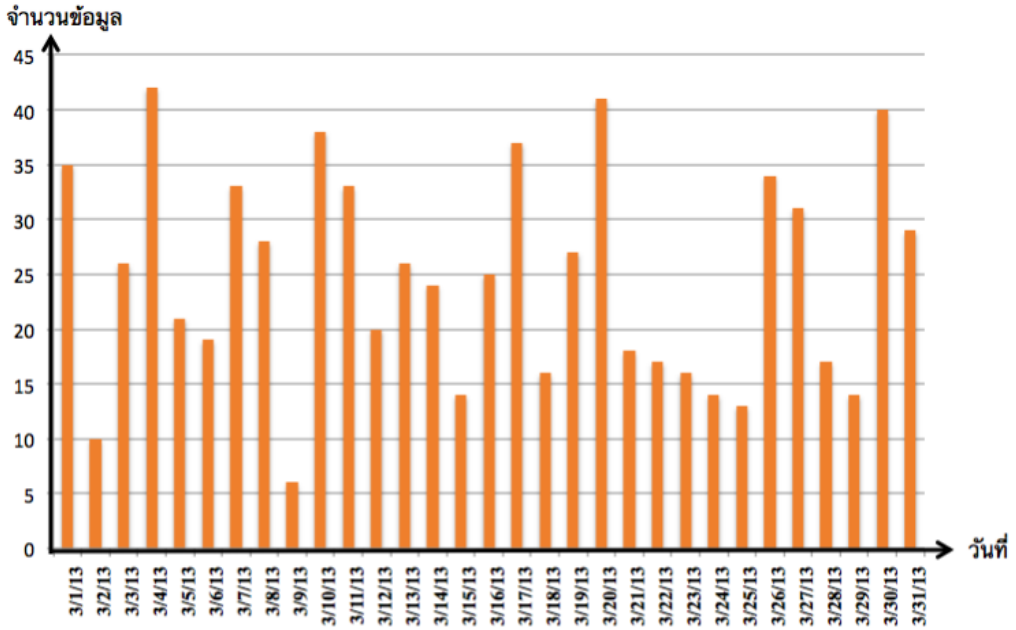
รูปที่ 4.6: โครงสร้างข้อมูล GPS ที่ใช้เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของลิงก์

	ชื่อ	ชนิด	คำอธิบาย
PK	row_id	Integer	รหัสอ้างอิงข้อมูล
	source_id	Integer	รหัสอ้างถึงอุปกรณ์ GPS ที่ใช้เก็บข้อมูล
	date_time	Datetime	วันที่และเวลาที่เก็บข้อมูล
	lat	Double Precision	ค่าละติจูดของตำแหน่งของข้อมูลที่เก็บได
	long	Double Precision	ค่าลองจิจูดของตำแหน่งของข้อมูลที่เก็บได
	speed	Double Precision	ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่
	heading	Double Precision	ทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ
	linkid	Integer	รหัสลิงก์ที่รถกำลังเคลื่อนที่

ตารางที่ 4.1: รายละเอียดข้อมูล GPS ที่ใช้เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของลิงก์

- ลักษณะของข้อมูล

ข้อมูล GPS ที่ใช้ในการทดลองเรียนรู้ความสัมพันธ์มีจำนวนทั้งหมด 764 จุดข้อมูลโดยข้อมูลจะอยู่ในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันจันทร์ถึงศุกร์ ระหว่างวันที่ 1มีนาคม 2556 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2556 โดยข้อมูลจุด GPS ที่เก็บได้ต่อรถหนึ่งคันจะมีระยะเวลาห่างกันเฉลี่ยประมาณ 1 นาที จำนวนข้อมูลแบ่งตามวันที่แสดงได้ดังรูปที่ 4.7



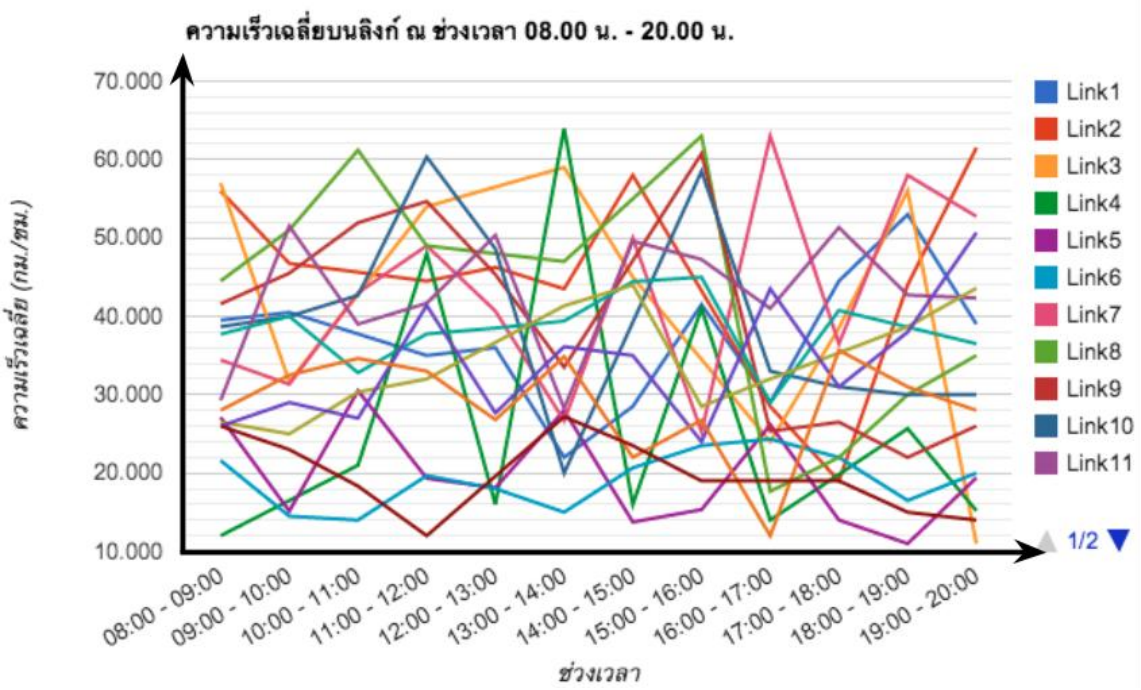
รูปที่ 4.7: กราฟจำนวนข้อมูล GPS ในช่วงวันที่ 01/03/2556 – 31/03/2556

- การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์

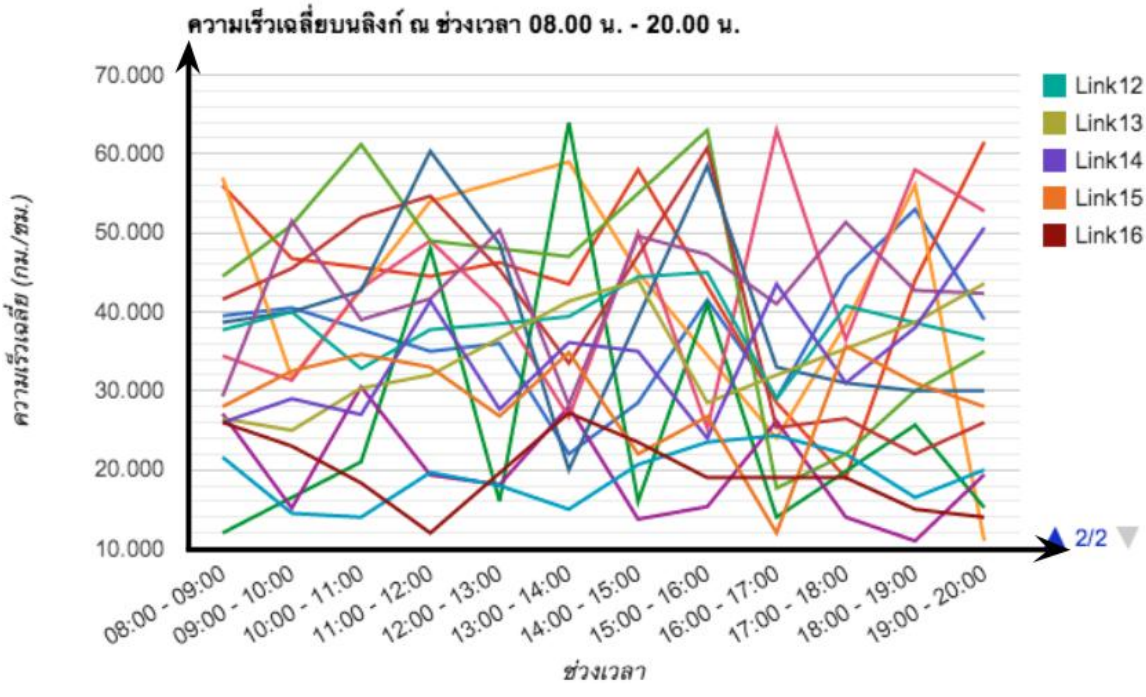
ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์จะใช้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยทุก ๆ 1 ชั่วโมงจากเวลา 08.00 น. ถึง 20.00 น. บนลิงก์ต่าง ๆ ซึ่งจะแบ่งเป็น 12 ช่วง (1 - 12) การคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ทำโดยใช้กระบวนการดังรูปที่ 3.3 ซึ่งทำให้ได้ผลการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่าง ๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 และดังรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข)

Link No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	39.500	40.500	37.750	35.000	36.000	22.000	28.500	41.500	29.000	44.500	53.000	39.000
2	56.000	46.750	45.625	44.500	46.250	43.500	58.000	43.250	28.500	19.000	44.000	61.500
3	57.000	31.625	42.813	54.000	56.500	59.000	45.000	34.500	24.000	38.500	56.000	11.000
4	12.000	16.500	21.000	48.000	16.000	64.000	16.000	41.000	14.000	19.833	25.667	15.200
5	27.111	15.143	30.500	19.333	18.111	28.000	13.750	15.333	26.167	14.000	11.000	19.400
6	21.600	14.500	14.000	19.667	18.000	15.000	20.667	23.500	24.333	22.000	16.500	20.000
7	34.429	31.333	43.000	49.000	40.667	26.667	50.000	25.250	63.000	36.500	58.000	52.750
8	44.500	51.000	61.200	49.000	48.000	47.000	55.000	63.000	17.667	22.000	30.000	35.000
9	41.583	45.500	51.933	54.667	45.333	33.500	47.125	60.750	25.333	26.500	22.000	26.000
10	38.667	40.000	42.667	60.333	48.600	20.000	39.250	58.500	33.000	31.000	30.000	30.000
11	29.286	51.500	39.000	41.667	50.333	28.250	49.600	47.250	41.000	51.333	42.714	42.333
12	37.714	40.000	32.800	37.750	38.500	39.400	44.429	45.000	29.000	40.750	38.625	36.500
13	26.500	25.000	30.333	32.000	36.667	41.333	44.000	28.500	32.000	35.333	38.667	43.583
14	26.000	29.000	27.000	41.400	27.667	36.125	35.000	24.000	43.500	31.000	38.000	50.667
15	28.000	32.500	34.625	33.000	26.800	34.857	22.000	26.750	12.000	35.667	31.000	28.000
16	26.000	23.000	18.333	12.000	19.600	27.200	23.500	19.000	19.000	19.000	15.000	14.000

ตารางที่ 4.2: รายละเอียดข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ ที่ใช้ในการวัดระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ (ความเร็วเฉลี่ยหน่วยเป็น กม./ชม.)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8: กราฟความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ณ ช่วงเวลา 08.00 น. – 20.00 น.

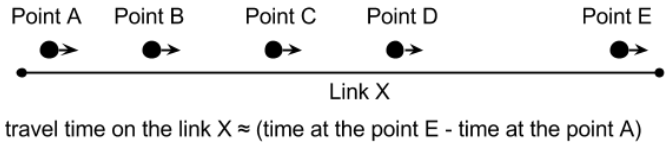
4.1.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์

- ลักษณะข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์จะใช้ข้อมูลที่แตกจากข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจะถูกเก็บด้วยความถี่ของข้อมูลที่มากกว่า ข้อมูลแต่ละจุดจะถูกเก็บด้วยความละเอียดทุก ๆ 1 วินาที แต่โครงสร้างของข้อมูลจะเหมือนกันกับโครงสร้างข้อมูลที่ใช้เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ โดยข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบจะอยู่ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 16.00น.

- การเตรียมข้อมูลเพื่อทดสอบ

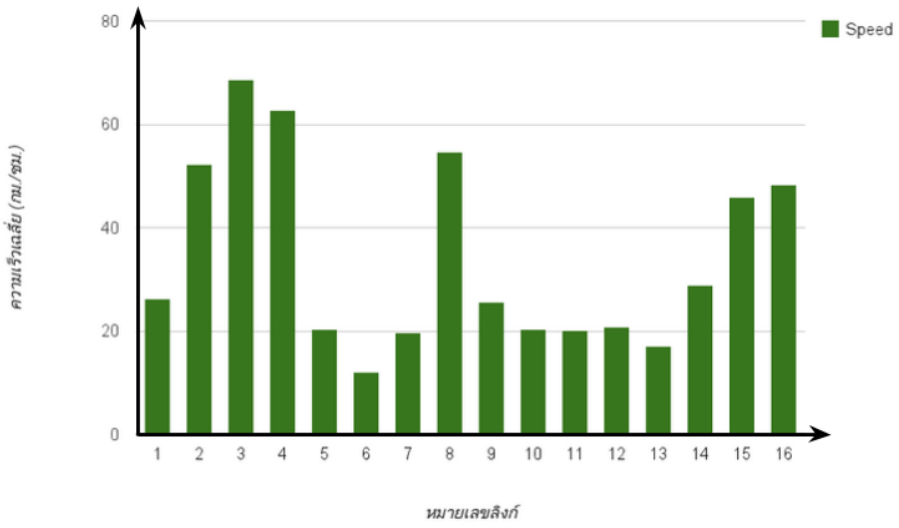
ในการทดสอบความสัมพันธ์จะต้องทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ที่ต้องการทดสอบเพื่อใช้ความเร็วเฉลี่ยของลิงก์ที่ถูกเลือกเป็นลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุด มาใช้ในการทำนายความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ ช่วงเวลานั้น ซึ่งกระบวนการทดสอบและการเลือกชุ่มลิงก์ที่ต้องการทำนายได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 โดยในการทดสอบได้เลือกเฉพาะช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูลแบบละเอียดคือมีการเก็บข้อมูลต่อจุดทุก ๆ 1 วินาทีเท่านั้น เพราะจะทำให้สามารถคำนวณเวลาที่ได้เดินทางบนลิงก์ต่าง ๆ ที่ทดสอบได้ใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้จริง โดยจะทำการคำนวณผลต่าง ๆ ของเวลา ณ จุดที่เก็บข้อมูลซึ่งพบเป็นจุดแรก ณ บริเวณต้นลิงก์กับเวลา ณ จุดทีเก็บข้อมูลที่พบเป็นจุดสุดท้าย ณ บริเวณปลายลิงก์ของลิงก์ที่ต้องการคำนวณเวลาการเดินทางดังตัวอย่างในรูปที่ 4.9 โดยเมื่อได้เวลาการในการเดินทางบนลิงก์นั้นแล้วจะนำไปคำนวณความเร็วที่รถได้วิ่งบนลิงก์นั้นเพื่อใช้ในการทำนายต่อไป เวลาการเดินทางบนลิงก์และความเร็วที่ใช้ในการเดินทางบนลิงก์ที่ทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10 และข้อมูลตารางที่ 4.3



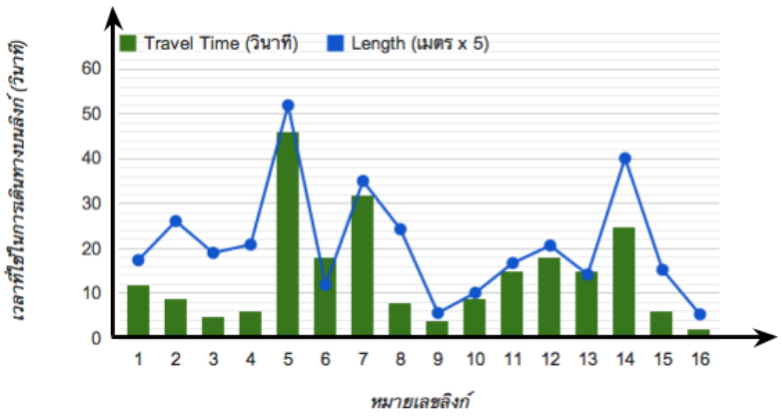
รูปที่ 4.9: ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางบลิงก์ที่ต้องการทดสอบ

Link No.	**ความเร็วเฉลี่ย** (กม./ชม.)	**เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (วินาที)**
1	26.143	12
2	52.216	9
3	68.548	5
4	62.705	6
5	20.300	46
6	11.913	18
7	19.712	32
8	54.680	8
9	25.504	4
10	20.296	9
11	20.136	15
12	20.672	18
13	17.065	15
14	28.863	25
15	45.850	6
16	48.255	2

ตารางที่ 4.3: รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการทำนายเวลาการเดินทาง



รูปที่ 4.10: กราฟความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางบนลิงก์ที่ทำการทดสอบ ณ ช่วงเวลา 15.00 น. – 16.00 น.

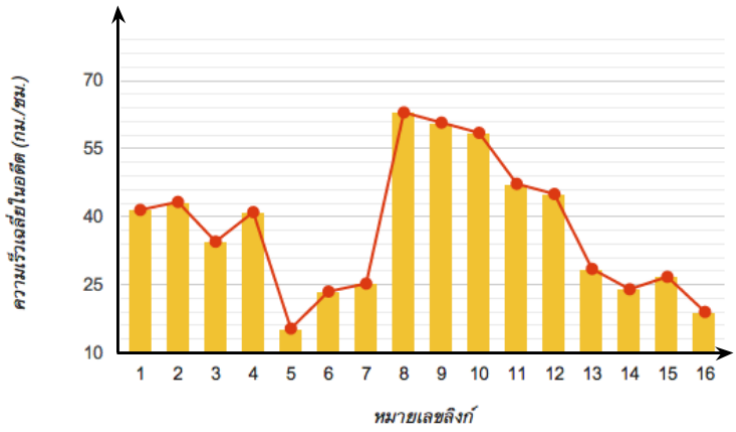


รูปที่ 4.11: กราฟเวลาที่ใช้ในการเดินทางบนลิงก์ที่ทำการทดสอบ
ณ ช่วงเวลา 15.00 น. – 16.00 น. และความยาวของลิงก์

4.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์และการทำนายเวลาการเดินทาง

4.2.1 การทำนายการเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลในอดีต

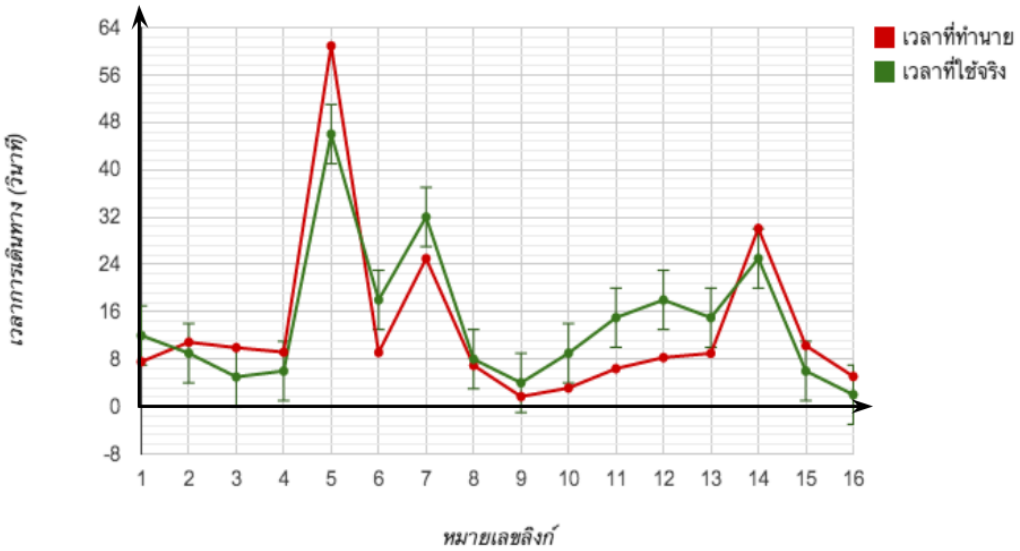
การทดลองนี้ทำเพื่อทดลองเกี่ยวกับการนำข้อมูลความเร็วในอดีตบนเส้นทางต่าง ๆ มาทำนายความเร็วบนลิงก์ ณ เวลาที่ลิงก์นั้นไม่มีข้อมูล เพื่อทดลองเบื้องต้นในการนำเอาข้อมูลความเร็วในอดีตมาประยุกต์ในการทำนายเมื่อเกิดสถานะการที่ต้องการข้อมูลความเร็วเพื่อใช้ในการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์แต่กลับไม่มีข้อมูล ณ ปัจจุบันเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ในกาคำนวณได้ โดยการทดลองได้ทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในช่วงวันที่ที่แตกต่างไปจากข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบ โดยข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในอดีตบนลิงก์ที่จะทำการทดสอบมีลักษณะ ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.12: กราฟความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ที่ต้องการทำนายในอดีต

