

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายเส้นทางถนนและการประยุกต์ใช้งาน

ANALYSIS OF ROAD NETWORK STRUCTURE AND ITS APPLICATIONS



ฐิติวุฒิ ศิลปพิพัฒน์

THITIWUT SILLAPAPIPAT

ฉพ.  
5369 ก  
2551

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 87875  
วัน,เดือน,ปี..... 19 ส.ค. 2552

b. 12074925  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-070-172

การวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนและการประยุกต์ใช้งาน

ANALYSIS OF ROAD NETWORK STRUCTURE AND ITS APPLICATIONS

ฐิติวุฒิ ศิลปพัฒน์

THITIWUT SILLAPAPIPAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-070-172

**ANALYSIS OF ROAD NETWORK STRUCTURE AND ITS APPLICATIONS**

**THITIWUT SILLAPAPIPAT**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2008  
KMITL-2008-EN-M-070-172**

**COPYRIGHT 2008**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายเส้นถนนและการประยุกต์ใช้งาน
นักศึกษา	นายจิตวุฒิ ศิลปพิพัฒน์
รหัสประจำตัว	47060825
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชุตติเมษภู่ ศรีนิลทา

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดในการวิเคราะห์โครงสร้างของโครงข่ายถนนจากข้อมูลภาคเตอร์เพื่อนำรูปร่างทางแยกและทางโค้งไปใช้ในการวางแผนในการปักป้ายจราจรบนถนน รวมถึงการนำเสนอรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนที่พิจารณาจากรูปร่างทางแยกเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนที่ค้นหาเส้นทางสำคัญอัตโนมัติ เช่น การค้นหาศูนย์กลางเมืองหลวง การค้นหาถนนสายหลักในโครงข่ายถนน เป็นต้น โดยในงานวิจัยแบ่งมุมมองโครงข่ายถนนออกเป็น 3 ระดับที่สอดคล้องกับขั้นตอนของการวิเคราะห์ โดยระดับตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากการพบกันของเส้นถนน การจำแนกประเภทของทางแยกและทางโค้งพิจารณาตามมุมระหว่างแขนของแยก และ วิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน โดยพิจารณาการเชื่อมต่อกันของทางแยก งานวิจัยนำเสนอวิธี Median of Slopes (MS) เพื่อใช้ในการหาเส้นตรงแทนแขนของแยกในการวิเคราะห์มุม โดยพิจารณาจากความชันของจุดต่างๆที่ประกอบกันเป็นแขนของแยก งานวิจัยนี้แบ่งประเภททางแยกและแบ่งประเภททางโค้งได้เป็น สามแยก 3 ประเภท สี่แยก 2 ประเภทและทางโค้ง 3 ประเภท และความถูกต้องโดยรวมที่ได้จากการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกและทางโค้ง เท่ากับ 98.93 % ส่วนรูปแบบของโครงข่ายถนนที่พิจารณาคือ โครงสร้างรูปแบบหวี โครงสร้างรูปแบบสโตรค และ โครงสร้างรูปแบบกริด งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับแผนที่ถนน 2 ฐานข้อมูล จำนวนถนนรวม 17,480 เส้น

**Thesis Title**      Analysis of Road Network Structure and its Applications  
**Student**            Mr. Thitiwut Sillapapipat  
**Student ID.**        47060825  
**Degree**             Master of Engineering  
**Program**            Computer Engineering  
**Year**                2008  
**Thesis Advisor**    Asst.Prof.Dr. Chutimet Srinilta

## ABSTRACT

This thesis is about road network analysis on vector data. It is often that road junctions are identified as accident-prone spots. Location, type and shape of junctions contribute to road safety. They are used to determine traffic sign location as well as to identify city center and main roads. This thesis introduces an approach to detect and classify road junctions from vector data. A road network is viewed in three levels of abstraction. Positions of junctions and curves are identified as points where two roads meet or change direction. Angles between junction/curve arms are taken into account in junction/curve classification. Road patterns are discovered based on how junctions are connected. The Median of Slopes (MS) is proposed and used in determining linear fit junction arms. This MS looks at slope of each point in the arm with respect to one reference point and identifies one point in the arm that a line between it and the reference point fit the arm the most. 3-way junctions are classified into 3 classes. 4-way junctions are classified into 2 classes. Curves are classified into 3 classes. The correctness of shape junction and curve are 98.93%. The experiments are performed against three road network databases of total 17,480 roads.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำจาก ผศ.ดร. ชูติเมษย์ ศรีนิลทา และ ผศ.ดร. วิศิษฎ์ หิรัญกิตติ ที่ให้คำชี้แนะแนวทางและการแก้ปัญหาในงานวิจัย และให้ความช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างดีแก่ข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่เสนอแนะเพื่อปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการสอบต่างๆ และจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่น้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

คุณงามความดีและประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดามารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิตวิมล ศิลปพิพัฒน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา .....	2
1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	3
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ .....	3
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย .....	5
2.1 ความรู้พื้นฐาน .....	5
2.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) .....	5
2.1.2 ระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geo-referenced Coordinate System) .....	7
2.1.3 ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Database) .....	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	14
2.2.1 งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นข้อมูล เวกเตอร์ .....	14
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์รูปร่างของแยก .....	16
2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน .....	18
2.2.4 อัลกอริทึมสำหรับการค้นหาเส้นตรงจากกลุ่มข้อมูล .....	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การค้นหาและวิเคราะห์รูปแบบทางแยกและทางโค้ง	25
3.1 ระบบการทำงาน	25
3.2 การค้นหาเส้นตรงด้วยวิธี Median of Slopes (MS)	26
3.3 การค้นหาทางแยกและทางโค้ง	28
3.3.1 การวิเคราะห์โครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตา	28
3.3.2 การออกแบบมุมมองของโครงข่ายถนน	30
3.3.3 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งทางแยก	35
3.3.4 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งทางโค้ง	36
3.4 การวิเคราะห์เพื่อจำแนกรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง	41
3.4.1 การวิเคราะห์เพื่อจำแนกรูปแบบทางแยก	41
3.4.2 การวิเคราะห์เพื่อจำแนกรูปแบบทางโค้ง	44
บทที่ 4 การวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน	48
4.1 รูปร่างของทางแยกที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน	48
4.2 รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนน	49
4.2.1 โครงสร้างรูปแบบหวี (Comb structure)	49
4.2.2 โครงสร้างรูปแบบสโตรค (Stroke structure)	52
4.2.3 โครงสร้างรูปแบบกริด (Grid structure)	53
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	57
5.1 สภาพแวดล้อมการทดลอง	57
5.1.1 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง	57
5.2 ชุดข้อมูล	59
5.3 การทดลอง	60
5.3.1 การทดลองส่วนที่ 1 การค้นหาตำแหน่งและระบุประเภทของทางแยกและทางโค้ง	60

5.3.2 การทดลองส่วนที่ 2 การจำแนกรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง	62
5.3.3 การทดลองส่วนที่ 3 การประยุกต์เพื่อหารูปแบบโครงข่ายถนน	65
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	69
6.1 แนวทางในการพัฒนาต่อ	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างแบบสอบถามเรื่องการจำแนกประเภททางแยกและทางโค้ง	72
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	83
ประวัติผู้เขียน	91

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงมุมมองของข้อมูลในแต่ละระดับในโครงข่ายถนน	30
4.1 ตารางข้อมูลสามแยกที่มีรูปร่างแบบ TEE และ FRK	48
4.2 ตารางข้อมูลสี่แยกที่มีรูปร่างแบบ CRS	48
4.3 ตารางข้อมูลสำหรับค้นหาโครงสร้างรูปแบบหวี	49
5.1 ตารางแสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากข้อมูลตัวอย่าง	60
5.2 ตารางแสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากข้อมูลตัวอย่าง	60
5.3 ตารางแสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 2	61
5.4 ตารางแสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลตัวอย่าง	61
5.5 ตารางแสดงผลการทดลองในการระบุประเภทของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูล 1	62
5.6 ตารางแสดงผลการทดลองในการระบุประเภทของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูล 2	62
5.7 ตารางแสดงผลในการระบุรูปร่างทางแยกและทางโค้งที่ความยาวแขนต่างๆ เมื่อเทียบกับผลของแบบสอบถาม	64
5.8 ตารางแสดงการจำแนกรูปร่างทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 1	64

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงประเภทของข้อมูลเชิงพื้นที่..... 6
2.2	ตัวอย่างลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์แบบจุด แบบเส้น และแบบเส้นรอบรูปปิด..... 6
2.3	รูปโครงสร้างข้อมูลประเภทราสเตอร์เปรียบเทียบกับข้อมูลเวกเตอร์..... 7
2.4	รูปแผนที่ที่ได้จากการแปลงค่าแบบ Cylindrical Projections..... 9
2.5	รูปแสดงแนวแกนที่บอกลักษณะโลกเป็นรูปทรงรี..... 10
2.6	รูปแสดงโซนต่างๆที่ได้จากการแปลงค่าอเมริกาได้ด้วยระบบ UTM..... 12
2.7	แสดงโครงสร้างวัตถุเชิงพื้นที่ตามมาตรฐาน Open Geospatial Consortium..... 14
2.8	โครงสร้างของข้อมูลใน Link -Node [2]..... 15
2.9	ตัวอย่างตาราง Link-Link ซึ่งพิจารณาจากตาราง Link-Node [2]..... 16
2.10	รูปร่างทางแยกสำหรับค้นหาโครงข่ายถนน [6]..... 17
2.11	เส้นตรงของเส้นเลือดแดงที่เกิดจากวิธี Least -Squares [9]..... 18
2.12	รูปร่างทางแยกที่จำแนกตามคี่กรีของโหนด [13]..... 19
2.13	เส้นสโตรคในโครงข่ายถนน [15]..... 19
2.14	โครงสร้างแบบกริดในโครงข่ายถนน [17]..... 20
2.15	โครงสร้างแบบสตาร์ในโครงข่ายถนน..... 21
2.16	โครงสร้างแบบริงในโครงข่ายถนน..... 21
2.17	เส้นตรงที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธี Median-Median..... 22
2.18	เส้นตรงที่ได้จากการหาด้วยวิธี Least Squares..... 23
2.19	ความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์หาเส้นตรงด้วยวิธี Median-Median..... 23
2.20	ความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์หาเส้นตรงด้วยวิธี Least Squares..... 24
3.1	เส้นตรงที่ได้จากวิธี Median of Slopes ของทั้ง 6 จุด..... 27
3.2	รูปแสดงโครงสร้างของทางแยกที่ใช้หลักการของตาในการพิจารณา..... 29
3.3	แสดง โครงสร้างของทางโค้งที่ใช้หลักการของตาในการพิจารณา..... 30

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1	รูปแผนที่โครงข่ายถนนจากฐานข้อมูลที่ 1 (ถนนสายหลักของประเทศแคนาดา).....58
5.2	รูปแผนที่โครงข่ายถนนจากฐานข้อมูลที่ 2 (ถนนในเขตบางนา กรุงเทพมหานคร).....58
5.3	โครงสร้างรูปแบบหวีที่ได้จากการค้นหาในฐานข้อมูลที่ 2.....62
5.4	ผลการค้นหาโครงสร้างรูปแบบสโตรคภายในถนนที่อยู่ในเขตบางนา.....66
5.5	ข้อมูลถนนบางส่วนในฐานข้อมูลที่ 1 ที่นำมาทดลองหาโครงสร้างแบบกริด.....67
5.6	โครงสร้างรูปแบบกริดที่ได้จากการค้นหาในฐานข้อมูลที่ 1 เพียงบางส่วนที่นำมา พิจารณา.....68
5.7	บริเวณกริดที่ทำให้เกิดความกำกวมสำหรับการค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดใน งานวิจัย.....68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันข้อมูลแผนที่ถนนมีการจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลเวกเตอร์มากขึ้น การประมวลผลแผนที่ในรูปแบบเวกเตอร์แตกต่างจากการประมวลผลแผนที่ในรูปแบบราสเตอร์ จากการสังเกตพบว่าการเก็บข้อมูลแผนที่แบบเวกเตอร์มีลักษณะที่เอื้ออำนวยต่อการระบุตำแหน่งและจำแนกรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง งานวิจัยนี้จึงมีความคิดที่จะนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลเวกเตอร์เพื่อค้นหาตำแหน่งและจำแนกรูปร่างทางแยกทางโค้ง มีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน เช่น ความประมาทของผู้ขับขี่ สภาพอากาศ และลักษณะทางกายภาพของถนน เป็นต้น บ่อยครั้งที่อุบัติเหตุเกิดขึ้นบริเวณทางแยกและทางโค้ง ทางกรมจึงทำการปักป้ายจราจรเมื่อใกล้ทางแยกทางโค้งเพื่อลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ข้อมูลตำแหน่งและรูปร่างทางแยกทางโค้งยังใช้ประกอบการวิเคราะห์อุบัติเหตุ เพื่อวางแผนแก้ไข และ ป้องกันอุบัติเหตุได้อีกด้วย รูปแบบของโครงข่ายถนน สามารถระบุลักษณะการใช้งานพื้นที่ได้ เช่น ถนนในเมืองมักจะมีลักษณะเป็นตาราง ถนนสายหลักมักจะมีถนนย่อยแยกออกเป็นระยะ เป็นต้น เมื่อมองแผนที่ถนนแล้วพบว่า รูปแบบของถนนเกิดจากการเชื่อมต่อกันของทางแยก ข้อมูลรูปแบบของโครงข่ายถนน สามารถใช้ประกอบการทำเหมืองข้อมูล เพื่อวิเคราะห์และวางแผนงานด้านอื่นๆต่อไปได้

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานำเสนอแนวคิดและพัฒนาระบบวิเคราะห์โครงข่ายถนนที่เป็นข้อมูลเชิงเวกเตอร์เพื่อค้นหาตำแหน่งทางแยกและทางโค้ง และนำรูปร่างทางแยกและทางโค้งไปประยุกต์ใช้ในการค้นหา รูปแบบของโครงข่ายถนนทั้งนี้การพิจารณารูปร่างทางแยกทางโค้งจะอ้างอิงกับหลักการพิจารณาของตาประกอบด้วยลักษณะการเก็บข้อมูลเส้นถนน

### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ออกแบบโครงสร้างของข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์โดยโครงสร้างที่ออกแบบถูกจัดทำให้อยู่ในลักษณะข้อมูลกราฟ โดยออกแบบข้อมูลแบ่งมุมมองเป็น 3 ระดับ มุมมองในระดับที่ 1 เป็นมุมมองของข้อมูลโดยมองว่าโครงข่ายถนนประกอบด้วยเส้นถนนและถนนแต่ละเส้นคือโหนดที่เชื่อมต่อกันถนนหนึ่งเส้นจะมีโหนดปลายสองด้าน มุมมองในระดับที่ 2 มุมมองในระดับนี้

จะมองโครงข่ายถนนเป็นทางแยกที่เชื่อมต่อกัน สำหรับมุมมองในระดับที่ 3 เป็นมุมมองที่มองทางแยกเป็นหลักแล้วมองแขนของแยกเป็นเส้นตรงหรือแขนตรง (Linear arm) และแขนตรงทุกแขนของแยกจะพบกันที่จุดศูนย์กลางของแยก สำหรับขั้นตอนการทำงานในงานวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือส่วนของการวิเคราะห์ค้นหาจำแนกรูปแบบทางแยกและทางโค้ง การวิเคราะห์ค้นหาทางแยกพิจารณาได้จากคีรีของอินเตอร์เซกชันโหนดซึ่งเป็นโหนดที่ได้จากมุมมองของข้อมูลระดับที่ 2 สำหรับการวิเคราะห์รูปร่างของทางแยกทางโค้ง พิจารณาจากมุมระหว่างแขนตรงของแยกหรือแขนตรงของโค้ง โดยแขนตรงหาได้จากการนำแขนของแยกหรือแขนของโค้งไปคำนวณด้วยอัลกอริทึม MS ซึ่งเป็นมุมของข้อมูลในระดับที่ 3 และสำหรับส่วนที่สองคือส่วนของการวิเคราะห์รูปแบบ โครงสร้าง โครงข่ายถนน โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในส่วนแรกมาวิเคราะห์ซึ่งก็คือสามแยกและสี่แยกโดยลักษณะสามแยกที่นำมาพิจารณาคือ สามแยกรูปร่างแบบ ARW, TEE และ FRK ส่วนสี่แยกที่นำมาพิจารณาคือสี่แยกรูปร่างแบบ CRS และ OTH ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้นำเสนอโครงสร้างสำหรับการวิเคราะห์ขึ้นมาสามรูปแบบคือ โครงสร้างรูปแบบหวี โครงสร้างรูปแบบสโตรค และโครงสร้างรูปแบบกริด

#### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนนโดยแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนสำหรับการค้นหาและจำแนกรูปร่างทางแยกและทางโค้ง กับส่วนของการค้นหารูปแบบโครงข่ายถนน โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลเชิงเวกเตอร์ของโครงข่ายถนนจาก 2 ฐานข้อมูล โดยต้องมีการเก็บข้อมูลจุดที่เกิดการตัดกันของเส้นถนนในข้อมูลเส้นถนนด้วย ในการค้นหาทางแยกและทางโค้งพิจารณาจากการตัดกันของเส้นถนนในระดับเดียวกันเท่านั้น ไม่รวมถึงกรณีที่ดินชนซ้อนกัน ถนนลอดสะพาน ทางยกระดับ หรือ วงแหวน ส่วนการค้นหารูปร่างทางแยกและทางโค้งพิจารณาจากมุมระหว่างแขนของแยกและแขนของโค้งเมื่อมองแขนของแยกเป็นเส้นตรง ซึ่งในงานวิจัยนี้แบ่งประเภททางแยกเป็นสามแยกและสี่แยกและจำแนกรูปร่างของสามแยกเป็น 3 รูปร่างคือ FRK, TEE และ ARW จำแนกรูปร่างของสี่แยกเป็น 2 รูปร่างคือ CRS และ OTH ส่วนรูปร่างของเส้นโค้งจำแนกเป็น โค้งมุมแหลม โค้งมุมฉาก และ โค้งมุมป้าน เท่านั้น ส่วนรูปแบบโครงข่ายถนนพิจารณา 3 รูปแบบด้วยกันคือ โครงสร้างรูปแบบหวี โครงสร้างรูปแบบสโตรค และ โครงสร้างรูปแบบกริด ส่วนข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลถนนสายหลักของประเทศแคนาดาและถนนในเขตบางนาจังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในการทดลองมีพารามิเตอร์ความยาวของแขนซึ่งต้องมีการปรับค่าให้สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูลที่นำมาพิจารณา

#### 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

##### 1.5.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

- 1.5.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาและวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายเส้นถนน และส่วนที่สามารถนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้
- 1.5.3 ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาและวางแผนความคิดของงานวิจัยโดยอ้างอิงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้
- 1.5.4 ออกแบบระบบสำหรับการค้นหาทางแยกทางโค้งและโครงข่ายเส้นถนนตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้
- 1.5.6 ออกแบบการทดลองและทำการทดลอง
- 1.5.7 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ ประเมินผล และ สรุปผลการทดลอง

## 1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

- 1.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 1.6.2 ระบบปฏิบัติการ Windows XP
- 1.6.3 ซอฟต์แวร์ MATLAB เวอร์ชัน 6.0
- 1.6.4 ซอฟต์แวร์ PostgreSQL เวอร์ชัน 8.1 with PostGIS เวอร์ชัน 1.2.1.1

## 1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา รวมทั้งทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็น 2 หัวข้อหลัก โดยหัวข้อแรกกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งก็คือลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่และหัวข้อที่สองคือ ส่วนแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นข้อมูลเวกเตอร์, งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำรูปร่างทางแยกมาวิเคราะห์โครงข่ายถนน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนและ วิธีสำหรับการหาเส้นตรงในกลุ่มข้อมูล

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนในการค้นหาและวิเคราะห์รูปแบบทางแยกทางโค้ง โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาทดลองแบ่งเป็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งคือส่วนของการค้นหาเส้นตรงด้วยวิธี

Median of Slopes (MS) ส่วนที่สองคือส่วนของการค้นหาทางแยกและทางโค้งและส่วนที่สามคือส่วนสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบทางแยกและทางโค้ง

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างภายในโครงข่ายถนนทั้งหมด 3 โครงสร้างซึ่งก็คือโครงสร้างรูปแบบหวี โครงสร้างรูปแบบสโตรค, โครงสร้างรูปแบบกริด

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลความถูกต้องสำหรับการค้นหาและจำแนกรูปร่างของทางแยก ทางโค้ง รวมถึงการค้นหารูปแบบโครงข่ายถนน

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง และแนวทางในการพัฒนางานวิจัย

## บทที่ 2

# ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับความรู้พื้นฐานกล่าวถึงลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่และฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ และในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 3 หัวข้อหลัก คือ งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลเวกเตอร์ในโครงข่ายถนน งานวิจัยเรื่องวิเคราะห์รูปร่างทางแยกในโครงข่ายถนน งานวิจัยเรื่องการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนน และอัลกอริทึมสำหรับการหาเส้นทางตรงในโครงข่ายถนน

### 2.1 ความรู้พื้นฐาน

ในส่วนนี้กล่าวถึงไว้ 3 หัวข้อหลักด้วยกันคือ หัวข้อแรกกล่าวถึงลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ หัวข้อที่สองกล่าวถึงระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ และหัวข้อที่สามกล่าวถึงฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และฟังก์ชันที่สนับสนุนในงานวิจัย

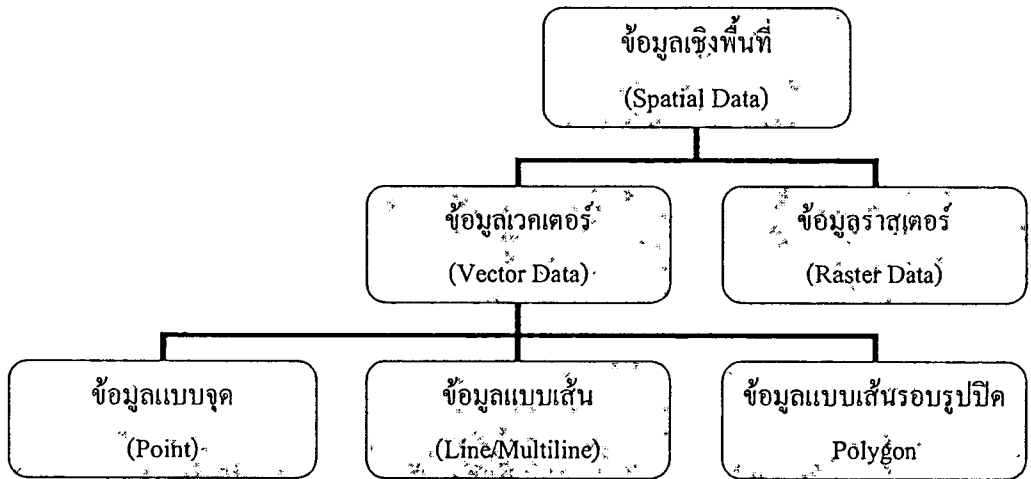
#### 2.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data)

ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) คือ ข้อมูลที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Geo-referenced Data) ของรูปลักษณะของพื้นที่ (Graphic Feature) ซึ่งมี 2 แบบ คือ ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Data) และ ข้อมูลราสเตอร์ (Raster Data) ซึ่งการแบ่งประเภทของข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

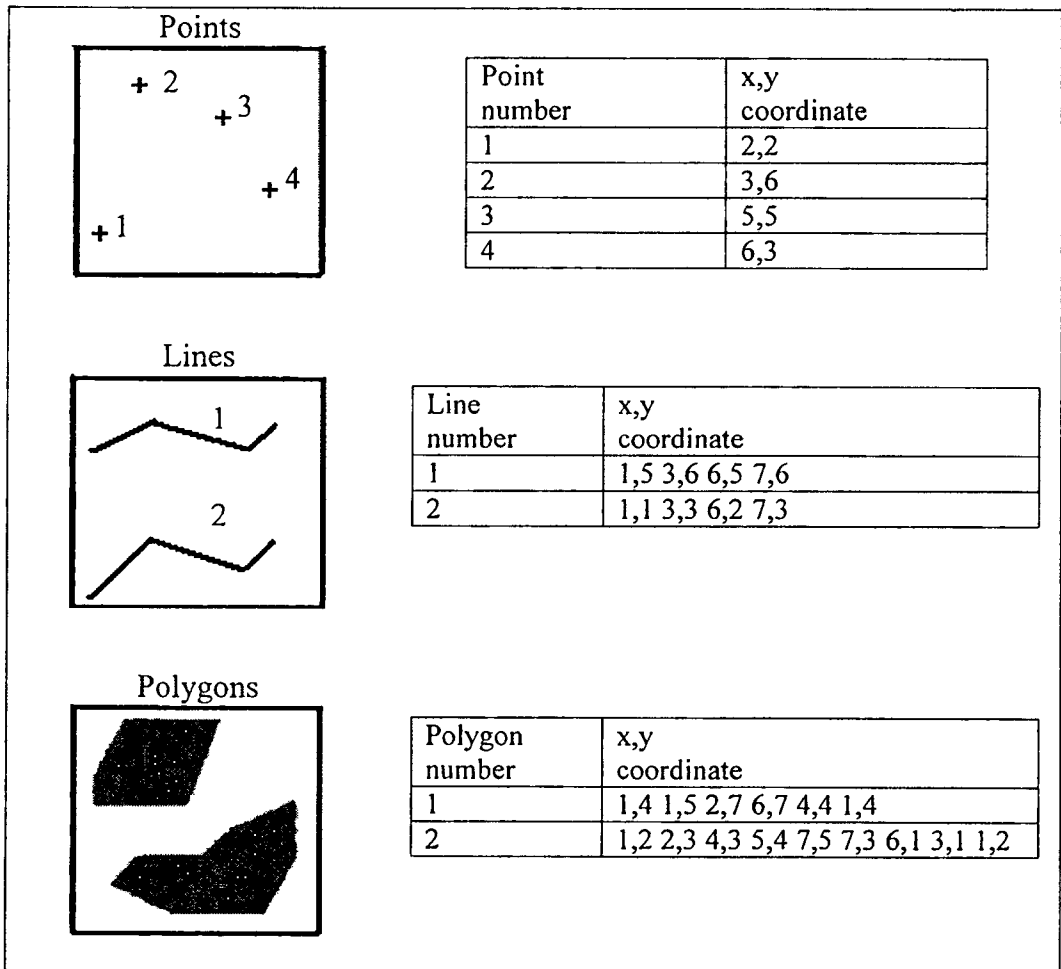
##### 2.1.1.1 ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Data)

เป็นข้อมูลที่แสดงถึงทิศทางและตำแหน่งของข้อมูลซึ่งลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์แบ่งเป็น 3 ลักษณะคือข้อมูลแบบจุด (Point), ข้อมูลแบบเส้น (Line) และข้อมูลแบบเส้นรอบรูปปิด (Polygon)

1. ข้อมูลแบบจุด (Point) เช่น ที่ตั้งสำนักงาน ที่ตั้งร้านค้า วัด โรงเรียน
2. ข้อมูลแบบเส้น (Line) เช่น ถนน แม่น้ำ
3. ข้อมูลแบบเส้นรอบรูปปิด (Polygon) เช่น เขตเมือง พื้นที่ตึก อาคารพาณิชย์



รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของข้อมูลเชิงพื้นที่



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์แบบจุด แบบเส้น และแบบเส้นรอบรูปปิด

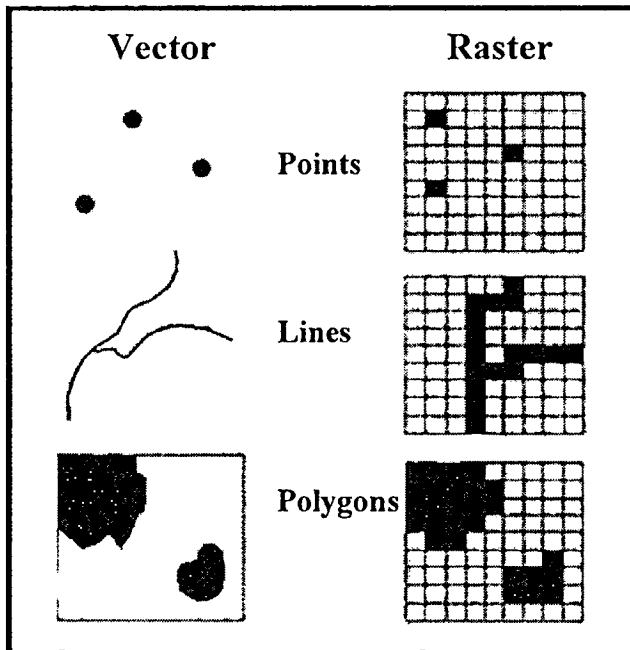
ตัวอย่างของข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 โดยแสดงโครงสร้างของข้อมูลแบบจุดเช่นหมายเลข 3 คือจุดที่แสดงตำแหน่งพิกัด (5,5) ในแผนที่ ส่วนโครงสร้างข้อมูล

แบบเส้นหมายเลข 1 คือเส้นถนนที่ประกอบด้วยจุดที่แสดงตำแหน่งพิกัด (1,5), (3,6), (6,5) และ (7,6) และสำหรับโครงสร้างแบบเส้นรอบรูปปิดหมายเลข 1 คือเส้นรอบรูปปิดที่ประกอบด้วยจุดที่แสดงตำแหน่งพิกัด (1,4), (1,5), (2,7), (4,4) และ (1,4) สังเกตได้ว่าเส้นรอบรูปปิดคือเส้นที่มีจุดต้นและจุดปลายเป็นจุดเดียวกันคือจุด (1,4)

สำหรับลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์ที่ถูกเก็บลงฐานข้อมูลสามารถจัดเก็บได้ 2 แบบ คือ Well-Known Text (WKT) และ Well-Known Binary (WKB) โดยทั้ง WKT และ WKB เก็บข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของรูปร่างข้อมูลและตำแหน่งภายในข้อมูลชนิดนั้น

### 2.1.1.2 ข้อมูลราสเตอร์ (Raster Data)

เป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ (Grid Cell or Pixel) ขนาดเท่ากันและต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถอ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ โดยขนาดของตารางกริด หรือความละเอียด (resolution) ในการเก็บข้อมูลจะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับ การจัดแบ่งจำนวนแถว (row) และจำนวนคอลัมน์ (column) ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บ โดยใช้ตารางกริด เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลระดับค่าความสูง เป็นต้น



รูปที่ 2.3 รูป โครงสร้างข้อมูลประเภทราสเตอร์เปรียบเทียบกับข้อมูลเวกเตอร์

### 2.1.2 ระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geo-referenced Coordinate System)

เนื่องจากข้อมูลเชิงพื้นที่มาจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายและมีมาตราส่วนต่างกัน ดังนั้นระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ทั้งนี้เพราะหากข้อมูลดังกล่าวใช้ระบบอ้างอิงที่แตกต่างกันจะทำให้ไม่สามารถซ้อนทับกันได้ หรือซ้อนทับได้แต่มีตำแหน่งที่ผิดพลาด หรือไม่

สามารถทำ การเชื่อมต่อข้อมูลแผนที่ที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ ระบบค่าพิกัดภูมิศาสตร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ Spherical Coordinate และ Cartesian Coordinate System

**2.1.2.1 Spherical Coordinate System** เป็นระบบค่าพิกัดที่อ้างอิงเส้นละติจูด (Latitude) และเส้นลองจิจูด (Longitude) โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานว่าโลกมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งเป็นภาพ 3 มิติ เส้นลองจิจูด (Longitude or Meridian) จะลากจากขั้วโลกเหนือมายังขั้วโลกใต้ เส้นลองจิจูดที่อยู่ทางทิศตะวันออกของเส้น Prime Meridian เท่ากับ 0-180 องศา ส่วนทางทิศตะวันตกของเส้น Prime Meridian เท่ากับ 0-(-180) องศา เส้นละติจูดที่ลากผ่านเส้นศูนย์สูตร (Equator) เท่ากับ 0 องศา เส้นละติจูดที่อยู่ทางทิศเหนือของเส้นศูนย์สูตร เท่ากับ 0-90 องศา ถึงขั้วโลกเหนือ และเส้นละติจูดที่อยู่ทางทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เท่ากับ 0-(-90) องศา ถึงขั้วโลกใต้ ดังนั้น ค่าพิกัดหนึ่งๆ ของระบบเส้นละติจูด เส้นลองจิจูดจะมีเพียงตำแหน่งเดียวบนพื้นโลก

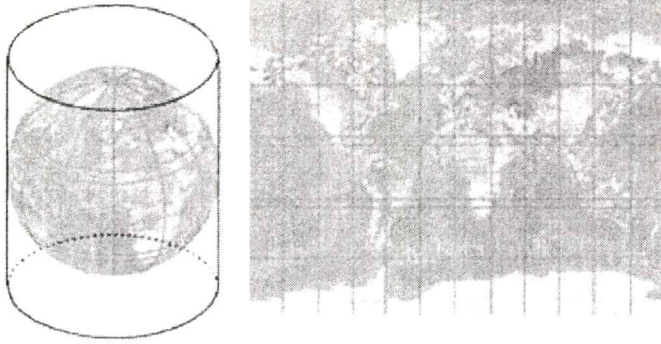
**2.1.2.2 Cartesian Coordinate System or Planar Coordinate System** เป็นระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่แปลงค่า (projection) เส้นละติจูด เส้นลองจิจูดที่เป็นรูป 3 มิติ ให้เป็นแผนที่ในลักษณะพื้นราบ 2 มิติ โดยค่า X แทนค่าระยะทางจากจุดอ้างอิงสมมุติ ในแนวแกนนอน (horizontal axis) และ Y แทนระยะทางจากจุดอ้างอิงสมมุติ ในแนวแกนตั้ง (vertical axis)

การแปลงค่าพบว่าแผนที่ที่ได้มีความแตกต่างกันด้วยเหตุนี้การเลือกระบบแปลงค่าเพื่อให้ได้ความถูกต้องของข้อมูลสูงสุด ต้องพิจารณาคูณสมบัติดังนี้

- 1) Conformality คือการรักษารูปร่างให้เหมือนกับที่เป็นจริงบนผิวโลก
- 2) Distance คือ การพิจารณาระยะทางโดยแผนที่ที่ทำการแปลงค่าต้องมีระยะทางจากจุดศูนย์กลางที่ได้จากการแปลงค่า ไปยังจุดอื่นๆ ในแผนที่เท่ากับระยะทางจริง
- 3) Direction คือการรักษาทิศทางให้สัมพันธ์กับทิศทางบนโลก โดยทิศทางที่ลากจากจุดศูนย์กลางของแผนที่ที่สร้างขึ้นจะต้องตรงกับความเป็นจริงบนผิวโลก
- 4) Scale คือ การรักษาพื้นที่ให้มีสัดส่วนสัมพันธ์กับพื้นที่จริงบนผิวโลก โดยรักษาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่แต่ละแห่งทั้งในแผนที่กับผิวโลกโดยอยู่ในลักษณะคงที่เท่าๆกัน
- 5) Area คือ การพิจารณาพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จากการแปลงค่าบนแผนที่กับพื้นที่จริงต้องมีพื้นที่เท่ากัน

ระบบการแปลงค่า (projection system) ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือ ระบบ Cylindrical Projection

**Cylindrical Projections** เป็นระบบที่แปลงค่าพื้นผิวโลกโดยใช้พื้นที่รูปทรงกระบอก แสดงเส้นลองจิจูดและเส้นละติจูดของโลก โดยตำแหน่งและภูมิประเทศเปรียบเสมือนนำกระดาษถ้ายรูปทรงกระบอกห่อโลกแล้วเปิดไฟให้ภาพกระทบบนฉาก แล้วกระดาษคลี่ออกปวงบนโต๊ะ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งระบบแปลงค่าลักษณะนี้มีหลายแบบด้วยกันดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแผนที่ที่ได้จากการแปลงค่าแบบ Cylindrical Projections

Gall's Stereographic Cylindrical Projection ใช้ทรงกระบอกตัดที่เส้นละติจูด 45 องศาเหนือ-ใต้ เส้นลองจิจูดเป็นเส้นตรงขนานกันช่วงห่างเท่ากัน เส้นละติจูดเป็นเส้นตรงช่วงห่างระหว่างเส้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อไปทางขั้วโลกและจะเล็กสุดเมื่อใกล้แนวศูนย์สูตร เหมาะสำหรับทำแผนที่โลกที่รวบรวมเป็นเล่มเนื่องจากมีความบิดเบือนน้อย

Mercator Projection ใช้ทรงกระบอกสัมผัสผิวโลกที่ศูนย์สูตรแต่ในทางปฏิบัติใช้การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ปรับขยายทำให้รักษารูปในบริเวณจุดสัมผัส เส้นลองจิจูดเป็นเส้นตรงขนานกัน ช่วงห่างเท่ากัน เส้นละติจูดเป็นเส้นตรงกัน ช่วงห่างระหว่างเส้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อไปทางขั้วโลก คุณสมบัติคือรักษามุมอาซิมูท (Azimuth) เท่ากับมุมอาซิมูทจริง ส่วนใหญ่ใช้ในการเดินเรือ

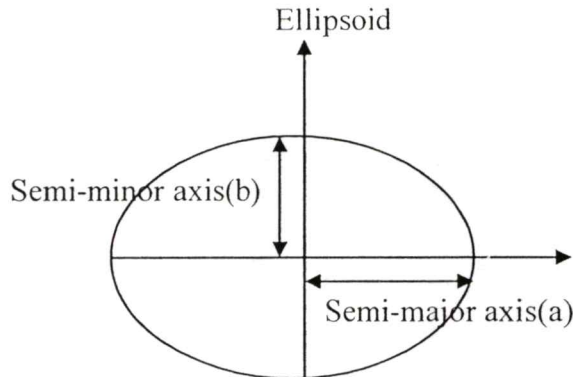
Transverse Mercator Projection ใช้ทรงกระบอกสัมผัสผิวโลกที่เส้นลองจิจูดคู่หนึ่งที่ตรงข้ามซีกโลกกัน เส้นลองจิจูดที่สัมผัสเรียกว่า เส้นเมริเดียนกลาง (Central Meridian) แทนมุมทรงกระบอกตั้งฉากกับแนวแกนหมุนโลก เส้นลองจิจูดทุกเส้นสอบเข้าหากันที่ขั้วโลก ยกเว้นเส้นเมริเดียนกลางที่เป็นเส้นตรง ช่วงห่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อห่างเส้นเมริเดียนกลางออกไป เส้นละติจูดนอกจากเส้นศูนย์สูตรที่เป็นเส้นตรงแล้วทุกเส้นเป็นส่วนโค้งของวงรีและเมื่อใกล้ขั้วโลกจะเป็นวงกลม มีคุณสมบัติในการรักษารูปร่าง และรักษามาตรฐานในเส้นเมริเดียนกลาง เหมาะสำหรับบริเวณยาวในแนวเหนือ-ใต้ และแคบในแนวตะวันตก-ตะวันออก

Universal Transverse Mercator Projection เป็นวิธีพิจารณาาระบบพิกัดโดยใช้วิธีแบ่งพื้นผิวของโลกออกเป็นตารางกริดโดยระบบ UTM แบ่งตารางกริดออกเป็น 60 โซนในแต่ละโซนจะถูกกำหนดโดย Transverse Mercator Projection ซึ่งเป็นระบบเส้นโครงชนิดหนึ่งที่ใช้ผิวรูปทรงกระบอกเป็นผิวแสดงเส้นลองจิจูดและเส้นละติจูดซึ่งกล่าวไว้ในส่วนก่อนหน้า

ระบบ UTM แบ่งพื้นผิวของโลกโดยตัดโลกระหว่าง ละติจูด 84 องศาเหนือ และ 80 องศาใต้ในลักษณะแกนรูปทรงกระบอกแล้วทำมุมกับแกนโลก 90 องศารอบโลก แบ่งออกเป็น 60 โซนๆ ละ 6 องศาของลองจิจูด โดยมีเลขกำกับแต่ละโซนตั้งแต่ 1 ถึง 60 โดยนับจากซ้ายไปทางขวาระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือกับ 80 องศาใต้ โดยกำหนดให้โซนที่ 1 อยู่ในช่วงระหว่างลองจิจูด 180 องศาไปถึง 174 องศาตะวันตก และให้เมริเดียนกลางอยู่ที่ 177 องศาตะวันตก หมายเลขโซนเพิ่มขึ้นไปในทางทิศตะวันออก

ระบบ UTM ได้แบ่งแต่ละลองจิจูดโซนไปเป็น 20 ละติจูดโซน โดยความกว้างในละติจูดโซนแบ่งเป็นช่องละ 8 องศา ยกเว้นละติจูดโซนสุดท้ายเป็น 12 องศาสำหรับค่าเริ่มต้นกำหนดให้ตั้งแต่ละติจูด 80 องศาได้ขึ้นไป ทางเหนือให้ช่องแรกเป็นอักษร C และนับอักษรเพิ่มไปจนถึงช่องสุดท้ายเป็นอักษร X (ไม่นับอักษร I และ O เนื่องจากคล้ายเลข 1 และ 0)

เนื่องจากโลกมีรูปร่างเป็นรูปทรงรี (spheroid/ellipsoid) แต่รูปทรงรีขึ้นอยู่กับรัศมีหลัก (Semi-major axis) และรัศมีรอง (semi-minor axis) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงแนวแกนที่บอกลักษณะโลกเป็นรูปทรงรี

ดังนั้นในการแปลงละติจูด ลองจิจูดของโลกไปเป็นแนวแกนระนาบต้องพิจารณาจากค่า flattening ซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างผลต่างของรัศมีหลักและรัศมีรอง แสดงได้ดังสมการ (2.1)

$$f = (a - b) / a \quad (2.1)$$

$f$  คือค่า flattening

$a$  คือค่า semi-major axis

$b$  คือค่า semi-minor axis

ค่า flattening มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ยังมีค่าเข้าใกล้ศูนย์รูปทรงรีจะยิ่งเข้าใกล้รูปทรงกลม และเนื่องจากการค่า flattening ที่ใช้อ้างอิงพื้นผิวโลกมีตำแหน่งที่สัมพันธ์กับศูนย์กลางของโลก ดังนั้นแต่ละประเทศบนโลกจะเลือกใช้ข้อมูลหรือเรียกว่า datum แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่เพื่อเลือกตำแหน่งอ้างอิงได้ถูกต้องที่สุด โดย datum ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ WGS-84 ซึ่งเป็น datum ที่ครอบคลุมการใช้งานในประเทศต่างๆทั่วโลก ในการแปลงค่าเส้นละติจูดและลองจิจูดของโลกไปเป็นแผนที่ในระบบ UTM แสดงได้ดังสมการ (2.2) และ (2.3)

$$X = \text{Easting} = A_1 L (1 + L^2 (A_3 + L^2 (A_5 + A_7 L^2))) \quad (2.2)$$

$$Y = \text{Northing} = k_0 m + A_2 L^2 (1 + L^2 (A_4 + A_6 L^2)) \quad (2.3)$$

$$L = \lambda \cos \phi$$

$$t = \tan \phi$$

$$A_1 = k_0 N, N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}}, e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 2f - f^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} k_0 N t$$

$$A_3 = (1 - t^2 + \eta^2) / 6, \eta = e'^2 \cos \phi, e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

$$A_4 = (5 - t^2 + \eta^2 (9 + 4\eta^2)) / 12$$

$$A_5 = (5 - t^2 (18 - t^2) + \eta^2 (14 - 58t^2)) / 120$$

$$A_6 = (61 - t^2 (58 - t^2) + \eta^2 (270 - 330t^2)) / 360$$

$$A_7 = (61 - t^2 (479 - 179t^2 + t^4)) / 5040$$

$X$  คือค่าระยะทางจากเส้นเมริเดียนกลางหรือเรียกว่า Easting

$Y$  คือค่าระยะทางในแนวแกนตั้งหรือเรียกว่า Northing

$\phi$  คือค่าละติจูด

$\lambda$  คือค่าลองติจูด

$k_0$  คือค่าคงที่เส้นเมริเดียนกลางของโซนซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9996

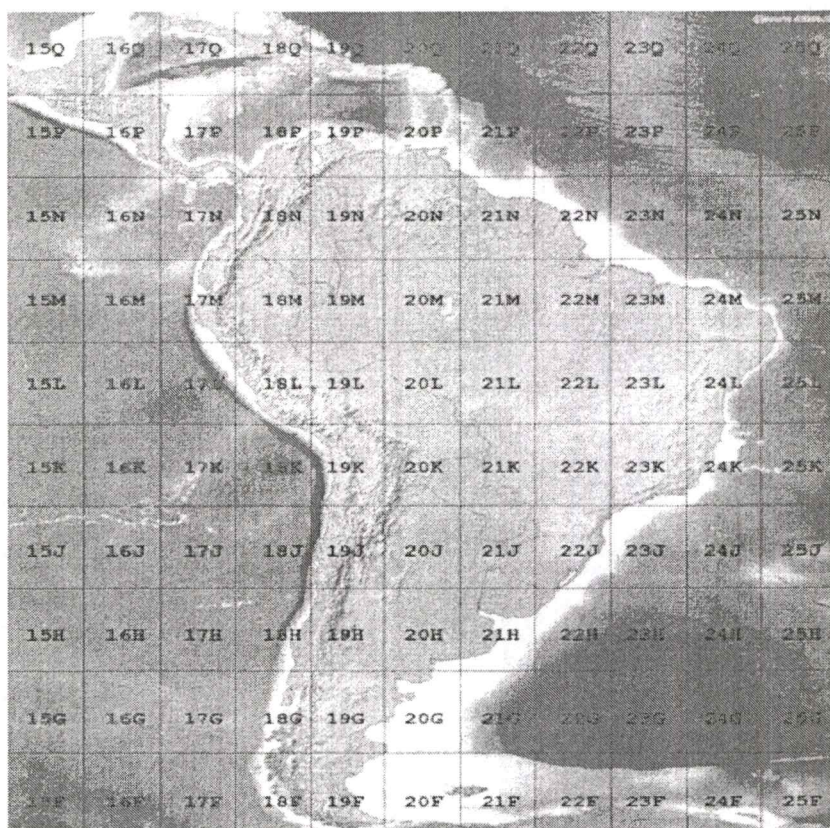
$N$  คือค่ารัศมีความโค้งของโลก

$e^2$  คือค่าคงที่ ellipsoid ที่เปรียบเทียบกับรัศมีหลัก ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากค่า flattening

$e'^2$  คือค่าคงที่ ellipsoid ที่เปรียบเทียบกับรัศมีรอง

สำหรับการค้นหาพื้นที่ด้วยระบบ UTM ต้องพิจารณาจากลองติจูดโซน ดังนั้นจุดศูนย์กลาง (point of origin) ของแต่ละ UTM โซน คือบริเวณที่ตัดกันของเส้นศูนย์สูตรกับโซนของเส้นเมริเดียนกลางทำให้เกิดค่าผิดเพี้ยนขึ้น จึงมีการกำหนดให้เส้นเมริเดียนกลางของแต่ละโซนให้มีค่า false easting เท่ากับ 500,000 เมตร นั่นคือเส้นเมริเดียนกลางจากตะวันตกไปยังตะวันออกต้องมีค่าความยาวน้อยกว่า 500,000 เมตร ดังนั้นการแบ่งกริดในระบบ UTM พบว่าเส้นลองติจูด 174 องศาตะวันตกไปถึงถึง 180 องศาตะวันออกและละติจูด 80 องศาใต้ ไปถึง 84 องศาเหนือ จะถูกแบ่งออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1,200 รูป แต่ละรูปมีขนาดกว้างยาว 6 องศา x 8 องศา จำนวน 1,140 รูป และกว้างยาว 6 องศา x 12 องศา จำนวน 60 รูป รูปสี่เหลี่ยมนี้เรียกว่า Grid Zone

Designation (GZD) สำหรับยกตัวอย่างในรูปแบบที่ 2.6 ซึ่งเป็นแผนที่ของอเมริกาใต้ซึ่งแบ่งโซนได้อยู่ในช่วง 15Q จนถึง 25F สาเหตุที่งานวิจัยนี้ใช้ระบบพิกัดแบบ UTM มาใช้ในงานวิจัยเพราะหน่วยวัดระยะทางที่ใช้มีหน่วยเป็นเมตรในระบบเมตริก ซึ่งการวัดระยะทางต่างๆสามารถวัดได้โดยตรงไม่ต้องแปลงจากมุมมาเป็นระยะทางทำให้สามารถนำไปคำนวณหาแขนของแยกได้สะดวก รวมถึงระบบ UTM มีการแบ่งโซนไว้ 60 โซนทำให้ข้อมูลที่น่ามาใช้มีความถูกต้องค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.6 แสดงโซนต่างๆที่ได้จากการแปลงค่าอเมริกาใต้ด้วยระบบ UTM

### 2.1.3 ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Database)

ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่คือ ฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บและค้นหาข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งมีลักษณะข้อมูลแบบจุด เส้น และเส้นรอบรูปปิด ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีลักษณะตามมาตรฐานของ Open Geospatial Consortium สำหรับระบบฐานข้อมูลที่น่ามาใช้ในงานวิจัยนี้คือ PostgreSQL ซึ่งเป็น Object-Relational DBMS โดยสามารถใช้รูปแบบของภาษา SQL ได้เกือบทั้งหมดและใน PostgreSQL มีส่วนเพิ่มเติมซึ่งก็คือ PostGIS มีไว้สำหรับรองรับวัตถุทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS object) เข้ามาเก็บไว้ในฐานข้อมูล มีการสนับสนุน GIST indexs และ R-tree indexs ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่ใช้ในฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ สำหรับ PostGIS มีการกำหนดการใช้งานที่เป็นลักษณะพื้นฐานโดย Open Geospatial Consortium ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.7

OpenGIS เป็นสิ่งกำหนดความชัดเจนในการเข้าถึงข้อมูลทางด้านธรณีที่แตกต่างกันและประมวลผลทางธรณีของแหล่งทรัพยากรในสภาพแวดล้อมที่เป็นเครือข่ายซึ่งลักษณะที่มีการกำหนดโดย OpenGIS มีดังนี้

1. OpenGIS SFSQL Objects เป็นการกำหนดในส่วนของวัตถุเชิงพื้นที่ เช่น

- POINT
- LINESTRING
- POLYGON
- MULTIPOINT
- MULTILINESTRING
- MULTIPOLYGON
- GEOMETRYCOLLECTION

2. OpenGIS SFSQL Representations เป็นการกำหนดในส่วนของการแสดงผลซึ่งเป็นมาตรฐานในการแสดงผลของวัตถุเชิงพื้นที่ มี 2 รูปแบบคือ

Well-Known Text (WKT) Form เป็นการแสดงผลในรูปแบบที่เป็น String เช่น

POINT(0 0)

LINESTRING(0 0,1 1,1 2)

POLYGON((0 0,4 0,4 4,0 4,0 0))

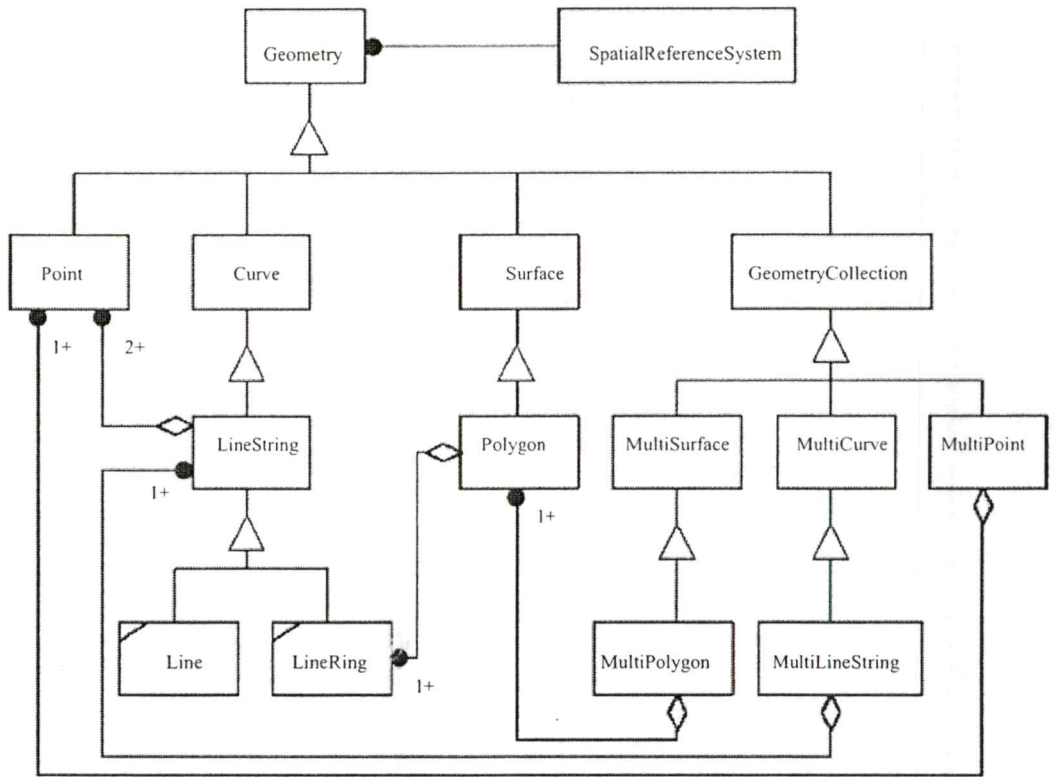
MULTILINESTRING((0 0,1 1,1 2),(2 3,3 2,5 4))

MULTIPOLYGON(((0 0,4 0,4 4,0 4,0 0)),((11,21,22,12,11))),

((-1-1,-1-2,-2-2,-2-1,-1-1)))

GEOMETRYCOLLECTION(POINT(2 3),LINESTRING((2 3,3 4)))

Well-Known Binary (WKB) Form เป็นการแสดงผลในรูปแบบที่เกี่ยวกับบิต ซึ่งจะดึงข้อมูลออกจากฐานข้อมูลโดยไม่มีการเปลี่ยนไปแสดงในรูปแบบสตริง



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างวัตถุเชิงพื้นที่ตามมาตรฐาน Open Geospatial Consortium

ฟังก์ชันสำคัญใน PostGIS ที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

NumPoints(geometry) คือฟังก์ชันที่ใช้หาจำนวนจุดในข้อมูลเชิงพื้นที่

Length(geometry) คือ ฟังก์ชันที่รีเทิร์นความยาวของเส้นที่เกิดจากจุดที่เรียงต่อกันในโครงข่ายถนน

ConvexHull(geometry) คือฟังก์ชันที่รีเทิร์นขอบเขต หรือเส้นรอบรูปของข้อมูลเชิงพื้นที่

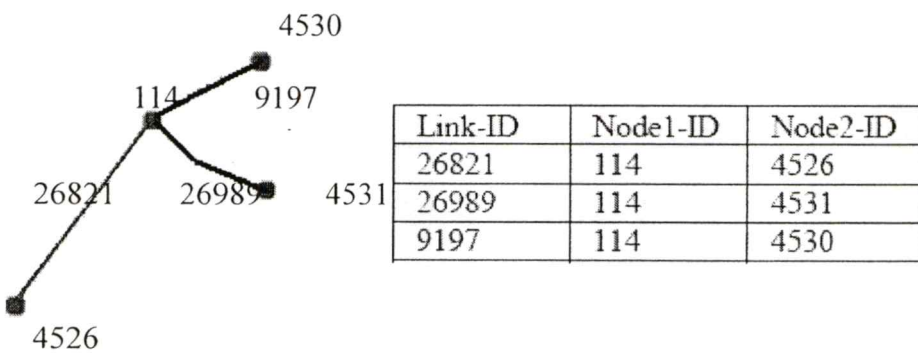
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นข้อมูลเวกเตอร์ งานวิจัยเรื่องการนำรูปร่างทางแยกมาวิเคราะห์โครงข่ายถนน งานวิจัยเรื่องการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนและ อัลกอริทึมสำหรับการหาเส้นตรงในกลุ่มข้อมูล ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

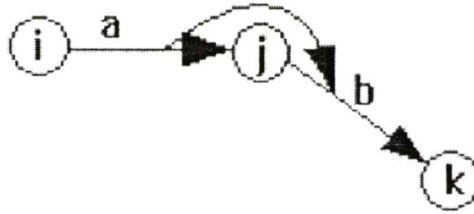
### 2.2.1 งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นข้อมูลเวกเตอร์

มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นข้อมูลเวกเตอร์ โดยมีงานวิจัยส่วนหนึ่งศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่โดยจัดให้อยู่ในรูปแบบพื้นฐานของกราฟโดยกำหนดให้กราฟประกอบด้วยข้อมูลของโหนดและเอจ กำหนดให้โหนดเป็นตัวแทนของถนนที่ตัดกันบริเวณทางแยกหรือเป็นถนนที่ไม่ได้ตัดผ่านไปยังโหนดใดๆ ส่วนเอจคือ

เส้นที่เชื่อมระหว่างโหนดสองโหนดโดยเองแสดงส่วนของถนนที่อยู่ในโครงข่ายถนน แต่เนื่องด้วยแผนที่ถนนหนึ่งแผนที่ประกอบด้วยจำนวนโหนดและเอจที่มีจำนวนมากในกราฟทำให้ข้อมูลที่ถูเก็บลงฐานข้อมูลมีจำนวนมาก ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆจำเป็นต้องเสียเวลาในการค้นหาพอสมควรและด้วยปัญหานี้จึงมีการนำเสนอฟังก์ชันของโหนดภายในกราฟ จึงมีการนำเสนอโครงสร้าง Link-Based Structure กล่าวคือภายในโครงสร้างนั้นประกอบด้วยตาราง Link-Node ใช้สำหรับเก็บเอจที่และโหนดที่มาเชื่อมต่อกับเอจในโครงข่ายถนน โดยโหนดแทนตัวแทนของเส้นถนนที่ตัดกันบริเวณทางแยก และเอจคือส่วนของถนนที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด [1], [2] แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ในส่วนของแผนที่ถนนมี Link อยู่ 3 เส้นคือ Link หมายเลข 26821, 26989 และ 9197 โดยที่ Link หมายเลข 26821 เชื่อมต่อระหว่างโหนดหมายเลข 114 และ 4526 นอกจากนี้ยังสร้างตาราง Link-Link ใช้เก็บเอจสองเส้นที่เชื่อมต่อกับโหนดเดียวกันที่มีทิศทางไปในทิศเดียวกันซึ่งการพิจารณาทิศทางวัดจากสัญลักษณ์ของป้ายจราจร ยกตัวอย่างในรูปที่ 2.9 แสดงตาราง Link-Node และตาราง Link-Link โดยในตาราง Link-Node แสดงเอจ a เป็นเอจที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด i และ j และ เอจ b เป็นเอจที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด j และ k ดังนั้นในตาราง Link-Link แสดงโหนด j ซึ่งเชื่อมต่อกับเอจ a ไปยังเอจ b ต่อมาได้มีการศึกษาและนำเสนอหลักการเรื่อง Line Graph ซึ่งหลักการคือมีการพิจารณาลักษณะชนิดของทางแยกเพื่อช่วยวิเคราะห์สำหรับการรวมโหนดเข้าไว้ด้วยกันและอัลกอริทึมที่วิ่งไปบนกราฟเพื่อหาโหนดในโครงสร้างข้อมูลจากตาราง Link-Link ที่จำเป็นโดยพิจารณาจากสัญลักษณ์ทางจราจรร่วมด้วย [3]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของข้อมูลใน Link-Node [2]