หมายเลขลิงก์	ความเร็วเฉลี่ยในอดีต (กม./ชม.)
1	41.5
2	43.25
3	34.5
4	41
5	15.333
6	23.5
7	25.25
8	63
9	60.75
10	58.5
11	47.25
12	45
13	28.5
14	24
15	26.75
16	19

ตารางที่ 4.4: ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในอดีต



รูปที่ 4.13: กราฟผลการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จากข้อมูลในอดีตเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในเดินทางจริง โดยได้ค่า RMSE เท่ากับ เท่ากับ 6.65 วินาที

ในการทดลองได้นำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ในอดีต ณ ช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบมาใช้เพื่อคำนวณเวลาการเดินทางที่ใช้เดินทางบนลิงก์นั้น ๆ ณ เวลานั้น โดยการคำนวณเวลาการเดินทางคำนวณได้จากข้อมูลความยาวของลิงก์กับข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการทำนายจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในอดีต ผลการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ต่างแสดงดังตารางที่ 4.5 และแสดงลักษณะของเวลาการเดินทางบนลิงก์ต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 4.13

Link No.	**เวลาที่ทำนาย (วินาที)**	**เวลาที่ใช้จริง (วินาที)**	ค่าเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริง**(วินาที)**
1	7.559	12	4.441
2	10.865	9	1.866
3	9.934	5	4.934
4	9.176	6	3.176
5	60.900	46	14.900
6	9.125	18	8.875
7	24.981	32	7.0186
8	6.9435	8	1.056
9	1.679	4	2.321
10	3.122	9	5.878
11	6.392	15	8.608
12	8.269	18	9.731
13	8.981	15	6.0186
14	30.066	25	5.066
15	10.284	6	4.284
16	5.079	2	3.079
		ค่าเฉลี่ย	**5.703**

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลในอดีตเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริง และค่าผิดพลาดจากเวลาที่ใช้จริง

จากตารางที่ 4.5 สามารถคำนวณค่าความผิดพลาด โดยคำนวณจากค่า RMSE (Root Mean Square Error) ของค่าเวลาผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาการเดินทางที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยในอดีตของลิงก์กับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริงบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ทดสอบ โดยค่า RMSE ได้เท่ากับ 6.65 วินาทีและได้ค่าเฉลี่ยเวลาผิดพลาดเท่ากับ 5.703 วินาที

4.2.2 การทำนายการเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์รอบข้าง

การทดลองนี้ทำเพื่อทดสอบในกรณีที่ต้องการคำนวณเวลาในการเดินทางบนลิงก์ ณ เวลาหนึ่งแต่ไม่สามารถคำนวณได้เรื่องจากไม่มีข้อมูลที่จะสามารถคำนวณ ณ เวลานั้นได้ ในกรณีจะทดลองนำข้อมูลความเร็วจากลิงก์รอบข้างของลิงก์นั้นมาใช้ในการทำนายความเร็วบนลิงก์นั้นแทน สถานะการณ์นี้เกิดขึ้นได้จากกรณีที่รถแท็กที่ทำเก็บข้อมูลวิ่งข้ามลิงก์นั้นไปก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล ซึ่งจะทำให้ลิงก์ที่ถูกข้ามไปนั้นไม่มีข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์นั้นได้ การทดลองทำโดยการนำข้อมูลความเร็วของลิงก์บริเวณรอบข้างมาทำการคำนวณค่าเฉลี่ยและใช้เป็นความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ทำนายความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ตรงกลาง โดยข้อมูลในการทดลองประกอบด้วยความเร็วเฉลี่ยของลิงก์ต่อหน้า (upstream) และลิงก์ต่อหลัง (downstream) ผลการคำนวณค่าความเร็วเฉลี่ยระหว่างลิงก์ต่อหน้าและลิงก์ต่อหลังแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.6

Link No	ความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่อหน้า (กม./ชม.)	ความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่อหลัง (กม./ชม.)	ความเร็วเฉลี่ยระหว่างความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง (กม./ชม.)
2	26.143	68.548	47.346
3	52.216	62.705	57.461
4	68.548	20.300	44.424
5	62.705	11.913	37.309
6	20.300	19.712	20.006
7	11.912	54.680	33.296
8	19.711	25.504	22.608
9	54.680	20.296	37.488
10	25.504	20.136	22.820
11	20.296	20.678	20.484
12	20.136	17.065	18.600
13	20.672	28.863	24.767
14	17.065	45.850	31.457
15	28.863	48.255	38.559

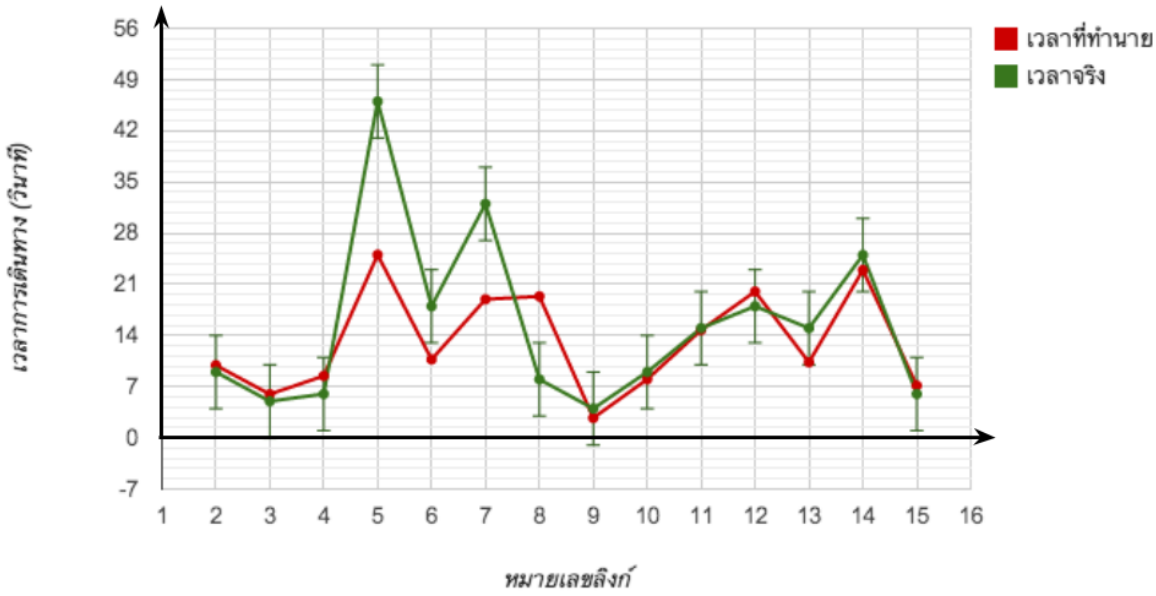
ตารางที่ 4.6: ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง และค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการทดลองทำนายเวลาในการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลโดยใช้ข้อมูลลิงก์รอบข้าง

ในการทดลองจะทำการนำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยระหว่างความเร็วเฉลี่ยของลิงก์ต่อหน้าและลิงก์ต่อหลังมาใช้ในการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ระหว่างกลางซึ่งถูกจำลองว่าไม่มีข้อมูลความ

เร้วเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณเวลาการเดินทาง ณ เวลานั้น โดยการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลนั้นจะคำนวณโดยใช้ข้อมูลความยาวของลิงก์และความข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการทำนายจากลิงก์รอบข้าง โดยค่าเวลาการที่ใช้ในการเดินทางที่ได้จากการคำนวณและค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่ใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้จริงแสดงได้ดังตารางที่และลักษณะเวลาที่ใช้ในการเดินทางบนลิงก์ที่ได้จากการทำนายเทียบกับเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้เดินทางจริงบนลิงก์แสดงได้ดังรูปที่ 4.14

Link No	**เวลาที่ทำนาย(วินาที)**	**เวลาจริง (วินาที)**	ค่าเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริง**(วินาที)**
2	9.926	9	0.926
3	5.965	5	0.965
4	8.469	6	2.469
5	25.029	46	20.971
6	10.718	18	7.282
7	18.944	32	13.056
8	19.349	8	11.349
9	2.721	4	1.279
10	8.005	9	0.995
11	14.745	15	0.255
12	20.005	18	2.005
13	10.335	15	4.665
14	22.938	25	2.062
15	7.135	6	1.135
		ค่าเฉลี่ย	**4.958**

ตารางที่ 4.7: ผลการทดลองคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์รอบข้างเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริง และค่าเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริง



รูปที่ 4.14: กราฟผลการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจากลิงก์รอบข้าง เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในเดินทางจริง โดยได้ค่า RMSE เท่ากับ เท่ากับ 6.034 วินาที

จากตารางที่ 4.7 สามารถคำนวณค่าความผิดพลาด โดยคำนวณจากค่า RMSE (Root Mean Square Error) ของค่าเวลาผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาการเดินทางที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยจากลิงก์รอบข้างกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริงบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ทดสอบ โดยค่า RMSE ได้เท่ากับ 6.034 วินาทีและได้ค่าเฉลี่ยเวลาผิดพลาดเท่ากับ 4.958 วินาที จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผิดพลาดของเวลาที่ใช้การเดินทางจริงกับเวลาทำนายมีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดที่ได้จากการทำนายเวลาการเดินทางจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในอดีต แต่กรณีเช่นนี้สามารถใช้ได้เฉพาะเหตุการณ์ที่ลิงก์ที่อยู่บริเวณรอบลิงก์ที่ต้องการทำนายเวลาการเดินทางมีข้อมูลที่สามารถคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์นั้นได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการทำนายความเร็วบนลิงก์ที่อาจจะไม่มีข้อมูลตกอยู่ ณ บริเวณที่ทำการทดลองในช่วงวันที่ที่นำข้อมูลมาใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์

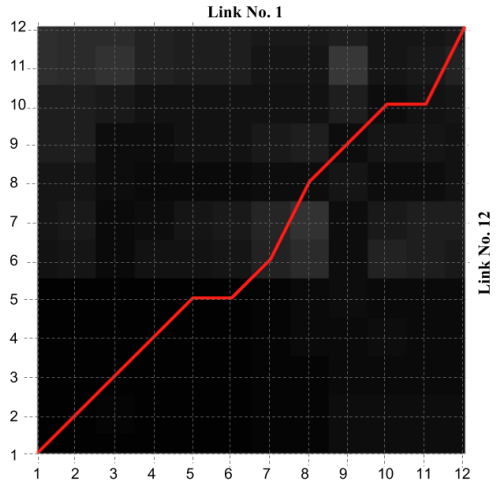
4.2.3 การทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กัน

จากการทดลองทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์โดยใช้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในอดีตของลิงก์และการทดลองทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยระหว่างข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของลิงก์รอบข้างพบว่าสามารถทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลได้ค่อนข้างดีมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของเวลาในการเดินทางไม่เกิน 10 วินาที แต่อย่างไรก็ตามการทำนายด้วยวิธีทั้งสองที่ได้กล่าวไปนั้นยังมีข้อจำกัดทางด้านข้อมูลและด้านค่าจำกัดความเร็วบนลิงก์ ณ เวลาที่ต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีวิธีการทำนายโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์รอบข้างจะมีข้อจำกัดที่จะต้องมีข้อมูลจากลิงก์รอบเพื่อใช้ในการทำนายอยู่ตลอดเวลา และยังไม่สามารถบอกได้ว่าลิงก์รอบข้างที่เลือกมาใช้ในการทำนายเป็นลิงก์ที่เหมาะสมที่สุด

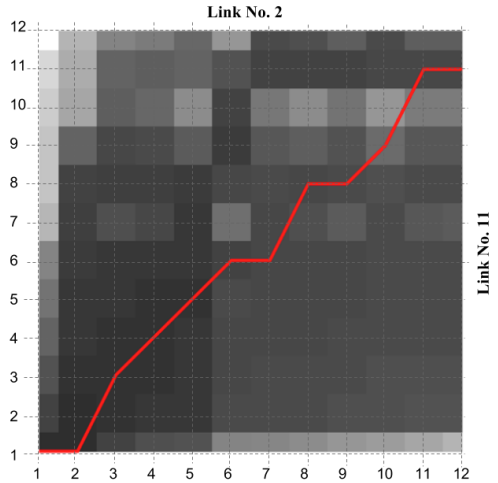
การทดลองนี้จะทำการลองทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยในอดีต โดยการทดลองจะทำการวัดระยะความสัมพันธ์ของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาจาก 08.00 น. ถึง – 20.00 น. โดยแบ่งเป็นทั้งหมด 12 ช่วงคือคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วจากข้อมูล GPS ที่ตกอยู่บนลิงก์ทุก 1 ชั่วโมง ข้อมูลที่ทำนายได้มีรายละเอียดดังตารางที่.. การวัดระยะความสัมพันธ์จะวัดโดยใช้ขั้นตอนวิธีการไดนามิกไทม์วอร์ปปิง โดยการวัดจะทำการวัดค่าแบบหนึ่งต่อหนึ่งลิงก์และทำการจัดเรียงระยะความสัมพันธ์ระยะหว่างลิงก์ในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเลือกลิงก์ในการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ โดยการทดลองได้แบ่งออกเป็นสองลักษณะคือแบบที่หนึ่งพิจารณาความสัมพันธ์แบบตลอดทั้งวันและแบบที่สองพิจารณาความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา

4.2.3.1 แบบที่หนึ่งพิจารณาความสัมพันธ์แบบตลอดทั้งวัน

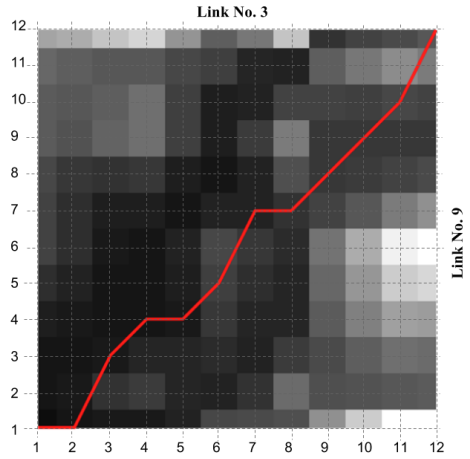
การพิจารณาภาพรวมตลอดทั้งช่วงเวลาที่ทำการทดลองเป็นการวัดระยะห่างของข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างลิงก์หนึ่ง ๆ กับลิงก์อื่น โดยจะเลือกวัดช่วงเวลาที่มีระยะใกล้สุดและไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขการวัดระยะตามที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 จากนั้นจึงทำการคำนวณระยะห่างรวมระหว่างสองลิงก์นั้น โดยลิงก์ที่วัดแล้วได้ระยะหว่างรวมน้อยสุดจะได้ว่าเป็นลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุด และในการใช้งานในการทำนายเวลาการเดินทางจะทำการเลือกข้อมูลจากลิงก์นั้นไปทำนายตลอดทุกช่วงเวลา โดยผลการวัดระยะความสัมพันธ์ของลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 (1) –(16) และผลลัพธ์กราฟลักษณะการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์แสดงดังรูปที่ 4.16



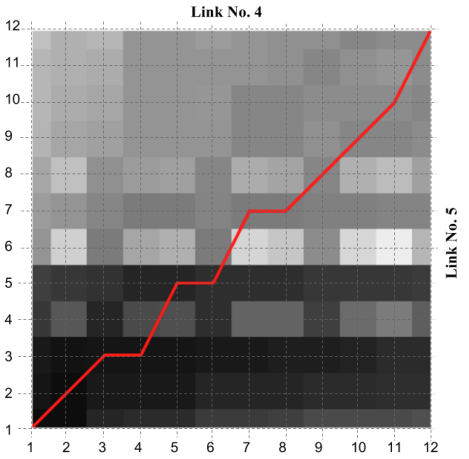
(1) Link 1 และ 12



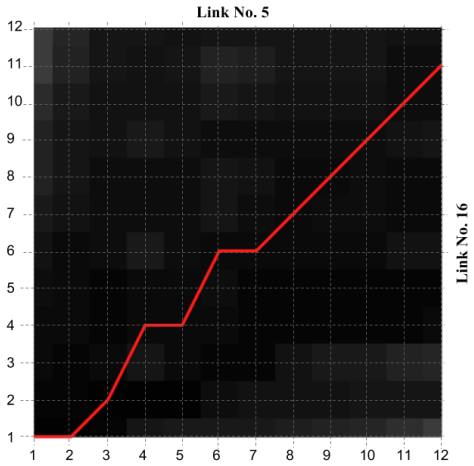
(2) Link 2 และ 11



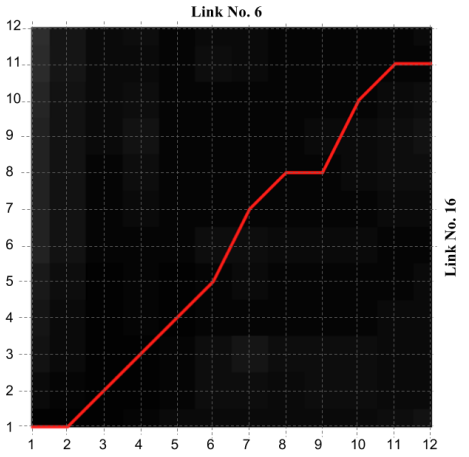
(3) Link 3 และ 9



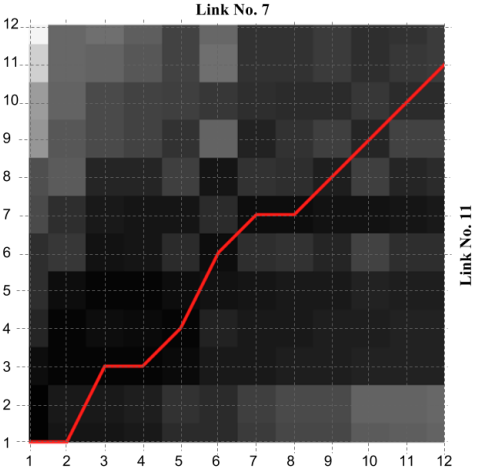
(4) Link 4 และ 5



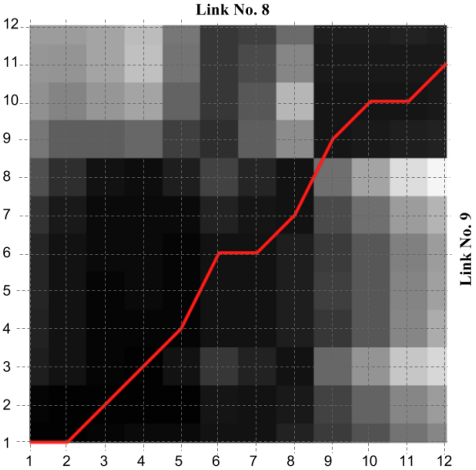
(5) Link 5 และ 16



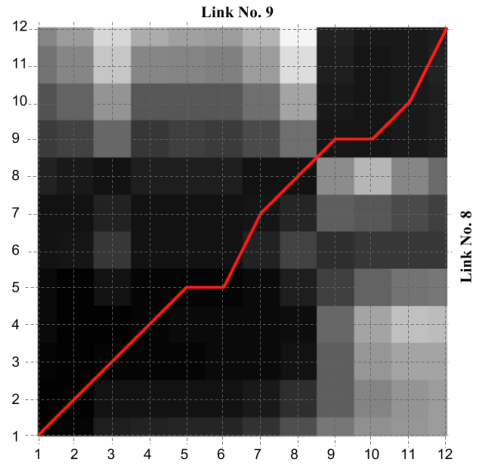
(6) Link 6 และ 16



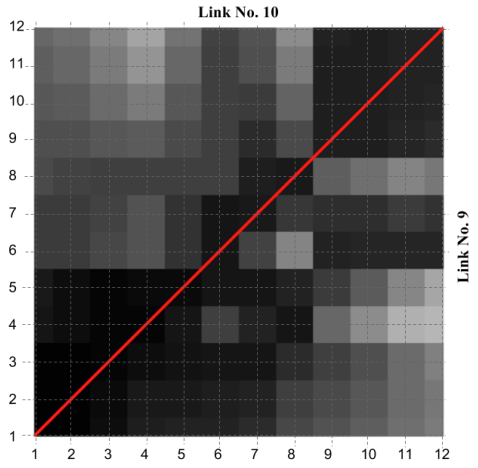
(7) Link 7 และ 11



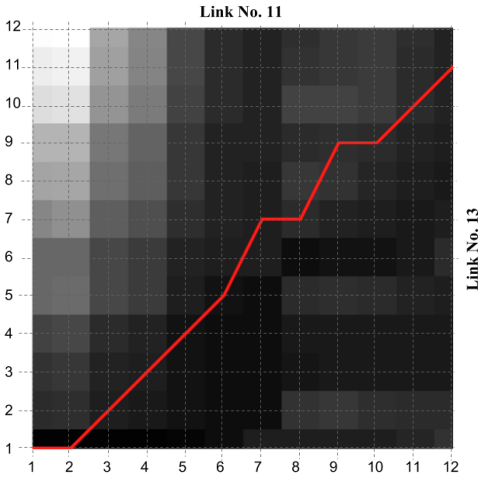
(8) Link 8 และ Link 9



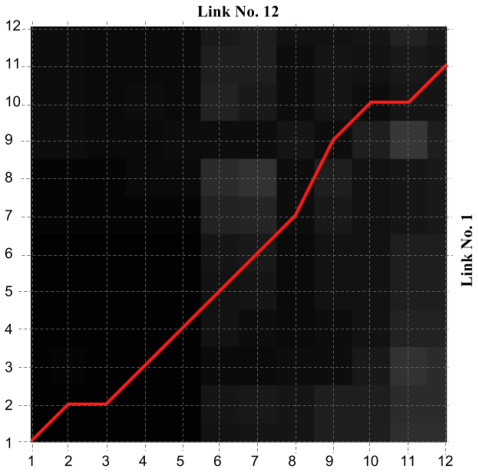
Link 9 และ 8



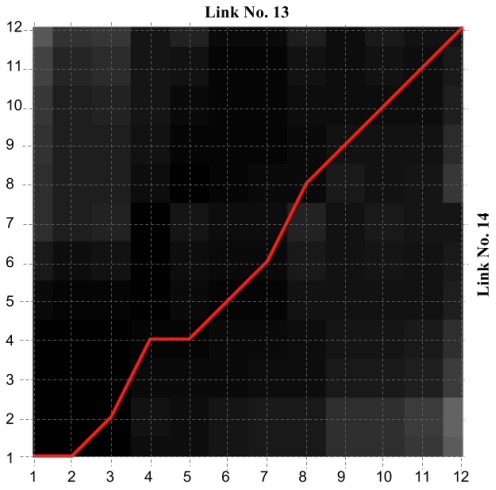
Link 10 และ Link 9



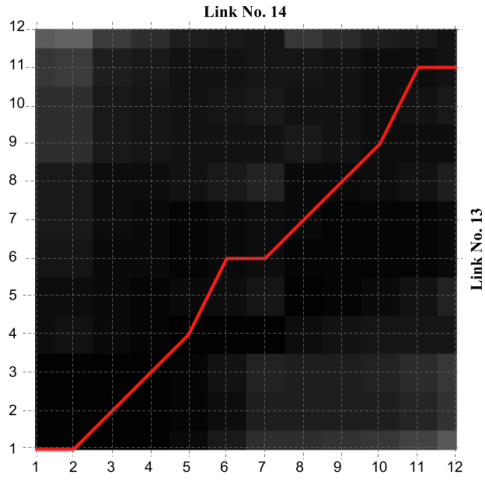
Link 11 และ Link 13



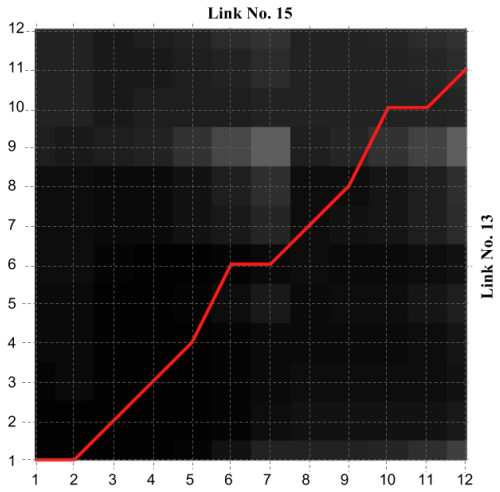
Link 12 และ Link 1



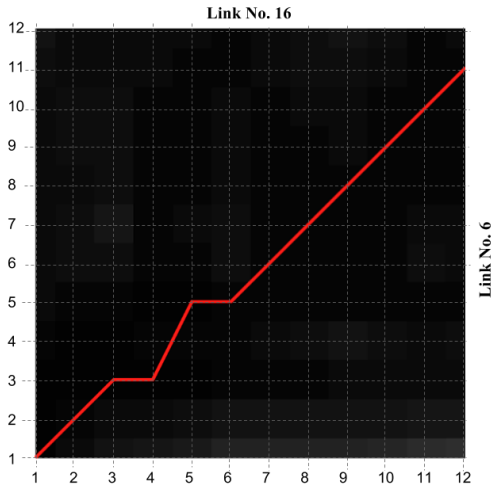
Link 13 และ Link 14



Link 14 และ Link 13

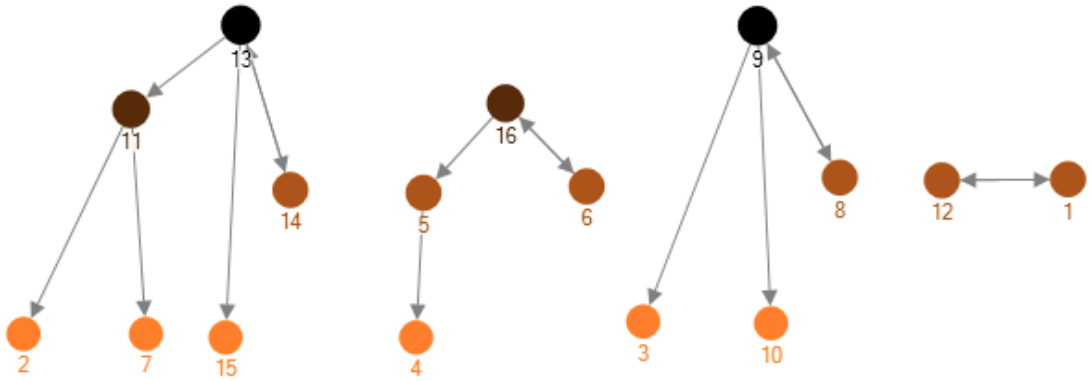


Link 15 และ Link 13



Link 16 และ Link 6

รูปที่ 4.15: ผลการวัดระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ที่มีความระยะความสัมพันธ์ใกล้สุดด้วยวิธีขั้นตอนวิธีการไดนามิกไทม์วอร์ปปิงแบบพิจารณาความสัมพันธ์ตลอดทั้งวัน โดยตัวเลข 1 – 12 คือช่วงเวลาจาก 08.00 น. – 20.00 น. ทุก 1 ชั่วโมง ซึ่ง Link No. ที่อยู่ด้านบนคือลิงก์ที่ต้องการทำนายและLink No. ที่อยู่ด้านขวาคือลิงก์ที่จะใช้ทำนาย



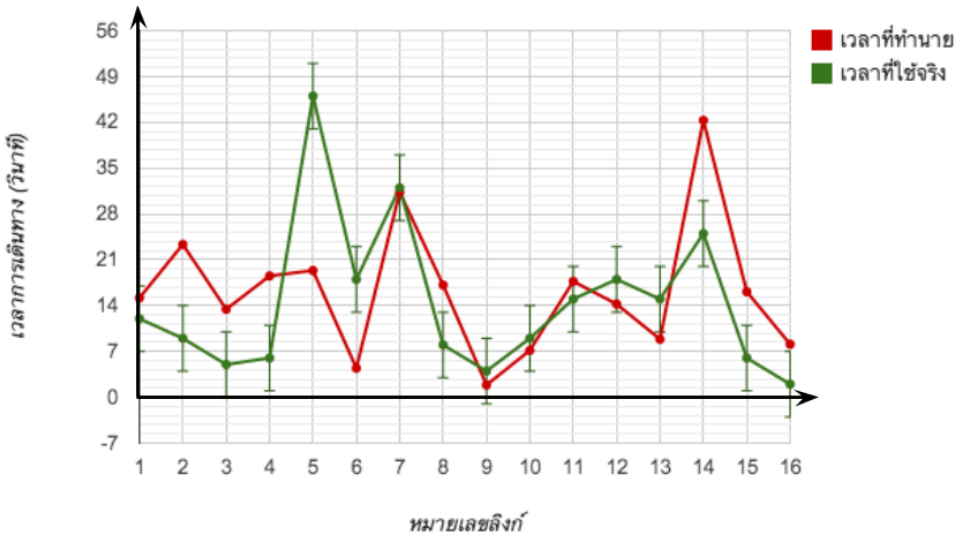
รูปที่ 4.16: กราฟลักษณะการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันใกล้สุดโดยความเข้มขของสีแสดงถึงจำนวนที่สามารถนำลิงก์นั้นไปทำนายลิงก์อื่นได้ และลูกศรบอกถึงทิศทางการนำข้อมูลจากลิงก์หนึ่งไปทำนายลิงก์หนึ่งซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งแบบทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง

จากผลการวัดระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่าง ๆ จะทำการนำมาทดสอบทำนายเวลาการเดินทาง โดยในการทำนายจะทำการเลือกนำลิงก์ที่มีระยะมีความสัมพันธ์ใกล้สุดมาใช้ในการทำนาย ผลการทำนายเวลาการเดินทางแสดงตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.17 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าความ

ผิดพลาดที่ได้ในการทำนายมีระดับที่ 10 วินาทีโดยค่าเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริงมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเท่ากับ 8.662 วินาทีและค่า RMSE เท่ากับ 10.976 วินาที อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายจากข้อมูลในอดีต ณ เวลานั้นถือว่ายังมีค่าความผิดพลาดที่มากกว่า การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการทำนายด้วยข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้ที่สุดเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอเพียงเนื่องจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยอาจจะมีค่าที่แตกต่างกันมากในบางเวลาซึ่งมีผลต่อค่าเวลาการเดินทางที่คำนวณได้มีค่าความผิดพลาดที่มากกว่าปกติ ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาทำนายเวลาการเดินทางอาจจะต้องนำมาจากหลายลิงก์เพื่อให้เกิดการถ่วงน้ำหนักค่าความเร็วเฉลี่ยที่จะนำมาคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ต้องการทำนาย

Link No.	**เวลาที่ทำนาย(วินาที)**	**เวลาจริง (วินาที)**	ค่าเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริง**(วินาที)**
1	15.176	12	3.176
2	23.339	9	14.339
3	13.439	5	8.439
4	18.533	6	12.533
5	19.352	46	26.648
6	4.444	18	13.556
7	31.327	32	0.673
8	17.152	8	9.152
9	1.866	4	2.134
10	7.162	9	1.838
11	17.699	15	2.699
12	14.233	18	3.767
13	8.868	15	6.132
14	42.285	25	17.285
15	16.121	6	10.121
16	8.101	2	6.101
		ค่าเฉลี่ย	**8.662**

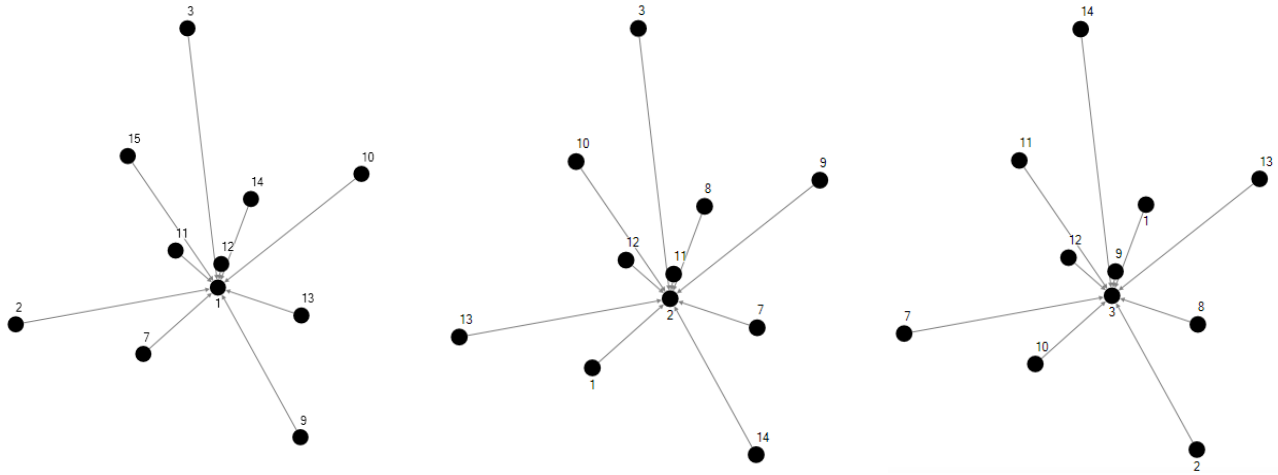
ตารางที่ 4.8: ผลการทดลองการทำนายเวลาการเดินทางด้วยลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดแบบพิจารณาตลอดทั้งวัน



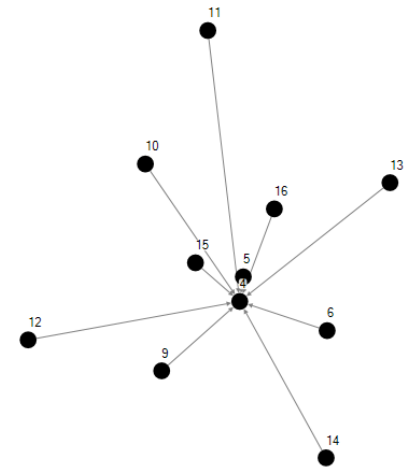
รูปที่ 4.17: กราฟผลการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในเดินทางจริงโดยได้ค่า RMSE เท่ากับ 10.976 วินาที

4.2.3.1.1 การทดลองทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์มากกว่า 1 ลิงก์

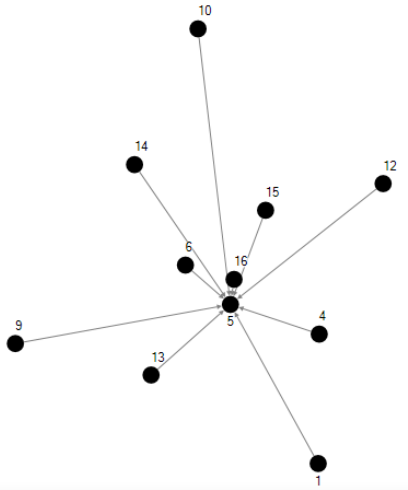
เนื่องจากการทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยเฉพาะลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดเพียงลิงก์เดียวยังให้ค่าความผิดพลาดที่สูงในบางเวลา ดังนั้นการทดลองนี้จะทำการทดลองใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กับลิงก์ที่ต้องการทำนายในระดับอื่น ๆ นอกจากลิงก์ที่มีระดับความสัมพันธ์ใกล้สุดเพียงอย่างเดียว โดยการทดลองจะทำการวัดระยะและจัดลำดับลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กับลิงก์ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นค่าในการพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของลิงก์เพื่อนำข้อมูลของลิงก์นั้นไปใช้ในการร่วมทำนายเวลาการเดินทางด้วย โดยจากการทดลองสามารถแสดงผลความสัมพันธ์ของลิงก์ต่าง ๆ ในลักษณะเครือข่ายได้ดังรูปที่ 4.18 (1) – (16)



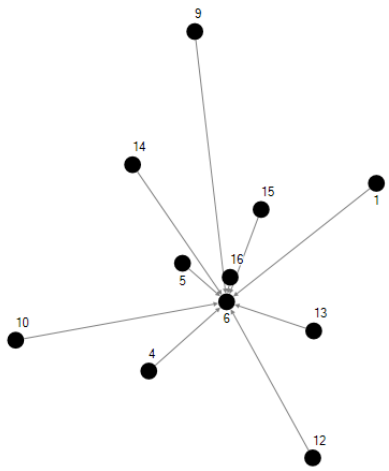
(1) (2) (3)



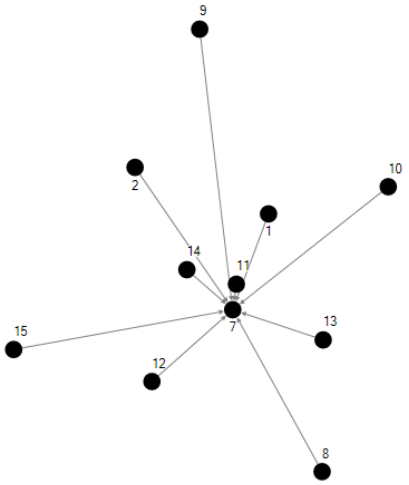
(4)



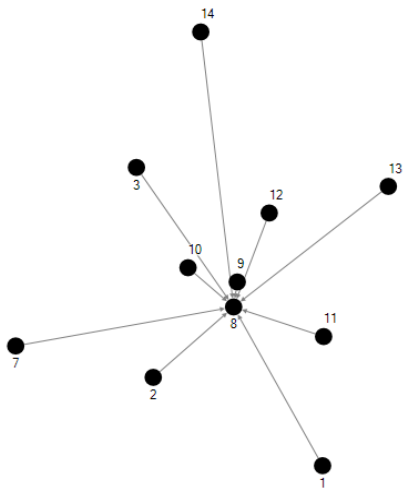
(5)



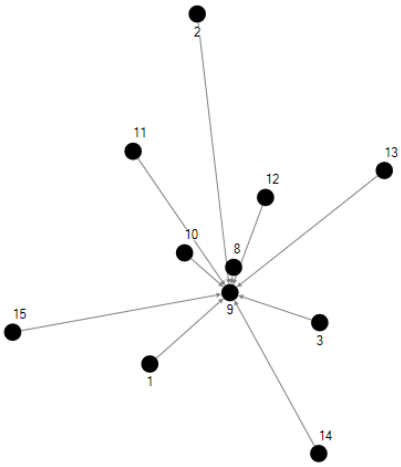
(6)



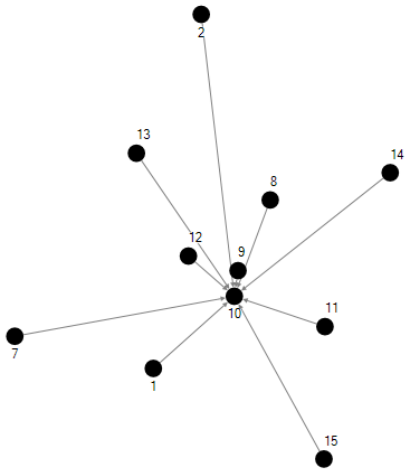
(7)



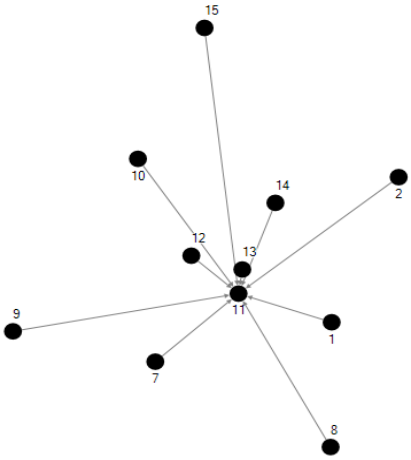
(8)



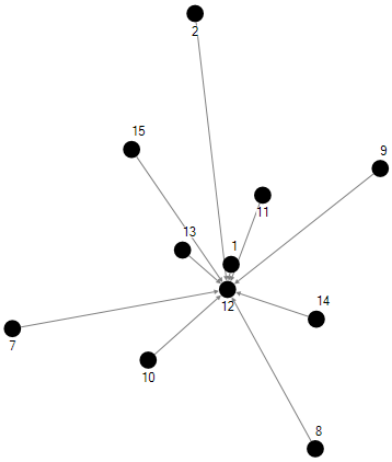
(9)



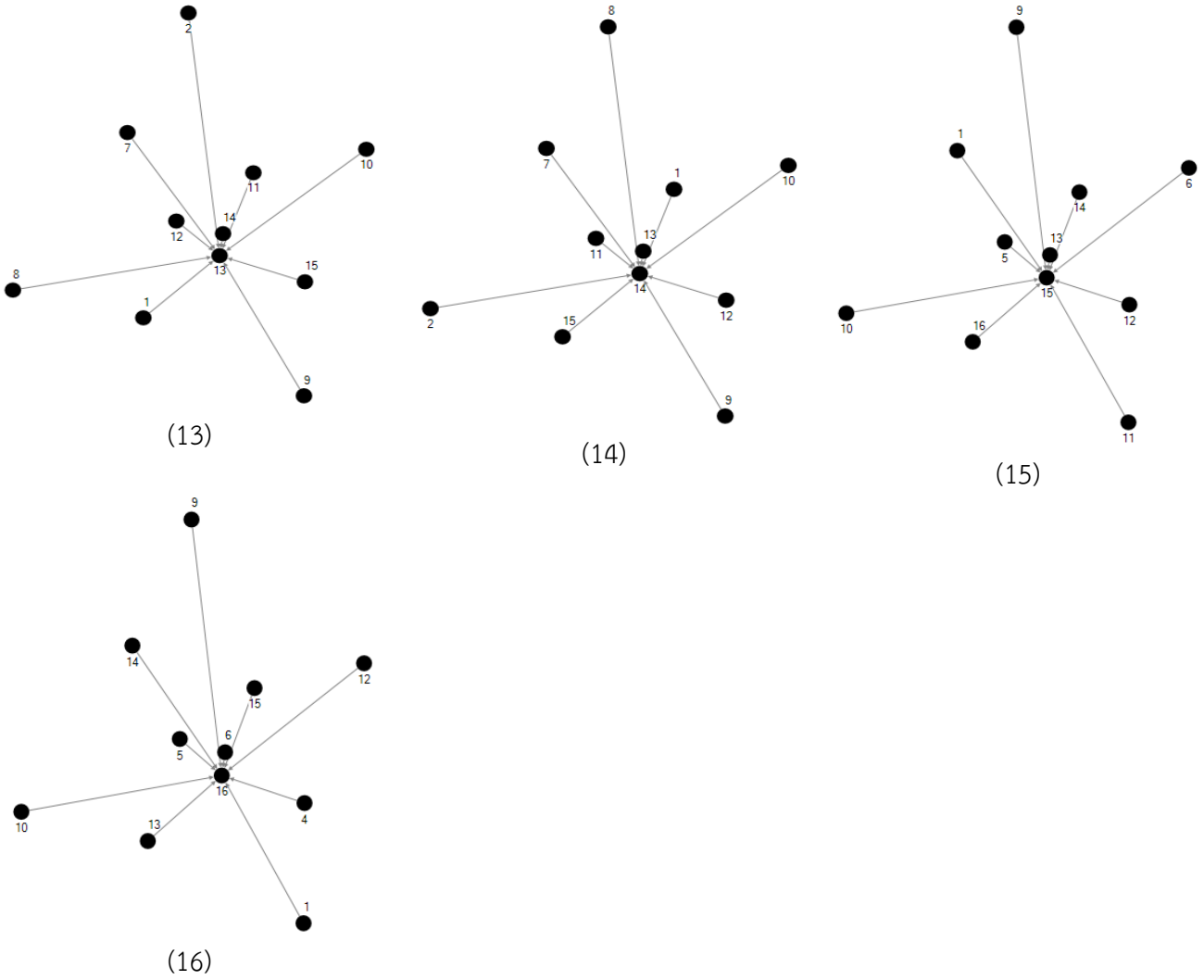
(10)