Junction	From-Edge	To-Edge	Turn Value
J	a	b	TRUE

Link-Link

Edge	From-Node	To-Node
A	I	j
B	J	k

Link-Node

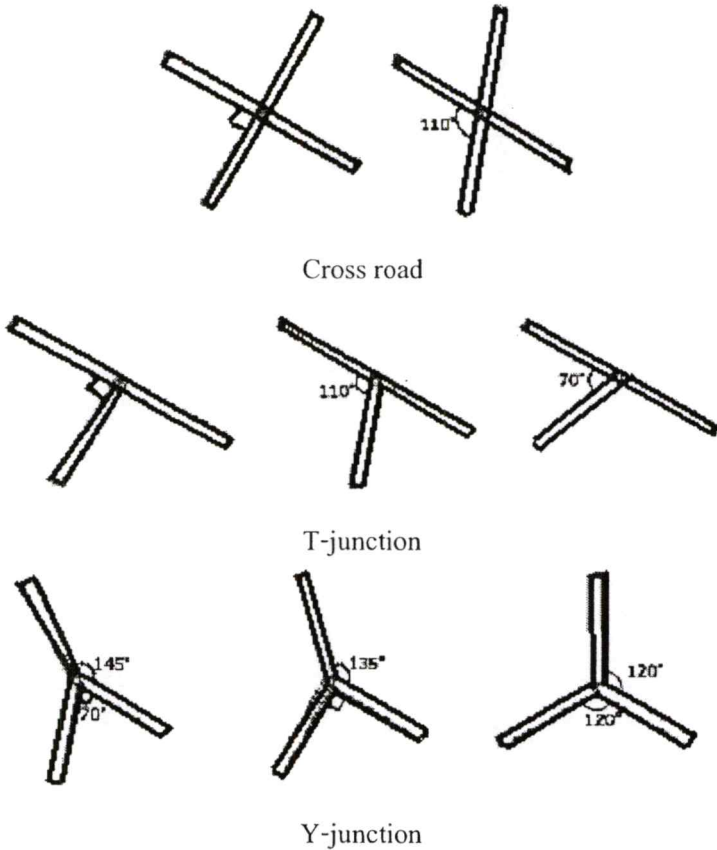
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างตาราง Link-Link ซึ่งพิจารณาจากรายการ Link-Node [2]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นที่ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างข้อมูลของถนนเพื่อไปประยุกต์ใช้งาน Liu yuefeng นำเสนอ โครงสร้างของข้อมูลโครงข่ายถนนเพื่อไปประยุกต์ใช้งานกับระบบนำทางในยานพาหนะ (Vehicle Navigator System) โดยแบ่งเป็นสองระดับ คือ โครงสร้างข้อมูลในระดับที่ 1 เป็นโครงสร้างข้อมูลที่เก็บลักษณะของถนนในโครงข่ายถนนพื้นฐานที่ต้องการแสดงบนแผนที่ เช่น สี แยกไฟแดง ส่วนโครงสร้างระดับที่ 2 คือ โครงสร้างของข้อมูลสำหรับใช้ทำนายรูปแบบโครงข่ายถนนโดยพิจารณาจากโหนดและเอจ [4] ซึ่งได้กำหนดโทพอโลยีสำหรับประเภทของถนนไว้เพื่อการวางแผนการเดินทางเช่นการทำนายรูปแบบของถนนในเมืองคือการค้นหารูปร่างของโหนดที่เชื่อมต่อกันที่มีโทพอโลยีแบบถนนในเมือง เป็นต้น B. Jiang นำเสนอการประยุกต์ใช้งานการออกแบบโครงสร้างของข้อมูลโครงข่ายถนนเพื่อค้นหาถนนสายหลักภายในเมืองโดยนำหลักการพื้นฐานเรื่องกราฟมาใช้ในการพิจารณาโดยกำหนดให้โหนดคือชื่อของถนนและกำหนดให้เอจคือทางแยกของถนนแล้วพิจารณาถนนที่เชื่อมต่อกับทางแยกมากที่สุดหรือก็คือมีจำนวนคี่กรของโหนดมากที่สุด [5]

### 2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์รูปร่างของแยก

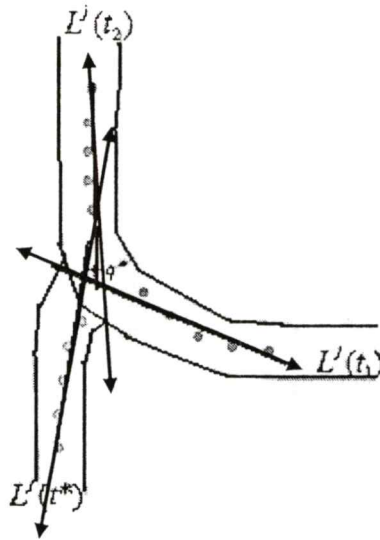
มีการศึกษาและค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์รูปร่างลักษณะของทางแยกแบบต่างๆ ซึ่ง Go Koutaki ได้นำเสนอโมเดลลักษณะของทางแยกเพื่อใช้วิเคราะห์ส่วนที่เป็นถนนจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยในงานวิจัยได้ออกแบบลักษณะของทางแยกไว้ สามรูปแบบ คือ cross road, T-junction และ Y-junction โดยรูปแบบของทางแยกที่นำมาใช้วิเคราะห์ [6] แสดงดังรูปที่ 2.10 ,

Gautama และ Borghgraef ได้ค้นหาคำเปลี่ยนแปลงในโครงข่ายถนนโดยวิเคราะห์จากทางแยกในข้อมูลเชิงเวกเตอร์ไปเปรียบเทียบกับทางแยกที่ค้นหาได้จากรูปถ่ายดาวเทียมโดยนำเสนอจุดเกิดแยกคือจุดที่เกิดจากเส้นที่ตัดกันในข้อมูลเชิงเวกเตอร์ และนำเสนอวิธี Ridge Detection สำหรับการค้นหาจุดเกิดแยกบนภาพถ่ายดาวเทียมแล้ววิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของทางแยกที่ผิดพลาดไปจากข้อมูลทางแยกทั้ง 2 แบบ [7]



รูปที่ 2.10 รูปร่างทางแยกสำหรับค้นหาโครงข่ายถนน [6]

ในงานวิจัยของ Heinzle มีการนำรูปร่างของทางแยกบนโครงข่ายถนนไปประกอบการ (Data Mining) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ สำหรับการวิเคราะห์รูปร่างของแยกในข้อมูลชนิดอื่นที่ไม่ใช่ข้อมูลถนน [8] นอกจากการนำเสนอรูปร่างของแยกไปใช้วิเคราะห์บนท้องถนนยังมีการศึกษานำเสนอการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกของเส้นเลือดแดงในสมองโดย Giordana ได้นำเสนอการพิจารณารูปร่างจากมุมที่กำกับในเส้นเลือดแดงสำหรับการวิเคราะห์มุมมีการนำเสนอวิธีค้นหาเส้นตรงในเส้นเลือดแดง [9] แสดงได้ดังรูปที่ 2.11 แสดงเส้นตรงในเส้นเลือดแดงที่ตัดกันจนเกิดเป็นรูปร่างของทางแยกในเส้นเลือดแดง



รูปที่ 2.11 เส้นตรงของเส้นเลือดแดงที่เกิดจากวิธี Least Squares [9]

### 2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนนที่ผ่านมามีการวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนหลายรูปแบบด้วยกัน หนึ่งในนั้นคือการออกแบบรูปแบบของโครงสร้างข้อมูลถนนเพื่อไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลถนนซึ่งเรียกว่า Connection Patterns ซึ่งแบ่งโครงข่ายถนนเป็น 4 รูปแบบคือ Ring, Web, Star และ Hub-and-Spoke [10] โดยจุดประสงค์ของการออกแบบโครงสร้างข้อมูลลักษณะนี้เพื่อลดเวลาการค้นหาในโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ที่มีข้อมูลเป็นจำนวนมาก การวิเคราะห์ความหนาแน่นของรูปแบบโครงสร้างของข้อมูลประเภท Star-like, Grid-like และ Irregular ที่ปรากฏในโครงข่ายถนน รวมถึงการนำเสนอการค้นหา รูปแบบโครงข่ายถนนในข้อมูลเชิงเวกเตอร์แล้ววิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนนเพื่อค้นหาบริเวณที่เป็นศูนย์กลางเมืองในแผนที่ถนน [11], [12] และด้วยเหตุนี้ จึงมีการค้นคว้าเกี่ยวกับรูปแบบทั่วไปในโครงข่ายถนนเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์โครงข่ายถนนซึ่งมีดังนี้

#### 2.2.3.1 โครงสร้างรูปแบบอินเตอร์เซกชัน (Intersection Structure)

เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์โครงข่ายถนนโดยพิจารณาโหนดที่เกิดแยกบนโครงข่ายถนนสำหรับชนิดทางแยกพิจารณาจากทิศทางของโหนดที่เป็นทางแยกโดยนำเสนอรูปร่างของทางแยกแบบต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 เพื่อวิเคราะห์โครงข่ายถนน [13] เช่น โหนดที่มีทิศทางสามที่มีรูปร่างแบบ TEE มาสร้างโครงสร้างแบบบันได (Ladder Structure) ซึ่งประกอบด้วยทางแยกแบบ TEE ที่เชื่อมต่อกันในโครงข่ายถนน



รูปที่ 2.12 รูปร่างทางแยกที่จำแนกตามคี่กริชของโหนด [13]

### 2.2.3.2 โครงสร้างรูปแบบสโตรค (Stroke Structure)

หลักการของสโตรค [14] คือรูปแบบการจัดกลุ่มของถนนที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงในโครงข่ายถนนซึ่งเรียกเส้นนั้นว่าสโตรค (Stroke) สำหรับจุดประสงค์ของโครงสร้างแบบสโตรคเพื่อลดจำนวนโหนดในโครงข่ายถนนโดยพิจารณาจากความยาวของสโตรคหรือก็คือการหาถนนสายหลักในโครงข่ายถนนจากถนนทั้งหมดในโครงข่าย เนื่องจากถนนสายเล็ก ๆ มักมีความยาวของเส้นทางสั้นและมีทางแยกมาเชื่อมต่อกับถนนน้อย สำหรับอัลกอริทึมในการหาเส้นสโตรคในโครงข่ายถนน คือในแต่ละโหนดต้องเลือกเองที่ทำให้ทิศทางเปลี่ยนไปจากเดิมน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาในการสโตรคที่ไปเจอเส้นทางเดิมทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดทิศทางของการสโตรคนั่นเอง ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยที่ค้นคว้าเกี่ยวกับการค้นหาเส้นสโตรคในโครงข่ายโดยนำเสนอการค้นหาเส้นสโตรคโดยพิจารณาจากมุมที่ทำให้ทิศทางเปลี่ยนไปน้อยที่สุดโดยใช้วิธี Least Squares [15] รูปที่ 2.13 แสดงเส้นสโตรคที่ได้จากการค้นหาในโครงข่ายถนน

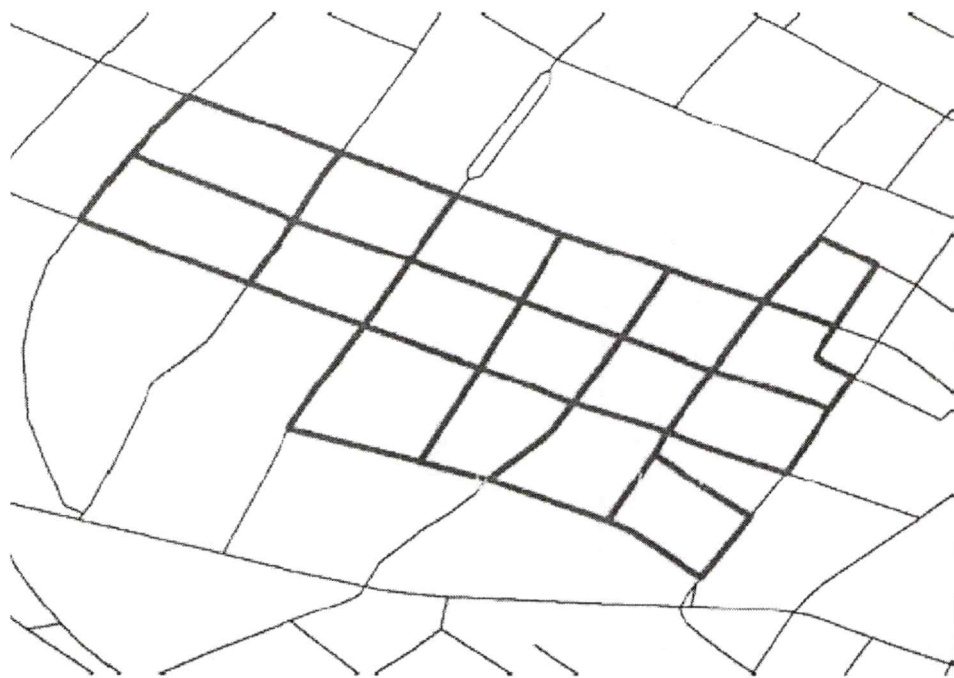


รูปที่ 2.13 เส้นสโตรคในโครงข่ายถนน [15]

### 2.2.3.3 โครงสร้างรูปแบบกริด (Grid Structure)

โครงสร้างรูปแบบกริดประกอบด้วยเซตของส่วนของถนนที่อินเตอร์เซกกันสองเซตที่ตั้งฉากกันหรือโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมต่อกันไปในเครือข่าย มีงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการค้นคว้าเรื่องโครงสร้างแบบกริดเช่น การหาโครงสร้างแบบกริดโดยดูจากเส้นเชื่อมทั้งสี่ที่อินเตอร์เซกกันหรือเรียกว่า CRS node และมีการกำหนดตารางฮิสโตรแกรม (Histogram) สำหรับมาเปรียบเทียบโครงสร้างของกริดที่เชื่อมต่อกับ CRS node [16] การใช้วิธีฮูทธานฟอร์ม (Hough

Transform) เพื่อค้นหาถนนที่เป็นเส้นตรงในโครงข่ายเพื่อไปเปรียบเทียบกับขนาดของกริด [17] ซึ่งแสดงการค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างแบบกริดในโครงข่ายถนน [17]

#### 2.2.3.4 โครงสร้างรูปแบบสตาร์ (Star-shaped Structure)

โครงสร้างรูปแบบสตาร์คือการค้นหาโครงข่ายถนนที่มีรูปร่างแบบดาวหรือก็คือการหา ศูนย์รวมของโครงข่ายถนนในพื้นที่ โดยหลักการของโครงสร้างแบบสตาร์คือมีการกำหนด Middle of Point เป็นจุดศูนย์กลางของโครงสร้างแบบสตาร์และกำหนด Ray คือเส้นที่เชื่อมต่อกับ จุดศูนย์กลางของโครงสร้างแบบสตาร์ โดยที่ Ray แต่ละเส้นไม่จำเป็นต้องเป็นเส้นตรงแต่มีความ ยาวของเส้นและลักษณะของ Ray คล้ายกัน รูปแบบของโครงสร้างแบบสตาร์แสดงได้ดังรูปที่

2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างแบบสตาร์ในโครงข่ายถนน

### 2.2.3.5 โครงสร้างรูปแบบริง (Ring-shaped Structure)

โครงสร้างแบบริงคือการกำหนดขอบเขตของโครงข่ายถนน โดยเจาะจงไปในบริเวณใด บริเวณหนึ่งเช่น กำแพงเมือง หรือ แม่น้ำรอบเมือง โดยหลักการของโครงสร้างแบบริงคือมีการกำหนดจุดศูนย์กลางของโครงสร้างแบบริง และกำหนดขอบเขตของรัศมีของโครงสร้างแบบริง ตัวอย่างโครงสร้างแบบริงในโครงข่ายถนนแสดงได้ในรูปที่ 2.16

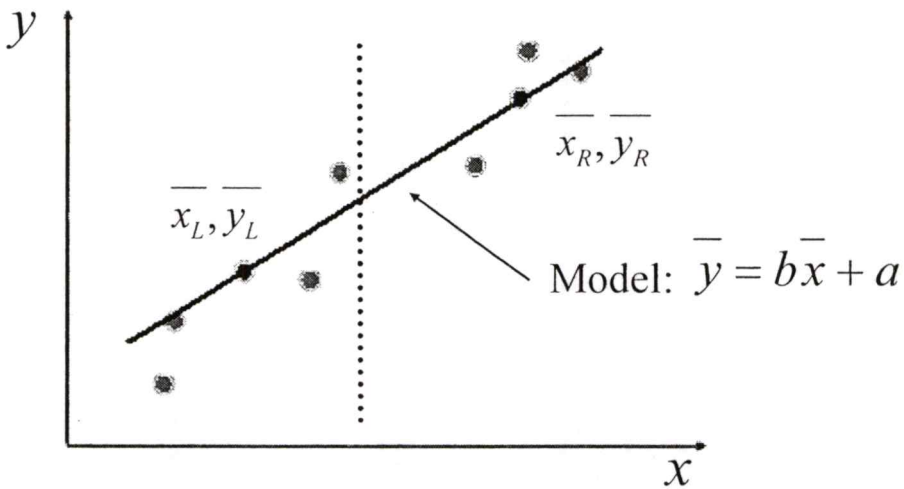


รูปที่ 2.16 โครงสร้างแบบริงในโครงข่ายถนน

### 2.3 อัลกอริทึมสำหรับการค้นหาเส้นตรงจากกลุ่มข้อมูล

ในงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ค้นคว้าเกี่ยวกับค้นหาเส้นตรงของกลุ่มข้อมูล ซึ่งอัลกอริทึมหนึ่งที่พบเห็นได้บ่อยคือ อัลกอริทึม Median-Median ซึ่งเป็นอัลกอริทึมสำหรับหาเส้นตรงซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล [18] โดยมีหลักการคือการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นสองกลุ่ม โดยแบ่งเป็น

กลุ่มซ้ายครึ่งหนึ่งและกลุ่มขวาครึ่งหนึ่งแล้วเลือกกลุ่มข้อมูลกลางที่มีการกระจายของกลุ่มข้อมูล สม่่าเสมอ ( Median Test) ทั้งกลุ่มซ้ายและขวามาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลได้เป็น  $(\bar{x}_R, \bar{y}_R)$  และ  $(\bar{x}_L, \bar{y}_L)$  ดังนั้นเส้นตรงตัวแทนของข้อมูลคำนวณได้จากการหาความชันของ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มซ้ายและข้อมูลกลุ่มขวาซึ่งให้  $b = (\bar{y}_R - \bar{y}_L) / (\bar{x}_R - \bar{x}_L)$  ดังนั้นสมการ เส้นตรงที่ได้คือ  $a = \bar{y} - b\bar{x}$  ซึ่งลักษณะเส้นตรงที่ได้จากวิธี Median-Median สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 เส้นตรงที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธี Median-Median

อัลกอริทึม Least Squares เป็นอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณหาเส้นตรงที่ทำให้ผลรวมของค่ากำลังสองที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อยที่สุด [19] ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.18 สมการเส้นตรงคือ เส้นตรงที่จากการคำนวณด้วยวิธี Least Squares ส่วนค่า error คือค่าผิดพลาดของกำลังสองน้อยที่สุด ดังนั้นวิธี Least Squares คือการหาเส้นตรงที่ทำให้เกิดค่าผลรวมของค่าผิดพลาดของกำลังสองน้อยที่สุด

กำหนด  $L$  คือเซตของคู่ลำดับข้อมูล

$$L = \{(x_i, y_i), i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

ค่าผลรวมของค่าผิดพลาดของกำลังสองน้อยที่สุดหาได้จากสมการ (2.4)

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta - \alpha x_i)^2 \quad (2.4)$$

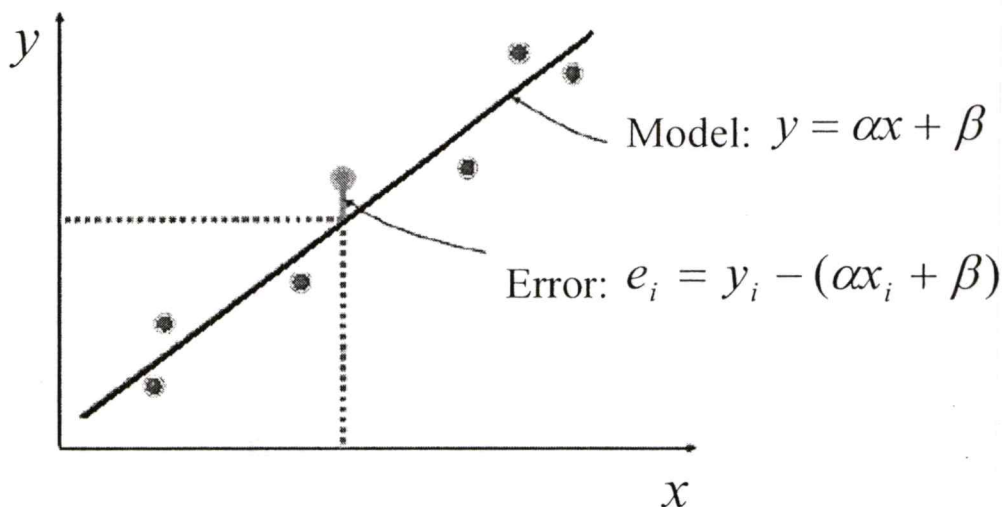
$S_r$  คือผลรวมของค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด

$e$  คือค่าผิดพลาดที่เกิดจากตำแหน่งของจุดไปยังเส้นตรงอ้างอิง

ค่า  $\beta$  และ  $\alpha$  หาได้จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) ตามลำดับ

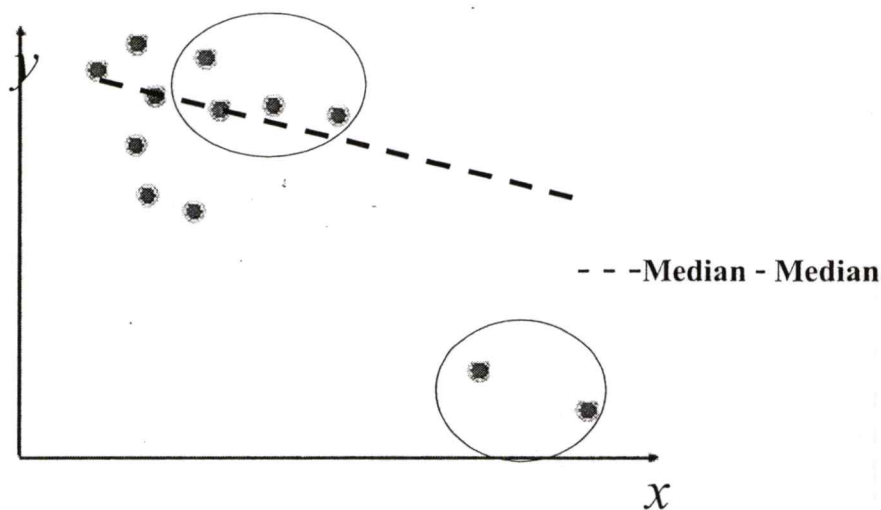
$$\beta = \bar{y} - \alpha \bar{x} \quad (2.6)$$

$$\alpha = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i}{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2} \quad (2.7)$$

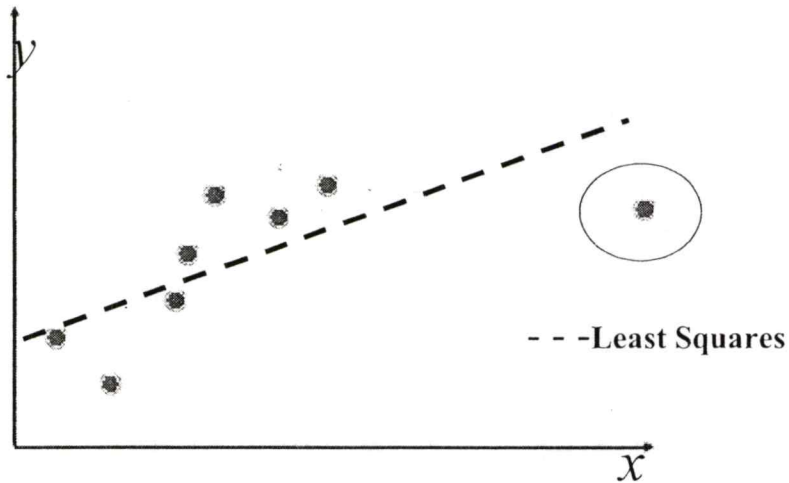


รูปที่ 2.18 เส้นตรงที่ได้จากการหาด้วยวิธี Least Squares

จากการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีพบว่าวิธี Median - Median มีข้อเสียในกรณีที่มีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลไม่สม่ำเสมอเช่นในรูปที่ 2.19 มีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลในฝั่งขวาเป็นสองส่วนทำให้ผลที่ได้จากการหาเส้นตรงได้ผลคลาดเคลื่อนแต่สำหรับวิธี Least Squares มีข้อเสียกล่าวคือถ้ากลุ่มข้อมูลมีจุดบางจุดมีพิศห่างจากจุดที่ติดกันเป็นระยะทางมากทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้เช่นกันแสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์หาเส้นตรงด้วยวิธี Median-Median



รูปที่ 2.20 ความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์หาเส้นตรงด้วยวิธี Least Squares

ข้อจำกัดของการค้นหาเส้นตรงที่นำมาใช้ในงานวิจัย เนื่องด้วยข้อมูลที่นำมาใช้ในการค้นหาเส้นตรงในงานวิจัยเป็นข้อมูลของจุดภายในเส้นถนนและจุดประสงค์ของการค้นหาเส้นตรงก็เพื่อไปวิเคราะห์รูปแบบทางแยกในโครงข่ายถนน ดังนั้นในงานวิจัยกำหนดให้เส้นตรงที่สร้างขึ้นต้องผ่านจุดที่เกิดทางแยก ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนออัลกอริทึม Median of Slopes (MS) [20] ซึ่งเป็นการค้นหาเส้นตรงจากกลุ่มข้อมูลเพื่อไปใช้วิเคราะห์หารูปร่างของทางแยกและทางโค้งโดยมีการกำหนดโหนดอ้างอิงที่จุดเกิดแยกหรือจุดเกิดโค้งเพื่อใช้หาแกนตรงของทางแยกและทางโค้ง ซึ่งรายละเอียดกล่าวไว้ในบทถัดไป

## บทที่ 3

# การค้นหาและวิเคราะห์รูปแบบทางแยกและทางโค้ง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาทดลองแบ่งเป็นส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งคือส่วนของระบบการทำงานในงานวิจัย ส่วนที่สองคือส่วนของการค้นหาเส้นตรงด้วยวิธี Median of Slopes (MS) ส่วนที่สามคือส่วนของการค้นหาตำแหน่งทางแยกและทางโค้งและส่วนที่สี่คือส่วนสำหรับการวิเคราะห์รูปร่างของทางแยกและทางโค้ง โดยในส่วนแรกเป็นภาพรวมของระบบการทำงานในงานวิจัย รวมถึงจุดประสงค์ของการออกแบบในงานวิจัย ส่วนที่สองนำเสนอการค้นหาเส้นตรงจากกลุ่มของโหนด เช่น การหาเส้นตรงในส่วนของถนน ส่วนที่สามเป็นการนำเสนอวิธีสำหรับตรวจสอบการค้นหาตำแหน่งทางแยกและทางโค้งในโครงข่ายถนนซึ่งได้นำพื้นฐานเรื่องกราฟมาใช้ ออกแบบโครงสร้างของข้อมูลเพื่อใช้ค้นหาตำแหน่งและระบุข้อมูลทางแยกและทางโค้ง สำหรับการค้นหาทางแยกพิจารณาได้จากคี่กรของอินเตอร์เซกชันโหนด ส่วนการค้นหาตำแหน่งทางโค้งพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโหนดกับความยาวแขนของโค้งที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค้นหาทางโค้งเป็นหลัก ส่วนที่สี่คือการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกและทางโค้งในงานวิจัยนี้มีพิจารณาจากมุมที่เกิดจากการตัดกันของแขนตรงของแยกและแขนตรงของโค้งโดยเส้นตรงเหล่านั้นคำนวณหาได้จากการนำแขนของแยกและแขนของโค้งไปคำนวณโดยใช้วิธี MS

### 3.1 ระบบการทำงาน

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์สำหรับการค้นหาทางแยกและทางโค้งเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาบริเวณพื้นที่เสี่ยงอันตรายโดยพิจารณาจากรูปร่างลักษณะทางแยกและทางโค้งเพื่อวางแผนปักป้ายจราจร โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นข้อมูลโครงข่ายถนนเชิงเวกเตอร์ซึ่งภายในประกอบด้วยตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอโครงข่ายถนนในมุมมองของกราฟโดยกำหนดให้กราฟประกอบด้วยโหนด (Node) และเอจ (Edge) โหนดคือ พิกัดของจุดเชิงภูมิศาสตร์ในโครงข่ายถนนและเอจคือ เส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดสองโหนด สำหรับขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวมในงานวิจัยสามารถแสดงเป็นอัลกอริทึมได้ดังนี้

### Algorithm Road network

Pre : road data always contain a point where two or more road intersection.

Input : road network in a form of graph.  $\rightarrow G(V,E)$

Output : location and type of intersections and curves in the given road network , pattern founded in the given road network.