(11)



(12)

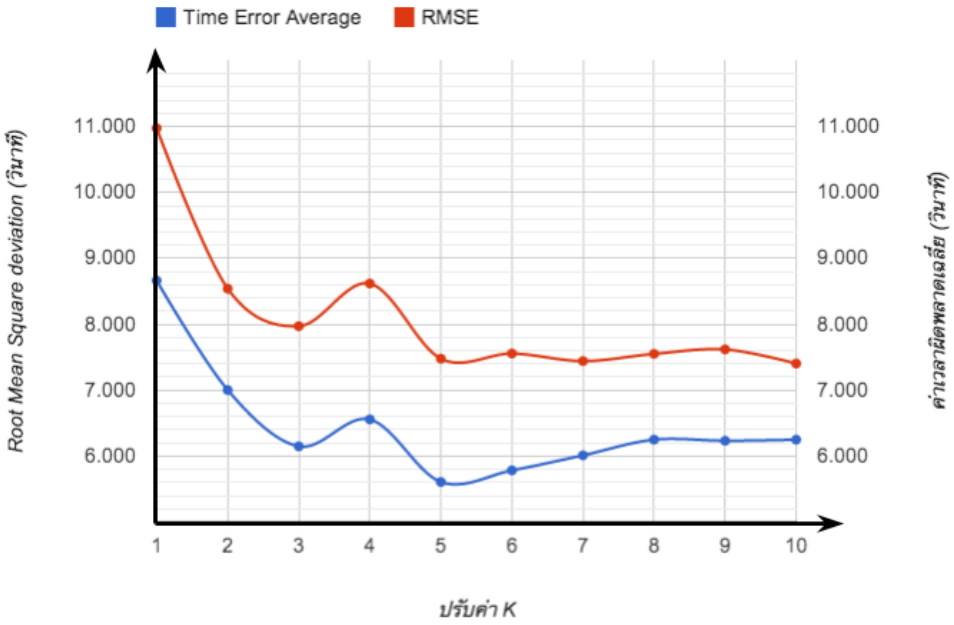


รูปที่ 4.18: เครือข่ายความสัมพันธ์ของลิงก์ 10 ลำดับแรกของลิงก์ต่าง ๆ โดยจากกราฟความยาวของ edge แสดงถึงระดับระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์นั้นกับลิงก์ที่ต้องการทำนาย

ในการทดสอบการทำนายเวลาการเดินทาง ความเร็วที่จะใช้ในการทำนายจะทำการคำนวณจากค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยของลิงก์ที่จะใช้ในการทำนายในแต่ละระดับตามจำนวนที่กำหนด การทดลองนี้ได้ทำการทดลองปรับค่าจำนวนระดับลิงก์ที่จะใช้ในการทำนายซึ่งได้ผลค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.19

จำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนาย เรียงตามระยะความสัมพันธ์	ค่าเฉลี่ยเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริง**(วินาที)**	RMSE (วินาที)
1	8.662	10.976
2	7.001	8.539
3	6.146	7.970
4	6.555	8.618
5	5.605	7.476
6	5.781	7.554
7	6.009	7.440
8	6.248	7.550
9	6.230	7.617
10	6.248	7.403

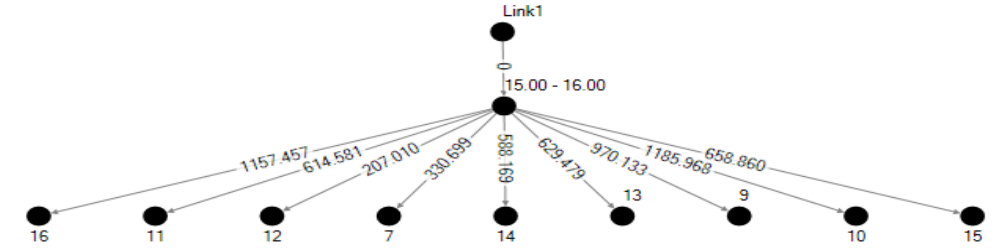
ตารางที่ 4.9: รายละเอียดผลการทดลองทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์หลายลิงก์มาใช้ในการทำนาย แบบพิจารณาตลอดทั้งวัน



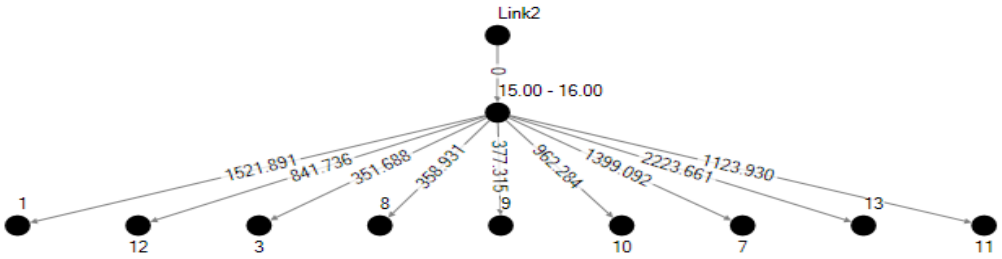
รูปที่ 4.19: กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดในการทำนายเวลาการเดินทางเมื่อปรับค่าจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ค่าเมื่อ K อยู่ในช่วง 5 – 7 ค่าความผิดพลาดจะต่ำสุด

4.2.3.2 แบบที่สองพิจารณาความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา

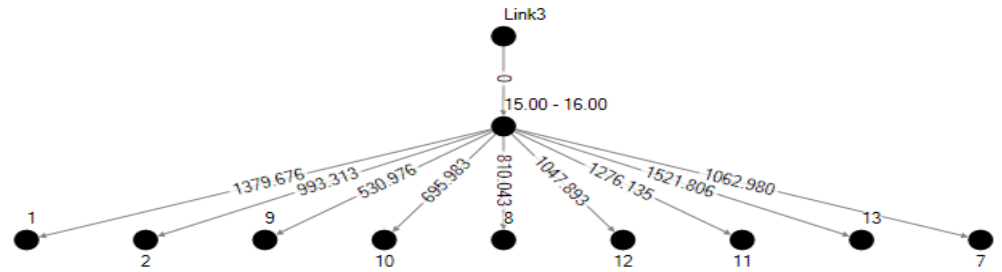
เนื่องจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันนั้นอาจจะมีความสัมพันธ์กันเฉพาะบางช่วงในแต่ละวันเท่านั้น ดังนั้นการวัดระยะความสัมพันธ์ด้วยพิจารณาเฉพาะระยะรวมตลอดทั้งช่วงเวลาจะทำให้ได้ว่าข้อมูลที่ใช้ในการทำนายในช่วงเวลาต่าง ๆ จะเป็นข้อมูลจากลิงก์เดิมตลอดทั้งวันแม้ว่าในบางช่วงเวลาอาจจะมีระยะความสัมพันธ์ที่ไกลกันมากซึ่งจะส่งผลทำให้การทำนายเวลาการเดินทางในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าผิดพลาดได้มากกว่าปกติ การทดลองนี้ได้ทำการวัดระยะความสัมพันธ์ของลิงก์ในแต่ละช่วงเวลาย่อยต่าง ๆ และทำการจัดลำดับลิงก์ตามค่าระยะความสัมพันธ์ที่วัดได้เพื่อใช้ในการเลือกลิงก์ในทำนายเวลาการเดินทางร่วมกัน โดยจากการทดลองพบว่าโครงสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.20 (1) – (16)



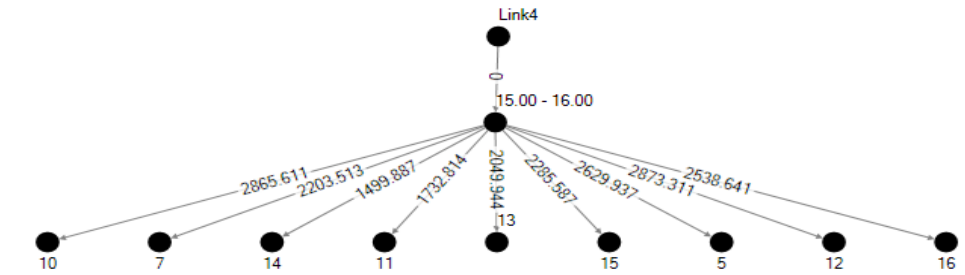
(1)



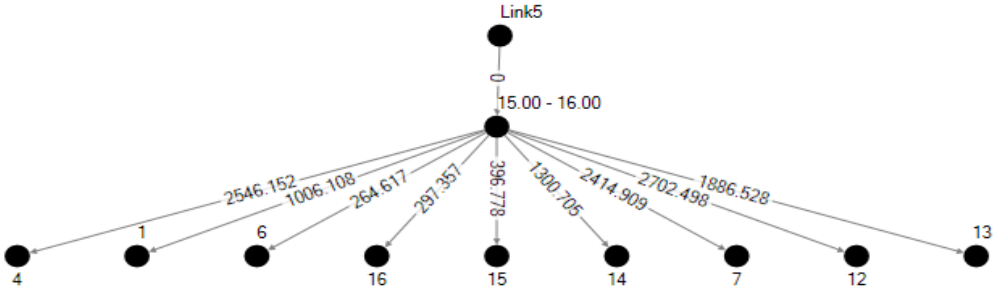
(2)



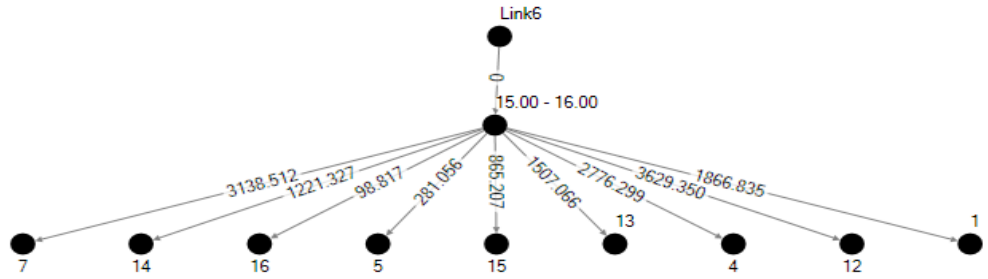
(3)


Link4
0
15.00 - 16.00
2865.611
2203.513
1499.887
1732.814
2049.944
2285.587
2629.937
2873.311
2538.641
10
7
14
11
13
15
5
12
16

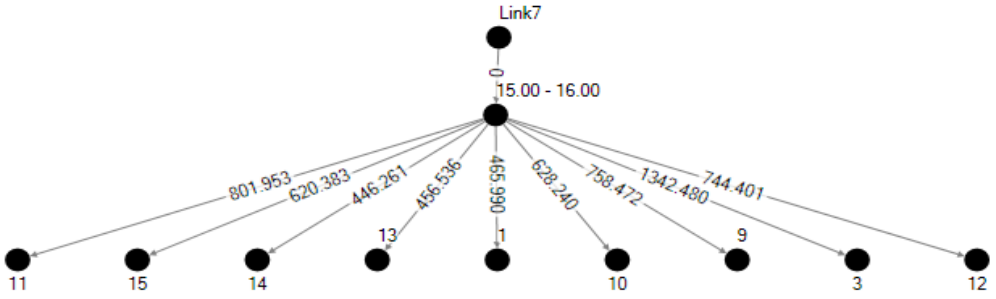
(4)


Link5
0
15.00 - 16.00
2546.152
1006.108
264.617
297.357
396.778
1300.705
2414.909
2702.498
1886.528
4
1
6
16
15
14
7
12
13

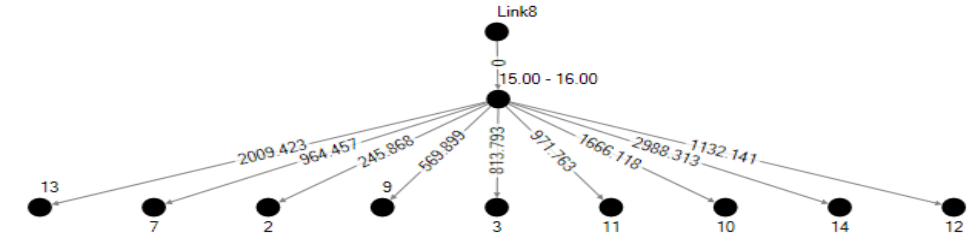
(5)


Link6
0
15.00 - 16.00
3138.512
1221.327
98.817
281.056
865.207
1507.066
2776.299
3629.350
1866.835
7
14
16
5
15
13
4
12
1

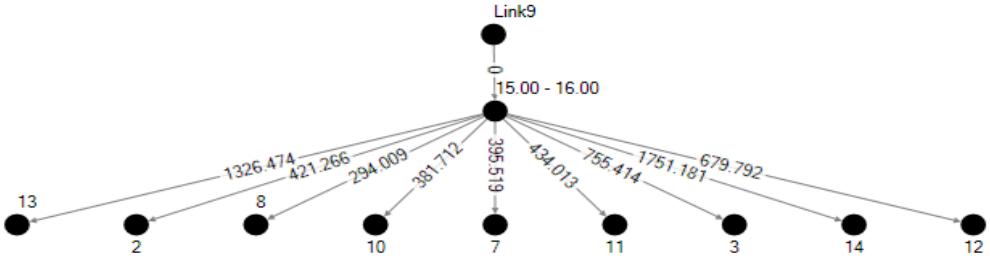
(6)


Link7
0
15.00 - 16.00
801.953
620.383
446.261
456.536
495.990
628.240
758.472
1342.480
744.401
11
15
14
13
1
10
9
3
12

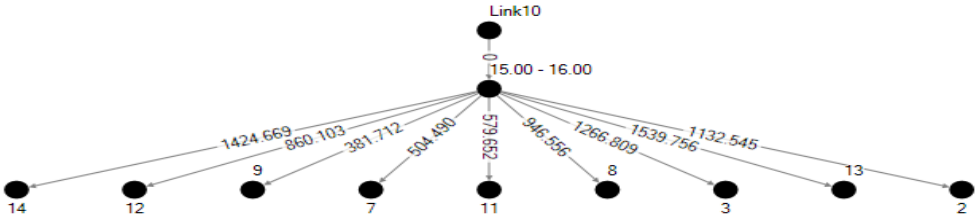
(7)


Link8
0
15.00 - 16.00
2009.423
964.457
245.868
569.899
813.793
971.763
1666.118
2988.313
1132.141
13
7
2
9
3
11
10
14
12

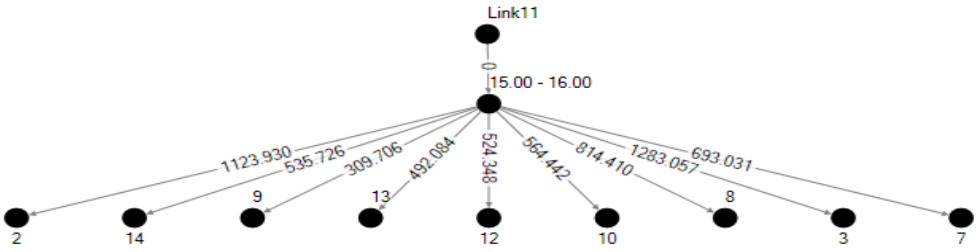
(8)


Link9
0
15.00 - 16.00
1326.474
421.266
294.009
381.712
395.519
434.013
755.414
1751.181
679.792
13
2
8
10
7
11
3
14
12

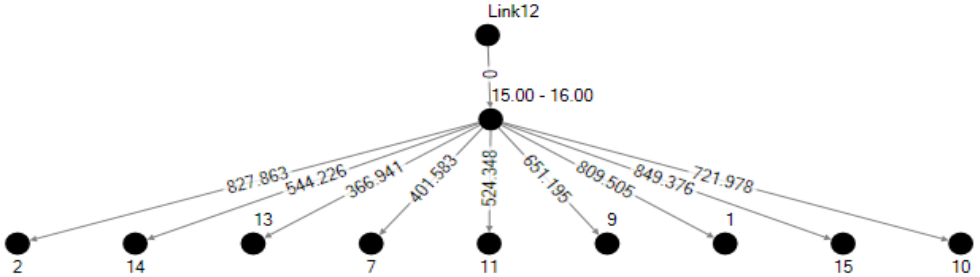
(9)


Link10
0
15.00 - 16.00
1424.669
860.103
381.712
504.490
579.662
946.556
1266.809
1539.756
1132.545
14
12
9
7
11
8
3
13
2

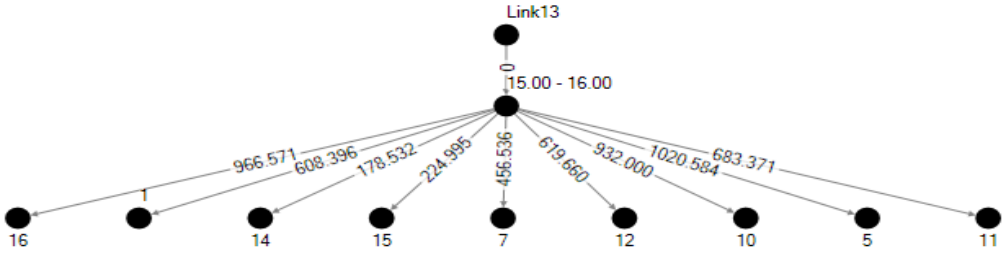
(10)


Link11
0
15.00 - 16.00
1123.930
535.726
309.706
492.084
524.348
564.442
814.410
1283.057
693.031
2
14
9
13
12
10
8
3
7

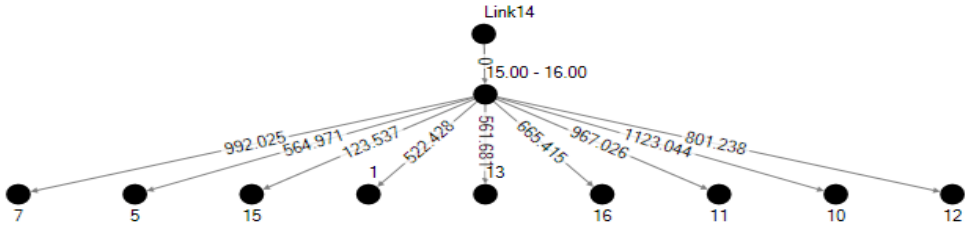
(11)


Link12
0
15.00 - 16.00
827.863
544.226
366.941
401.583
524.348
651.195
809.505
849.376
721.978
2
14
13
7
11
9
1
15
10

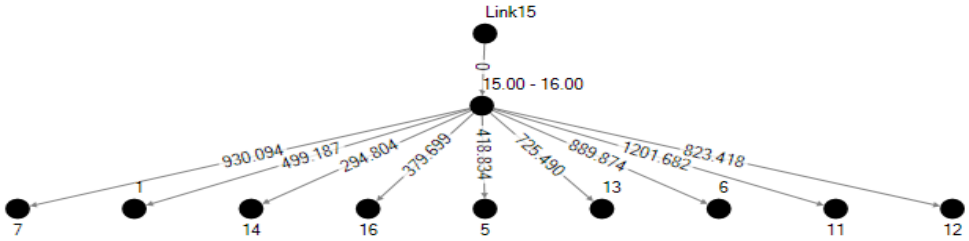
(12)



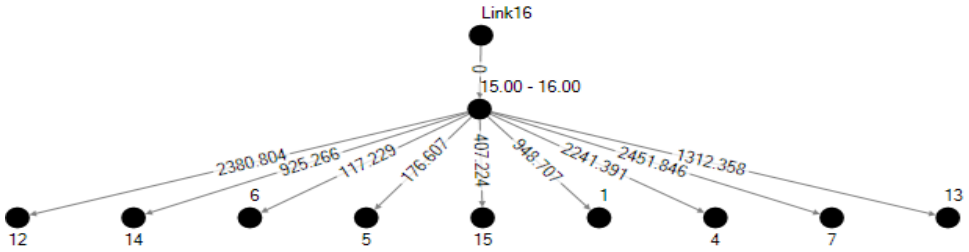
(13)



(14)



(15)



(16)

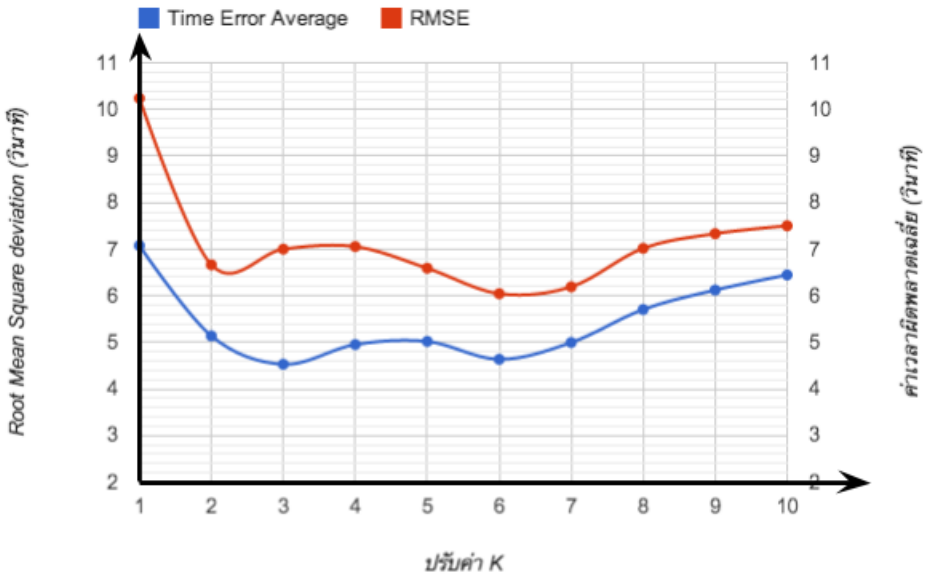
รูปที่ 4.20: กราฟเครือข่ายความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่าง ๆ ในช่วงเวลา 15.00 – 16.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่จะทำการทดสอบทำนายเวลาการเดินทาง โดยกราฟจะบอกหมายเลขลิงก์และระยะความสัมพันธ์ที่วัดได้

จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ต่าง ๆ ดังที่แสดงไปจะถูกทำมาใช้เพื่อทดลองการทำนายเวลาการเดินทาง ในการทดลองการเลือกลิงก์ในการทำนายจะทำโดยการนำลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กับลิงก์ที่ต้องการทำนาย K ลำดับด้วยการพิจารณาการเลือกจากระยะความสัมพันธ์ที่

คำนวณได้ โดยการทำนายจะทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์เพื่อใช้ในการคำนวณเวลาการเดินทางซึ่งผลการทดลองทำนายเวลาการเดินทางแสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.21

จำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนายเรียงตามระยะความสัมพันธ์	ค่าเฉลี่ยเวลาที่แตกต่างจากเวลาที่ใช้จริง**(วินาที)**	RMSE (วินาที)
1	7.076	10.237
2	5.137	6.663
3	4.529	7.000
4	4.952	7.056
5	5.019	6.591
6	4.636	6.044
7	4.996	6.191
8	5.705	7.018
9	6.122	7.332
10	6.446	7.501

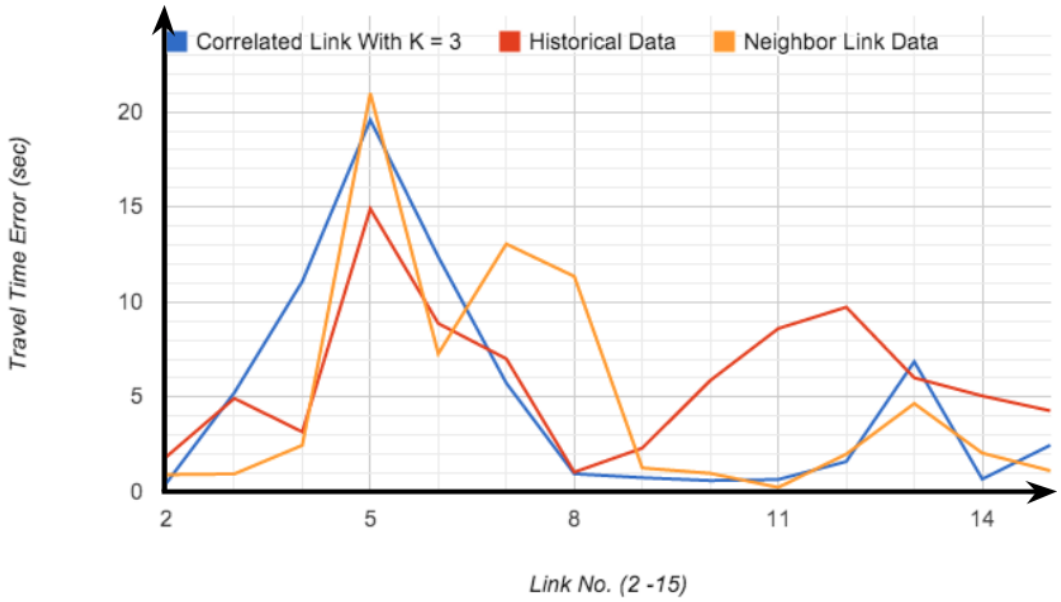
ตารางที่ 4.10 รายละเอียดผลการทดลองทำนายเวลาการเดินทางด้วยข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ในช่วงเวลาต้องการทำนาย โดยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการทำนายกับจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนายพบว่าจำนวนลิงก์ที่ใช้ในช่วง 3 – 7 ลิงก์จะทำนายโดยให้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าช่วงอื่น



รูปที่ 4.21: กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาในการเดินทางเมื่อทำการปรับค่าจำนวนลิงก์ที่ใช้ในการทำนายพบว่าค่า K อยู่ในช่วง 3 – 7 ลิงก์จะให้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าช่วงอื่น

วิธีการทำนาย	ค่าเฉลี่ยเวลาผิดพลาด (วินาที)	RMSE (วินาที)
ทำนายจากข้อมูลในอดีต	5.703	6.649
ทำนายจากลิงก์รอบข้าง	4.958	6.034
ทำนายจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์แบบตลอดทั้งวัน K = 5	5.605	7.476
ทำนายจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา K = 3	4.529	7.000
ทำนายจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา K = 4	4.952	7.056
ทำนายจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา K = 5	5.019	6.591
ทำนายจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา K = 6	4.636	6.044
ทำนายจากลิงก์ที่มีความ สัมพันธ์แบบเฉพาะช่วงเวลา K = 7	4.996	6.191

ตารางที่ 4.11: การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาการเดินทางด้วยวิธีการต่างๆ



รูปที่ 4.22: กราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ด้วยวิธีต่างๆ

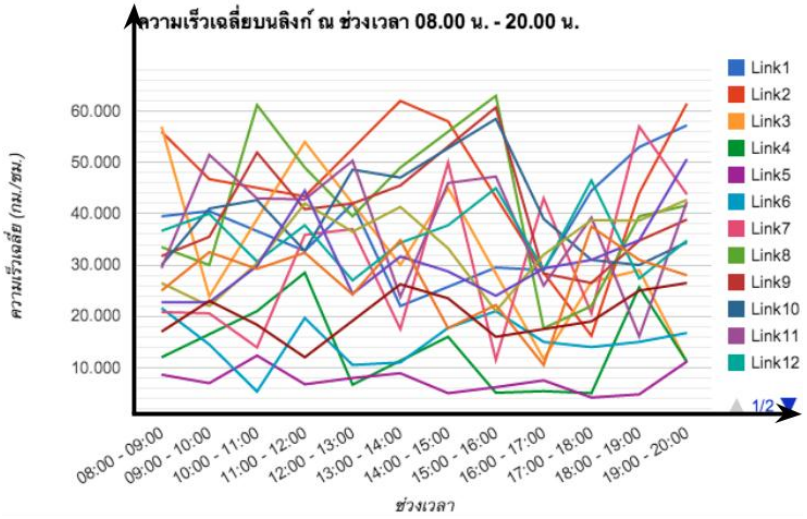
4.3.2.3 การทดสอบและประเมินผลการทำนายเวลาด้วยวิธีการแบบ K-Fold

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อทดสอบการประมาณเวลาการเดินทางด้วยลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยได้นำข้อมูล GPS ที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์มาแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มเพื่อใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์และใช้ในการทดสอบ ซึ่งได้ทำการจัดกลุ่มข้อมูลตามรหัส (source_id) ของรถที่ใช้เก็บข้อมูลซึ่งมีจำนวนประมาณ 500 คัน โดยในแต่ละกลุ่มข้อมูลจะประกอบด้วย souce_id ทั้งหมด 100 หมายเลข การทดสอบด้วย K-Fold จะทำการจัดกลุ่มข้อมูลออกเป็น K กลุ่มเพื่อที่จะใช้ข้อมูลจำนวน K-1 กลุ่มไปใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์และใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่เหลือในการทดสอบซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนด K เท่ากับ 5 กลุ่มซึ่งแสดงจำนวนข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มต่าง ๆ มีดังนี้

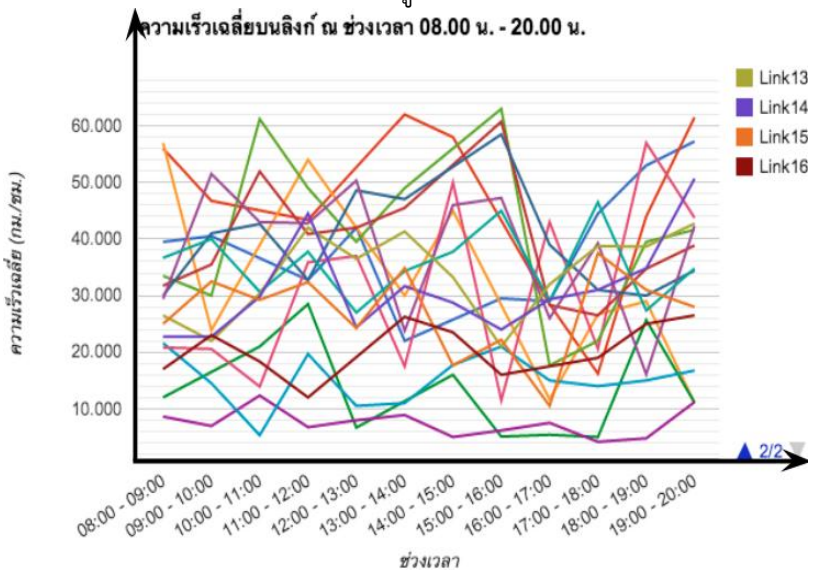
กลุ่มที่ 1 : จำนวนข้อมูล GPS ทั้งหมด 400 จุดข้อมูล
กลุ่มที่ 2 : จำนวนข้อมูล GPS ทั้งหมด 400 จุดข้อมูล
กลุ่มที่ 3 : จำนวนข้อมูล GPS ทั้งหมด 400 จุดข้อมูล
กลุ่มที่ 4 : จำนวนข้อมูล GPS ทั้งหมด 400 จุดข้อมูล
กลุ่มที่ 5 : จำนวนข้อมูล GPS ทั้งหมด 400 จุดข้อมูล

- Fold ที่ 1

  ใน fold ที่ 1 ใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 1 เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบและใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 2-5 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์โดยได้ทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบซึ่งได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.23 (1) และ (2)



รูปที่ 4.23 (1)



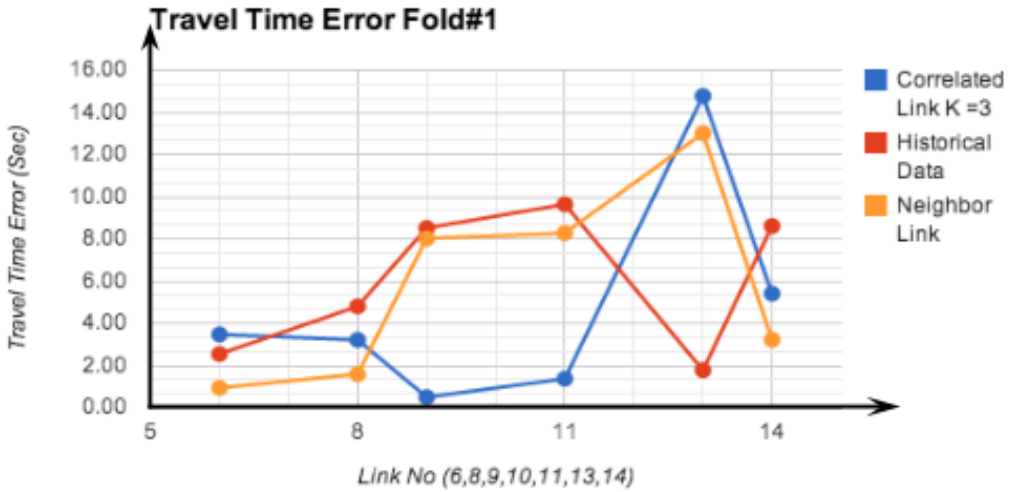
รูปที่ 4.23 (2)

รูปที่ 4.23: แสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของ Fold-1

จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ถูกนำมาคำนวณระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงค์ต่าง ๆ และใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่ 1 มาใช้ในการทดสอบคำนวณเวลาการเดินทางเปรียบเทียบกับการคำนวณเวลาการเดินทางจากข้อมูลในอดีตและการคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง โดยผลการทดลองแสดงค่าความผิดพลาดในการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.24

Link No	Correlated Link K = 3	Historical Data	Neighbor Link (Upstream/Downstream)
6	3.47	2.53	0.93
8	3.21	4.79	1.59
9	0.49	8.51	8.02
11	1.37	9.63	8.27
13	14.77	1.77	13.00
14	5.39	8.61	3.21
ค่าเฉลี่ย (วินาที)	4.78	5.97	5.84

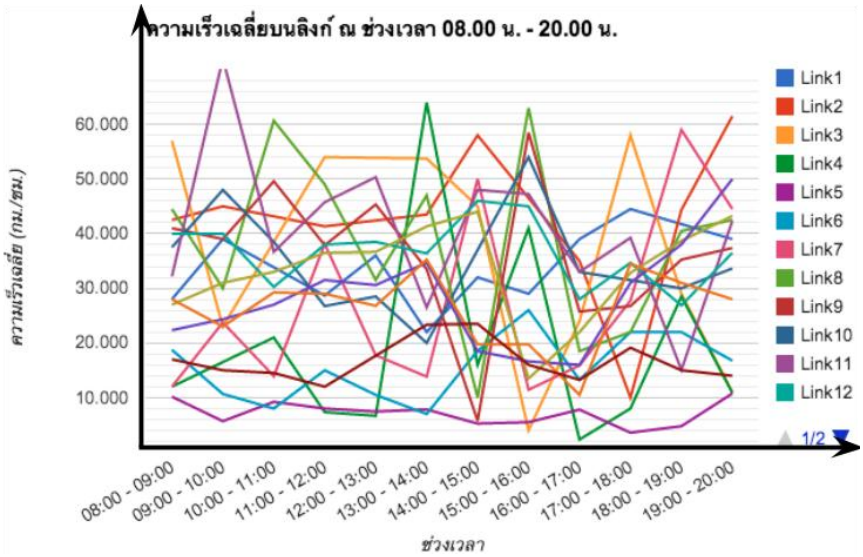
ตารางที่ 4.12 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 1



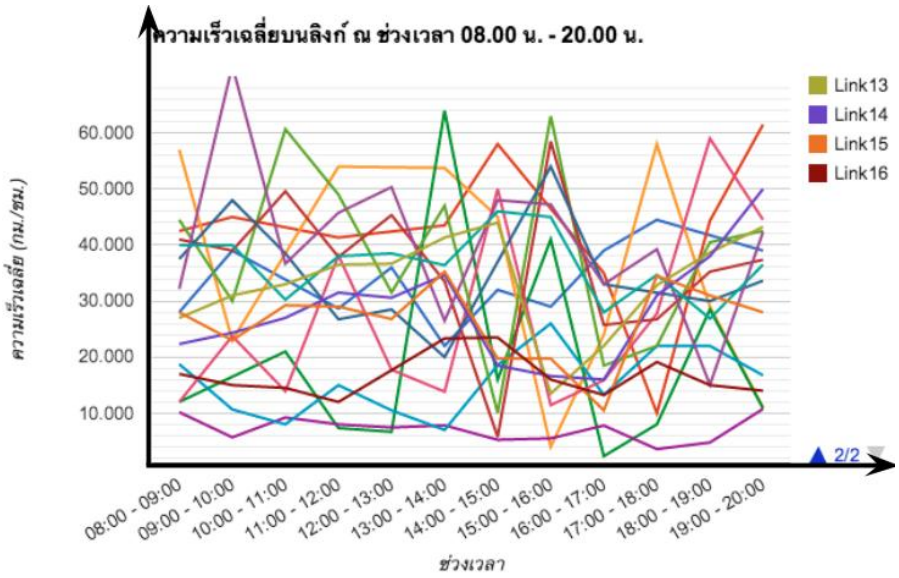
รูปที่ 4.24 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 1

- Fold ที่ 2

  ใน fold ที่ 2 ใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 2 เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบและใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ 3-5 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์โดยได้ทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบซึ่งได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.25 (1) และ (2)



รูปที่ 4.25 (1)



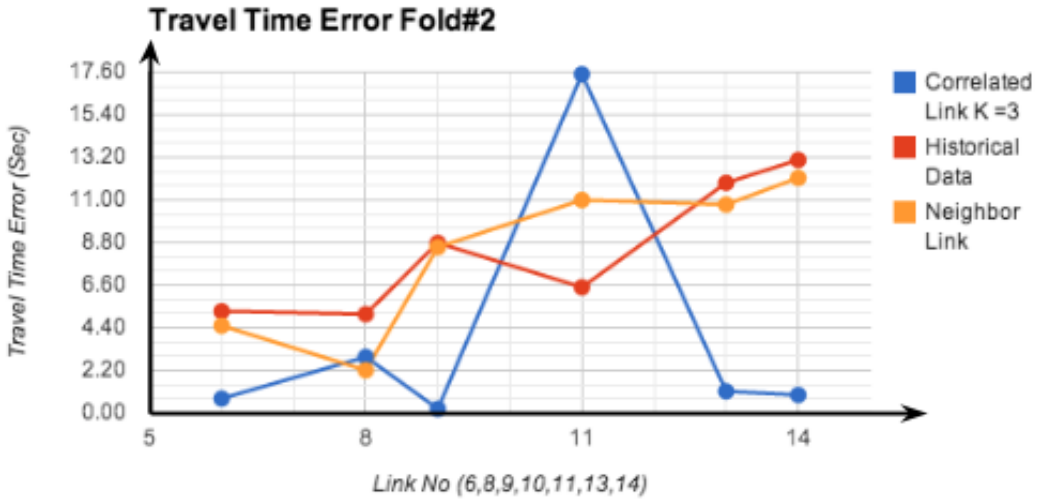
รูปที่ 4.25 (2)

รูปที่ 4.25: แสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของ Fold-2

จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ถูกนำมาคำนวณระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงค์ต่าง ๆ และใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่ 2 มาใช้ในการทดสอบคำนวณเวลาการเดินทางเปรียบเทียบกับการคำนวณเวลาการเดินทางจากข้อมูลในอดีตและการคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง โดยผลการทดลองแสดงค่าความผิดพลาดในการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.26

Link No	Correlated Link K = 3	Historical Data	Neighbor Link (Upstream/Downstream)
6	0.74	5.26	4.51
8	2.90	5.10	2.21
9	0.22	8.78	8.56
11	17.49	6.49	11.00
13	1.12	11.88	10.76
14	0.93	13.07	12.14
ค่าเฉลี่ย (วินาที)	3.90	8.43	8.20

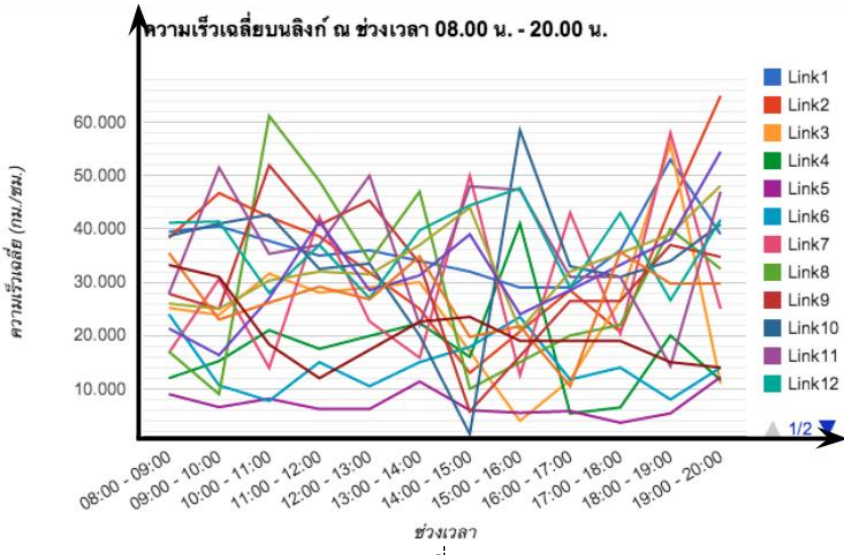
ตารางที่ 4.13 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 2