$I = \text{find all intersection in } G \quad (1)$

$T = \text{find location and type of intersections and curves in the given road network } (I) \quad (2)$

(2.1)  $T1 = \text{find location\_and\_type\_intersection } (I)$

(2.2)  $T2 = \text{find location\_of\_curve } (I)$

$T = T1 \cup T2$

$S = \text{classify intersection according to their shape } (T,G) \quad (3)$

//Classify shape with Angle between arm

//Arm is road segment from intersection node to reference node with MS

(3.1)  $S1 = \text{classify shape\_of\_intersection } (T1,G)$

(3.2)  $S2 = \text{classify shape\_of\_curve } (T2,G)$

$S = S1 \cup S2$

$P = \text{find pattern in } G \text{ from shape of intersection } (S) \quad (4)$

End Road network

### 3.2 การค้นหาเส้นตรงด้วยวิธี Median of Slopes (MS)

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอ Median of Slopes (MS) ซึ่งเป็นวิธีในการหาเส้นตรงจากกลุ่มของโหนดโดยพิจารณาจากค่าความชัน โดยมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

กำหนดให้

$T$  คือ กลุ่มของ โหนดที่ต้องการหาเส้นตรงลากผ่าน โดยมี  $p_1$  เป็นจุดอ้างอิง

$$T = \{p_i \mid i \in 1,2,3,\dots,n\}$$

$$= \{(x_i, y_j) \mid i, j \in 1,2,3,\dots,n \text{ และ } x_i \neq x_j\}$$

คำนวณหาค่าความชันของเส้นตรงจาก  $p_1$  ไปยังจุดอื่นๆทุกจุดได้ดังสมการที่ (3.1)

กำหนดให้

$S$  คือ ค่าความชันของทุกคู่ลำดับ

$$S = \{S_k \mid k \in 2,3,\dots,n\}$$

$S_k$  คือค่าความชันของเส้นตรงจาก  $p_1$  ไปยัง  $p_k$

$$S_k = \frac{(y_k - y_1)}{(x_k - x_1)} \quad (3.1)$$

จากนั้นหาค่าความชันกลาง(Median of Slopes (MS)) ของค่าความชันใน  $S$  ได้ดังสมการ (3.2) กำหนดให้

$MS$  คือ ค่าความชันกลางของทุกความชัน

$$MS = Med(S(i, j)) = Med(S) \quad (3.2)$$

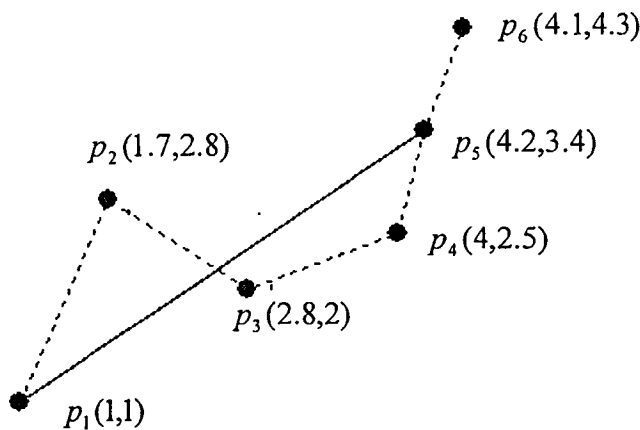
ดังนั้น  $MS$  คือความชันกลางที่เกิดจากจุด  $(x_i, y_i)$  และ  $(x_j, y_j)$  ในงานวิจัยนี้นำวิธี  $MS$  มาประยุกต์ใช้หาเส้นตรงภายในเส้นถนน

ยกตัวอย่างการหาเส้นตรงของแยกของส่วนของถนนในรูปที่ 3.1 ส่วนของถนนนี้ ประกอบด้วยจุด 6 จุด คือ  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  และ  $p_6$  โดยมี  $p_1$  เป็นอินเตอร์เซกชันโทนดซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นจุดอ้างอิง

$$\begin{aligned} S &= \{S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\} \\ &= \{2.57, 0.56, 0.50, 0.75, 0.94\} \end{aligned}$$

$MS(S) = 0.75$  ซึ่งคือ ความชันของเส้นตรงจาก  $p_1$  ไปยัง  $p_5$

ดังนั้น เส้นตรงจากจาก  $p_1$  ไปยัง  $p_5$  เป็นเส้นตรงของแยกของส่วนของถนนเส้นนี้



รูปที่ 3.1 เส้นตรงที่ได้จากวิธี Median of Slopes ของทั้ง 6 จุด

เนื่องจากข้อมูลในโครงข่ายถนนสำหรับการจำแนกประเภททางแยกกำหนดให้บริเวณที่เกิดแยกเป็นจุดอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกในโครงข่ายถนนจึงนำวิธี  $MS$  มาช่วยในการคำนวณเส้นตรงซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นประกอบถนนเพื่อไปวิเคราะห์รูปร่างของทางแยกและทางโค้ง

### 3.3 การค้นหาทางแยกและทางโค้ง

ในงานวิจัยนี้กล่าวไว้ 4 หัวข้อโดยหัวข้อแรกคือการวิเคราะห์โครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตา หัวข้อที่สองการออกแบบโครงสร้างของข้อมูลในโครงข่ายถนน หัวข้อที่สามคือการวิเคราะห์ค้นหาทางแยก และหัวข้อที่สี่คือการวิเคราะห์ค้นหาทางโค้งซึ่งรายละเอียดของทั้ง 4 หัวข้อมีดังนี้

#### 3.3.1 การวิเคราะห์โครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตา

ในการวิเคราะห์โครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตาแบ่งเป็น 2 หัวข้อหลักด้วยกันคือ หัวข้อแรกคือมุมมองของโครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตาซึ่งในหัวข้อนี้กล่าวถึงการมองลักษณะทางแยกและทางโค้งโดยใช้สายตาในการค้นหา หัวข้อที่สองกล่าวถึงการพิจารณารูปร่างของทางแยกและทางโค้งโดยใช้หลักการพิจารณาของตาในส่วนนี้มีการนำเครื่องมือวัดมาใช้สำหรับวัดมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแขนตรงของทางแยกและระหว่างแขนตรงของโค้งเพื่อจัดแบ่งประเภทรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง

##### 3.3.1.1 มุมมองของโครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตา

มุมมองของโครงข่ายถนนโดยใช้หลักการพิจารณาของตาแบ่งเป็น 3 หัวข้อด้วยกันคือ หัวข้อที่แรกเป็นการมองแผนที่โครงข่ายถนนที่ใช้หลักการพิจารณาของตา หัวข้อที่สองเป็นการมองทางแยกโดยใช้หลักการพิจารณาของตา และหัวข้อที่สามคือการมองทางโค้งโดยใช้หลักการพิจารณาของตา

##### 1. การมองแผนที่โครงข่ายถนนที่ใช้หลักการพิจารณาของตา

ลักษณะแผนที่ที่นำมาวิเคราะห์ต้องแสดงเส้นที่ตัดกัน ในโครงข่ายคือบริเวณที่เป็นทางแยกจริงที่ตัดกันบนถนน

##### 2. การมองทางแยกโดยใช้หลักการพิจารณาของตา

###### นियามการมองทางแยก

1) กำหนดให้บริเวณที่เห็นเส้นตัดกันในแผนที่คือ จุดอ้างอิงทางแยกที่ใช้ตาวิเคราะห์

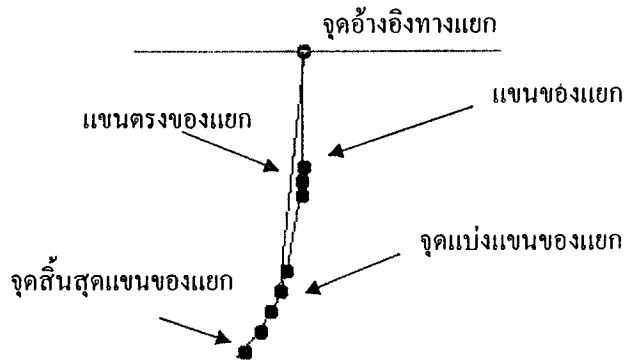
(Eyes\_intersection)

2) แขนของแยกที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_arm) คือ เส้นถนนที่ลากจากจุดอ้างอิงของแยกไปยังจุดสิ้นสุดของแยกหรือจุดใดๆที่มีความยาวของเส้นถนนน้อยกว่า 2,500 เมตร

การค้นหาตำแหน่งทางแยกโดยใช้หลักการพิจารณาของตา ในการค้นหาทางแยกพิจารณาจำนวนแขนของแยกที่ได้จากการมอง เช่น สามแยกประกอบด้วยแขนของแยก 3 เส้น เป็นต้น

การจำแนกรูปร่างทางแยกโดยใช้หลักการพิจารณาของตา การจำแนกรูปร่างของทางแยกโดยใช้หลักการพิจารณาของตาพิจารณาได้จากมุมระหว่างแขนตรงของแยก (Eyes\_linear\_arm) ซึ่งแขนตรงของแยกคือเส้นตรงที่ลากจากจุดอ้างอิงของแยกไปยังจุดแบ่งแขนของแยก (Eyes\_linear\_node) โดยจุดแบ่งแขนของแยกคือจุดซึ่งเป็นตัวแทนสำหรับแขนของแยกซึ่งเลือก

โดยใช้ตาในการพิจารณาเลือกจุดขึ้นมา ในรูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้หลักการพิจารณาของตา



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของทางแยกที่ใช้หลักการของตาในการพิจารณา

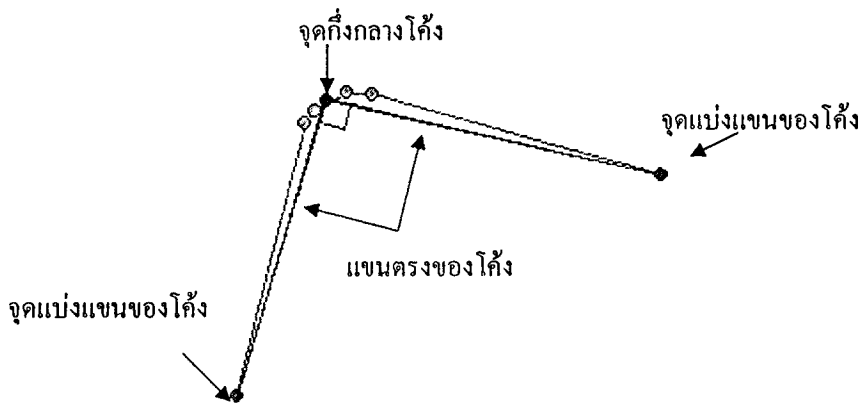
## 2. การมองทางโค้งโดยใช้หลักการพิจารณาของตา

### นियามการมองทางโค้ง

- 1) กำหนดให้บริเวณที่เห็นเส้นเรียงตัวไม่เป็นเส้นตรงในแผนที่เรียกว่า ทางโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_curve)
- 2) กำหนดให้บริเวณกึ่งกลางของส่วนของเส้นถนนที่โค้งที่สุดที่มองเห็นเรียกว่า จุดกึ่งกลางโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_center\_curve)
- 3) กำหนดให้เส้นที่ลากออกไปจากจุดกึ่งกลางโค้งใช้ตาวิเคราะห์ไปยังจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเรียกว่า แขนของโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_curve arm) แบ่งเป็นแขนซ้ายของโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_left arm) กับแขนขวาของโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_right arm)

การค้นหาดำแหน่งทางโค้งแยกโดยใช้หลักการพิจารณาของตา คือตำแหน่งจุดกึ่งกลางโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ ซึ่งพิจารณาได้จากการมองหาดำแหน่งบนเส้นในทางโค้งที่ใช้ตาวิเคราะห์ที่น่าจะเป็นจุดศูนย์กลางของโค้ง

การจำแนกรูปร่างทางโค้งโดยใช้หลักการพิจารณาของตา สามารถจำแนกรูปร่างทางโค้งได้จากการพิจารณาหามุมระหว่างเส้นตรงซึ่งเป็นตัวแทนของแขนซ้ายของโค้ง (Eyes\_linear\_left arm) ที่ใช้ตาวิเคราะห์กับแขนขวาที่ใช้ตาวิเคราะห์ (Eyes\_linear\_right arm) ซึ่งเส้นตรงทั้งสองเส้นสามารถค้นหาได้จากเส้นตรงที่ลากจากจุดอ้างอิงของโค้งหรือจุดกึ่งกลางโค้งไปยังจุดใดๆบนแขนของโค้งที่เป็นแทนสำหรับแขนของโค้งในการนำไปจำแนกรูปร่างโดยใช้ตาพิจารณาซึ่งจุดที่เป็นตัวแทนสำหรับแขนของโค้งแยกเรียกว่าจุดแบ่งแขนของโค้ง (Eyes\_curve\_node) ในรูปที่ 3.3 แสดงค่าต่างๆในทางโค้งซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยใช้หลักการพิจารณาของตา



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของโค้งที่ใช้หลักการของตาในการพิจารณา

### 3.3.2 การออกแบบมุมมองของโครงข่ายถนน

สำหรับจุดประสงค์ในการแบ่งมุมมองออกเป็น 3 ระดับเพื่อไปประยุกต์ใช้กับรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนในการนำไปวางแผนปักป้ายจราจรเช่นบริเวณโครงสร้างรูปแบบกริดซึ่งเกิดจากสี่แยกแบบ CRS ที่เชื่อมต่อกันในโครงข่ายถนนในงานวิจัยนี้แบ่งการพิจารณาโหนดและเอจเป็นหลายระดับดังตารางที่ 3.1

Level	Nodes	Edge
1	Start node	Link (Start node, End node)
	End node	Link (Start node, Intermediate node)
	Intermediate node	Link (Intermediate node, Intermediate node)
		Link (Intermediate node, End node)
2	Intersection node	Arm (Intersection node, Intersection node)
	Terminal node	Arm (Intersection node, Terminal node)
3	Intersection node	Linear arm (Intersection node, Arm node)
	Arm node	

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงมุมมองของข้อมูลในแต่ละระดับในโครงข่ายถนน

3.3.2.1 มุมมองระดับที่ 1 (Level 1) เป็นมุมมองระดับที่ละเอียดที่สุดคือมองว่าโครงข่ายถนนประกอบด้วยเส้นถนนและถนนแต่ละเส้นคือโหนดที่เชื่อมต่อกันถนนหนึ่งเส้นจะมีโหนดปลายสองด้านดังนี้

โหนดในระดับที่ 1 ประกอบด้วย

สตาร์ทโหนด (Start node) คือ โหนดปลายถนนทางด้านซ้าย

เอน โหนด (End node) คือ โหนดปลายทางด้านขวา

อินเตอร์มีเดียท โหนด (Intermediate node) คือ โหนดอื่นๆบนเส้นถนนที่อยู่ระหว่าง  
สตาร์ท โหนดและเอน โหนดของเส้นถนนนั้นๆ

เอจในระดับที่ 1 ถูกเรียกว่า ลิง (Link)

ลิงคือเส้นที่เชื่อมระหว่าง โหนดสอง โหนดในถนนเส้นหนึ่ง ประกอบด้วย

Link (Start node, End node) คือ เส้นที่เชื่อมระหว่างสตาร์ท โหนดกับเอน โหนด

Link (Start node, Intermediate node) คือ เส้นที่เชื่อมระหว่าง โหนดเริ่มต้นกับอินเตอร์มี  
เดียท โหนด

Link (Intermediate node, Intermediate node) คือ เส้นที่เชื่อมระหว่างอินเตอร์มีเดียท  
โหนดกับอินเตอร์มีเดียท โหนด

Link (Intermediate node, End node) คือ เส้นที่เชื่อมระหว่างอินเตอร์มีเดียท โหนดกับเอน  
โหนด

3.3.2.2 มุมมองระดับที่ 2 (Level 2) มุมมองในระดับนี้จะมอง โครงข่ายถนนเป็นทางแยก  
ที่เชื่อมต่อกัน

โหนดในระดับที่ 2 ประกอบด้วย

อินเตอร์เซกชัน โหนด (Intersection node) คือ โหนดที่แสดงถึงบริเวณที่มีการตัดกันของ  
เส้นถนนภายในกราฟ

เทอร์มินอล โหนด (Terminal node) คือ โหนดเริ่มต้นของข้อมูลเส้นถนนที่เชื่อมต่อไปยัง  
อินเตอร์เซกชัน โหนด

เอจในระดับที่ 2 ถูกเรียกว่า แขนของแยก (Intersection arm)

Arm (Intersection node, Intersection node) คือ แขนของแยกที่เป็นแขนร่วมระหว่าง  
อินเตอร์เซกชัน โหนดทั้งสอง

Arm (Intersection node, Terminal node) คือ แขนของแยกที่เชื่อมต่อระหว่างอินเตอร์เซก  
ชัน โหนดและเทอร์มินอล โหนด

3.3.2.3 มุมมองระดับที่ 3 (Level 3) มุมมองระดับที่ 3 นี้เป็นมุมมองที่มองทางแยกเป็น  
หลักแล้วมองแขนของแยกเป็นเส้นตรงหรือแขนตรง (Linear arm) และแขนตรงทุกแขนของแยก  
จะพบกันที่จุดศูนย์กลางของแยก

โหนดในระดับที่ 3 ประกอบด้วย

อินเตอร์เซกชัน โหนด ซึ่งก็คือทางแยก

อาร์ม โหนด (Arm node) คือ โหนดปลายของแขนตรงของแยก

เอจในระดับที่ 3 ถูกเรียกว่า แขนตรงของแยก (Linear arm) แขนของแยกจะเชื่อมระหว่างอินเตอร์  
เซกชัน โหนดและอาร์ม โหนด

ยกตัวอย่างเช่นรูปที่ 3.4 สามารถแสดงมุมมองทั้ง 3 ระดับของโครงข่ายถนนได้ดังนี้ มุมมองระดับที่ 1 คือมุมมองที่ว่าโครงข่ายถนนประกอบด้วยเส้นถนนและถนนแต่ละเส้นคือ โหนดที่เชื่อมต่อกันถนนหนึ่งเส้นจะมีโหนดปลายสองด้าน ซึ่งมีทั้งหมด 3 เส้นคือ Line A, Line B และ Line C ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

Line A = {P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9}

Line B = {P10, P11, P4, P12, P13, P14, P15, P16, P17}

Line C = {P18, P19, P20, P8, P21, P22, P23, P24}

ดังนั้น

โหนดในระดับที่ 1 ประกอบด้วย

Line A คือ

Start node = {P1}

Intermediate node = {P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8}

End node = {P4}

Line B คือ

Start node = {P10}

Intermediate node = {P11, P4, P12, P13, P14, P15, P16}

End node = {P17}

Line C คือ

Start node = {P18}

Intermediate node = {P19, P20, P8, P21, P22, P23}

End node = {P24}

เองในมุมมองระดับที่ 1 ประกอบด้วย

Line A คือ

Link(P1,P2), Link(P2,P3), Link(P3,P4), Link(P4,P5), Link(P5,P6), Link(P6,P7),

Link(P7,P8) และ Link(P8,P9)

Line B คือ

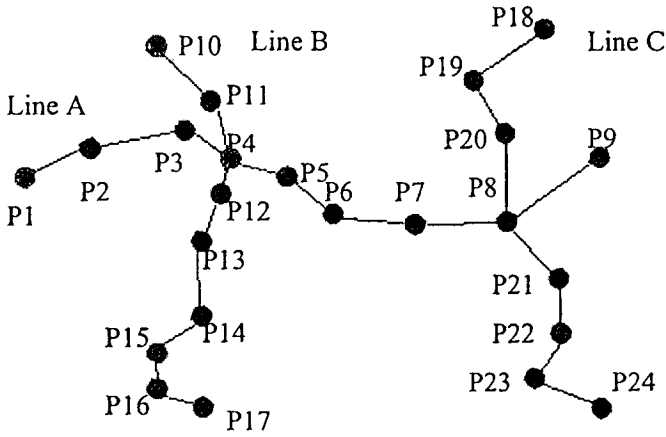
Link(P10,P11), Link(P11,P4), Link(P4,P12), Link(P12,P13), Link(P13,P14),

Link(P14,P15), Link(P15,P16) และ Link(P16,P17)

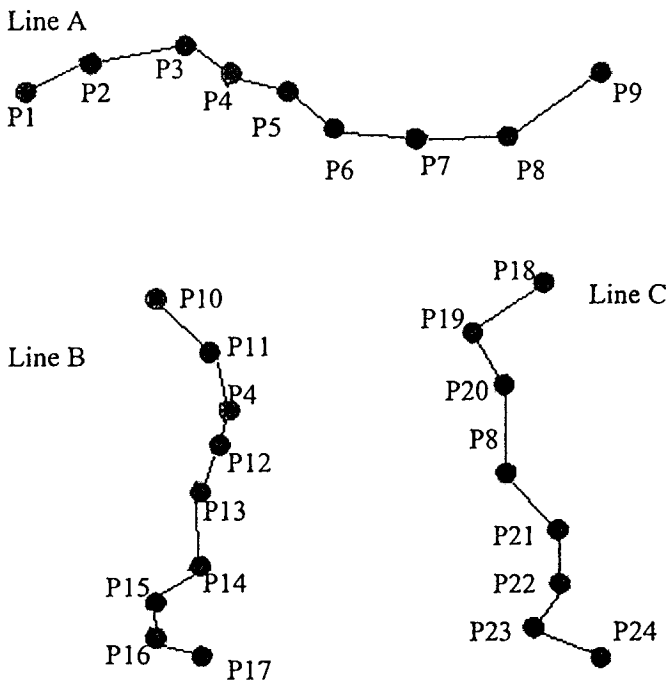
Line C คือ

Link(P10,P11), Link(P11,P4), Link(P4,P12), Link(P12,P13), Link(P13,P14), Link

(P14,P15), Link(P15,P16) และ Link(P16,P17)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างโครงข่ายถนนสำหรับการวิเคราะห์มุมมองข้อมูล



รูปที่ 3.5 มุมมองในระดับที่ 1 ของโครงข่ายถนนในรูปที่ 3.4

มุมมองในระดับที่ 2 คือ มุมมองที่มอง โครงข่ายถนนเป็นทางแยกที่เชื่อมต่อกันซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

โหนดในมุมมองระดับที่ 2 ประกอบด้วย

ทางแยก P4

Intersection node = {P4}

Terminal node = {P1, P8, P10, P17}

ทางแยก P8

Intersection node = {P8}

Terminal node = {P4, P9, P18, P24}

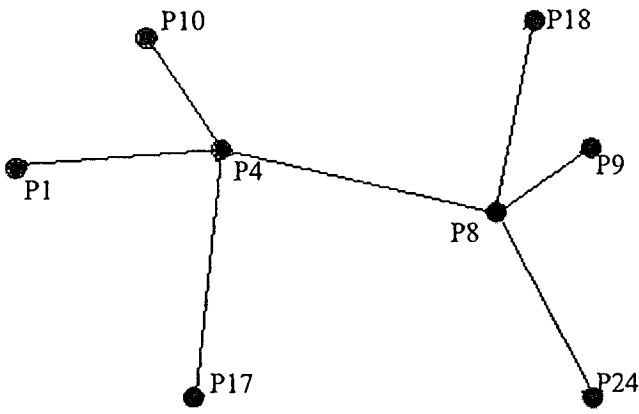
เองในมุมมองระดับที่ 2 คือแขนของแยก

ทางแยก P4 ประกอบด้วย

Arm(P4,P1), Arm(P4,P8), Arm(P4,P10) และ Arm(P4,P17)

ทางแยก P8 ประกอบด้วย

Arm(P8,P4), Arm(P8,P18), Arm(P8,P9) และ Arm(P8,P24)



รูปที่ 3.6 มุมมองในระดับที่ 2 ของโครงข่ายถนนในรูปที่ 3.4

มุมมองในระดับที่ 3 คือมุมมองที่มองโครงข่ายถนนเป็นทางแยกและมองแขนของแยกเป็นเส้นตรง

โหนดในมุมมองระดับที่ 3 ประกอบด้วยอินเตอร์เซกชันโหนดและโหนดปลายของแขนตรงของแยกซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

ทางแยก P4

Intersection node = {P4}

Arm node = {P2, P11, P5, P14}

ทางแยก P8

Intersection node = {P8}

Arm node = {P6, P19, P9, P22}

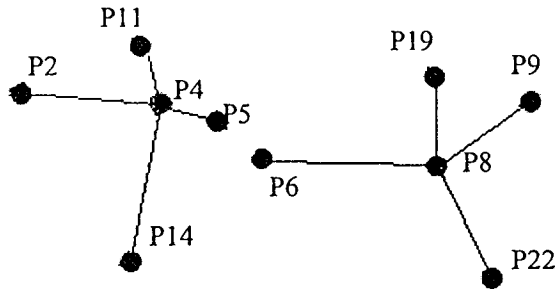
เองในมุมมองระดับที่ 3 ซึ่งก็คือแขนตรงของแยกประกอบด้วย

ทางแยก P4

Linear arm(P4, P2), Linear arm (P4, P7), Linear arm (P4, P11), Linear arm (P4, P14)

ทางแยก P8

Linear arm(P8, P6), Linear arm (P8, P19), Linear arm (P8, P9), Linear arm (P8, P22)



รูปที่ 3.7 มุมมองในระดับที่ 3 ของโครงข่ายถนนในรูปที่ 3.4

งานวิจัยนี้นำเสนอมุมมองโครงข่ายถนนทั้ง 3 ระดับเพื่อเป็นการสนับสนุนวิธีวิเคราะห์โครงข่ายถนนในการจำแนกรูปร่างทางแยกทางโค้งและหารูปแบบโครงข่ายถนนโดยนำข้อมูลที่ได้จากโครงสร้างไปจัดแบ่งประเภทรูปร่างดังกล่าวต่อไป

### 3.3.3 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งทางแยก

ทางแยก (Intersection) คือบริเวณที่ถนนตั้งแต่ 3 เส้นขึ้นไปมาบรรจบกัน ปกติแล้วจะแบ่งประเภทของทางแยกตามจำนวนของเส้นถนนที่มาบรรจบกัน เมื่อพิจารณาจากมุมมองในโครงข่ายถนนระดับที่ 2 แล้วพบว่าอินเตอร์เซกชัน โหนดในระดับนี้คือตำแหน่งของศูนย์กลางของทางแยกและดีกรีของอินเตอร์เซกชัน โหนดนี้เป็นตัวแบ่งประเภทของทางแยกได้กล่าวคืออินเตอร์เซกชัน โหนดที่มีดีกรีเป็น  $n$  จัดอยู่ในทางแยกประเภท  $n$  - แยก ยกตัวอย่างเช่น

- สามแยก คือ อินเตอร์เซกชัน โหนดที่มีดีกรีเท่ากับ 3

- สี่แยก คือ อินเตอร์เซกชัน โหนดที่มีดีกรีเท่ากับ 4

อัลกอริทึมสำหรับการค้นหาตำแหน่งทางแยกสามารถแสดงได้ดังนี้

Algorithm location\_and\_type\_intersection (I)

(2.1)

Input : I

Output : location and type of intersections

while each intersection in G do

    if (degree of intersection node = 3) then

        get location of type

        Type of intersection is 3-junctions

    elseif (degree of intersection node = 4) then

        get location of type

```

        Type of intersection is 4-junctions
    elseif (degree of intersection node > 4) then
        get location of type
        Type of intersection is more than 4-junctions
    endif
endwhile
end location_and_type_intersection

```

### 3.3.4 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งทางโค้ง

จากการสังเกตข้อมูลถนนพบว่าส่วนของถนน (Road segment) ที่เป็นทางโค้ง จะมีความถี่ของจำนวนจุดมากกว่าทางตรง ทั้งนี้เพื่อให้เส้นเชื่อมจุดแสดงออกมาเป็นรูปโค้ง งานวิจัยนี้จึงใช้ความถี่ของจุดเป็นปัจจัยระบุตำแหน่งของทางโค้ง สำหรับการวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งทางโค้งพิจารณาจากทุกโหนดบนเส้นถนนซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

กำหนดให้  $L$  เป็น เซตของโหนดภายในเส้นถนน 1 เส้นซึ่งแต่ละโหนดเก็บค่าพิกัดภูมิศาสตร์  $(x, y)$

$$L = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$$

$$= \{(x_i, y_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

ดังนั้น

$$\text{Start node} = \{p_1\}$$

$$\text{Intermediate node} = \{p_2, p_3, \dots, p_{n-1}\}$$

$$\text{End node} = \{p_n\}$$

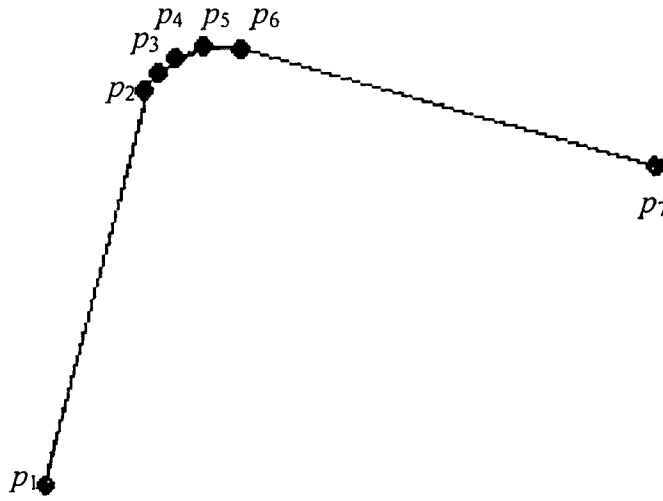
ยกตัวอย่างรูปที่ 3.8 เป็นส่วนของถนนที่ภายในประกอบด้วยโหนด 7 โหนด ดังนั้น

$$L = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_7\}$$

$$\text{Start node} = \{p_1\}$$

$$\text{Intermediate node} = \{p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$$

$$\text{End node} = \{p_7\}$$



รูปที่ 3.8 ส่วนของถนนที่เป็นทางโค้ง

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานว่าทางโค้งต้องประกอบด้วยโหนดอย่างน้อย 3 โหนดดังนั้นก็กำหนดให้

ทางโค้ง(Curve) คือ ส่วนของถนนที่ไม่เป็นเส้นตรงที่ประกอบด้วยสามส่วนคือช่วงกลางโค้ง (Curve angle), แขนซ้ายของโค้ง (Left curve arm) และแขนขวาของโค้ง (Right curve arm) โดยทางโค้งต้องประกอบด้วยโหนดตั้งแต่ 3 โหนดขึ้นไปที่เกี่ยวข้องกันและแขนทั้งสองข้างต้องมีทิศทางของแขนไม่อยู่ในทิศเดียวกัน

$length(link(p_i, p_{i+1}))$  คือ ความยาวของลิงก์ระหว่างโหนด  $p_i$  และ  $p_{i+1}$

$length(roadSegment(p_i, p_j))$  คือ ความยาวของส่วนของถนนที่เชื่อมระหว่างโหนด  $p_i$  และ  $p_j$

ดังนั้นความสัมพันธ์ของความยาวของส่วนของถนนและความของลิงก์แสดงได้ดังสมการที่ (3.3)

$$length(roadSegment(p_i, p_j)) = \sum_{k=i}^{j-1} length(link(p_k, p_{k+1})) \quad (3.3)$$

$C$  คือส่วนของถนนที่ไม่เป็นเส้นตรงประกอบด้วย  $n$  โหนด

$$C = roadSegment(p_1, p_n) = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$$

$$C\_middle = roadSegment(p_i, p_{i+2})$$

$$C\_left = roadSegment(p_1, p_i)$$

$$C\_right = roadSegment(p_{i+2}, p_n)$$

เมื่อ  $length(roadSegment(p_i, p_{i+2}))$  มีค่าสิ้นสุดสำหรับค่า  $i$  ตั้งแต่ 1 ถึง  $n-2$

ในรูปที่ 3.8 ส่วนของถนนที่เป็นทางโค้งซึ่งโครงสร้างของเส้นโค้งแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ช่วงกลางโค้ง แขนซ้ายของโค้ง และ แขนขวาของโค้ง ดังนั้น

$$roadSegment(p_2, p_4) \text{ คือ ช่วงกลางโค้ง}$$

$roadSegment(p_1, p_2)$  คือ แขนซ้ายของโค้ง

$roadSegment(p_4, p_7)$  คือ แขนขวาของโค้ง

อัลกอริทึมสำหรับการค้นหาตำแหน่งทางโค้งแสดงได้ดังนี้

Algorithm location\_of\_curve (T,G)

(2.2)

Pre Curve is a road segment. Curve must contain at least three nodes.

n is number of nodes in the curve

Input : T,G // roadsegment between 2 adjacent intersection node

Output : location of curve

//road\_segment is a sequence of nodes,  $p_1$  to  $p_n$ . road\_segment ( $p_1, p_n$ )

//segment\_of\_three is road\_segment contain 3 adjacent node

//A link is an edge between 2 adjacent nodes.