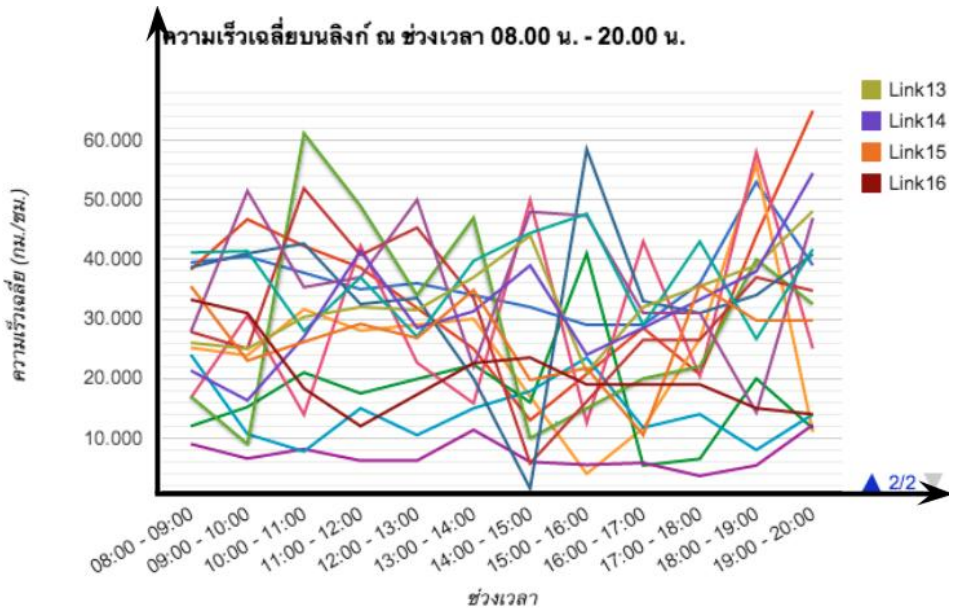
รูปที่ 4.26 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ ใน fold ที่ 2

- Fold ที่ 3

  ใน fold ที่ 3 ใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 3 เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบและใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 1-2 และ 4-5 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์โดยได้ทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบซึ่งได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.27 (1) และ (2)



รูปที่ 4.27 (1)



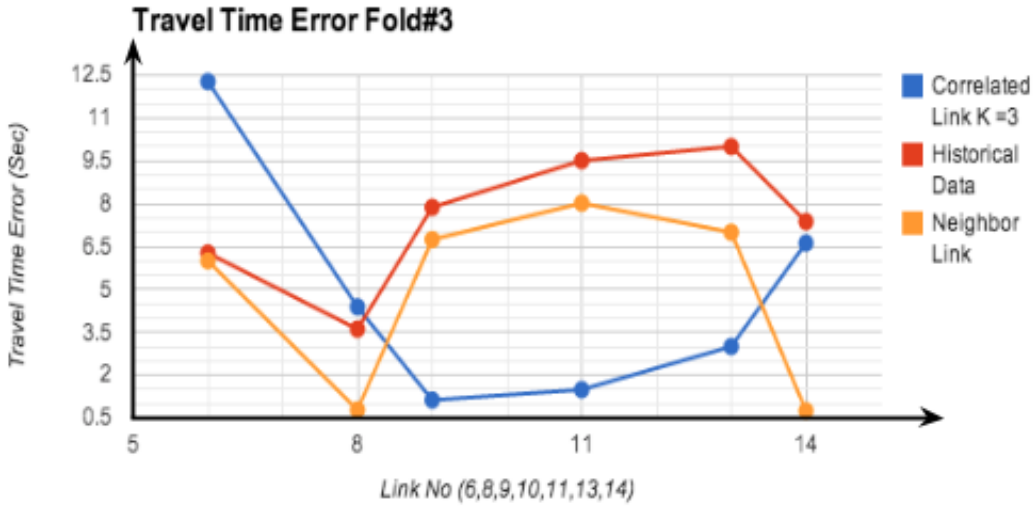
รูปที่ 4.27 (2)

รูปที่ 4.27: แสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของ Fold-3

จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ถูกนำมาคำนวณระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงค์ต่าง ๆ และใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่ 3 มาใช้ในการทดสอบคำนวณเวลาการเดินทางเปรียบเทียบกับการคำนวณเวลาการเดินทางจากข้อมูลในอดีตและการคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง โดยผลการทดลองแสดงค่าความผิดพลาดในการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.28

Link No	Correlated Link K = 3	Historical Data	Neighbor Link (Upstream/Downstream)
6	12.28	6.28	6.00
8	4.39	3.61	0.78
9	1.13	7.87	6.75
11	1.49	9.51	8.02
13	3.00	10.00	7.00
14	6.62	7.38	0.75
ค่าเฉลี่ย(วินาที)	4.82	7.44	4.88

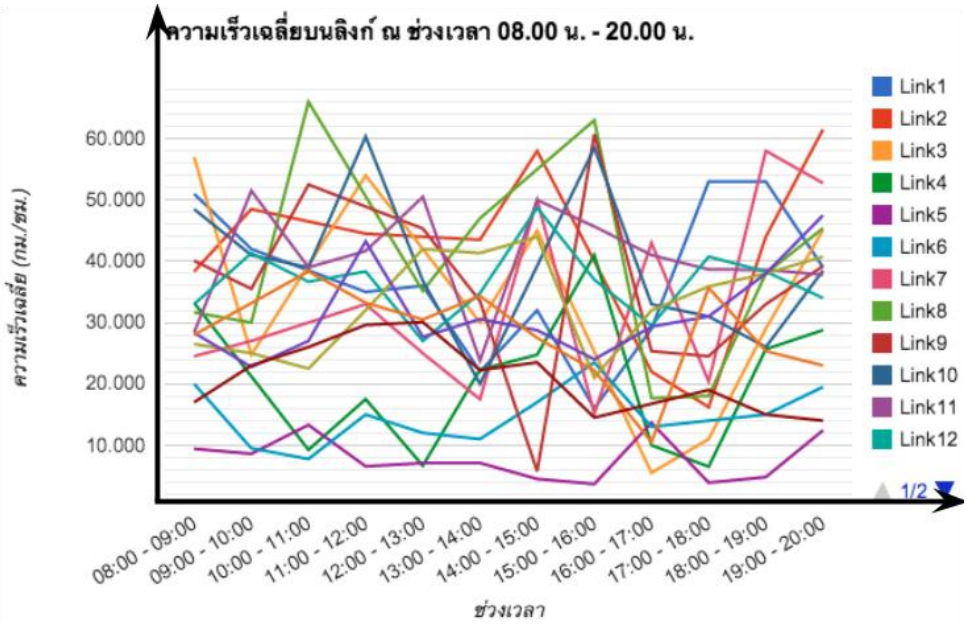
ตารางที่ 4.14 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3



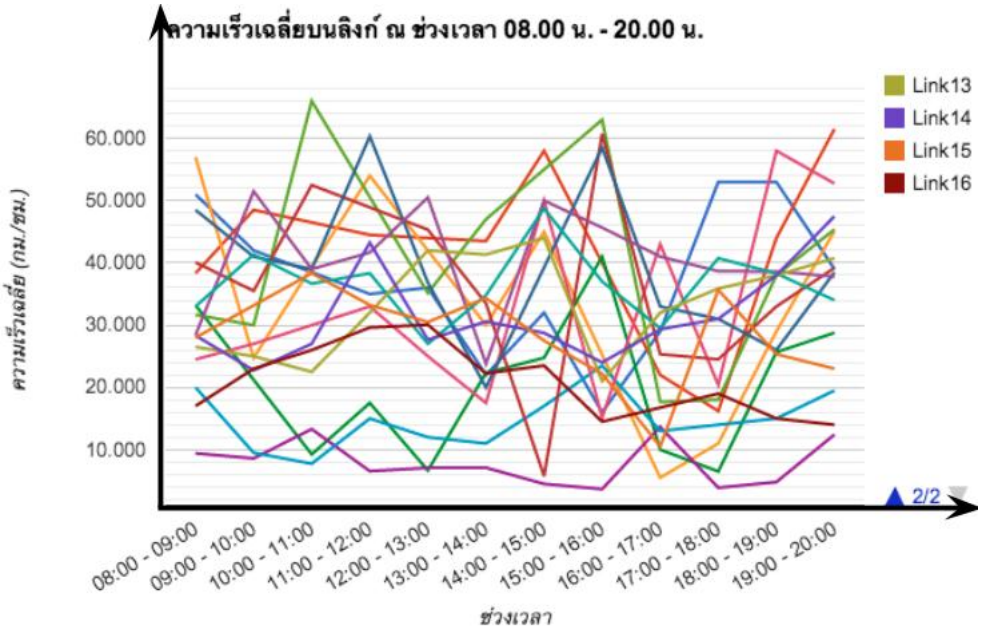
รูปที่ 4.28 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 3

- Fold ที่ 4

  ใน fold ที่ 4 ใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 4 เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบและใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 1-3 และ 5 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์โดยได้ทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบซึ่งได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.29 (1) และ (2)



รูปที่ 4.29 (1)



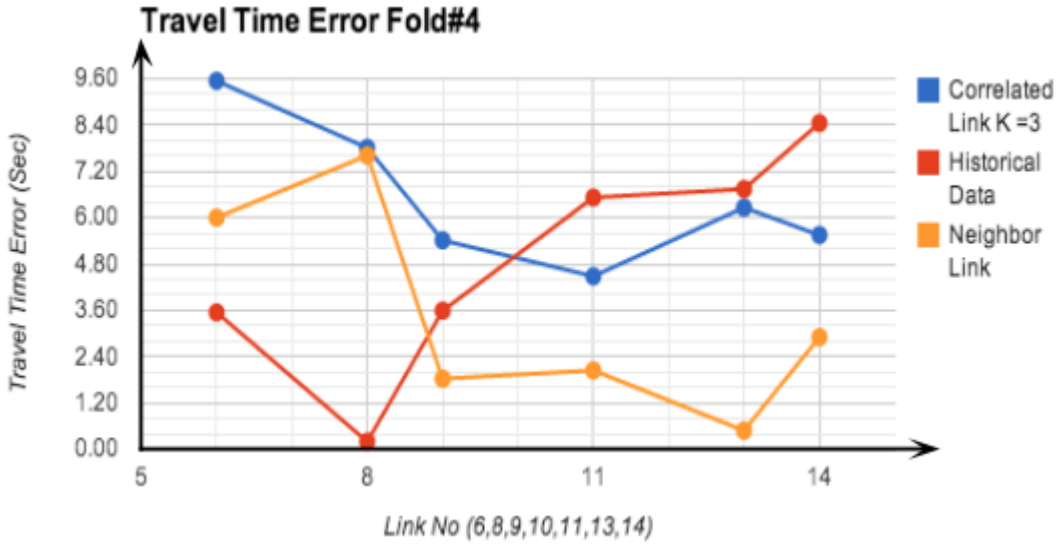
รูปที่ 4.29 (2)

รูปที่ 4.29: แสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของ Fold-4

จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ถูกนำมาคำนวณระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงค์ต่าง ๆ และใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่ 4 มาใช้ในการทดสอบคำนวณเวลาการเดินทางเปรียบเทียบกับการคำนวณเวลาการเดินทางจากข้อมูลในอดีตและการคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง โดยผลการทดลองแสดงค่าความผิดพลาดในการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.30

Link No	Correlated Link K = 3	Historical Data	Neighbor Link (Upstream/Downstream)
6	9.54	3.54	6.00
8	7.81	0.19	7.61
9	5.41	3.59	1.83
11	4.48	6.52	2.04
13	6.26	6.74	0.48
14	5.55	8.45	2.90
ค่าเฉลี่ย	6.51	4.84	3.48

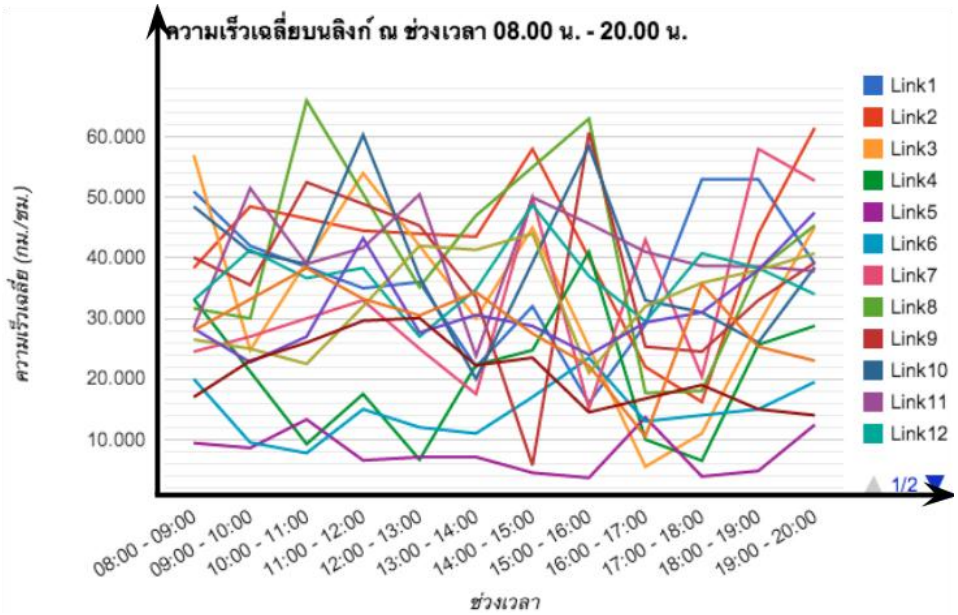
ตารางที่ 4.16 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 4



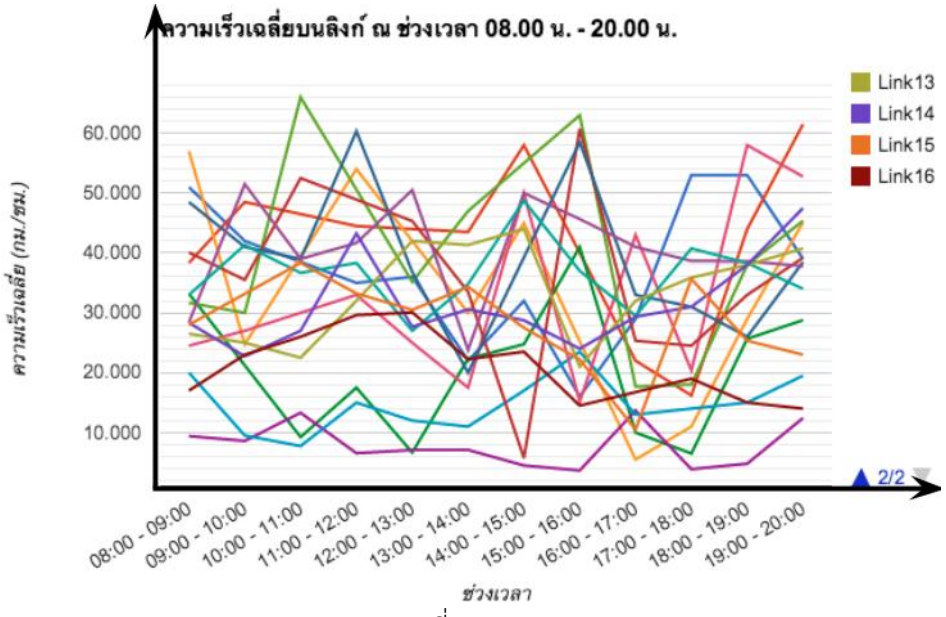
รูปที่ 4.30 กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 4

- Fold ที่ 5

  ใน fold ที่ 5 ใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 5 เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบและใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 1-4 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์โดยได้ทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบซึ่งได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.31 (1) และ (2)



รูปที่ 4.31 (1)



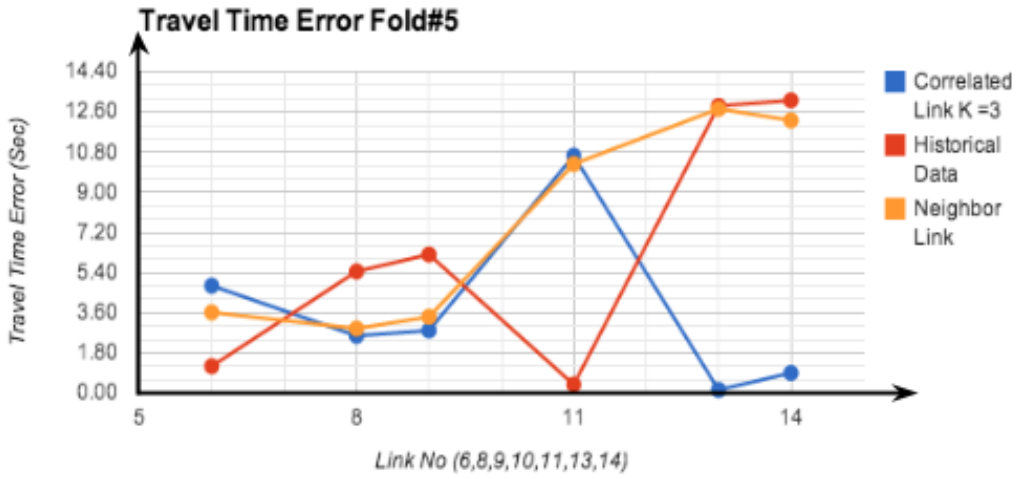
รูปที่ 4.31 (2)

รูปที่ 4.31: แสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ บนลิงก์ที่การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของ Fold-5

จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ถูกนำมาคำนวณระยะความสัมพันธ์ระหว่างลิงค์ต่าง ๆ และใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่ 5 มาใช้ในการทดสอบคำนวณเวลาการเดินทางเปรียบเทียบกับการคำนวณเวลาการเดินทางจากข้อมูลในอดีตและการคำนวณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้าและต่อหลัง โดยผลการทดลองแสดงค่าความผิดพลาดในการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.32

Link No	Correlated Link K = 3	Historical Data	Neighbor Link (Upstream/Downstream)
6	4.80	1.20	3.61
8	2.56	5.44	2.88
9	2.80	6.20	3.41
11	10.63	0.37	10.26
13	0.14	12.86	12.73
14	0.89	13.11	12.21
ค่าเฉลี่ย	3.64	6.53	7.52

ตารางที่ 4.17 ค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 5

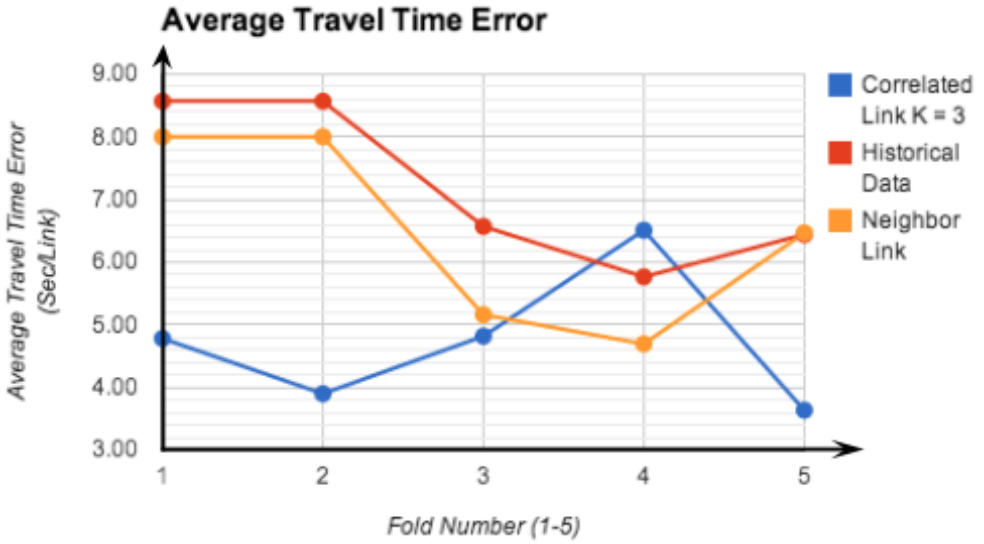


รูปที่ 4.32: กราฟค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ ใน fold ที่ 5

โดยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของการคำนวณเวลาการบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลโดยใช้วิธีการด้วยการหาความสัมพันธ์และวิธีการอื่น ๆ ของ fold ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.33 โดยจะเห็นได้ว่าใน fold ที่ 1, 2, 3 และ 5 วิธีการทำนายเวลาการเดินทางโดยใช้ความสัมพันธ์ของลิงก์จะมีค่าต่ำสุด

Fold No	Correlated Link K =3	Historical Data	Neighbor Link (Upstream/Downstream)
1	4.78	8.57	8.00
2	3.90	8.57	8.00
3	4.82	6.57	5.16
4	6.51	5.77	4.69
5	3.64	6.44	6.47
ค่าเฉลี่ย(วินาที)	4.73	7.18	6.47

ตารางที่ 4.18 ผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในการคำนวณเวลาการเดินทาง
ด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งหมด 5 fold



รูปที่ 4.33: กราฟค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ความผิดพลาดในการคำนวณเวลาการเดินทาง
ด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งหมด 5 fold

จากผลการทดลองการทำนายเวลาการเดินทางด้วยวิธีการ K-Fold โดยได้แบ่งเป็นทั้งหมด 5 Fold จะเห็นได้ว่าวิธีการทำนายโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันสามลำดับแรกจะให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ ใน Fold ที่ 1, 2, 3 และ 5 โดยใน Fold ที่ 4 จะให้ค่าผิดพลาดที่สูงกว่าวิธีการที่ดีที่สุดใน Fold นั้นอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากภาพรวมของ Fold ที่ 1 ถึง Fold ที่ 5 จะได้เห็นได้ว่าวิธีการทำนายโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันสามลำดับแรกจะให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดต่ำสุด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำนายโดยใช้ข้อมูลในอดีตจะได้ผลที่ดีกว่าด้วยความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำนายโดยใช้ข้อมูลจากลิงก์ต่อหน้าและต่อหลังจะได้ผลที่ดีกว่าด้วยความเชื่อมั่นที่ 90 เปอร์เซ็นต์

4.3 สรุป

จากการทดลองข้างต้นสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.18 ว่าการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูลโดยการใช้ข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันสามารถทำนายเวลาการเดินได้โดยมีความผิดพลาดที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบการนำข้อมูลจากในอดีตของลิงก์นั้นมาใช้ในการทำนาย อย่างไรก็ตามการทำนายโดยใช้ข้อมูลจากหลายลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ในระดับต่าง ๆ สามารถทำได้ดีกว่าการใช้เฉพาะข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้สุดเพียงลิงก์เดียว โดยจำนวนที่เหมาะสมในการเลือกลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ไปใช้ในการทำนายเวลาการเดินทางจากการทดลองพบว่าจะมีค่าอยู่ในช่วง 3 – 7 ลิงก์จากการทดลองยังพบว่าสามารถเป็นไปได้ว่าลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันอาจจะไม่ได้อยู่ติดกันหรืออยู่บนถนนเส้นเดียวกันได้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ เวลานั้นอยู่ โดยการแก้ปัญหาเบื้องต้นคือการนำข้อมูลที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาใช้ในการทำนายแทน แต่วิธีการนี้จะมีข้อจำกัดในกรณีที่สภาพข้อจำความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้การทำนายเกิดความผิดพลาดได้ง่าย วิธีการที่นำเสนอได้ใช้การวัดค่าความสัมพันธ์ในมิติของความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต โดยค่าความสัมพันธ์คือระยะห่างของข้อมูลอนุกรมเวลาของความเร็วเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ในหนึ่งวันด้วยการวัดระยะด้วยขั้นตอนวิธีการไดนามิกไทม์วอร์ปปิง โดยความสัมพันธ์ที่ได้จะถูกจัดลำดับตามระยะห่างเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกลิงก์ไปใช้ในการทำนาย ทั้งนี้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันในหนึ่งวันความสัมพันธ์ของลิงก์สามารถมีความแตกต่างกันได้ ในการทำนายเวลาการเดินทางข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กับลิงก์ที่ต้องการทำนายจะถูกเลือกมา K ลำดับแล้วคำนวณความเร็วเฉลี่ยจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์เหล่านั้นมาใชในการคำนวณเวลาการเดินทาง

ในการทดลองพบว่าการทำนายเวลาการเดินทางด้วยวิธีการนำข้อมูลจากลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันมาใช้ในการทำนายเวลาการเดินทางบนลิงก์ที่ไม่มีข้อมูล ณ เวลานั้นสามารถทำให้ความผิดพลาดลดลงจากวิธีการที่นำข้อมูลในอดีตมาใช้ในการทำนาย และจากการทดลองพบว่าจำนวนลิงก์ที่มีความสัมพันธ์กันที่ควรนำมาใช้ในการทำนายจะอยู่ในช่วง 3 – 7 ลิงก์จะให้ค่าความผิดพลาดที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าลิงก์ที่มีระยะความสัมพันธ์ในระยะใกล้อาจจะไม่มีอยู่ในบริเวณที่ใกล้กันหรืออยู่บนถนนเส้นเดียวกันโดยสามารถกระจายตัวอยู่บริเวณโดยรอบหรือถนนเส้นอื่นที่ตัดผ่านหรือมีผลกระทบต่อสภาพการจราจรบนลิงก์ที่ต้องการทำนายได้ซึ่งกรณีนี้จะทำให้เกิดผลดีในกรณีที่บนถนนเส้นนั้นไม่มีรถวิ่งแต่ยังสามารถที่จะนำข้อมูลจากถนนเส้นอื่นมาใช้ทำนายได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ควรใช้ในเหมาะสมกับจำนวนช่วงเวลาที่จะทำการแบ่ง หากแบ่งจำนวนช่วงเวลาในแต่ละวันออกเป็นส่วนย่อยมากจะต้องใช้ข้อมูลในการเรียนที่มากตามไปด้วย หากเป็นไปได้ข้อมูลความเร็วในช่วงเวลาต่างๆควรจะสามารถคำนวณได้จากข้อมูลที่มีได้ทั้งหมด

2. นอกจากการแบ่งข้อมูลตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในหนึ่งวันแล้วการพิจารณาย่อยไปในระดับวันในสัปดาห์จะทำให้ความถูกต้องในการคำนวณเวลาการเดินทางดีขึ้น เนื่องจากในแต่ละวันในหนึ่งสัปดาห์ความสัมพันธ์ของลิงก์อาจจะแตกต่างกันได้ หรืออาจจะแบ่งในพิจารณาในลักษณะอื่น ๆ เช่น วันทำงาน (จันทร์ – ศุกร์) และวันหยุด (เสาร์ – อาทิตย์) แต่การพิจารณาในลักษณะย่อยเช่นนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ค่อนข้างมากและอาจจะใช้เวลาในการเรียนรู้มากกว่า

รายการอ้างอิง

1. Hong-En, L., Rocco, Z. A review of travel-time prediction in transport and logistics. in Eastern Asia Society for Transportation Studies 2005. 2005.
2. Jenelius, E. and H.N. Koutsopoulos, Travel time estimation for urban road networks using low frequency probe vehicle data. Transportation Research Part B: Methodological, 2013. **53**(0): p. 64-81.
3. Westgate, B.S., et al., Travel time estimation for ambulances using Bayesian data augmentation. Annals of Applied Statistics, 2013. **7**(2): p. 1139-1161.
4. Hunter, T., et al., Path and travel time inference from GPS probe vehicle data. 2009.
5. Li, Y., et al. The Research on Real-Time Map-Matching Algorithm. in Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE), 2012 International Conference on. 2012.
6. Smith, M.A., et al., Analyzing (social media) networks with NodeXL, in Proceedings of the fourth international conference on Communities and technologies. 2009, ACM: University Park, PA, USA. p. 255-264.

7 Muller, M., Information Retrieval for Music and Motion, Ch. 4 (available online at http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783540740476-1.pdf?SGWID=0-0-45-452103-p173751818), Springer, 2007

8 Freeman, Linton.A set of measures of centrality based on betweenness, Sociometry 40.1977. p. 35–41.

9 Altman, N. S.. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. The American Statistician 46 (3).1992. p. 175–185.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลลัพธ์การหาความสัมพันธ์ระหว่างลิงก์ทั้งหมด ในช่วงเวลา 08.00 – 20.00 น.

(Link1) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10,1	10,2	10,2	12,4	12,5	15,5	15,6	12,8	12,9	12,10	12,10	12,12
12,1	12,2	12,3	10,3	15,4	7,6	12,6	7,7	7,8	14,9	11,10	11,12
9,1	9,2	9,2	7,3	7,4	12,5	14,7	14,7	14,8	11,10	7,11	14,11
8,1	7,1	7,2	15,4	13,5	14,5	7,7	11,8	15,9	7,10	15,10	13,11
7,1	8,2	15,3	11,3	11,5	13,5	5,6	13,7	13,9	13,9	13,10	15,12
11,1	11,2	8,2	9,3	14,4	5,6	13,6	15,7	11,8	10,9	14,10	7,11
15,1	15,1	11,3	14,3	2,4	10,6	16,7	9,8	9,9	9,9	3,11	10,12
5,1	2,2	2,2	3,3	10,4	16,6	9,7	16,7	10,9	2,9	10,10	2,11
13,1	5,1	3,2	13,4	9,4	11,5	10,7	10,8	16,9	15,9	9,10	9,12
14,1	13,1	14,3	2,3	3,4	2,5	11,7	3,8	3,9	5,9	2,10	3,12
2,1	14,1	13,3	8,3	8,4	9,5	2,6	5,7	5,8	3,9	16,10	8,12
3,1	3,1	5,2	5,4	5,4	6,6	6,6	2,8	2,8	16,9	5,10	16,11
(Link2) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3,1	8,2	8,2	3,3	8,4	8,5	8,7	3,8	3,9	3,9	3,11	3,11
8,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,6	3,7	8,7	9,9	9,9	12,11	1,11
9,1	3,2	3,3	10,3	3,5	3,5	9,6	9,7	8,9	8,10	9,10	12,11
1,1	1,2	10,3	8,3	1,4	12,6	12,6	12,7	12,9	12,9	11,11	11,11
10,1	10,2	1,3	1,4	10,5	1,6	7,6	10,7	1,9	1,9	10,11	7,12
12,1	12,2	12,3	12,4	12,4	7,6	11,6	11,8	7,8	10,9	8,10	8,11
7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	11,6	1,6	7,8	10,9	11,9	1,11	10,11
11,1	15,2	11,3	11,4	11,5	10,6	10,6	1,7	11,8	13,9	7,11	9,11
15,1	11,1	15,3	15,4	15,4	15,5	13,6	13,8	13,9	15,9	14,11	14,11
5,1	14,2	14,3	14,4	14,4	13,5	15,6	14,8	14,9	14,9	13,11	13,11
(Link3) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
2,1	8,1	2,3	2,3	9,4	8,5	8,7	9,7	2,8	2,9	12,10	9,12
8,1	9,1	10,3	9,4	8,4	9,5	9,7	10,7	7,8	12,10	11,10	2,11
9,1	1,2	1,3	8,4	10,4	10,5	2,6	8,7	12,8	9,9	1,11	8,11
1,1	10,2	12,2	10,4	2,4	2,5	7,6	2,7	1,8	10,10	7,11	10,11
10,1	12,2	9,3	7,4	7,4	7,5	10,7	12,7	13,8	1,10	10,10	12,11
12,1	7,2	7,3	1,3	12,4	11,5	11,6	7,8	14,8	11,10	2,10	11,11
7,1	2,1	8,3	12,3	1,4	12,5	12,6	11,7	11,8	8,9	9,10	13,11
11,1	11,1	11,2	11,3	11,4	1,5	13,6	1,7	9,8	13,10	13,10	14,11
15,1	15,2	15,2	15,3	14,4	13,5	14,7	13,8	10,8	7,9	14,10	1,11
5,1	14,2	14,2	13,3	15,4	14,5	1,7	14,8	8,8	14,9	8,10	15,11
13,1	13,2	13,2	5,3	13,4	15,5	15,7	15,8	15,9	15,10	15,10	7,11
(Link4) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
6,1	6,2	6,2	14,4	14,5	11,5	11,6	14,7	14,8	5,9	14,11	5,12
14,1	5,2	16,2	5,3	5,5	13,5	14,7	11,8	7,8	14,9	5,10	14,11
13,1	16,2	5,3	13,3	6,5	14,5	5,7	13,7	5,8	13,9	15,11	15,11
5,1	13,2	13,3	11,4	13,4	7,5	15,7	7,7	15,9	15,10	13,11	16,12
15,1	14,2	14,3	15,3	16,5	15,5	7,6	15,7	13,8	16,10	16,10	6,11
11,1	15,2	15,3	7,4	15,5	10,5	13,6	16,7	16,9	6,9	6,10	13,11
7,1	7,2	7,3	16,3	11,4	12,5	16,7	5,7	11,8	11,9	9,10	9,11
12,1	12,2	12,3	6,3	12,4	5,5	10,6	10,8	6,8	9,9	10,10	10,11
10,1	10,2	1,3	12,4	7,4	16,5	6,7	12,8	1,8	10,9	11,10	12,11
1,1	1,2	11,3	10,4	1,4	1,5	1,7	1,8	12,8	1,9	12,11	11,11

9,1	11,2	10,3	1,4	9,4	6,5	12,6	6,7	3,9	12,10	7,11	8,11
(Link5)											
ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
13,1	6,2	13,3	16,4	6,5	16,6	6,6	6,7	16,8	16,9	16,10	16,11
15,1	14,1	16,2	14,3	16,4	6,5	16,6	16,7	6,9	6,9	6,10	6,12
14,1	13,1	14,3	6,3	13,4	15,6	15,6	15,7	15,8	15,9	15,10	15,11
11,1	15,1	15,3	13,3	15,4	14,6	1,6	1,7	14,9	1,9	14,10	4,11
6,1	11,1	6,2	4,3	14,4	13,6	14,6	14,7	13,9	13,9	13,10	13,11
7,1	4,2	4,2	15,3	12,4	12,6	13,6	13,7	1,9	14,9	4,10	14,12
12,1	7,1	7,3	12,3	4,4	1,5	7,6	7,7	4,8	12,9	1,10	12,11
10,1	12,1	12,2	7,3	1,4	7,5	11,6	4,8	12,8	4,9	12,10	1,11
1,1	10,1	11,3	11,3	11,4	11,5	12,6	12,7	7,9	11,9	2,10	9,12
9,1	1,1	1,2	1,3	7,4	4,6	4,7	10,7	11,9	10,9	7,10	10,11
4,1	9,1	10,3	10,3	3,4	10,5	10,6	11,7	10,9	3,9	10,10	11,11
Link6											
ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
14,1	5,2	5,2	16,3	16,4	16,5	16,7	16,8	16,8	16,10	16,11	16,11
13,1	4,2	4,2	5,4	5,5	5,5	5,6	5,7	5,8	5,10	5,11	5,12
5,1	14,1	16,2	13,4	13,4	4,5	15,6	15,8	15,8	15,9	15,10	15,11
15,1	13,1	13,2	15,3	14,4	13,5	14,7	14,8	13,9	13,9	14,10	14,11
11,1	15,1	14,2	14,4	4,4	15,5	1,7	13,8	14,9	14,9	13,10	13,11
4,1	11,1	15,2	4,4	15,4	14,5	13,7	1,8	1,9	1,9	1,10	4,11
7,1	7,1	7,2	12,3	12,4	12,5	4,6	4,8	4,9	4,10	4,10	1,11
12,1	12,1	12,2	1,3	1,4	1,5	12,7	7,7	12,9	12,9	12,10	12,11
10,1	10,1	10,2	11,3	7,4	7,5	7,7	12,8	11,9	11,9	10,10	10,11
1,1	1,1	1,2	7,4	11,4	11,5	10,7	11,8	7,9	7,9	7,10	9,12
9,1	9,1	11,2	10,4	3,4	10,5	11,7	10,8	10,9	10,9	11,10	11,11
(Link7)											
ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
12,1	11,1	12,2	11,3	11,4	11,6	11,7	14,8	10,8	11,9	11,10	11,11
10,1	15,2	10,3	9,4	12,4	14,6	9,7	13,8	9,8	10,10	1,11	1,12
1,1	12,1	1,2	10,4	1,5	1,6	14,6	1,7	11,8	14,10	12,10	12,11
11,1	10,1	11,3	1,3	14,5	10,6	12,7	15,8	1,8	1,9	10,10	14,11
15,1	14,2	15,2	15,3	9,4	12,5	10,7	10,7	12,8	9,10	14,10	13,11
9,1	1,1	9,3	12,3	8,4	15,5	13,7	12,7	8,8	12,9	13,10	2,11
5,1	13,2	14,2	8,4	10,4	13,5	15,6	9,7	13,8	13,10	9,10	10,11
13,1	16,2	13,2	3,4	15,5	9,5	8,7	11,7	4,8	3,10	3,10	15,11
14,1	9,1	16,2	13,3	13,4	8,5	3,7	3,7	2,8	2,10	15,10	9,11
8,1	8,1	3,3	2,3	3,4	4,5	1,6	4,8	3,8	8,10	8,10	8,11
6,1	5,2	8,3	14,3	2,4	5,6	2,7	5,8	15,8	15,9	2,10	3,12
(Link8)											
ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
9,1	9,1	9,2	9,3	9,4	2,6	2,7	2,7	9,9	9,10	9,10	9,11
1,1	1,1	11,2	2,4	2,5	9,6	3,6	9,7	2,9	2,9	2,11	10,12
10,1	10,1	2,2	7,4	10,4	3,5	9,6	3,7	7,8	10,10	10,11	12,12
12,1	3,1	1,2	11,4	3,4	11,6	11,6	7,7	3,9	3,10	12,11	11,12
7,1	12,1	10,2	10,3	11,4	10,6	7,6	11,7	10,9	12,10	3,11	3,11
2,1	11,2	12,2	3,3	7,5	7,6	12,6	12,7	12,9	11,9	11,10	2,12
3,1	7,1	3,2	12,3	12,4	12,5	10,6	10,7	11,8	1,9	13,11	13,12
11,1	15,1	7,2	1,4	1,5	1,6	13,6	13,7	13,9	13,10	14,11	1,11
15,1	5,1	15,2	15,3	14,4	14,6	1,6	14,7	1,9	7,9	7,11	7,12
5,1	13,1	14,2	13,3	15,4	15,5	14,6	1,7	14,8	14,9	1,11	14,12
13,1	14,1	13,2	14,3	13,4	13,5	15,6	15,7	15,9	15,10	15,11	15,11
14,1	6,1	16,2	5,3	4,5	4,6	4,6	4,7	4,9	4,10	4,10	4,11
6,1	4,1	5,2	16,3	5,4	5,6	5,6	5,7	5,9	5,10	5,10	5,11
4,1	4,1	6,2	4,3	16,5	16,6	16,6	16,7	16,9	16,10	16,10	16,11
4,1	4,1	4,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,9	6,10	6,10	6,11
(Link9)											
ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
1,1	8,2	8,3	8,4	8,5	7,6	7,7	8,8	8,9	8,9	8,10	8,12
10,1	1,1	1,2	10,3	7,5	8,5	11,7	10,8	7,8	10,10	10,10	10,11
8,1	10,1	10,2	2,3	11,4	11,6	8,7	7,7	10,9	2,9	2,10	12,12
12,1	12,1	11,2	7,3	2,5	10,6	2,7	2,7	12,9	12,10	12,10	11,11
7,1	7,1	12,2	11,3	10,4	2,5	12,6	11,7	2,9	11,9	3,10	3,11
11,1	11,2	2,2	1,3	3,4	12,6	3,6	12,7	3,9	3,10	7,10	13,12
15,1	2,2	7,2	3,3	1,5	1,6	1,6	3,7	11,8	1,9	1,10	1,11