//curve\_center is roadsegment from  $p_i$  to  $p_{i+2}$

length of curve\_center = -1

while (index of segment\_of\_three not an end node) do

if length of segment\_of\_three < length of curve\_center

curve\_center = segment\_of\_three

endif

move index to right 1 step

endwhile

//left curve arm is roadsegment from  $p_{index\_left}$  to  $p_i$

while (index of roadsegment is not a start node) and (length of link  $\leq$  length of curve\_center) do

move index to left 1 step

endwhile

//right curve arm is roadsegment from  $p_{i+2}$  to  $p_{index\_right}$

while (index of roadsegment is not an end node) and (length of link  $\leq$  length of curve\_center)

move index to right 1 step

endwhile

//curve= curve angle+ left curve arm + right curve arm

curve = roadsegment( $p_{index\_left}, p_{index\_right}$ )

return curve

End location_of_curve
-----------------------

### 3.3.4.1 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาช่วงกลางโค้ง (Curve angle)

การหาส่วนของถนนที่มีความยาวระหว่างโหนด 3 โหนดที่อยู่ใกล้กันที่สุด ยกตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 3.8 กำหนดให้

$$\text{length}(\text{link}(p_1, p_2)) = 11.4, \quad \text{length}(\text{link}(p_2, p_3)) = 0.57$$

$$\text{length}(\text{link}(p_3, p_4)) = 0.52, \quad \text{length}(\text{link}(p_4, p_5)) = 0.78$$

$$\text{length}(\text{link}(p_5, p_6)) = 0.89 \quad \text{length}(\text{link}(p_6, p_7)) = 11.45$$

ดังนั้นความยาวระหว่างโหนด 3 โหนดหาได้จากสมการที่ (3.3) โดยกำหนดให้

$$j = i + 2$$

$$\text{length}(\text{roadSegment}(p_i, p_{i+2})) = \sum_{k=i}^{(i+2)-1} \text{length}(\text{link}(p_k, p_{k+1}))$$

$$\text{length}(\text{roadSegment}(p_1, p_3)) = 11.4 + 0.57 = 11.97$$

$$\text{length}(\text{roadSegment}(p_2, p_4)) = 0.57 + 0.52 = 1.09$$

$$\text{length}(\text{roadSegment}(p_3, p_5)) = 0.52 + 0.78 = 1.30$$

$$\text{length}(\text{roadSegment}(p_4, p_6)) = 0.78 + 0.89 = 1.87$$

$$\text{length}(\text{roadSegment}(p_5, p_7)) = 0.89 + 11.45 = 12.34$$

ดังนั้นช่วงกลางโค้งจากตัวอย่างในรูปที่ 3.8 คือ ส่วนของถนนที่เชื่อมระหว่างโหนด  $p_2$  และ  $p_4$  ซึ่งมี  $\text{length}(\text{roadSegment}(p_2, p_4))$  เท่ากับ 1.09

$$C\_middle = \text{roadSegment}(p_2, p_4)$$

$$\text{length\_C\_shortest} = \text{length}(\text{roadSegment}(p_2, p_4)) = 1.09$$

### 3.3.4.2 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาแขนซ้ายของโค้ง (Left curve arm) และ แขนขวาของโค้ง (Right curve arm)

การวิเคราะห์เพื่อค้นหาแขนซ้ายของโค้งและแขนขวาของโค้งใช้หลักการพิจารณาเดียวกันโดยแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 พิจารณาความยาวของแต่ละลิงก์ของส่วนของถนนเปรียบเทียบกับความยาวของช่วงกลางโค้ง

เนื่องจากทางโค้งคือส่วนของถนนที่ไม่เป็นเส้นตรงที่จะต้องประกอบด้วยโหนดตั้งแต่ 3 โหนดขึ้นไปเรียงอยู่ไม่ห่างกันดังนั้นแขนซ้ายและแขนขวาของโค้งต้องมีระยะห่างระหว่างโหนดที่เรียงติดกันมีค่าไม่น้อยกว่าความยาวช่วงกลางโค้งถึงจะทำให้ยังคงเป็นทางโค้งที่มีโหนดเรียงอยู่ไม่ห่างกัน

แขนซ้ายของทางโค้ง (Left curve arm) คือ ส่วนของถนนเชื่อมต่อกันจากโหนดซ้ายสุดของเส้นกลางโค้งไปยังสตาร์ทโหนดของส่วนของถนนโดยที่มีระยะระหว่างลึ้นน้อยกว่าความยาวเส้นกึ่งกลางโค้ง

$$C\_left = roadSegment(p_1, p_i)$$

แขนขวาของทางโค้ง (Right curve arm) คือ ส่วนของถนนเชื่อมต่อกันจากโหนดขวาสุดของเส้นกลางโค้งไปยังเอนโหนดของส่วนของถนนโดยที่มีระยะระหว่างลึ้นน้อยกว่าความยาวเส้นกึ่งกลางโค้ง

$$C\_right = roadSegment(p_{i+2}, p_n)$$

ซึ่งจากตัวอย่างในรูปที่ 3.8 กำหนดให้

$$length(link(p_1, p_2)) = 11.4, \quad length(link(p_2, p_3)) = 0.57$$

$$length(link(p_3, p_4)) = 0.52, \quad length(link(p_4, p_5)) = 0.78$$

$$length(link(p_5, p_6)) = 0.89 \quad length(link(p_6, p_7)) = 11.45$$

$$C\_middle = roadSegment(p_2, p_4)$$

$$C\_left = roadSegment(p_1, p_2)$$

$$C\_right = roadSegment(p_4, p_7)$$

ดังนั้นการพิจารณาแขนซ้ายของโค้งและแขนขวาของโค้งคือการหาโหนดที่เชื่อมต่อเรียงกันไปจากช่วงกลางโค้งที่มีระยะระหว่างโหนดไม่ห่างกันซึ่งก็คือมีค่าน้อยกว่าความยาวช่วงกลางโค้ง จากตัวอย่างในรูปที่ 3.8 พบว่าแขนซ้ายของทางโค้งมีความยาวมากกว่าความยาวช่วงกลางโค้งดังนั้นแขนซ้ายทางโค้งไม่จัดว่าเป็นทางโค้งสำหรับแขนขวาทางโค้งเมื่อพิจารณาไปในแต่ละลึ้นที่เชื่อมต่อเรียงกันจากช่วงกลางโค้งไปยังโหนดสุดท้ายของทางโค้งซึ่งก็คือ  $p_7$  พบว่า  $length(link(p_4, p_5))$  และ  $length(link(p_5, p_6))$  มีความยาวน้อยกว่าความยาวของช่วงกลางโค้งแต่  $length(link(p_6, p_7))$  มีความยาวมากกว่าความยาวของช่วงกลางโค้งดังนั้นแขนขวาของทางโค้งคือส่วนของถนนที่เชื่อมต่อระหว่าง  $p_4$  และ  $p_6$  ดังนั้นทางโค้งที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 คือส่วนของถนนที่เชื่อมต่อระหว่าง  $p_2$  ถึง  $p_6$

ขั้นที่ 2 พิจารณาจำนวนโหนดที่เหมาะสมสำหรับโค้ง (number\_node\_curve)

เนื่องจากทางโค้งที่พบทั่วไปในโครงข่ายถนนประกอบด้วยโหนดที่เรียงต่อกันมากกว่า 7 โหนดแต่ทางโค้งบางประเภทในโครงข่ายถนนมีจำนวนโหนดที่เรียงต่อกันมีจำนวนน้อยดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดจำนวนโหนดที่ยังคงเป็นทางโค้งตามแนวคิดที่ได้ออกแบบไว้ในงานวิจัยเท่ากับ 7 โหนด และสำหรับการวิเคราะห์ค้นหาตำแหน่งทางโค้งมีแบ่งการพิจารณาเป็น 2 กรณี

**กรณีที่ 1** ถ้ามีจำนวนโหนดในทางโค้ง (number of node)  $> 7$  แล้วสามารถนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 เพื่อไปวิเคราะห์จำแนกรูปแบบทางโค้งได้

**กรณีที่ 2** ถ้ามีจำนวนโหนดในทางโค้ง (number of node)  $\leq 7$  แล้วถ้าความยาวของลึ้นที่อยู่ติดกับแขนซ้ายของโค้งและแขนขวาของโค้งต้องยาวกว่าความยาวช่วงกลางของโค้งถือว่าโหนด

นั้นเป็นสมาชิกของทางโค้ง กำหนดให้โหนดที่อยู่ติดกับแขนซ้ายและแขนขวาทางโค้งเรียกว่า โหนดข้างเคียง (neighbor node) ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 3.9

Neighbor left node คือ โหนดข้างเคียงแขนซ้ายของโค้ง

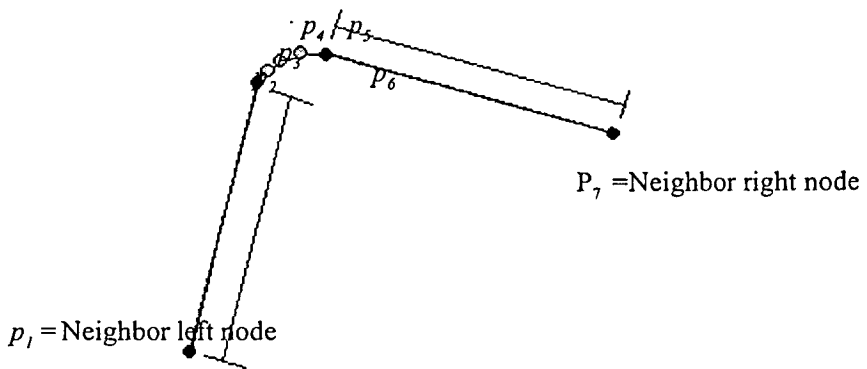
Neighbor right node คือ โหนดข้างเคียงแขนขวาของโค้ง

ในรูปที่ 3.9 พบว่ามีโหนดในส่วนของถนนน้อยกว่า 7 โหนดดังนั้นจึงต้องพิจารณาความยาวของลิงที่อยู่ติดกับแขนซ้ายและแขนขวาของทางโค้งที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{length}(\text{link}(p_1, p_2)) = 11.4$$

$$\text{length}(\text{link}(p_6, p_7)) = 11.45$$

พบว่าความยาวของของลิงทั้งสองมีค่ามากกว่าความยาวของทางโค้งซึ่งเป็นส่วนถนนที่เชื่อมต่อระหว่าง  $p_2$  และ  $p_6$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.76 ดังนั้นทางโค้งคือส่วนของถนนที่เชื่อมต่อระหว่าง  $p_1$  และ  $p_7$



รูปที่ 3.9 โหนดข้างเคียงแขนซ้ายและโหนดข้างเคียงแขนขวาของโค้งภายในส่วนของถนน

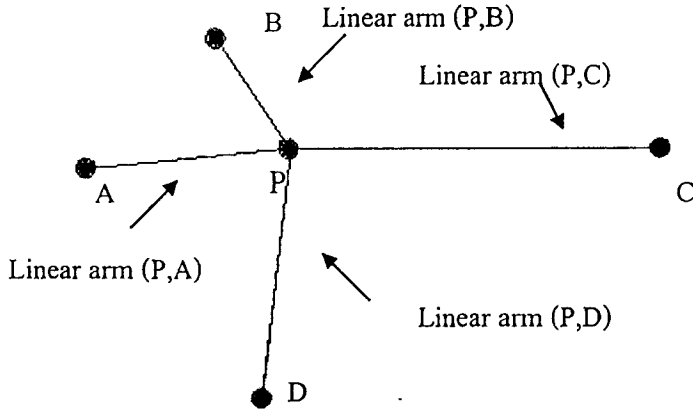
### 3.4 การวิเคราะห์เพื่อระบุรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง

ในงานวิจัยนำเสนอการจำแนกรูปร่างของทางแยกและทางโค้งโดยพิจารณาจากมุมระหว่างแขนของแยกและมุมระหว่างแขนของโค้ง ตามลำดับ ดังนั้นในส่วนนี้กล่าวถึง 2 หัวข้อคือ หัวข้อแรกกล่าวถึงการจำแนกรูปแบบทางแยก และหัวข้อที่สองกล่าวถึงการจำแนกรูปแบบทางโค้ง ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

#### 3.4.1 การวิเคราะห์เพื่อระบุรูปร่างของทางแยก

ในส่วนนี้เป็นการระบุรูปร่างทางแยกเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงข่ายถนนโดยส่วนแรกเป็นส่วนของการพิจารณารูปร่างของทางแยกและสำหรับทางแยกที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ สามแยก และสี่แยก

ในงานวิจัยนี้จำแนกรูปร่างของทางแยกโดยพิจารณาโครงข่ายถนนในมุมมองระดับที่ 3 ซึ่งแต่ละอินเตอร์เซกชันโหนดคือจุดพบกันของแขนตรงของแยกยกตัวอย่างเช่นในรูปที่ 3.10 เป็นรูปสี่แยกที่มีอินเตอร์เซกชันโหนดคือ P และมีเทอร์มินอลโหนดคือ A, B, C และ D และ แขนตรงของแยกประกอบด้วย Linear arm (P,A), Linear arm (P,B), Linear arm (P,C) และ Linear arm (P,D)



รูปที่ 3.10 แขนตรงของแยกของสี่แยกที่ตัดกันที่โหนด P

ในงานวิจัยนี้ได้จำแนกประเภทของแยกแต่ละประเภทดังนี้

สามแยกประกอบด้วยแขนของแยก 3 เส้น สามแยกมีมุมระหว่างแขนของแยกสามมุมผลรวมของมุมทั้งสามคือ  $360^\circ$  ในงานวิจัยนี้แบ่งประเภทของสามแยกตามมุมระหว่างแขนของแยกซึ่งแสดงในรูปที่ 3.11 ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

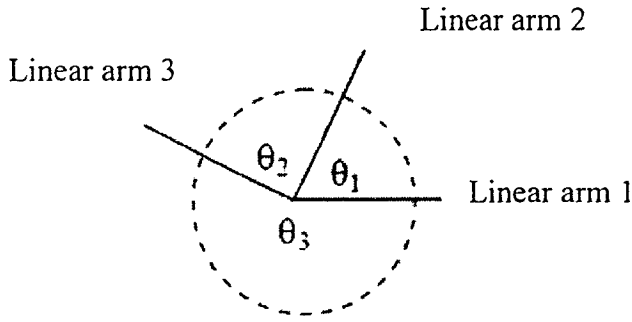
สามแยกแบบ TEE คือสามแยกที่มีรูปร่างตั้งฉาก (TEE node) เป็นลักษณะสามแยกที่พบได้บ่อยบริเวณแยกไฟแดงของถนนในเมือง ส่วนสามแยกแบบ FRK คือสามแยกที่มีรูปร่างแบบส้อม (Fork node) พบได้บ่อยบริเวณถนนทางหลวงหรือถนนสายหลักที่เชื่อมต่อระหว่างจังหวัด สามแยกแบบ ARW คือสามแยกที่มีรูปร่างแบบลูกศร (Arrow node) เป็นโครงข่ายที่ค้นพบได้น้อยในโครงข่ายถนนมักเป็นถนนที่เชื่อมต่อจากถนนสายหลักไปยังถนนสายเล็กๆในโครงข่ายถนน รูปร่างของสามแยกทั้ง 3 สามแบบแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 มุมระหว่างแขนของแยกที่ใช้สำหรับระบุรูปร่างของสามแยกสามารถแบ่งได้ดังนี้

$\theta_1$  คือมุมที่เล็กที่สุดและ  $\theta_2$  คือมุมที่เล็กรองจากมุมที่เล็กที่สุด

TEE :  $70^\circ < \theta_1 \leq 110^\circ, 70^\circ < \theta_2 \leq 110^\circ$  และ  $170^\circ < \theta_1 + \theta_2 \leq 190^\circ$

FRK :  $190^\circ < \theta_1 + \theta_2 \leq 240^\circ$

ARW :  $0^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ, 0^\circ \leq \theta_2 < 90^\circ$  และ  $0^\circ < \theta_1 + \theta_2 \leq 170^\circ$



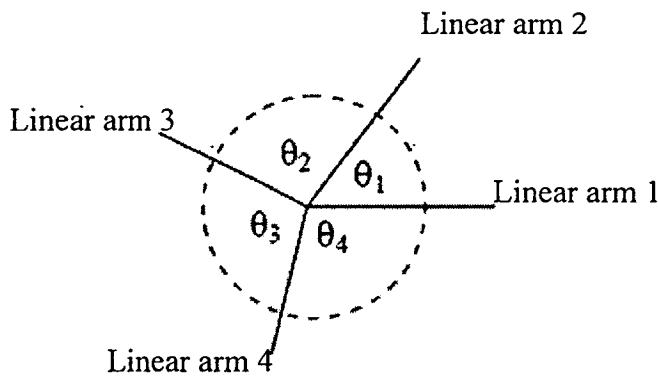
รูปที่ 3.11 รูปแสดงสามแขน

สี่แยกประกอบด้วยแขนของแยก 4 เส้น สี่แยกมีมุมระหว่างแขนของแยกที่มุมผลรวมของมุมทั้งสี่คือ  $360^\circ$  ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.12 งานวิจัยนี้แบ่งประเภทของสี่แยกตามมุมระหว่างแขนของแยก ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

สี่แยกแบบ CRS คือสี่แยกที่มีรูปร่างแบบวงตัวแบบฉาก (Cross node) เป็นลักษณะสี่แยกที่พบได้บ่อยบริเวณแยกไฟแดงของถนนในเมืองเช่นเดียวกับสามแยกแบบ TEE ส่วนสี่แยกแบบ OTH คือสี่แยกที่มีรูปร่างนอกเหนือจากแบบ CRS (Other node) สี่แยกชนิดนี้ค้นพบได้บ่อยบริเวณแยกบนถนนทางหลวงในโครงข่ายถนน รูปร่างของสี่แยกทั้ง 2 แบบแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 มุมระหว่างแขนของแยกที่ใช้สำหรับระบุรูปร่างของสี่แยกสามารถแบ่งได้ดังนี้

CRS :  $70^\circ < \theta_n \leq 110^\circ$  โดยที่  $n = 1, 2, 3, \dots, n$

OTH :  $0^\circ < \theta_n \leq 70^\circ$  หรือ  $110^\circ < \theta_n < 360^\circ$



รูปที่ 3.12 รูปแสดงสี่แยก

ในการวิเคราะห์รูปร่างของทางแยกพิจารณาจากมุมระหว่างแขนตรงของแยกแต่เนื่องด้วยการได้มาซึ่งแขนตรงของแยกคือการนำเอาแขนของแยกไปคำนวณด้วยวิธี MS ดังนั้นการจำแนกรูปร่างทางแยกที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับแขนของแยกที่นำมาใช้ในการพิจารณากว่าคือแขนของแยกเส้นหนึ่งมีความยาวหลากหลายดังนั้นในการนำแขนของแยกไปใช้วิเคราะห์จำแนกรูปร่างทางแยก

ไม่จำเป็นที่ต้องนำส่วนของถนนทั้งเส้นมาคำนวณหาแขนตรงของแยกยกตัวอย่างรูปที่ 3.13 เป็นแยกที่มีจุดอ้างอิงของทางแยกที่  $P_1$  กำหนดให้

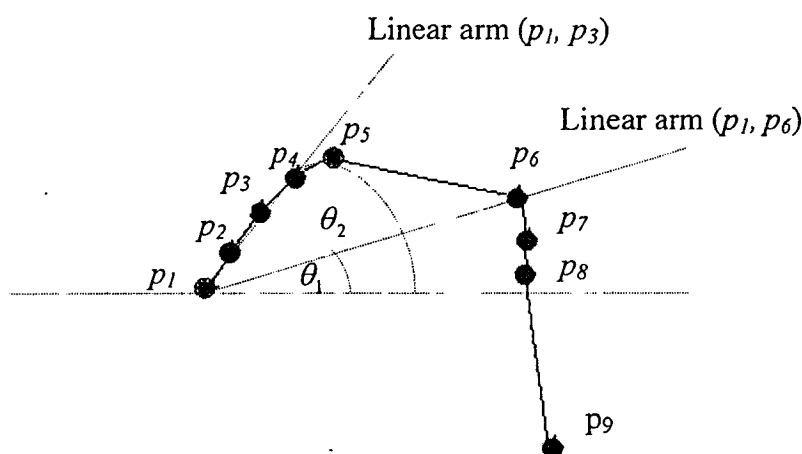
$$\text{length}(\text{link}(p_1, p_2)) = 270 \text{ เมตร} \quad \text{length}(\text{link}(p_2, p_3)) = 270 \text{ เมตร}$$

$$\text{length}(\text{link}(p_3, p_4)) = 270 \text{ เมตร} \quad \text{length}(\text{link}(p_4, p_5)) = 250 \text{ เมตร}$$

$$\text{length}(\text{link}(p_5, p_6)) = 940 \text{ เมตร} \quad \text{length}(\text{link}(p_6, p_7)) = 270 \text{ เมตร}$$

$$\text{length}(\text{link}(p_7, p_8)) = 200 \text{ เมตร} \quad \text{length}(\text{link}(p_8, p_9)) = 810 \text{ เมตร}$$

พบว่าความยาวของแขนของแยกมีผลต่อการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกกล่าวคือถ้าส่วนของถนนทั้งหมดแขนตรงของแยกที่ได้คือ Linear arm ( $p_1, p_6$ ) และ  $\theta_1$  คือมุมระหว่างแขนตรงระหว่าง  $p_1$  และ  $p_6$  กับแนวระนาบแต่ถ้าพิจารณาความยาวของส่วนของถนนภายใน 1,250 เมตรพบว่าประกอบด้วยโหนด  $p_1, p_2, p_3, p_4$  และ  $p_5$  ซึ่งแขนตรงของแยกคือ Linear arm ( $p_1, p_3$ ) และ  $\theta_2$  คือมุมระหว่างแขนตรงระหว่าง  $p_1$  และ  $p_3$  กับแนวระนาบ จากมุมทั้งสองพบว่าความยาวของแขนของแยกมีผลต่อการวิเคราะห์มุมเพื่อจำแนกรูปร่างของทางแยก



รูปที่ 3.13 ความยาวส่วนของถนนที่มีผลต่อการวิเคราะห์รูปร่างทางแยก

### 3.4.2 การวิเคราะห์เพื่อระบุรูปร่างของทางโค้ง

การวิเคราะห์เพื่อค้นหาความเป็นทางโค้งพิจารณาจากมุมที่วัดจากจุดกึ่งกลางโค้งไปยังแขนตรงซ้ายของโค้ง (Linear\_arm\_L) และแขนตรงขวาของโค้ง (Linear\_arm\_R) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากวิธี MS ในการวิเคราะห์หาแขนตรงซ้ายของโค้งและแขนตรงขวาของโค้งแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 แบบคือ

แบบที่ 1 แขนซ้ายของโค้งและแขนขวาของโค้งมีสมาชิกบางตัวเป็นโหนดข้างเคียงแขนซ้ายของโค้งหรือโหนดข้างเคียงแขนขวาของโค้ง สามารถคำนวณหาแขนตรงซ้ายของโค้งและแขนตรงขวาของโค้งจากวิธี MS โดยกำหนดให้ โหนดข้างเคียงแขนซ้ายของโค้งเป็นโหนดอ้างอิง สำหรับการคำนวณหาความชันกลางของแขนซ้ายของโค้งโดยคำนวณหาความชันของทุกเส้นโดยเทียบกับโหนดข้างเคียงแขนซ้ายของโค้ง ส่วนการหาแขนตรงขวาทางโค้ง คือเส้นตรงที่ได้จากวิธี

MS โดยกำหนดให้โหนดข้างเคียงแขนขาของโค้งเป็นโหนดอ้างอิงสำหรับการคำนวณหาความชันกลางของแขนขาของโค้งแล้วคำนวณหาความชันของทุกเส้น โดยเทียบกับโหนดข้างเคียงแขนขาของโค้ง ในรูปที่ 3.15 แสดงทางโค้งที่เกิดจากการตัดของแขนตรงซ้ายของโค้งและแขนตรงขวาของโค้งโดยแขนตรงซ้ายของโค้งคือเส้นตรงที่ตัดผ่านโหนด  $p_1$  และ  $p_2$  สำหรับแขนขาของโค้งคือเส้นตรงที่ตัดผ่านโหนด  $p_3$  และ  $p_4$

แบบที่ 2 แขนซ้ายของโค้งและแขนขาของโค้งไม่มีสมาชิกเป็นโหนดข้างเคียงแขนซ้ายของโค้งหรือโหนดข้างเคียงแขนขาของโค้ง ดังนั้นวิธีสำหรับการหาแขนตรงซ้ายของโค้งและแขนตรงขวาของโค้งให้พิจารณาจากโหนดซ้ายสุดของทางโค้งไปยังจุดกึ่งกลางโค้ง และพิจารณาโหนดขวาสุดของทางโค้งไปยังจุดกึ่งกลางโค้ง โดยกำหนดให้ โหนดซ้ายสุดของทางโค้งเป็นโหนดอ้างอิงสำหรับการคำนวณหาความชันกลางของแขนซ้ายของโค้งแล้วคำนวณหาความชันของทุกเส้น โดยเทียบกับโหนดซ้ายสุดของทางโค้ง ส่วนแขนตรงขวาของโค้ง คือเส้นตรงที่ได้จากวิธี MS โดยกำหนดให้โหนดขวาสุดของโค้งเป็นโหนดอ้างอิงสำหรับการคำนวณหาความชันกลางของแขนขาของโค้งแล้วคำนวณหาความชันของทุกเส้น โดยเทียบกับโหนดขวาสุดของโค้ง ในรูปที่ 3.16 แสดงทางโค้งที่เกิดจากการตัดของแขนตรงซ้ายของโค้งและแขนตรงขวาของโค้งโดยแขนตรงซ้ายของโค้งคือเส้นตรงที่ตัดผ่าน node A และ node B สำหรับแขนตรงขวาของโค้งคือเส้นตรงที่ตัดผ่าน node C และ node D

ทางโค้งประกอบด้วยแขนของโค้ง 2 เส้นคือแขนตรงซ้ายของโค้งและแขนตรงขวาของโค้ง ทางโค้งมีมุมระหว่างแขนของโค้งสองมุมผลรวมของมุมทั้งสองคือ  $360^\circ$  ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.14 งานวิจัยนี้แบ่งประเภทของทางโค้งตามมุมระหว่างแขนของโค้ง ได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

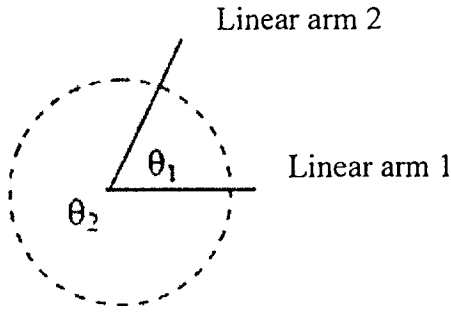
โค้งแบบ SHR คือเส้นถนนที่มีมุมระหว่างแขนตรงของโค้งเป็นมุมแหลม (Sharp node) ค้นพบได้ไม่มากในโครงข่ายถนนโค้งซึ่งในงานวิจัยจำแนกโค้งประเภทนี้ถือเป็นโค้งอันตราย ส่วนโค้งแบบ RGT คือเส้นถนนที่มีมุมระหว่างแขนตรงของโค้งเป็นมุมฉาก (Right node) ส่วนโค้งแบบ WDE คือเส้นถนนที่มีมุมระหว่างแขนตรงของโค้งเป็นมุมป้าน (Wide node) โดยมุมระหว่างแขนตรงของโค้งที่ใช้สำหรับระบุรูปร่างของสี่แยกสามารถแบ่งได้ดังนี้

$\theta_1$  คือมุมที่เล็กที่สุด

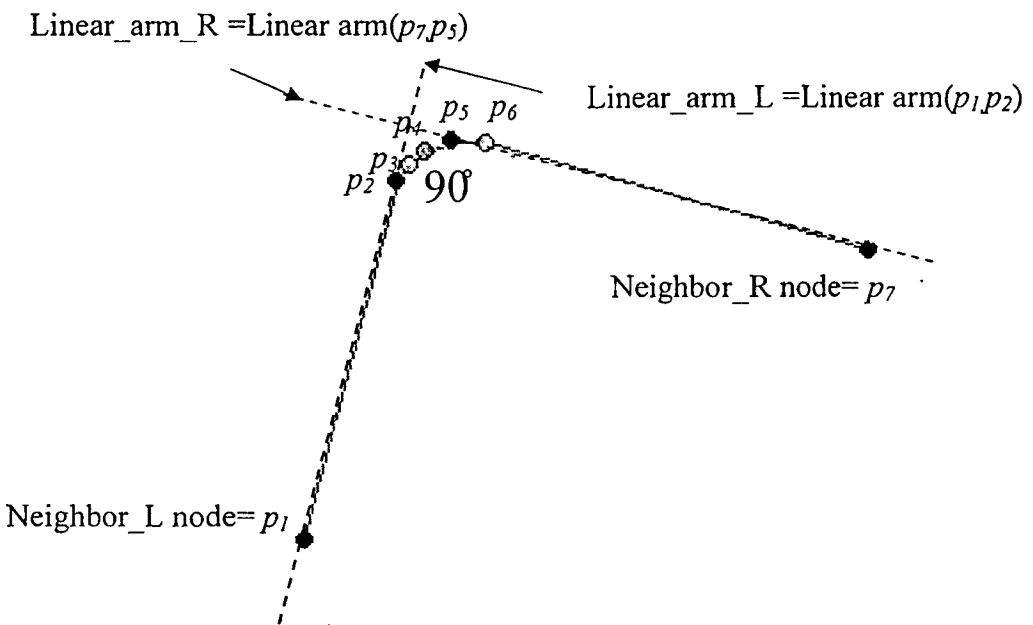
โค้งมุมแหลม (SHR) :  $0^\circ < \theta_1 \leq 69^\circ$

โค้งมุมฉาก (RGT) :  $70^\circ < \theta_1 \leq 109^\circ$

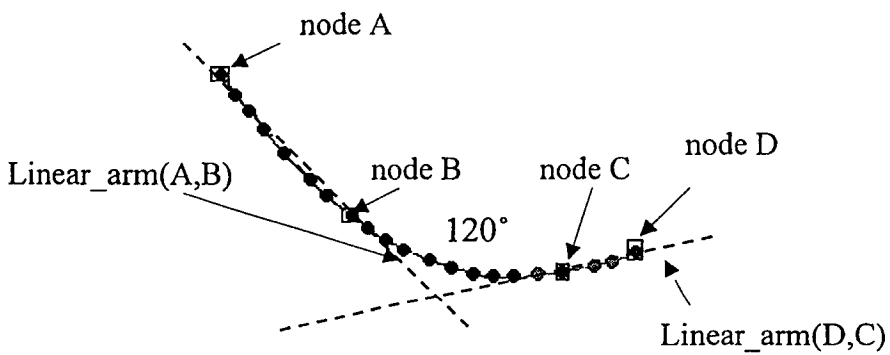
โค้งมุมป้าน (WDE) :  $110^\circ < \theta_1 \leq 170^\circ$



รูปที่ 3.14 รูปแสดงทางโค้ง



รูปที่ 3.15 ทางโค้งที่มีการพิจารณาโหนดข้างเคียง



รูปที่ 3.16 ทางโค้งที่ไม่มีการพิจารณาโหนดข้างเคียง

สำหรับการค้นหาตำแหน่งทางโค้งในส่วนของถนนที่ค้นพบว่าไม่ได้เป็นทางโค้งต้องทำการเลือกช่วงกลางโค้งใหม่โดยตัดโหนดทุกโหนดที่เป็นสมาชิกของทางโค้งยกเว้นโหนดข้างเคียงแขนซ้ายของโค้งและโหนดข้างแขนเคียงขวาของโค้งออกแล้วพิจารณาหาเส้นของโค้งใหม่

จนกว่าไม่มีโหนดใดๆที่สามารถนำมาพิจารณาทางโค้งได้ถ้าค้นพบว่าไม่มีทางโค้ง ที่ทำให้เกิดทางโค้งแล้วก็สรุปได้ว่าส่วนของถนนที่นำมาพิจารณาไม่ได้เป็นทางโค้ง

ข้อจำกัดสำหรับการวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งที่เป็นทางโค้งคือการเลือกช่วงกลางโค้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการค้นหาทางโค้ง สำหรับสาเหตุที่ตัดสินใจจากส่วนของถนนที่ประกอบด้วยโหนดตั้งแต่ 3 โหนดขึ้นไปเรียงอยู่ไม่ห่างกันเป็นตัวกำหนดเส้นกึ่งกลางโค้งเพราะโดยทั่วไปทางโค้งที่เกิดขึ้นในโครงข่ายถนนมักประกอบด้วยจำนวนโหนดที่เรียงต่อกันเป็นจำนวนมากและมีความยาวระหว่างโหนดใกล้เคียงกันแต่ถ้าโหนดไม่ได้เรียงต่อกันจำนวนมากในงานวิจัยนี้พิจารณาจากโหนดข้างเคียงเป็นปัจจัยสำหรับการพิจารณาความเป็นทางโค้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโหนดกับความยาวแขนของโค้งที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค้นหาตำแหน่งทางโค้งเป็นหลัก

ในงานวิจัยนี้มีการค้นหาตำแหน่งและรูปร่างทางแยกและทางโค้งโดยในงานวิจัยมีการแบ่งระดับมุมมองของโครงสร้างเพื่อสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่นการระบุทางแยกที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนติดตั้งป้ายจราจร ซึ่งอาจใช้รูปร่างของทางแยกที่ได้จากโครงสร้างในงานวิจัยมาร่วมพิจารณา และการค้นบริเวณโค้งอันตรายอาจนำรูปร่างของทางโค้งไปร่วมสำหรับการพิจารณาด้วยเช่นกันนอกจากนี้ยังสามารถนำรูปร่างของทางแยกไปเพื่อออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนซึ่งกล่าวไว้ในบทถัดไป

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน

ในส่วนนี้เป็นส่วนสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนนในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของรูปแบบโครงข่ายถนนทั้งหมด 3 โครงสร้างซึ่งก็คือโครงสร้างแบบ โครงสร้างรูปแบบหวี, โครงสร้างรูปแบบสโตรค, โครงสร้างรูปแบบกริด โดยโครงสร้างรูปแบบ หวีเป็นโครงสร้างที่นำเสนอการเชื่อมต่อกันของทางแยกภายในโครงข่ายถนนที่มีปลายด้านหนึ่ง เป็นจุดปลายของเส้นถนน ส่วนโครงสร้างรูปแบบสโตรคเป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับหาเส้นถนน สายหลักที่เป็นตัวแทนของโหนดทางแยก ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนสำหรับการหาโครงสร้างรูปแบบ กริด เป็นการค้นหากลุ่มของกริดซึ่งปรากฏในโครงข่ายถนน โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์ โครงสร้างรูปแบบกริด เลือกจากสี่แยกที่มีรูปร่างแบบ CRS แล้วนำไปเข้ากระบวนการสำหรับหา โครงสร้างรูปแบบกริด

#### 4.1 รูปร่างของทางแยกที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่ายถนน

สำหรับการเก็บข้อมูลของชนิดทางแยกเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบโครงข่าย ถนนในงานวิจัยนี้ได้สร้างตารางสำหรับสามแยกที่มีรูปร่างแบบ TEE และ FRK โดยภายในเก็บ ข้อมูล ดังตารางที่ 4.1 และสร้างตารางเก็บข้อมูลของสี่แยกที่มีรูปร่างแบบ CRS ดังตารางที่ 4.2

3junctionID	Type3	Node	Edge		
			$t_1$	$t_2$	$t_3$
1	TEE	Intersection node	Arm	Arm	Arm
		Terminal node	(Intersection node, $t_1$ )	(Intersection node, $t_2$ )	(Intersection node, $t_3$ )
2	FRK	Intersection node	Arm	Arm	Arm
		Terminal node	(Intersection node, $t_1$ )	(Intersection node, $t_2$ )	(Intersection node, $t_3$ )

ตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลสามแยกที่มีรูปร่างแบบ TEE และ FRK

3junctionID คือ อดีของอินเตอร์เซกชัน โหนดที่มีดีกรีเท่ากับ 3

Type3 คือชนิดของสามแยกซึ่งในที่นี้พิจารณาสามแยกที่มีรูปร่างสองแบบคือ TEE กับ FRK

Node คือ ชนิดของโหนด โดยมีการเก็บ โหนดสองชนิดซึ่งก็คือ อินเตอร์เซกชันโหนด กับ เทอร์มินอลโหนด

Edge คือ เส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดสองโหนด โดยในส่วนนี้ใช้เก็บเส้นประกอบแยกที่เกิดจากเส้นที่ตัดกันจนเกิดสามแยกซึ่งในที่นี้กำหนดเป็น Edge  $t_1$ , Edge  $t_2$  และ Edge  $t_3$  ดังนั้นจึงมีส่วนของถนน 3 เส้น ซึ่งก็คือ ซึ่งก็คือ Arm (Intersection node,  $t_1$ ), Arm (Intersection node,  $t_2$ ), Arm (Intersection node,  $t_3$ ) โดย  $t_1$ ,  $t_2$  และ  $t_3$  เป็นโหนดที่เชื่อมต่อกับอินเตอร์เซกชันโหนดโดยลักษณะของโหนดเป็นอินเตอร์เซกชันโหนดหรือเทอร์มินอลโหนดก็ได้

CRSID	Node	Edge			
		$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
1	Intersection node	Arm	Arm	Arm	Arm
	Terminal node	(Intersection node, $c_1$ )	(Intersection node, $c_2$ )	(Intersection node, $c_3$ )	(Intersection node, $c_4$ )

ตารางที่ 4.2 ตารางข้อมูลสี่แยกที่มีรูปร่างแบบ CRS

CRSID คือ ไอดีของอินเตอร์เซกชันโหนดที่มีดีกรีเท่ากับ 4 และมีรูปร่างแบบ CRS

Node คือ ชนิดของโหนดที่มีรูปร่างแบบ CRS โดยมีการเก็บ โหนดสองชนิดซึ่งก็คือ อินเตอร์เซกชันโหนด กับ เทอร์มินอลโหนด

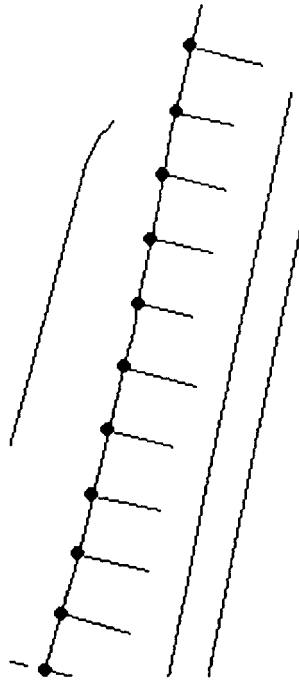
Edge คือ เส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดสองโหนด โดยในส่วนนี้ใช้เก็บส่วนของถนนที่เกิดจากเส้นถนนที่ตัดกันจนเกิดสี่แยกซึ่งในที่นี้กำหนดเป็น Edge  $c_1$ , Edge  $c_2$ , Edge  $c_3$  และ Edge  $c_4$  ดังนั้นจึงมีส่วนของถนน 4 เส้น ซึ่งก็คือ Arm (Intersection node,  $c_1$ ), Arm (Intersection node,  $c_2$ ), Arm (Intersection node,  $c_3$ ) โดย  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  และ  $c_4$  เป็นโหนดที่เชื่อมต่อกับอินเตอร์เซกชันโหนดโดยลักษณะของโหนดเป็นอินเตอร์เซกชันโหนดหรือเทอร์มินอลโหนดก็ได้

## 4.2 รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนน

ในงานวิจัยนี้นำเสนอโครงสร้าง 3 รูปแบบคือ โครงสร้างรูปแบบหวี, โครงสร้างรูปแบบสโตรค และ โครงสร้างรูปแบบกริด

### 4.2.1 โครงสร้างแบบหวี (Comb Structure)

ในงานวิจัยนี้เสนอวิธีสำหรับการหาโครงสร้างแบบ หวี ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการออกแบบโครงข่ายถนนกล่าวคือเป็นการนำ อินเตอร์เซกชันโหนด ที่ปรากฏในโครงข่ายมาค้นหาความสัมพันธ์ เช่น โครงสร้างที่เกิดจากสามแยกที่มีรูปร่างแบบ TEE ที่เชื่อมต่อกันในโครงข่ายถนน โดยที่มีเองด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับเทอร์มินอลโหนด ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างรูปแบบหวี

โครงสร้างแบบหวี มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือก อินเตอร์เซกชัน โหนด ที่มีดีกรีเท่ากับ 3 ที่มีรูปร่างแบบ TEE

กำหนดให้  $T$  แทนเซตของ โหนดที่มีรูปร่างแบบ TEE

$$T = \{tee_1, tee_2, tee_3, \dots, tee_n\}$$

$$tee_i = \{(N_i, t_1, t_2, t_3) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

ให้  $N$  คือ อินเตอร์เซกชัน โหนด ที่มีรูปร่างแบบ TEE

ให้  $t_1, t_2, t_3$  คือ โหนดที่เชื่อมต่อกับ โหนด  $N$

ขั้นที่ 2 เลือกสามแยกที่มีรูปร่างแบบ TEE ที่มีเอจใดเอจหนึ่งเชื่อมต่อกับเทอร์มินอล

โหนดแล้วสร้างตารางเก็บค่า โหนดและเอจดังตารางที่ 4.3

Comb_nodeID	TEE_node	Non_Terminal_node	
		$c_1$	$C_2$
1	Intersection node( $N$ )	Intersection node( $c_1$ )	Intersection node( $c_2$ )

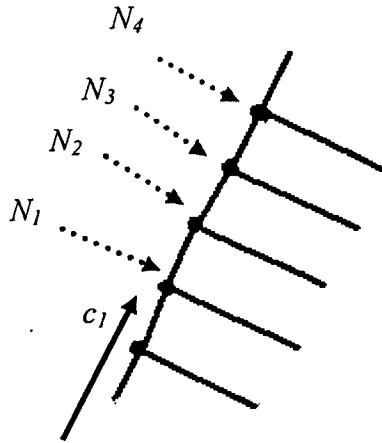
ตารางที่ 4.3 ตารางข้อมูลสำหรับค้นหาโครงสร้างรูปแบบหวี

Comb\_nodeId คือ ID ของโหนดที่มีรูปร่างแบบ TEE

TEE\_node คือ โหนดที่มีพิกัดเชิงภูมิศาสตร์ของ  $N$

Non\_Terminal\_node คือ โหนดที่เชื่อมต่อกับ โหนด  $N$  ที่ไม่ได้เป็นเทอร์มินอลโหนด แบ่งเป็น โหนด  $c$ , กับ  $c_2$

ขั้นที่ 3 เป็นการคำนวณหาเส้นที่เป็นเส้นที่เชื่อมระหว่างโหนดทุกๆ โหนดซึ่งเรียกเส้นนั้นว่า Comb\_line โดยมีหลักการคือต้องกำหนดโหนดเริ่มต้นสำหรับการสโตรคสมมติให้เริ่มสโตรคที่  $c$ , ของ TEE\_Node เรียกโหนดนั้นว่า Comb\_node ดังนั้นการพิจารณาคือการเปรียบเทียบความเท่ากันของตำแหน่งของโหนดถัดไปที่มาเชื่อมต่อกับ Comb\_node



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างโครงสร้างรูปแบบหวีที่มีทิศทางกำหนดทิศเริ่มต้นที่โหนด  $c$ ,

ในรูปที่ 4.2 เป็นตัวอย่างโครงสร้างรูปแบบหวี พิจารณาการค้นหา Comb\_line โดยเริ่มจากการคำนวณเริ่มต้นที่โหนด  $N$ , เพราะทิศทางที่ถูกกำหนดคือเริ่มจากโหนด  $c$ , สำหรับ ขั้นตอนในการค้นหาค่ารวมได้จากการพิจารณาพิกัดของโหนด  $N_2$  เปรียบเทียบกับพิกัดของโหนด  $c_2$  ของโหนด  $N$ , ซึ่งจากการคำนวณรูปที่ 4.2 พบว่า

พิกัดของโหนด  $c_2$  ของ  $N_1 =$  พิกัดของโหนด  $N_2$

พิกัดของโหนด  $c_2$  ของ  $N_2 =$  พิกัดของโหนด  $N_3$

พิกัดของโหนด  $c_2$  ของ  $N_3 =$  พิกัดของโหนด  $N_4$

ดังนั้นโครงข่ายถนนที่บริเวณ โหนด  $N_1, N_2, N_3, N_4$  จัดเป็นโครงข่ายแบบโครงสร้างแบบหวี โดยที่ Comb line ตัดผ่านโหนด  $N_1, N_2, N_3, N_4$

ลักษณะโครงสร้างรูปแบบหวีเป็นโครงสร้างที่พบได้บ่อยบนถนนในเมืองที่ประกอบด้วยซอยเล็กๆ นอกจากนี้ยังพบกับบริเวณถนนทางหลวงซึ่งอาจนำโครงสร้างลักษณะนี้ไปวิเคราะห์บนถนนทางหลวงในโครงข่ายถนนได้ นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะอื่นได้ เช่น การนำไปประกอบกับแอปพลิเคชันสำหรับการค้นหาเส้นทางโดยตรวจสอบจากชนิดของทางแยก

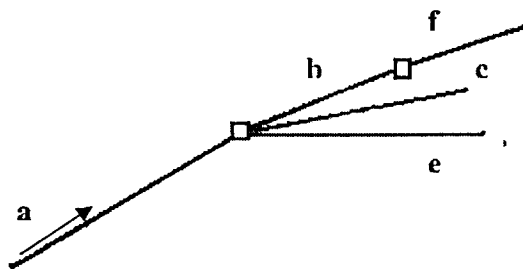
ข้อจำกัดของโครงสร้างรูปแบบหวี คือเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งอ้างอิงอยู่บนขอบเขตชนิดของทางแยกที่เชื่อมต่อกันในโครงข่ายทำให้ในการนำไปวิเคราะห์ประยุกต์ต่างๆสามารถทำได้

น้อยแต่ก็ถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการนำไปประยุกต์ออกแบบการวิเคราะห์โครงข่ายที่อ้างอิงจากลักษณะทางแยกได้

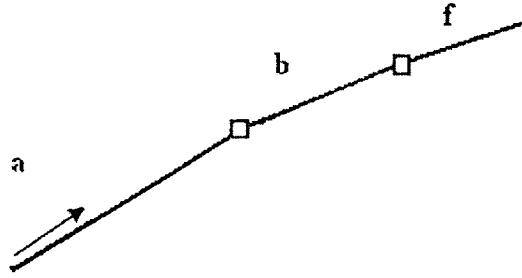
#### 4.2.2 โครงสร้างรูปแบบสโตรค (Stroke Structure)

โครงสร้างรูปแบบสโตรค เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการประยุกต์ใช้โครงสร้างรูปแบบอินเตอร์เซกชัน โดยมีกำหนดทิศทางให้กับเส้นทาง โดยในงานวิจัยนี้ออกแบบโครงสร้างที่ใช้หาความเชื่อมต่อของเส้นของแต่ละทางแยกโดยการพิจารณาจากค่าผลต่างของมุมที่น้อยที่สุดของเองที่อยู่ติดกัน สำหรับประโยชน์ของโครงสร้างรูปแบบสโตรค ขึ้นอยู่กับความต้องการของแอปพลิเคชันที่นำมาประยุกต์ใช้ สำหรับขั้นตอนการทำงานคือการสโตรคไปตามเองโดยดูจากค่าผลต่างของมุมที่น้อยที่สุด กล่าวคือเลือกเองขึ้นมาเองหนึ่งแล้วพิจารณาเองนั้นกับเองอันอื่นที่อยู่ติดกันที่มีผลต่างของมุมน้อยสุด ยกตัวอย่างรูปที่ 4.3 เริ่มต้นเส้นทางที่เอง a แล้วทำการเก็บเองที่มีความมุมเล็กที่สุดที่อยู่ติดกับเอง a ซึ่งตามหลักการแล้วเส้นที่ได้จากการสโตรคประกอบด้วยเอง a, b, f ดังรูปที่ 4.4

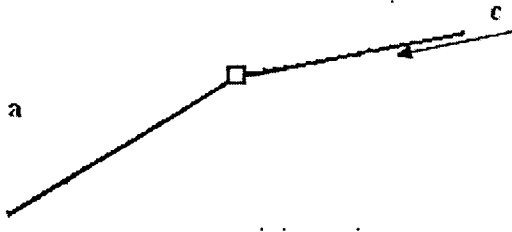
ดังนั้นเส้นสโตรคคือการค้นหาเส้นที่เกิดจากเชื่อมต่อของเองที่เรียงต่อกันที่มีผลต่างของมุมที่เกิดบริเวณแยกน้อยที่สุด และสำหรับเส้นสโตรคที่ติดนั้น ไม่เพียงแต่ตัดสินใจเลือกมุมที่เกิดระหว่างเองเส้นสุดท้ายกับเองเส้นใหม่ที่อยู่ติดกันเท่านั้นแต่ต้องตัดสินใจพิจารณาจากมุมที่เกิดขึ้นระหว่างเองแรกและเองสุดท้ายของการสโตรคด้วยและในการตัดสินใจเลือกทิศทางของการสโตรคเริ่มต้นนั้น ยกตัวอย่างในรูปที่ 4.3 สมมติว่าเริ่มสโตรคจากเอง 'a' แล้วเลือกเอง 'b' แทนที่จะเลือกเอง 'c' หรือ 'e' เพราะว่ามีมุมที่เกิดขึ้นของทั้งกลุ่มมากกว่าเอง 'b' ดังนั้น สโตรคที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 แต่จากข้างต้นทิศทางการสโตรคจะเป็นไปในทิศทางไหนย่อมขึ้นอยู่กับการเลือกสโตรคเริ่มต้น ด้วยเหตุนี้รูปที่ 4.4 ถ้าเลือกสโตรคเริ่มต้นเริ่มที่เอง 'c' แล้วค่าที่ได้จากการสโตรคคือเองที่มีการรวม 'c' และ 'a' ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งทำให้เกิดความกำกวมของเส้นสโตรคดังนั้นจึงต้องมีการรวมคุณลักษณะชื่อของถนนเพิ่มเข้าไปในการพิจารณาเพื่อไม่ให้เกิดเส้นสโตรคที่ซ้อนกันและขั้นตอนต่อไปก็คือขั้นของการจัดกลุ่มของสโตรคเพื่อเลือกเส้นสโตรคที่นำขึ้นมาแสดงบนโครงข่ายถนนซึ่งในการตัดสินใจสำหรับการจัดกลุ่มของสโตรคขึ้นอยู่กับความต้องการของแอปพลิเคชันที่ต้องการจะให้เป็น ซึ่งในงานวิจัยนี้วัดจากความยาวของเส้นที่ยาวที่สุดเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก ดังนั้น สโตรคที่เกิดขึ้นคือเส้นที่มีความยาวมากที่สุดในโครงข่ายถนน



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการค้นหาเส้นสโตรคที่เริ่มต้นที่เอง a



รูปที่ 4.4 ผลของการค้นหาโครงสร้างรูปแบบสโตรคในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.5 ความกำกวมที่เกิดจากการเลือกเองเริ่มต้นในการสโตรค

#### 4.2.3 โครงสร้างรูปแบบกริด (Grid Structure)

โครงสร้างรูปแบบกริดประกอบด้วยเซตของส่วนของถนนที่อินเตอร์เซกกันสองเซตที่ตั้งฉากกันหรือโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมต่อกันไปในโครงข่าย ดังนั้นในการค้นหาเครือข่ายของโครงสร้างแบบกริด คือการค้นหาเส้นสองเส้นที่วางตัวคู่ขนานกันไปตามลำดับ โดยที่เซตของเส้นที่คู่ขนานกันไปต้องเป็นเส้นที่มีขนาดความยาวและขนาดพื้นที่ ที่เหมาะสมกัน

ในงานวิจัยนี้นำเสนอ โครงสร้างรูปแบบกริดโดยพิจารณาจากโหนดที่มีดีกรี 4 แบบ CRS แล้วนำไปเข้าอัลกอริทึมสำหรับการหาโครงสร้างแบบกริดซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกข้อมูลของโหนดที่มีดีกรีสี่ประเภท CRS

กำหนดให้  $Cr$  ใช้แทนเซตของโหนดที่มีรูปร่างแบบ CRS

$$Cr = \{cr_1, cr_2, cr_3, \dots, cr_n\}$$

$$cr_i = \{(c_1, c_2, c_3, c_4, N_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

$N$  คือ อินเตอร์เซกชันโหนดที่มีรูปร่างแบบ CRS

$c_1, c_2, c_3, c_4$  คือ โหนดข้างเคียงเชื่อมต่อกับโหนด  $N$

ขั้นที่ 2 คำนวณหากริดในโครงข่ายถนนที่เชื่อมต่อกับ  $N$  กล่าวคือการคำนวณหาเส้นรอบรูปปิดหรือกริดในโครงข่ายถนนที่มีสมาชิกภายในเป็น  $N$  อย่างน้อย 1 โหนด

กำหนดให้  $PG$  คือเซตของกริดที่เชื่อมต่อกับ CRS node

$$PG = \{pg_1, pg_2, pg_3, \dots, pg_n\}$$

ในรูปที่ 4.6 แสดงกริดทั้งหมดในโครงข่ายถนนที่เชื่อมต่อกับโหนดที่มีรูปร่างแบบ CRS ขั้นที่ 3 จัดกลุ่มของกริดในโครงข่ายโดยพิจารณาจากขนาดของพื้นที่และความยาวรอบรูปกริด โดยในงานวิจัยกำหนดให้ค่าความต่างของความยาวรอบรูปกริดที่น้อยกว่า 0.2 เท่าของกริดที่เป็นตัวเปรียบเทียบจัดเป็นกริดในกลุ่มเดียวกันแสดงได้ดังสมการที่ (4.1)

$$|length(pg_1) - length(pg_2)| < 0.2 * length(pg_1) \quad (4.1)$$

ขนาดของพื้นที่กริดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.2)

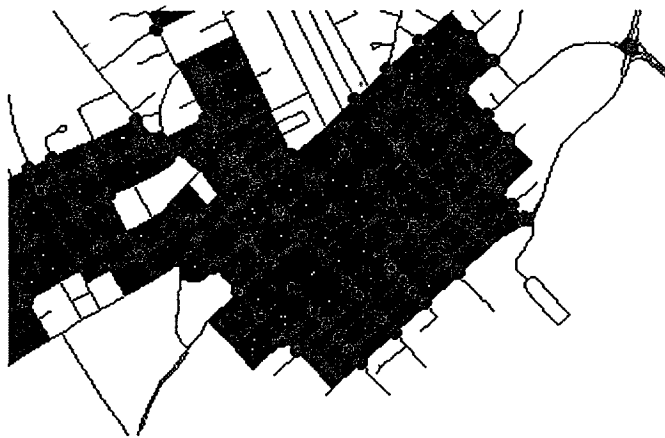
$$|0.5 * (area(pg_1) - area(pg_2))| < 0.4 * area(pg_1) \quad (4.2)$$

ขั้นที่ 4 พิจารณาความเป็นโครงสร้างรูปแบบกริดไปในกริดแต่ละกลุ่ม โดยเลือกกริดเริ่มต้นสำหรับการค้นหาหาหนึ่งกริดที่มีสมาชิกในเองใดเองหนึ่งมีสมาชิกโหนดที่มีรูปร่างแบบ CRS แล้วค้นหากริดที่อยู่ติดกับกริดนั้น ได้จากการพิจารณาเองของ CRS ที่เชื่อมต่อกันของสองกริดซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดง เองที่เชื่อมต่อระหว่างกริด  $pg_1$  และ  $pg_2$