2,1	3,1	15,2	12,3	12,4	3,5	10,6	13,7	1,9	13,10	14,10	7,11
5,1	15,1	3,2	15,3	14,5	14,6	14,6	14,7	13,9	7,9	13,10	14,12
13,1	5,1	14,2	13,3	15,5	15,6	13,6	1,7	14,8	14,9	11,10	15,12
3,1	13,1	13,2	14,3	13,4	13,5	15,6	15,7	15,9	15,10	15,10	2,12
14,1	14,1	16,2	5,3	5,4	4,5	4,6	4,7	4,9	4,9	4,11	4,11
6,1	6,1	5,2	16,3	4,5	5,6	5,6	16,7	5,9	5,9	5,11	5,11
4,1	4,1	6,2	4,3	16,4	16,6	16,6	5,7	16,9	16,9	16,11	16,11
4,1	4,1	4,2	6,3	6,4	6,6	6,6	6,7	6,9	6,9	6,11	6,11
(Link10) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
1,1	12,2	1,2	9,4	8,5	9,6	9,7	9,8	9,9	9,10	9,11	9,12
12,1	1,2	12,2	8,4	9,5	7,6	7,7	7,7	7,8	11,9	7,10	12,11
9,1	9,2	9,3	7,3	7,5	11,6	11,7	11,7	11,9	12,9	12,10	11,11
7,1	7,1	7,2	3,4	3,4	1,6	12,7	12,7	12,9	1,9	3,10	8,11
8,1	8,2	15,2	1,3	11,4	8,5	14,7	8,8	8,9	8,10	11,10	2,11
11,1	11,2	11,2	2,3	2,4	12,5	1,6	2,7	1,9	3,9	8,11	14,11
15,1	15,1	2,3	11,3	12,4	14,6	8,7	3,7	2,9	14,10	2,10	7,11
5,1	5,1	8,3	12,3	1,4	15,5	15,6	14,7	3,9	2,10	14,10	13,11
13,1	13,1	14,2	15,3	15,4	2,5	13,6	13,7	14,8	13,9	1,10	3,11
14,1	2,2	3,2	13,3	14,5	13,5	2,7	1,7	13,9	7,9	13,10	15,11
6,1	14,1	13,2	14,3	13,4	4,5	3,6	15,7	15,9	15,9	15,10	1,11
2,1	3,1	16,2	5,3	5,4	3,5	5,6	16,7	4,9	4,10	4,11	4,12
3,1	6,1	5,2	16,3	4,5	5,6	4,6	4,7	5,8	5,10	5,11	5,12
4,1	4,1	6,2	4,3	16,4	16,6	16,6	5,7	16,9	16,10	16,11	16,12
4,1	4,1	4,2	6,3	6,4	6,6	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11
(Link11) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
15,1	9,2	1,3	7,4	7,4	7,6	7,7	9,7	7,8	14,9	12,11	12,12
5,1	1,2	9,2	1,3	14,4	14,6	9,7	13,7	12,9	7,9	14,11	14,11
13,1	8,2	10,3	12,3	9,4	9,6	14,6	12,8	10,9	10,9	7,10	13,11
14,1	10,1	12,3	9,3	10,5	10,6	13,7	14,7	13,9	13,9	1,10	1,11
7,1	12,1	8,2	15,3	12,4	12,5	10,7	10,7	9,9	12,9	13,10	7,11
6,1	7,1	7,2	10,4	8,5	1,6	12,7	7,8	1,9	9,9	10,11	2,11
12,1	15,1	15,2	13,3	1,4	13,5	8,7	8,7	14,8	1,9	9,11	10,12
10,1	5,1	14,2	8,3	15,4	15,5	15,6	2,8	2,9	2,9	3,10	3,11
1,1	13,1	2,2	2,4	4,4	4,5	4,6	3,7	8,9	3,9	15,11	9,12
9,1	14,1	13,2	14,3	2,5	8,5	2,7	1,7	3,9	8,9	2,10	15,12
8,1	2,2	3,2	5,3	13,4	2,5	1,6	15,7	15,9	15,9	8,10	8,11
4,1	3,1	16,2	3,4	3,5	5,6	3,6	4,7	4,9	4,9	4,11	4,12
2,1	6,1	5,2	16,3	5,4	3,5	5,6	5,7	16,8	5,9	5,10	5,11
3,1	4,1	6,2	4,3	16,4	16,5	16,6	16,7	5,8	16,9	16,10	16,11
3,1	4,1	4,2	6,3	6,4	6,6	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11
(Link12) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
10,1	10,2	7,2	1,3	1,4	1,5	15,6	13,7	1,9	1,10	1,10	13,11
1,1	1,2	10,2	15,3	7,5	7,5	13,7	7,7	13,9	13,10	13,11	14,11
7,1	7,1	1,2	7,4	15,4	15,5	7,7	11,8	7,8	14,9	14,11	1,11
9,1	9,2	15,2	11,4	14,4	13,6	9,7	14,7	14,8	11,10	11,10	11,11
8,1	8,2	9,2	14,4	11,5	14,5	14,6	9,8	9,9	15,10	15,11	10,12
11,1	11,2	14,3	13,3	13,4	11,6	11,7	10,7	15,9	10,10	10,11	15,12
15,1	15,1	13,3	10,4	9,4	9,5	1,6	1,7	2,9	9,9	7,10	2,11
5,1	5,1	8,2	2,3	2,4	2,5	8,7	2,8	11,8	7,10	3,10	9,11
13,1	13,1	3,2	9,4	10,5	10,6	2,7	15,7	10,9	3,10	9,10	7,11
14,1	14,1	11,2	5,3	8,4	8,5	10,6	3,8	3,9	2,9	2,10	8,11
6,1	2,2	2,2	3,4	5,4	3,6	3,7	8,8	8,9	8,9	8,10	3,12
2,1	6,1	5,3	16,3	3,5	5,5	5,6	16,7	5,9	5,9	5,10	5,11
3,1	3,1	16,3	8,3	16,4	16,5	16,6	5,7	16,9	16,9	16,10	16,11
4,1	4,1	6,3	4,4	4,4	6,5	4,6	4,7	4,9	4,9	4,10	4,11
4,1	4,1	4,3	6,3	6,4	4,6	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11
(Link13) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
14,1	14,1	14,2	15,4	15,4	14,5	15,6	14,8	15,8	14,10	14,11	14,12
5,1	16,2	15,3	5,3	14,4	15,5	14,6	15,8	14,9	12,10	12,11	12,11
15,1	15,1	16,2	14,4	7,5	12,6	12,7	7,8	1,8	1,10	15,10	11,12
11,1	11,1	5,3	16,3	12,5	7,6	7,7	1,7	11,8	15,9	11,11	15,11
6,1	5,2	7,3	12,4	5,4	11,6	11,7	12,7	12,8	11,10	1,11	1,12

7,1	6,2	6,2	1,4	11,5	1,5	5,6	11,7	16,8	5,9	10,11	7,12
12,1	7,1	12,3	4,3	1,5	5,5	16,6	10,7	5,8	7,9	7,11	10,11
10,1	4,2	1,3	7,4	4,4	9,6	1,6	16,8	7,9	16,9	9,10	3,11
1,1	12,1	4,2	11,4	6,4	16,5	9,7	5,8	3,8	10,10	16,10	9,11
4,1	10,1	10,3	6,3	16,4	10,6	10,6	9,7	10,8	9,9	5,10	8,11
9,1	1,1	11,3	10,4	10,5	6,5	3,7	3,8	6,8	6,9	6,10	16,11
8,1	9,1	9,3	3,4	9,5	4,6	8,7	6,7	4,8	3,9	3,11	6,11
2,1	8,1	3,3	9,4	3,5	3,6	4,6	4,8	9,8	2,9	2,10	2,12
3,1	2,1	2,3	2,4	2,5	8,6	2,7	8,7	2,8	4,9	8,10	5,11
3,1	3,1	8,3	8,4	8,5	2,6	6,6	2,7	8,8	8,9	4,10	4,11
(Link14) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
13,1	5,1	13,2	15,3	15,5	15,6	13,6	15,8	11,9	13,9	13,11	13,11
5,1	13,1	15,2	11,4	13,4	13,6	15,7	1,7	15,8	11,9	15,10	11,11
15,1	16,1	7,2	13,3	11,4	7,5	11,6	13,7	13,8	1,9	12,10	12,11
11,1	15,2	16,3	7,4	12,4	12,6	7,6	5,8	1,8	12,9	11,10	1,12
6,1	6,1	5,2	5,3	5,5	11,5	12,6	16,8	12,8	15,9	1,11	15,11
7,1	7,2	6,2	12,4	1,4	1,5	5,6	12,7	7,9	7,10	7,11	7,12
12,1	12,2	12,2	4,4	7,4	5,5	16,6	11,7	16,8	5,10	10,10	3,11
10,1	10,2	10,2	1,3	4,5	16,5	1,6	7,7	5,8	16,9	5,10	10,11
1,1	1,2	4,2	16,3	16,5	6,5	9,6	10,7	10,8	10,10	9,10	2,12
4,1	4,1	1,2	10,4	6,5	9,5	10,6	6,7	9,8	9,10	16,10	9,11
9,1	9,2	11,2	9,4	10,4	10,5	6,6	9,7	6,8	6,10	6,10	4,11
8,1	11,2	9,2	6,3	9,4	4,6	4,7	4,7	4,8	3,9	3,11	16,11
2,1	8,2	3,2	3,4	3,4	3,5	2,6	3,7	3,8	4,9	4,10	6,11
3,1	3,2	8,2	8,4	8,4	2,5	8,6	8,7	2,8	2,10	2,10	5,11
3,1	2,2	2,2	2,4	2,4	8,5	3,6	2,7	8,8	8,10	8,10	8,11
(Link15) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
5,1	5,1	14,2	13,3	13,4	13,6	1,6	14,7	5,8	14,10	14,10	14,11
11,1	13,1	7,3	14,3	12,4	14,6	14,6	16,7	14,8	5,9	13,10	13,11
13,1	7,2	13,2	7,3	14,4	12,6	5,7	5,7	16,8	13,10	5,10	5,11
14,1	14,1	12,2	12,3	1,4	1,5	7,6	1,8	13,8	1,10	1,10	12,11
6,1	12,2	16,2	1,3	5,5	7,5	16,7	13,7	7,8	16,9	16,10	16,12
7,1	6,1	1,3	10,3	16,5	5,5	13,6	12,7	6,8	12,10	12,10	6,11
12,1	10,2	10,3	11,3	11,4	11,5	12,6	6,7	1,8	6,9	6,10	1,11
10,1	1,2	11,3	5,4	7,4	16,5	11,6	7,7	12,8	7,10	7,10	11,11
1,1	9,2	5,2	16,3	6,5	6,5	6,7	11,7	4,9	11,10	11,10	10,11
9,1	11,2	6,2	9,3	4,4	10,5	10,6	9,7	11,8	10,10	10,11	9,11
4,1	8,2	9,3	4,3	10,4	9,5	9,6	4,8	3,8	9,9	9,10	7,11
8,1	4,1	4,2	6,3	9,4	2,5	4,7	10,8	10,8	2,9	4,10	4,12
2,1	3,2	3,3	3,3	2,4	4,6	2,6	2,7	2,8	4,9	2,10	2,11
3,1	2,2	2,3	2,3	3,4	8,5	8,6	3,7	9,8	3,10	3,10	3,11
3,1	2,2	8,3	8,3	8,4	3,6	3,6	8,7	8,8	8,9	8,10	8,11
(Link16) ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
13,1	14,1	5,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11
5,1	13,1	13,2	4,3	5,4	5,6	5,7	5,8	5,9	5,10	5,11	5,11
15,1	15,1	6,3	14,3	13,5	13,6	15,6	15,7	15,8	15,9	15,10	15,11
11,1	11,1	14,2	5,3	14,4	15,6	14,6	14,7	14,8	13,9	14,10	14,11
6,1	5,2	15,2	13,3	15,4	14,6	13,6	1,7	13,8	14,9	13,10	13,11
7,1	6,2	4,2	15,3	4,4	12,6	1,6	13,7	1,8	1,9	1,10	4,11
12,1	7,1	7,2	12,3	12,4	1,5	7,6	4,7	7,8	12,9	4,10	12,11
10,1	4,2	12,2	7,3	1,4	7,5	12,6	12,7	4,8	4,9	12,10	1,11
1,1	12,1	10,2	1,3	7,4	11,6	11,6	7,7	12,8	7,9	2,10	10,11
4,1	10,1	1,2	10,3	11,4	4,6	4,7	10,7	11,8	10,9	10,10	9,11
9,1	1,1	11,2	11,3	3,4	10,5	10,6	11,7	10,8	2,10	7,10	2,11
8,1	9,1	3,2	3,3	10,4	2,6	9,6	9,7	3,8	11,9	9,10	8,11
2,1	8,1	9,2	9,3	2,4	9,5	2,6	3,7	9,8	9,9	3,10	7,11
3,1	2,1	8,2	2,3	9,4	3,6	3,6	2,7	2,8	3,9	11,10	11,11
3,1	3,1	2,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	8,10	3,11

ข้อมูลผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของแต่ละลิงก์ประกอบด้วยข้อมูลลิงก์ที่มีความสัมพันธ์ในระดับต่าง 15 ลำดับ โดยวิธีการการอ่านค่าคือตัวเลขด้านซ้ายคือหมายเลขลิงก์ที่จะใช้ทำนายและตัวเลขด้านขวาคือช่องเวลาที่จะทำนำข้อมูลไปทำนาย

ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนลิงก์ ณ ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ เพื่อหาความสัมพันธ์ในการทดลอง K-Fold

Fold-1

ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
Link1	39.500	40.500	36.625	32.750	42.000	22.000	25.750	29.500	29.000	44.500	53.000
Link2	56.000	46.750	45.063	43.375	52.688	62.000	58.000	43.275	28.500	16.200	44.000
Link3	57.000	23.875	38.938	54.000	42.000	30.000	45.000	28.330	11.667	26.667	29.000
Link4	12.000	16.500	21.000	28.500	6.667	11.330	16.000	5.083	5.400	5.000	25.667
Link5	8.618	6.957	12.333	6.741	7.960	8.889	5.000	6.167	7.500	4.158	4.769
Link6	21.600	14.500	5.333	19.667	10.500	11.000	17.750	21.000	15.000	14.000	15.000
Link7	20.833	20.571	13.923	35.875	37.000	17.500	50.000	11.500	43.000	20.600	57.000
Link8	33.500	30.000	61.200	49.000	39.500	49.000	56.000	63.000	17.667	22.000	39.500
Link9	31.750	35.500	51.933	40.875	42.000	45.500	53.125	60.750	28.333	26.500	34.750
Link10	30.000	41.000	42.667	32.750	48.600	47.050	52.775	58.500	39.000	31.000	30.000
Link11	29.400	51.500	43.000	42.800	50.333	23.800	46.000	47.250	26.000	39.250	16.067
Link12	36.667	40.000	30.667	37.750	27.000	34.333	37.750	45.000	29.000	46.500	27.367
Link13	26.500	22.000	30.333	42.000	36.500	41.333	33.250	21.000	32.000	38.750	38.667
Link14	22.714	22.750	29.792	44.500	24.400	31.667	28.750	24.000	29.333	31.000	34.833
Link15	25.000	32.500	29.250	32.385	24.250	34.857	17.667	22.200	10.500	37.500	31.000
Link16	17.000	23.000	18.333	12.000	19.125	26.250	23.500	16.000	17.500	19.000	25.000

Fold-2

ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
Link1	28.000	39.000	33.833	28.667	36.000	22.000	32.000	29.000	39.000	44.500	41.750
Link2	42.500	45.000	43.167	41.333	42.417	43.500	58.000	46.500	35.000	10.000	44.333
Link3	57.000	23.000	38.500	54.000	53.875	53.750	45.000	4.000	24.000	58.000	29.000
Link4	12.000	16.500	21.000	7.333	6.667	64.000	16.000	41.000	2.333	8.000	28.500
Link5	10.174	5.688	9.231	8.000	7.448	7.824	5.250	5.500	7.800	3.588	4.769
Link6	18.750	10.667	8.000	15.000	10.500	7.000	18.571	26.000	13.250	22.000	22.000
Link7	12.000	23.750	13.923	38.125	17.750	13.833	50.000	11.444	15.875	27.750	59.000
Link8	44.500	30.000	60.667	49.000	31.542	47.000	10.000	63.000	18.500	22.000	40.500
Link9	41.000	39.000	49.583	37.875	45.333	33.500	5.750	58.500	25.750	26.750	35.250
Link10	37.500	48.000	38.500	26.750	28.500	20.000	37.000	54.000	33.000	31.500	30.000
Link11	32.167	72.000	36.667	45.750	50.333	26.500	48.000	47.250	33.000	39.250	15.067
Link12	40.000	40.000	30.250	38.000	38.500	36.400	46.000	45.000	28.000	34.667	26.867
Link13	27.000	31.000	33.000	36.500	36.667	41.333	44.000	13.500	22.000	32.833	38.667
Link14	22.333	24.333	27.000	31.500	30.600	34.667	18.500	16.625	16.000	31.000	38.000
Link15	28.000	23.000	29.250	29.000	26.800	35.250	19.750	19.750	10.500	34.500	31.000
Link16	17.000	15.000	14.500	12.000	17.667	23.333	23.500	16.000	13.250	19.125	15.000

Fold-3

ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
Link1	39.500	40.500	37.750	35.000	36.000	34.000	32.000	29.000	29.000	36.000	53.000
Link2	38.333	46.750	42.250	38.625	31.813	25.000	13.000	20.750	28.500	20.667	44.000
Link3	25.167	23.875	31.625	28.063	29.032	30.000	17.000	4.000	11.667	26.667	56.000
Link4	12.000	15.210	21.000	17.500	19.917	22.333	16.000	41.000	5.400	6.500	20.000
Link5	9.000	6.565	8.143	6.207	6.211	11.364	6.000	5.500	5.824	3.643	5.400
Link6	24.000	10.667	7.750	15.000	10.500	15.000	17.875	23.500	11.750	14.000	8.000
Link7	16.750	30.600	13.923	42.286	22.667	15.833	50.000	12.556	43.000	20.375	58.000
Link8	17.000	9.000	61.200	49.000	34.000	47.000	10.000	15.000	20.000	22.000	40.000
Link9	27.833	25.000	51.933	40.750	45.333	33.500	5.750	16.125	26.500	26.500	37.000
Link10	38.667	41.000	42.667	32.500	33.500	20.000	1.500	58.500	33.000	31.000	34.000
Link11	27.833	51.500	35.333	37.000	50.000	22.000	48.000	47.333	31.000	31.000	14.286
Link12	41.167	41.400	28.000	37.000	27.000	39.750	44.429	47.667	29.000	43.000	26.643
Link13	26.000	25.000	30.333	32.000	31.500	37.000	44.000	21.000	32.000	35.500	39.000
Link14	21.333	16.333	27.000	41.400	28.500	31.286	39.000	24.000	28.500	33.250	38.000
Link15	35.500	23.000	26.167	29.167	26.800	34.857	19.750	21.750	10.500	35.667	29.750
Link16	33.250	31.000	18.333	12.000	17.300	22.600	23.500	19.000	19.000	19.000	15.000

Fold-4

ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
Link1	51.000	42.000	38.500	35.000	36.000	22.000	32.000	16.000	29.000	53.000	53.000
Link2	38.333	48.500	46.500	44.500	44.000	43.500	58.000	40.000	22.000	16.200	44.000
Link3	57.000	24.750	39.375	54.000	42.000	30.000	45.000	25.250	5.500	11.000	29.000
Link4	33.205	21.227	9.250	17.500	6.667	22.333	24.750	41.000	10.000	6.500	25.667
Link5	9.409	8.600	13.300	6.552	7.083	7.100	4.500	3.667	13.667	3.882	4.800
Link6	20.000	9.500	7.750	15.000	12.000	11.000	17.000	23.500	13.000	14.000	15.000
Link7	24.500	27.000	30.000	33.000	25.000	17.500	50.000	15.143	43.000	20.375	58.000
Link8	31.667	30.000	66.000	50.583	35.167	47.000	55.000	63.000	17.667	18.021	38.011
Link9	40.083	35.500	52.500	48.917	45.333	33.500	5.750	60.750	25.333	24.511	33.006
Link10	48.500	41.000	39.000	60.333	36.833	20.000	39.250	58.500	33.000	31.000	26.000
Link11	28.400	51.500	39.000	41.667	50.500	23.800	50.000	45.667	41.000	38.667	38.625
Link12	33.000	41.333	36.667	38.333	27.000	34.800	48.750	37.000	29.500	40.750	38.313
Link13	26.500	25.000	22.500	32.000	42.000	41.333	44.000	21.000	32.000	35.875	38.000
Link14	28.333	22.750	27.000	43.250	27.667	30.571	28.750	24.000	29.333	31.000	38.000
Link15	28.000	33.167	38.333	33.231	30.500	34.333	27.500	22.200	10.500	35.667	25.333
Link16	17.000	23.000	26.000	29.613	30.067	22.250	23.500	14.500	16.750	19.000	15.000

Fold-5

ช่วงเวลาจาก 08.00 – 20.00 ทุก 1 ชั่วโมง											
Link1	39.500	40.500	42.417	44.333	30.000	22.000	32.000	41.500	19.000	44.500	53.000
Link2	38.333	46.750	47.958	49.167	46.333	43.500	58.000	43.250	28.500	17.500	43.500
Link3	57.000	31.625	34.479	54.000	42.000	30.000	45.000	28.333	11.667	26.667	18.833
Link4	12.000	16.500	21.000	20.333	6.667	22.333	16.000	41.000	5.400	6.500	25.667
Link5	7.618	6.818	9.545	6.963	7.522	5.778	5.167	4.636	10.471	5.769	4.182
Link6	24.333	8.000	10.000	8.000	6.000	11.000	17.875	23.500	24.333	6.000	15.000
Link7	19.385	16.800	15.545	36.909	25.000	21.500	13.938	6.571	43.000	16.000	58.000
Link8	31.667	51.000	58.000	49.000	36.000	45.000	10.000	63.000	14.500	22.000	40.000
Link9	35.167	42.500	54.250	42.800	47.000	32.500	5.750	63.000	17.750	26.500	35.000
Link10	38.667	34.000	50.500	36.600	36.000	20.000	41.500	63.000	21.000	31.000	30.000
Link11	28.500	31.000	41.000	41.000	50.333	23.800	48.000	49.500	32.750	52.500	19.500
Link12	37.714	35.000	25.667	37.750	31.750	25.750	44.429	45.000	29.000	40.750	29.083
Link13	26.500	25.000	35.500	17.500	36.667	43.500	44.000	28.500	32.000	35.875	38.667
Link14	21.667	30.000	27.000	41.400	27.667	30.833	28.750	24.000	43.500	31.000	38.000
Link15	23.500	23.000	28.000	31.385	24.500	34.857	16.667	28.000	31.500	35.000	38.333
Link16	17.000	23.000	18.333	12.000	17.300	22.600	18.550	14.500	16.750	19.000	15.000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นายณรงค์ อินทร์ธิรักษ์

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 17 มกราคม 2534

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านนาโคก
- ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนาอ้อวิทยา
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.) วิทยาลัยเทคนิคเลย (สาขาเทคนิคคอมพิวเตอร์)
- ระดับอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ประวัติการทำงาน

- ฝึกสหกิจศึกษา ณ ห้องปฏิบัติงานการประเมินและรายสภาพการจราจร ศูนย์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ระยะเวลา 6 เดือน เมื่อปี พ.ศ. 2555

ประวัติการอบรมและรางวัลเกียรติยศ

- ได้รับทุนสนับสนุนการทำปริญญานิพนธ์โครงการ Young Scientist and Technologist Program
- ได้รับคัดเลือกเป็น Google Student Ambassador อบรม ณ บริษัท Google ประเทศสิงคโปร์
- ได้รับคัดเลือกเป็น Microsoft Student Partner อบรม ณ บริษัท Microsoft ประเทศไทย