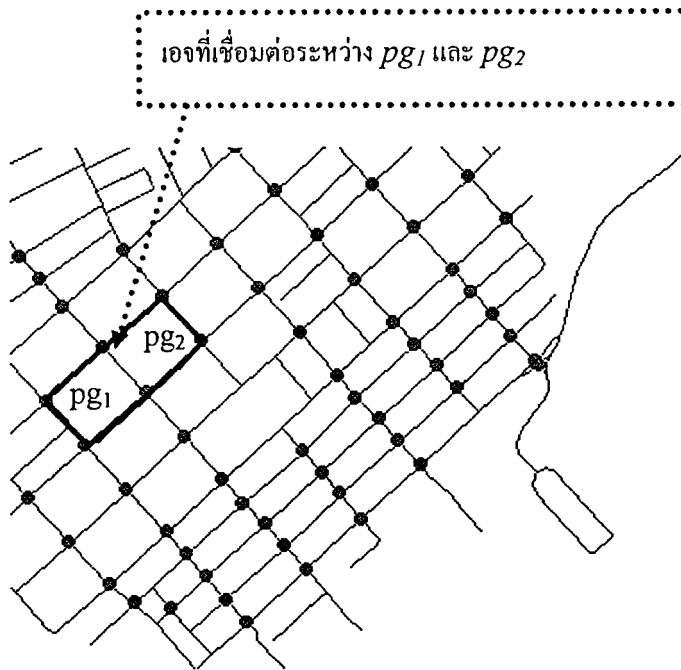
ขั้นที่ 5 นำกริดที่ได้จากขั้นที่ 4 ไปเข้าฟังก์ชัน convexhull (geometry) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้คำนวณหาเส้นรอบรูปของกลุ่มกริด แล้วพิจารณาเองที่เป็นสมาชิกของขอบของกลุ่มกริดไปค้นหากริดชั้นถัดไปจนไม่มีกริดสำหรับนำมาพิจารณา

ฟังก์ชัน convexhull (geometry) คือฟังก์ชันที่ใช้คำนวณหากรอบของกริด โดยฟังก์ชันคำนวณแล้วรีเทิร์นค่าโหนดทุกโหนดที่เป็นขอบของกริด

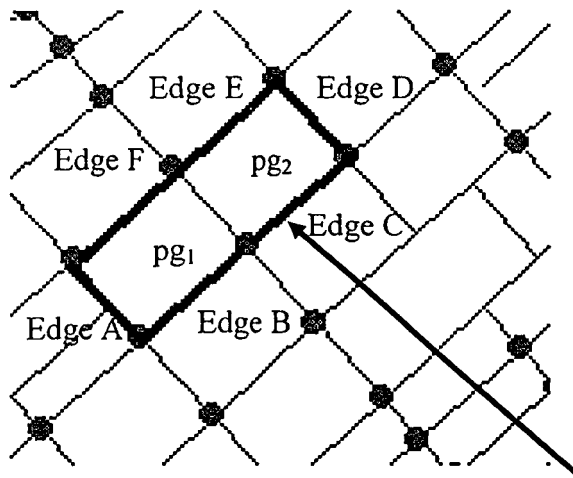
ในรูปที่ 4.8 แสดงเส้นรอบรูปที่ได้จากการรวมกันของกริด  $pg_1$  และ  $pg_2$  ซึ่งภายในประกอบด้วยโหนดที่เกิดจาก เอง A, B, C, D, E และ F และในรูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างรูปแบบกริดที่ได้จากขบวนการค้นหาทั้ง 5 ขั้นตอน



รูปที่ 4.6 กลุ่มของกริดในโครงข่ายถนนที่เชื่อมต่อกับโหนดที่มีรูปร่างแบบ CRS

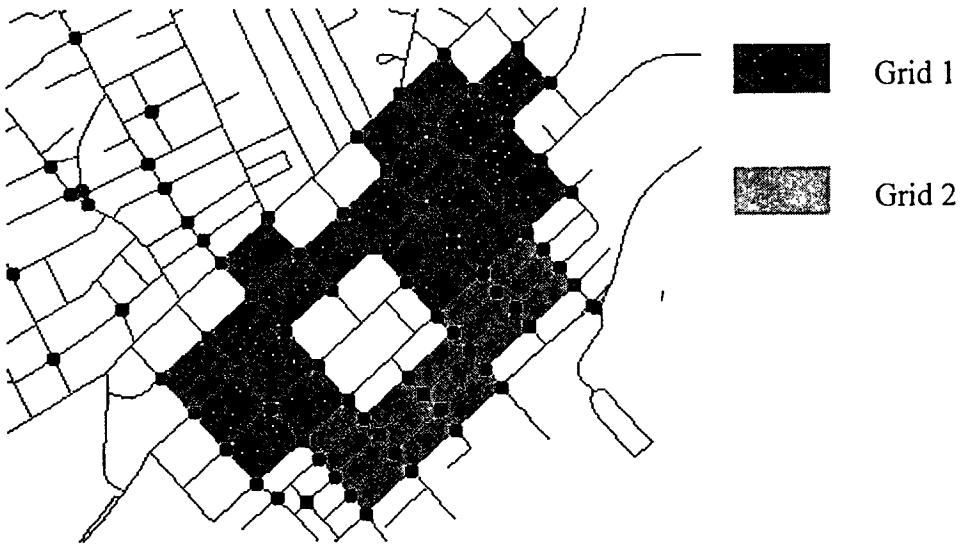


รูปที่ 4.7 การค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดโดยพิจารณาจากเอจของ CRS ที่เชื่อมต่อระหว่างกริด



เส้นรอบรูปกริดที่เกิดจาก ฟังก์ชัน `convexhull()`

รูปที่ 4.8 เส้นรอบรูปที่ได้จากการรวมกริด  $pg_1$  และ  $pg_2$  ด้วยฟังก์ชัน `convexhull()`



รูปที่ 4.9 ผลการค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดจากตัวอย่างในรูปที่ 4.6

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงสามส่วนคือส่วนแรกเป็นส่วนสภาพแวดล้อมการทดลองเป็นการบอกคุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้ทดลองรวมถึงสาเหตุที่ใช้ ส่วนที่สองเป็นส่วนชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นการนำเสนอคุณสมบัติของชุดข้อมูลแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดลอง และส่วนที่สามเป็นส่วนของการทดลองและวิเคราะห์ผลซึ่งแบ่งเป็นสามส่วนการทดลองในการทดลองที่หนึ่งทำเพื่อทดสอบกระบวนการความถูกต้องของการทำงานที่ได้จากการออกแบบในงานวิจัย และในการทดลองที่สองเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาทดลองกับข้อมูลจริงหลังจากที่มั่นใจกับการทำงานของส่วนแรก โดยในการทดลองส่วนแรกเป็นการกำหนดคุณสมบัติของข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ส่วนที่สองเป็นการทำการทดลองเพื่อหาความถูกต้องของของชนิดและรูปร่างของข้อมูลของทางแยกและทางโค้งโดยมีจุดประสงค์เพื่อประเมินผลการค้นหาทางแยกและทางโค้งก่อนที่จะนำไปใช้วิเคราะห์โครงข่ายถนน และการทดลองส่วนที่สามเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในส่วนแรกไปใช้ทดลองจริงกับโครงข่ายถนนที่ถูกจัดเก็บไว้สำหรับรูปร่างทางแยกที่นำไปใช้ในการประยุกต์กับรูปแบบโครงข่ายถนน คือ สามแยกแบบ TEE และ FRK กับสี่แยกแบบ CRS

#### 5.1 สภาพแวดล้อมการทดลอง

##### 5.1.1 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้มีการพิจารณาความยาวของเส้นถนนจึงใช้ข้อมูลที่ใช้ระบบแปลงค่า Cylindrical Projections ที่เป็นแบบ Universal Transvers Mercator (UTM) ซึ่งพิกัดที่ได้เกิดจากการตัดกันของระบบเส้นตรงที่ขนานกันโดยการตัดกันทำให้เกิดเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาดเท่ากันทั้งหมดโดยแบ่งพื้นผิวของโลกออกเป็น 60 โซนและหน่วยวัดระยะทางที่ใช้ในระบบ UTM มีหน่วยเป็นระบบเมตริก ดังนั้นการวัดระยะทางสามารถวัดได้โดยตรงไม่ต้องแปลงจากมุมมาเป็นเมตร นอกจากนี้ระบบแปลงค่าแบบ UTM มีการแบ่งโซนของพื้นผิวโลกทำให้การแปลงค่าไปตามแนวแกนอนและแกนตั้งมีค่าความผิดพลาดน้อยเพราะการแปลงค่าคิดจากจุดศูนย์กลางของโซนแต่ละโซนและสำหรับ datum ที่นำมาใช้ในงานวิจัยคือ WGS-84 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลรูปแบบหนึ่งที่ครอบคลุมการใช้งานทั่วโลก

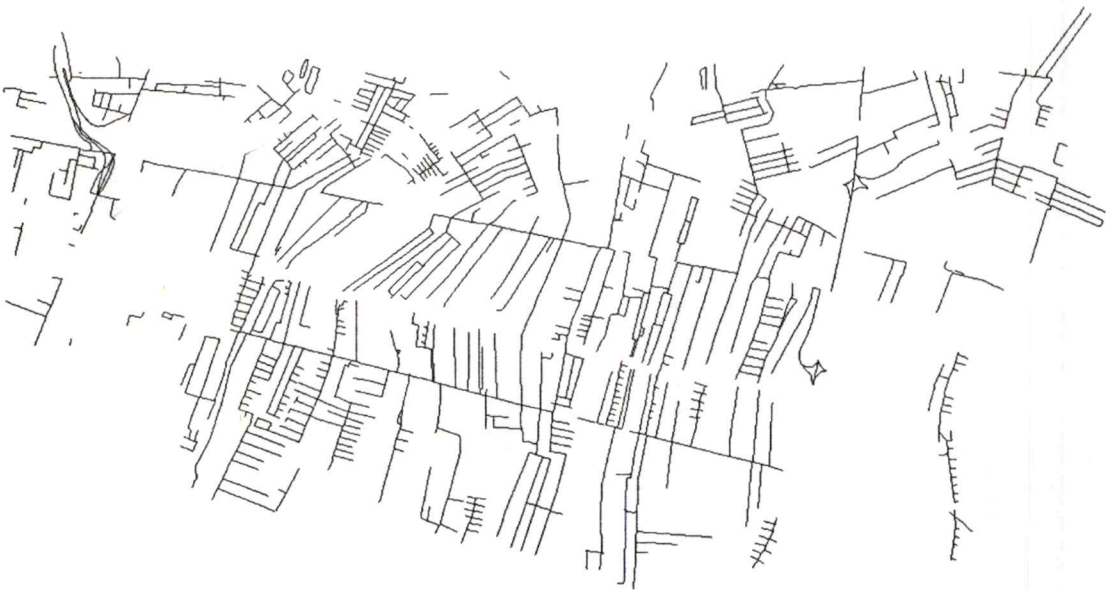
งานวิจัยนี้ทำการทดลองกับฐานข้อมูลแผนที่ถนน 3 ฐานข้อมูลคือ

1. ฐานข้อมูลแผนที่ถนนของประเทศแคนาดาที่มีข้อมูลถนนทั้งสิ้น 15,685 เรคคอร์ด ภาพแผนที่โครงข่ายถนนในฐานข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ที่มาของข้อมูลมาจาก Canadian Council on Geomatics (<http://www.geobase.ca/geobase/en/index.html>)



รูปที่ 5.1 รูปแผนที่โครงข่ายถนนจากฐานข้อมูลที่ 1 (ถนนสายหลักของประเทศแคนาดา)

2. ฐานข้อมูลแผนที่ถนนบริเวณเขตบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร ของประเทศไทยมีข้อมูลถนนทั้งสิ้น 1,795 เรคคอร์ด ภาพแผนที่โครงข่ายถนนในฐานข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ไม่ปรากฏที่มาของข้อมูลที่แน่ชัด



รูปที่ 5.2 รูปแผนที่โครงข่ายถนนจากฐานข้อมูลที่ 2 (ถนนในเขตบางนา กรุงเทพมหานคร)

## 5.2 ชุดข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้แบ่งข้อมูลที่มีออกเป็น 3 ชุด

ข้อมูลชุดที่ 1 คือข้อมูลตัวอย่างที่ทราบถึงประเภทและตำแหน่งของโหนด ข้อมูลชุดนี้เลือกมาจากฐานข้อมูลทั้งสองที่กล่าวถึงในหัวข้อ 5.1 ซึ่งข้อมูลเป็นดังนี้

ประเภทข้อมูล	จำนวน
Intersection node	600
terminal node	400
ทางโค้ง	150

ข้อมูลชุดที่ 2 คือข้อมูลตัวอย่างที่ทราบถึงรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง ข้อมูลชุดนี้ได้จากการสุ่มข้อมูลโดยมีรายละเอียดข้อมูลเป็นดังนี้

ประเภทข้อมูล	จำนวน
1. สามแยก	90
1.1) TEE	30
1.2) FRK	30
1.3) ARW	30
2. สี่แยก	60
2.1) CRS	30
2.2) OTH	30
3. แยกประเภทอื่น	30
4. ทางโค้ง	120
4.1) โค้งมุมแหลม	30
4.2) โค้งมุมฉาก	30
4.3) โค้งมุมป้าน	30
4.4) ทางตรง	30

ข้อมูลชุดที่ 3 คือ ข้อมูลในฐานข้อมูลถนนที่ไม่ได้ถูกใช้ในข้อมูลชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2

### 5.3 การทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 คือการทดลองเพื่อค้นหาตำแหน่งและระบุประเภทของทางแยกและทางโค้ง ส่วนที่ 2 คือการทดลองเพื่อจำแนกรูปร่างทางแยกและทางโค้ง และส่วนที่ 3 คือการประยุกต์เพื่อหารูปแบบโครงข่ายถนน

#### 5.3.1 การทดลองส่วนที่ 1 การค้นหาตำแหน่งและระบุประเภทของทางแยกและทางโค้ง

##### 1. การค้นหาตำแหน่งทางแยกและทางโค้ง

###### การทดลองที่ 1

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งทางแยกและทางโค้ง

ข้อมูลที่ใช้ ข้อมูลตัวอย่างในชุดที่ 1

ผลการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ชนิดของเส้นถนน	จำนวนข้อมูลที่ ที่ใช้ทดลอง	จำนวนข้อมูลที่ระบุได้	ความถูกต้องในการ ระบุตำแหน่ง (%)
ทางแยก (intersection node)	600	600	100
จุดปลายถนน (terminal node)	400	400	100
ทางโค้ง (curve)	150	150	100

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากข้อมูลตัวอย่าง

ผลการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าสามารถค้นหาและระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งในชุดข้อมูลตัวอย่างได้อย่างถูกต้องครบถ้วนคิดเป็นความถูกต้อง 100 %

###### การทดลองที่ 2

วัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาและระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้ง

ข้อมูลที่ใช้ ฐานข้อมูลที่ 1 และ 2 ในข้อมูลชุดที่ 3

ผลการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 5.2 และ ตารางที่ 5.3

ชนิดของเส้นถนน	จำนวนข้อมูลที่ระบุได้
ทางแยก (intersection node)	6,846
จุดปลายถนน (terminal node)	2,207
ทางโค้ง (curve)	13,478

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 1

ชนิดของเส้นถนน	จำนวนข้อมูลที่ระบุได้
ทางแยก (intersection node)	514
จุดปลายถนน (terminal node)	190
ทางโค้ง(curve)	1,795

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 2

ในตารางที่ 5.2 ซึ่งเป็นข้อมูลถนนสายหลักของประเทศแคนาดาพบว่าจำนวนทางแยกเท่ากับ 6,846 ทางแยกและจุดปลายถนนเท่ากับ 2,207 จุดและทางโค้งมีจำนวนเท่ากับ 13,478 โค้ง ส่วนตารางที่ 5.3 แสดงผลการค้นหาทางแยกบนถนนในเขตบางนาพบว่าจำนวนทางแยกเท่ากับ 514 โหนดและจุดปลายถนนเท่ากับ 190 โหนด และทางโค้งมีจำนวนเท่ากับ 1,795 โค้ง

## 2. การระบุประเภทของทางแยกและทางโค้ง

### การทดลองที่ 3

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความถูกต้องของการระบุประเภททางแยกและทางโค้ง

ข้อมูลที่ใช้ ข้อมูลตัวอย่างในชุดที่ 2

ผลการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ชนิดของเส้นถนน	จำนวนข้อมูลที่ ที่ใช้ทดลอง	จำนวนข้อมูลที่ระบุได้	ความถูกต้องในการ ระบุตำแหน่ง (%)
สามแยก	90	90	100
สี่แยก	60	60	100
แยกประเภทอื่น	30	30	100
ทางโค้ง	90	90	100
ทางตรง	30	30	100

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองในการระบุตำแหน่งของทางแยกและทางโค้งจากข้อมูลตัวอย่าง

ผลการทดลองที่ 3 จะเห็นได้ว่าเป็นการระบุประเภทของทางแยกและทางโค้งในชุดข้อมูลตัวอย่างได้อย่างถูกต้องครบถ้วนคิดเป็นความถูกต้อง 100 %

### การทดลองที่ 4

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความถูกต้องของการระบุประเภททางแยกและทางโค้ง

ข้อมูลที่ใช้ ฐานข้อมูลที่ 1 และ 2 ในข้อมูลชุดที่ 3

ผลการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 5.5 และ ตารางที่ 5.6

ชนิดของเส้นถนน	จำนวนข้อมูลที่ระบุได้
สามแยก	6,069
สี่แยก	772
แยกประเภทอื่น	5
ทางโค้ง	3,796
ทางตรง	9,682

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองในการระบุประเภทของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 1

ชนิดของเส้นถนน	จำนวนข้อมูลที่ระบุได้
สามแยก	451
สี่แยก	63
แยกประเภทอื่น	0
ทางโค้ง	4
ทางตรง	1,791

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองในการระบุประเภทของทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 2

เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุตำแหน่งของทางแยกและจุดปลายถนนได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงระบุประเภททางแยกได้โดยคิดจากคิกรีของโหนดทางแยก

ข้อมูลถนนสายหลักของประเทศแคนาดา มีสามแยกจำนวน 6,069 แยก สี่แยกจำนวน 772 แยก และแยกประเภทอื่นจำนวน 5 แยก สำหรับแยกประเภทอื่นที่ค้นพบทั้ง 5 แยกเป็นโหนดทางแยกที่มีคิกรีเท่ากับ 5 ซึ่งคือห้าแยก ในทางโค้งค้นพบทั้งหมด 3,796 โค้ง และทางตรงจำนวน 9,682 ทางตรง ดังในตารางที่ 5.5

ข้อมูลถนนในเขตบางนาประกอบด้วยสามแยกจำนวน 451 แยก และ สี่แยกจำนวน 63 แยก แยกประเภทอื่นจำนวน 0 แยก ในทางโค้งค้นพบทั้งหมด 4 โค้ง และทางตรงจำนวน 1,791 ทางตรง ดังในตารางที่ 5.6

### 5.3.2 การทดลองส่วนที่ 2 การจำแนกรูปร่างของทางแยกและทางโค้ง

#### การทดลองที่ 5

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบการจำแนกรูปร่างของทางแยกและทางโค้งด้วยสายตากับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ความยาวแขนที่เหมาะสมสำหรับการทดลองที่ 4

### ข้อมูลที่ใช้ ข้อมูลตัวอย่างในชุดข้อมูลที่ 2

**วิธีการ** ใช้แบบสอบถามโดยมีแบบสอบถาม 10 ชุดที่แตกต่างกัน แต่ละชุดมี 5 ฉบับ รวมมีแบบสอบถามทั้งสิ้น 50 ฉบับ ในแบบสอบถามแต่ละชุดมีรูปทั้งหมด 24 รูป เป็นรูปทางแยกและทางโค้งทั้งหมด 8 รูปร่าง รูปร่างละ 3 รูปโดยเฉลี่ย ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นบุคคลทั่วไปและนักศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จำนวนรวม 50 คน สำหรับตัวอย่างแบบสอบถามแสดงอยู่ในส่วนภาคผนวก ก. การประมวลผลแบบสอบถามเทียบกับผลจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ความยาวแขนตั้งแต่ 250 เมตรถึง 2,500 เมตร โดยเปลี่ยนค่าเพิ่มขึ้นครั้งละ 250 เมตร

**ผลการทดลอง** เป็นการทดลองเปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมด 1,200 ข้อมูล พบว่าผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ความยาวแขน ของแยก (เมตร)	จำนวนทางแยกทางโค้งที่ระบุรูปร่างไม่ตรงกับผลจากแบบสอบถาม							
	ทางแยก					ทางโค้ง		
	TEE (145)*	FRK (150)*	ARW (140)*	CRS (155)*	OTH (160)*	โค้ง มุม แหลม (145)*	โค้ง มุม ฉาก (165)*	โค้ง มุม ป้าน (140)*
250	5	9	7	1	8	3	8	5
500	5	8	7	1	6	1	5	1
750	3	5	4	1	7	1	3	1
1,000	1	2	1	1	3	1	3	2
1,250	1	2	1	1	3	1	3	1
1,500	1	3	1	1	3	1	3	1
1,750	1	3	1	3	4	2	3	2
2,000	2	4	3	2	3	2	4	3
2,250	2	4	3	3	4	3	4	2
2,500	3	5	5	3	5	3	5	4

\* คือจำนวนทางแยกและทางโค้งที่นำมาพิจารณา

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงผลการระบุรูปร่างทางแยกและทางโค้งที่ความยาวแขนต่างๆ เมื่อเทียบกับผลจากแบบสอบถาม

จากการทดลองที่ 5 ข้อมูลทางแยกและทางโค้งที่ได้จากการตอบแบบสอบถามซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 1,200 ข้อมูล รูปแบบทางแยกและทางโค้งเท่ากับ 240 แบบ โดยผลกระทบในการวิเคราะห์รูปร่างแยกเปรียบเทียบกับความยาวแขนของแยก จากการทดลองพบว่าความยาวของเส้นประกอบแยกที่ระยะ 250 เมตร มีความผิดพลาดค่อนข้างสูง และเมื่อเพิ่มความยาวแขนของแยกเป็น 500 ไปจนถึง 2,500 เมตร พบว่าการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกมีความผิดพลาดน้อยลงและเพิ่มขึ้น ซึ่งความยาวแขนของแยกที่ให้ผลความถูกต้องในการวิเคราะห์ทางแยกสูงสุดคือ 1000 เมตร และ 1,250 เมตร ส่วนผลกระทบในการวิเคราะห์รูปร่างของโค้งเปรียบเทียบกับความยาวแขนของโค้ง จากการทดลองพบว่าความยาวแขนของแยกในระยะ 250 ถึง 2,500 เมตร มีความผิดพลาดในการวิเคราะห์รูปร่างทางแยกไม่มีระยะที่แน่นอน แต่ที่ระยะ 250 เมตรทางโค้งที่มีมีการระบุความผิดพลาดค่อนข้างสูงซึ่งความยาวแขนของโค้งที่ให้ผลความถูกต้องค่อนข้างสูงในการวิเคราะห์ทางโค้งอยู่ในช่วงความยาวเท่ากับ 750 เมตรถึง 1,500 เมตร

การทดลองในการพิจารณาความยาวของแขนที่ทำให้ผลความผิดพลาดในการระบุรูปร่างน้อยที่สุดพบว่าความยาวแขนที่มีความยาวของแขนเท่ากับ 1,250 เมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้กำหนดระยะทาง 1,250 เมตร เป็นความยาวของแขนที่เหมาะสมสำหรับการระบุรูปร่างของแยกและทางโค้งในฐานะข้อมูลที่ 1 ดังนั้น ผลของแบบสอบถามที่ระบุตรงกับแนวคิดในงานวิจัยนี้คือมีความยาวแขนเท่ากับ 1,250 เมตรซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 98.93 %

#### การทดลองที่ 6

วัตถุประสงค์ เพื่อจำแนกประเภททางแยกและทางโค้ง

ข้อมูลที่ใช้ ฐานข้อมูลที่ 1 ในข้อมูลชุดที่ 3

ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 5.8 และ ตารางที่ 5.9

ชนิดของแยก	รูปร่างของแยก	จำนวนของรูปร่างที่วิเคราะห์ได้
สามแยก	TEE	2,921
	FRK	2,878
	ARW	270
สี่แยก	CRS	754
	OTH	18
ทางโค้ง	โค้งมุมแหลม	57
	โค้งมุมฉาก	2,391
	โค้งมุมป้าน	1,348

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงการจำแนกรูปร่างทางแยกและทางโค้งจากฐานข้อมูลที่ 1

ในตารางที่ 5.8 พบว่าสามารถจำแนกรูปร่างของสามแยกแบบ TEE ได้เท่ากับ 2,921 แยก และ สามแยกแบบ FRK ได้เท่ากับ 2,878 แยกและสามแยกแบบ ARW ได้เท่ากับ 270 แยก สำหรับการจำแนกรูปร่างของสี่แยกสามารถระบุสี่แยกแบบ CRS ได้เท่ากับ 754 แยกและ สี่แยกแบบ OTH ได้เท่ากับ 18 แยก ส่วนการระบุทางโค้งพบว่ามียี่โค้งมุมแหลมเท่ากับ 57 โค้ง โค้งมุมฉากเท่ากับ 2,391 โค้ง โค้งมุมป้านเท่ากับ 1,348 โค้ง

จากการทดลองที่ 6 พบว่ามีสามแยกแบบ ARW และ สี่แยกแบบ OTH ในโครงข่ายถนนเป็นจำนวนน้อยและพบว่าสามแยกแบบ FRK ส่วนใหญ่เป็นสามแยกที่อยู่บนถนนสายหลักของโครงข่ายถนน สำหรับสามแยกแบบ TEE และ สี่แยกแบบ CRS มักพบบริเวณถนนในเมืองของโครงข่ายถนนหรือบริเวณที่มีความหนาแน่นของการจราจร

### 5.3.3 การทดลองส่วนที่ 3 การประยุกต์เพื่อหารูปแบบโครงข่ายถนน

ในส่วนนี้เป็นส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างของโครงข่ายถนน ซึ่งในงานวิจัยนี้วิเคราะห์โครงสร้างของโครงข่ายถนนไว้ 3 แบบ คือ โครงสร้างรูปแบบหวี โครงสร้างรูปแบบสโตรค และ โครงสร้างรูปแบบกริด

#### 5.3.3.1 โครงสร้างแบบหวี (Comb Structure)

การทดลองที่ 7

วัตถุประสงค์ ค้นหาโครงสร้างรูปแบบหวีในโครงข่ายถนน

ข้อมูลที่ใช้ ข้อมูลทางแยกจากฐานข้อมูลที่ 2

ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 โครงสร้างรูปแบบหวีที่ได้จากการค้นหาในฐานข้อมูลที่ 2

ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณหาโครงสร้างรูปแบบหวิพบว่าค้นหาโครงสร้างลักษณะนี้ได้ทั้งหมด 27 เส้นจากข้อมูลถนนในเขตบางนา จังหวัด กรุงเทพมหานคร ซึ่งลักษณะโครงสร้างแบบหวิ เป็นโครงสร้างถนนที่มักเป็นถนนสายเล็กๆในโครงข่ายถนนเช่น จากตัวอย่างเป็นข้อมูลถนนภายในซอยต่างๆในถนนในเขตบางนา

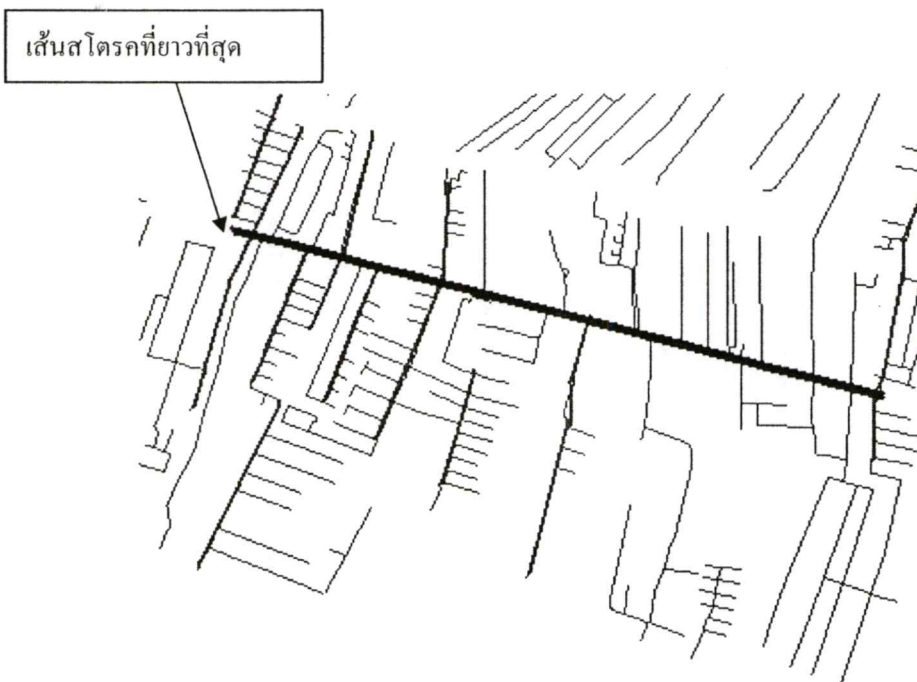
### 5.3.3.2 โครงสร้างรูปแบบสโตรค (Stroke Structure)

#### การทดลองที่ 8

วัตถุประสงค์ ค้นหาโครงสร้างรูปแบบสโตรคในโครงข่ายถนน

ข้อมูลที่ใช้ ข้อมูลทางแยกจากฐานข้อมูลที่ 2

ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ผลการค้นหาโครงสร้างรูปแบบสโตรคภายในถนนที่อยู่ในเขตบางนา

ในงานวิจัยนี้ทำการสโตรคโดยมีจุดประสงค์เพื่อหาถนนสายหลักที่มีเส้นสโตรคยาวที่สุดในงานวิจัยนี้ทดลองโดย ต้องการหาซอยที่ยาวที่สุดในถนนในเขตบางนาที่อยู่ในเขตบางนา ซึ่งผลต่างของมุมที่น้อยที่สุดของเองที่อยู่ติดกันไม่เกิน  $60^\circ$  จากผลการทดลองพบว่าซอย สุขุมวิท 105 เป็นถนนที่มีความยาวของถนนมากที่สุดซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.4

สำหรับข้อจำกัดของโครงสร้างแบบสโตรคคือต้องมีการเลือกเองเริ่มต้นดังนั้นถ้าเลือกเองเริ่มต้นสำหรับการค้นหาได้ไม่ดีย่อมมีผลทำให้การค้นหาเสียเวลาค่อนข้างสูง

### 5.3.3.3 โครงสร้างรูปแบบกริด (Grid)

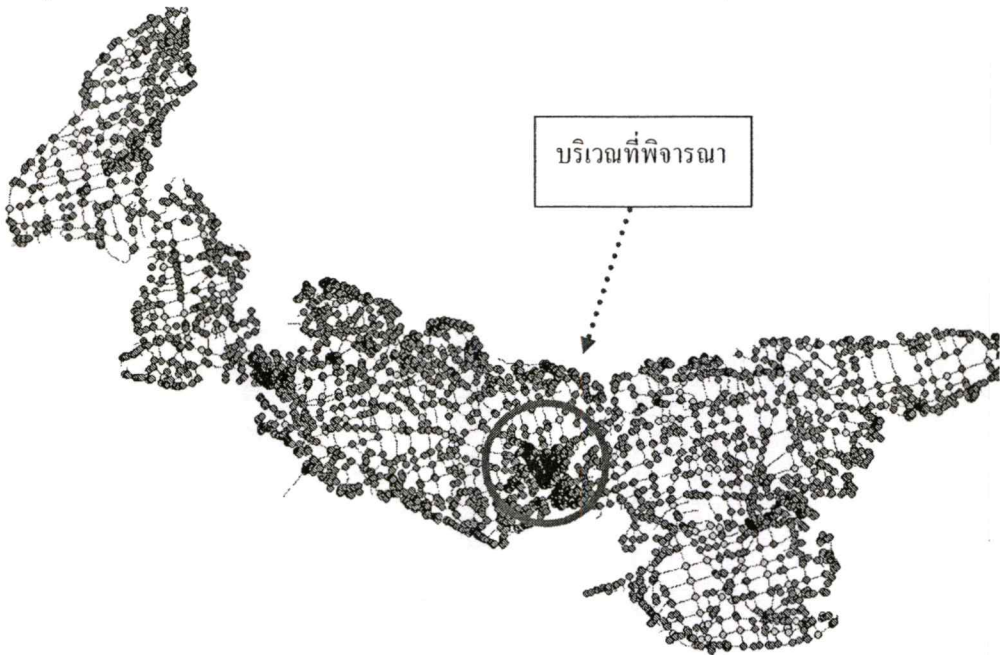
#### การทดลองที่ 9

วัตถุประสงค์ ค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดในโครงข่ายถนน

ข้อมูลที่ใช้ ข้อมูลสี่แยกจากฐานข้อมูลที่ 1

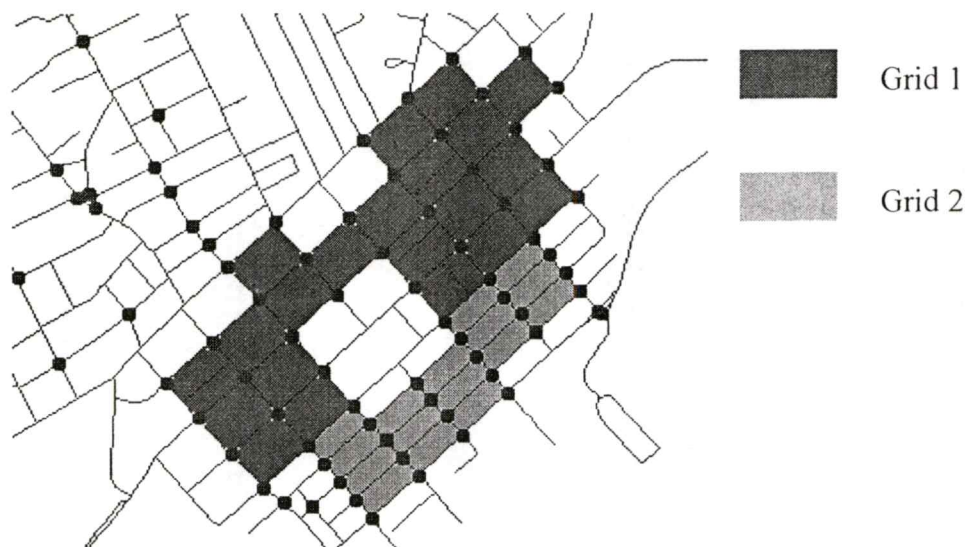
#### ผลการทดลอง

สำหรับการทดลองค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดทดลองกับข้อมูลถนนบางส่วนในฐานข้อมูลที่ 1 (ถนนสายหลักของประเทศแคนาดา) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.5



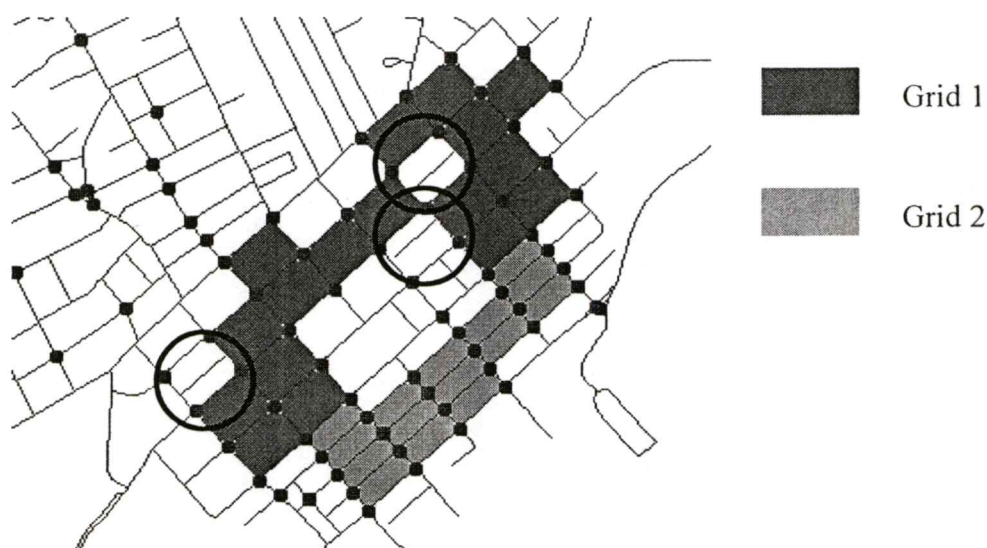
รูปที่ 5.5 ข้อมูลถนนบางส่วนในฐานข้อมูลที่ 1 ที่นำมาทดลองหาโครงสร้างแบบกริด

ในรูปที่ 5.5 เป็นข้อมูลถนนบางส่วนของประเทศแคนาดาที่นำมาค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดโดยลักษณะข้อมูลที่นำมาทดลองใช้วิธีการเลือกโดยเลือกพื้นที่ในแผนที่โดยเลือกบริเวณที่มีจำนวนแยกปริมาณมาก ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งประกอบด้วยกริด 2 แบบด้วยกัน โดย Grid 1 เป็นกลุ่มของกริดที่มีขนาดของกริดเท่ากับ 1,650 X 1,300 เมตร และ Grid 2 เป็นกลุ่มของกริดที่มีขนาดเท่ากับ 1,650 X 600 เมตร



รูปที่ 5.6 โครงสร้างรูปแบบกริดที่ได้จากการค้นหาในฐานข้อมูลที่ 1 เพียงบางส่วนที่นำมาพิจารณา

จากผลการทดลองที่ 9 พบว่าการจำแนกโครงสร้างแบบกริด โดยมีการออกแบบโครงสร้างโดยพิจารณาจากสี่แยกที่มีรูปร่าง CRS และในการจำแนกประเภทของกริดพิจารณาจากพื้นที่และความยาวรอบกริดเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ผลในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบกริดเกิดความกำกวมในบางกรณี ดังรูปที่ 5.7 มีกริดที่ซ้อนกันอยู่ในกลุ่มของ Grid 1 ทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับจัดกลุ่มของกริดอาจเกิดข้อผิดพลาดได้



รูปที่ 5.7 บริเวณกริดที่ทำให้เกิดความกำกวมสำหรับการค้นหาโครงสร้างรูปแบบกริดในงานวิจัย

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

ปัจจุบันนี้ข้อมูลโครงข่ายถนนนั้นเก็บอยู่ได้ในหลายรูปแบบและรูปแบบหนึ่งนั้นก็คือการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเวกเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการค้นหาและวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างโครงข่ายถนนโดยออกแบบมุมมองของข้อมูลไว้ 3 ระดับเพื่อสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเช่นในงานวิจัยมีการการนำรูปร่างและประเภทของทางแยกและทางโค้งซึ่งได้จากการออกแบบมาเพื่อช่วยสำหรับการวางแผนปักป้ายจราจรตามประเภทรูปร่างทางแยกและทางโค้ง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังนำเสนอรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายถนนซึ่งได้ออกแบบไว้ 3 แบบ คือ โครงสร้างรูปแบบหวี โครงสร้างรูปแบบสโตรค และโครงสร้างรูปแบบกริด ซึ่งจุดประสงค์ของการออกแบบโครงสร้างลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้กับแอปพลิเคชัน เช่น โครงสร้างรูปแบบสโตรคนำมาใช้ในการค้นหาเส้นทางที่ยาวที่สุดในโครงข่ายเพื่อไปประกอบการพิจารณากับปริมาตรรถที่วิ่งในถนน และอาจนำไปประยุกต์ใช้กับอัลกอริทึมสำหรับการติดตาม (tracking algorithm) เพื่อค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางได้ ส่วนโครงสร้างรูปแบบกริดออกแบบเพื่อค้นหาบริเวณที่เป็นโครงสร้างของถนนในเมืองที่ปรากฏในโครงข่ายถนน

#### 6.1 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบโครงสร้างของข้อมูลโดยใช้ข้อมูลเชิงเวกเตอร์มาแบ่งโครงสร้างเป็น 3 ระดับเพื่อทำการวิเคราะห์ค้นหาและจำแนกชนิดรูปร่างทางแยก และเพื่อไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของโครงข่ายถนน ซึ่งมีแนวทางในการพัฒนาต่อดังนี้

1. ในส่วนของโครงสร้างของข้อมูลที่แบ่งเป็น 3 ระดับยังสามารถนำไปพัฒนาต่อโดยสร้างตารางสำหรับเก็บทิศทางของถนนรวมถึงสร้างตารางสำหรับเก็บชนิดของป้ายจราจร เช่น U-turn เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาเพื่อนำไปช่วยวิเคราะห์โครงข่ายถนน
2. โครงสร้างรูปแบบกริด ที่นำเสนอในงานวิจัยที่นำเสนอไปยังมีข้อจำกัดในการค้นหากริดโดยต้องพิจารณาจากกริดที่เกิดจากโหนดแบบ CRS ทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างแบบกริดยังไม่ครอบคลุมทุกกรณี
3. นำโครงสร้างข้อมูลที่ได้ออกแบบไปวิเคราะห์กับโครงสร้างโครงข่ายถนนแบบอื่นๆ เช่น โครงสร้างรูปแบบสตาร์ (Star structure)
4. สามารถนำโครงสร้างที่ได้ออกแบบไปประกอบกับข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อวิเคราะห์บริเวณที่เกิดอุบัติเหตุได้ง่ายและทำการวางแผนสร้างป้ายจราจร

## บรรณานุกรม

- [1] Miller, H.J. and Shaw S.-L. , “Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications”, Oxford University Press, 2001.
- [2] Jiang J., Han H. and Chen J. , “Modeling turning restrictions in traffic network for vehicle navigation system”, IAPRS, 2002.
- [3] Peter Bogaert, Veerle Fack, Nico Van de Weghe, “On line graphs and road networks”, GISRUUK-Topology And Spatial Database, Glasgow, 2005.
- [4] Liu yuefeng, Xu Yiqin, Gui Zhiming, Zheng Jianghua and Qin shi ,“ Feature-based Two Level Structure Road Network Model For Navigation”, IEEE,2005.
- [5] B. Jiang, C. Claramunt, “A Structural Approach to the Model Generalisation of an Urban Street Network”, Geoinformatica: an International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Sweden, 2004
- [6] Go Koutaki,Keiichi Uchimura,Zhencheng Hu, “Road Updating From High Resolution Aerial Imagery Using Road Intersection Model”, ISPRS, Pitsanulok, Thailand, Nov 2004.
- [7] S.Gautama, A.Borghgraef ,“Detecting Change in Road Networks Using Continuous Relaxation Labeling”, In: Proc. ISPRS Workshop "High Resolution Mapping from Space 2003".
- [8] F.Heinzle,M.Sester, “Derivation Of Implicit Information From Spatial Data Sets With Data Mining”, In 20th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004.
- [9] S.Giordana, j.Peiro, S.Sherwin, “Merrifield Classification of Peripheral Distal By-Pass Geometries Obtained Via Reconstruction From MRI”, 55-60, ESAIM, 2002
- [10] Xie Feng, D. Leveinson,“ Measuring the Structure of Road Networks”, Geographical Analysis, 2006
- [11] Qingnian Zhang, “Modeling Structure and Patterns. in Road Network Generalization”, Workshop on Generalisation and Multiple Representation,Leicester UK,20-21 August,2004.
- [12] F.Heinzle, K-H.Anders,M.sester “Graph Based Approaches For Recognition Of Pattern And Implicit Information In Road Networks”, The International Cartographic Association(ICA-ACI), Spain,11-16 July 2005.

- [13] William A. Mackaness, Anne Ruas, L. Tiina Sarjakoski, "Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications", Chapter 12, 233-251, 2007
- [14] R. Thomson, D. Richardson, "The Good Continuation Principle of Perceptual Organization Applied to The Generalization of Road Networks", Proceedings of the 19th International Cartographic Conference, Ottawa, 1999
- [15] Omair Chaudhry, William Mackaness "Rural and Urban Road Network Generalisation Deriving 1:250,000 from OS MasterMap", XXII International Cartographic Conference (ICC2005), 2005.
- [16] Liao, Chung "A Fast Algorithm For Multilevel Thresholding", Journal of Information Science and Engineering, 17, 713-727.
- [17] Hough, Machine Analysis of Bubble Chamber Pictures, Proceeding of International Conference On High Energy Accelerators and Instrumentation, 1959
- [18] Brown, G. W., and Mood, "On Median Tests for Linear Hypotheses", in Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, CA: University of California Press, 159-166, 1951
- [19] Elizabeth J. Walters, Christopher H. Morrell, and Richard E Auer, "An Investigation Of The Median-Median Method Of Linear Regression", Joint Statistical Meetings - Section on Statistical Education, 2003.
- [20] Thitiwut Sillpapipat, Chutimet Srinilta, "Vector Data Processing to Detect and Classify Road Junction", IAIT2007, Thailand, 2007

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างแบบสอบถามเรื่องการจัดสรรงบประมาณรายจ่ายและทางโค้ง

## แบบสอบถาม

### การจำแนกรูปรางทางแยกและทางโค้ง

ประกอบงานวิจัยระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

เรื่อง การวิเคราะห์รูปแบบ โครงสร้างของโครงข่ายเส้นทางถนนและการประยุกต์ใช้งาน

โดย นายจตุตถุฒิ ศิลป์พัฒน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### วัตถุประสงค์

การจำแนกรูปรางทางแยกและทางโค้งเมื่อใช้ตาพิจารณา ซึ่งกำหนดรูปรางทางแยกและทางโค้งไว้ 8 รูปรางดังนี้

1. สามแยกรูปตัว T (TEE) เป็นลักษณะของสามแยกที่มีการวางตัวคล้ายตัวอักษร T ในภาษาอังกฤษ
2. สามแยกรูปตัว Y (FRK) เป็นลักษณะของสามแยกที่มีการวางตัวคล้ายตัวอักษร Y ในภาษาอังกฤษ
3. สามแยกรูปตัว  $\uparrow$  (ARW) เป็นลักษณะของสามแยกที่มีการวางตัวคล้ายสัญลักษณ์ลูกศร
4. สี่แยกรูปตัว + (CRS) เป็นลักษณะของสี่แยกที่มีแขนของแยกตัดกันเป็นมุมฉากโดยรูปรางของแยกคล้ายเครื่องหมายบวกทางคณิตศาสตร์
5. สี่แยกประเภทอื่น (OTH) เป็นลักษณะของสี่แยกประเภทอื่นนอกเหนือจากสี่แยกแบบ CRS
6. โค้งมุมแหลมเป็นลักษณะของทางโค้งที่มีแขนของโค้งตัดกันเป็นมุมแหลม
7. โค้งมุมฉากเป็นลักษณะของทางโค้งที่มีแขนของโค้งตัดกันเป็นมุมฉาก
8. โค้งมุมป้านเป็นลักษณะของทางโค้งที่มีแขนของโค้งตัดกันเป็นมุมป้าน

#### เป้าหมาย

การสำรวจนี้มีเป้าหมายในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อประกอบการพัฒนาระบบที่สามารถจำแนกรูปรางทางแยกและทางโค้งได้อย่างถูกต้อง โดยอัตโนมัติ

## หลักการในการพิจารณารูปร่างทางแยกและทางโค้ง

### 1. หลักการพิจารณารูปร่างทางแยก มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาหาจุดเกิดแยก คือบริเวณที่เส้นตัดกันในแผนภาพ

ขั้นที่ 2 พิจารณาหาแขนของแยก คือ การค้นหาตำแหน่งที่จะเป็นจะจุดอ้างอิงจากจุดเกิด

แยกที่เหมาะสมสำหรับการวัดมุมเพื่อพิจารณารูปร่างของทางแยก

ขั้นที่ 3 พิจารณารูปร่างของแยก คือ การมองรูปร่างของทางแยกที่ได้จากมุมที่เกิดขึ้น

ระหว่างแขนของแยกที่ตัดกันที่จุดเกิดแยก

### 2. หลักการพิจารณารูปร่างทางโค้ง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาหาจุดกึ่งกลางโค้ง คือบริเวณกึ่งกลางของเส้นที่ทำให้เกิดโค้งมากที่สุด

ขั้นที่ 2 พิจารณาหาแขนของโค้ง คือ ค้นหาจุดอ้างอิงที่ลากจากจุดกึ่งกลางโค้งไปยังจุด

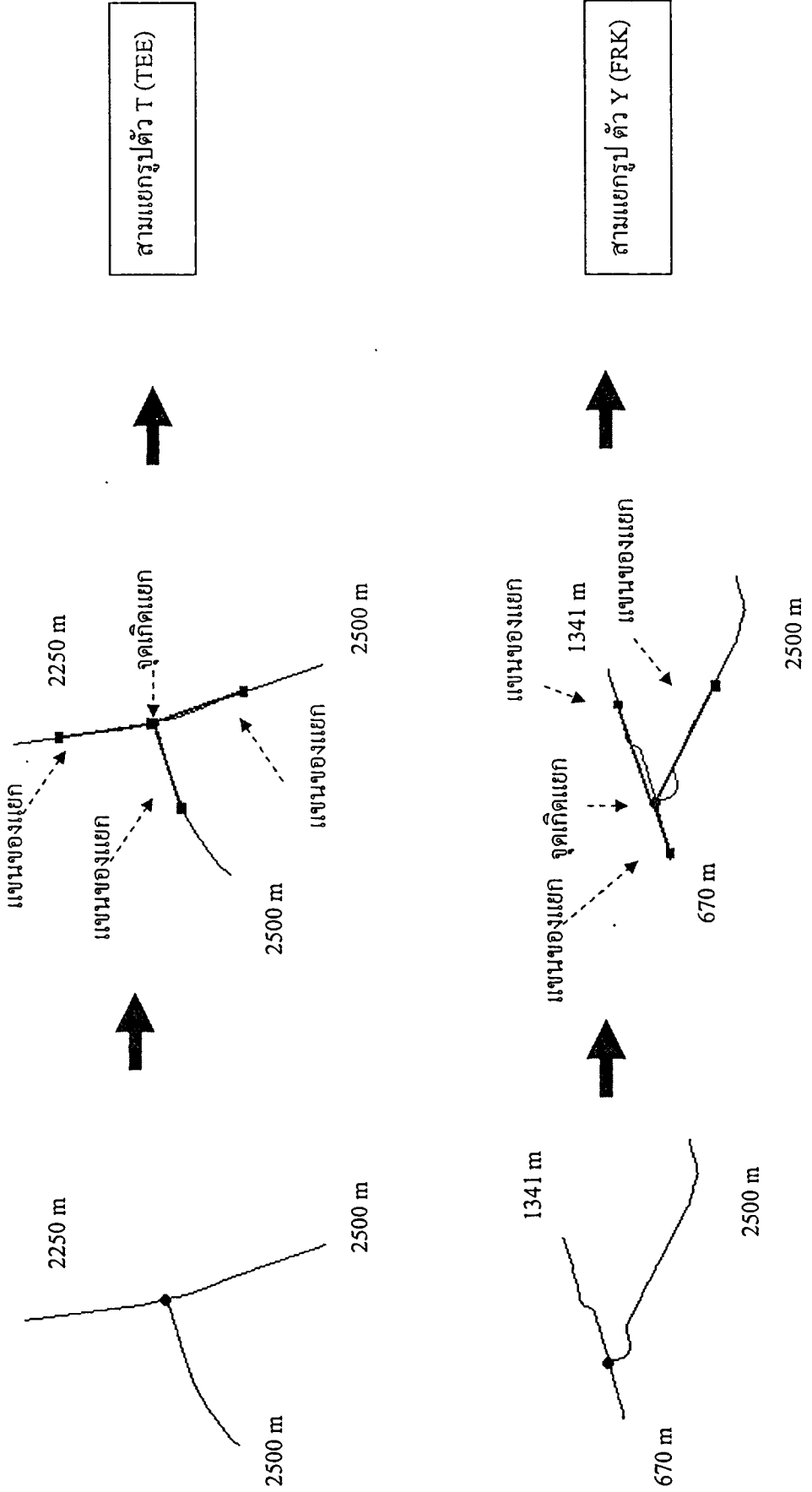
ใดๆที่เหมาะสมสำหรับการวัดมุมเพื่อจำแนกรูปร่างทางโค้ง

ขั้นที่ 3 พิจารณารูปร่างของโค้ง คือการมองรูปร่างของเส้นโค้งที่ได้จากมุมที่เกิดระหว่าง

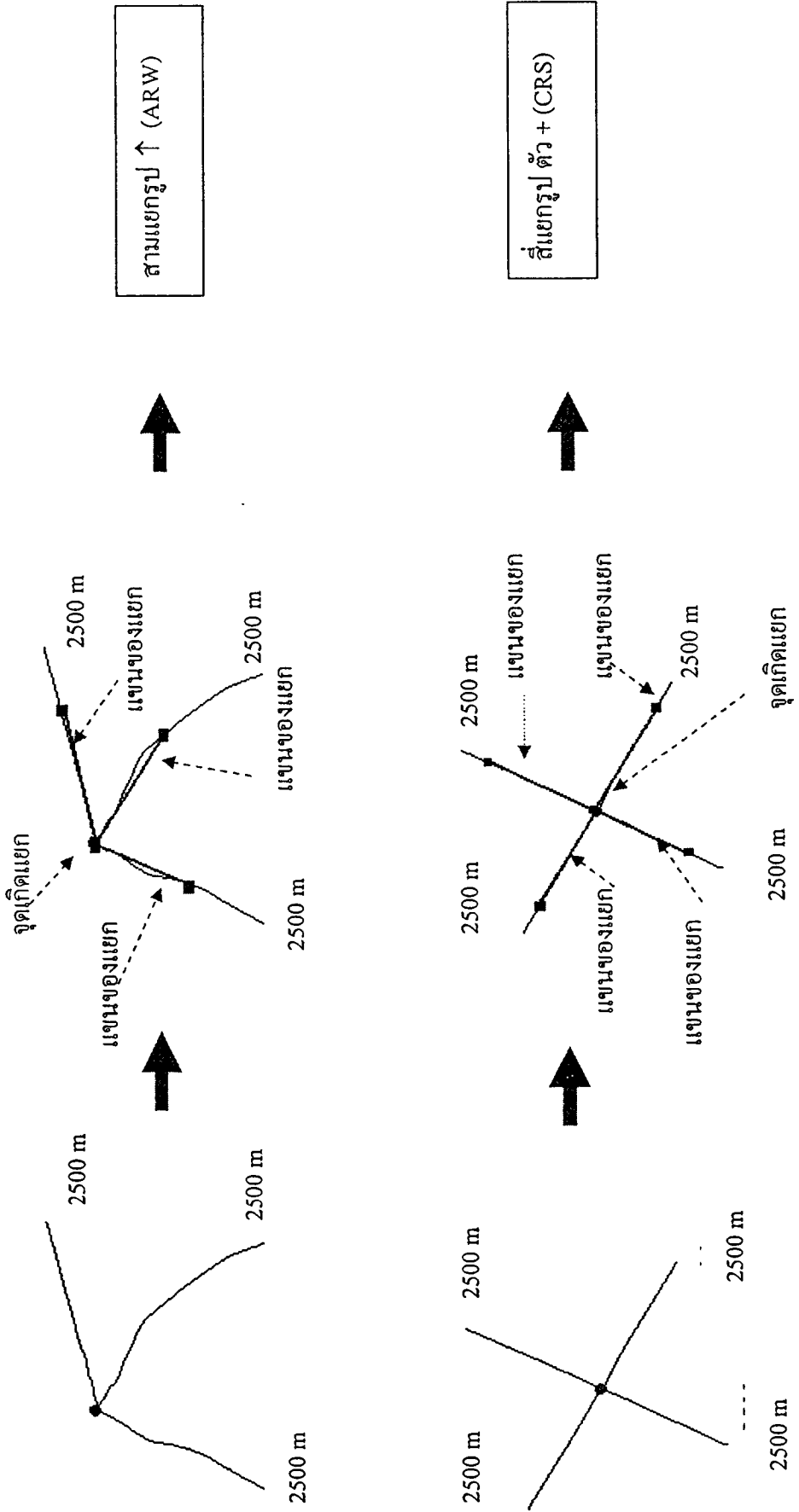
แขนของโค้งตัดกันที่จุดกึ่งกลางโค้ง

---

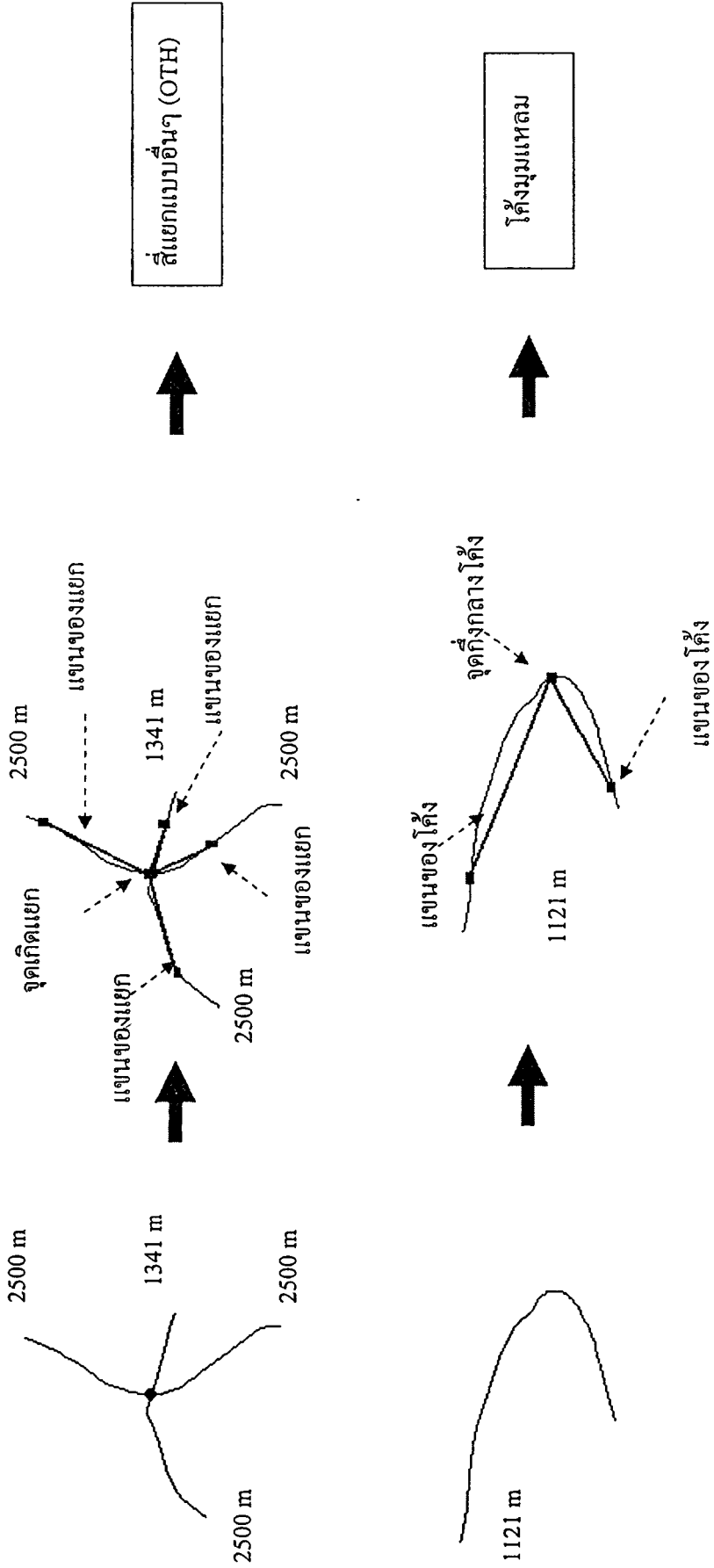
ตัวอย่างการพิจารณาทางแยกและทางโค้งทั้ง 8 แบบ



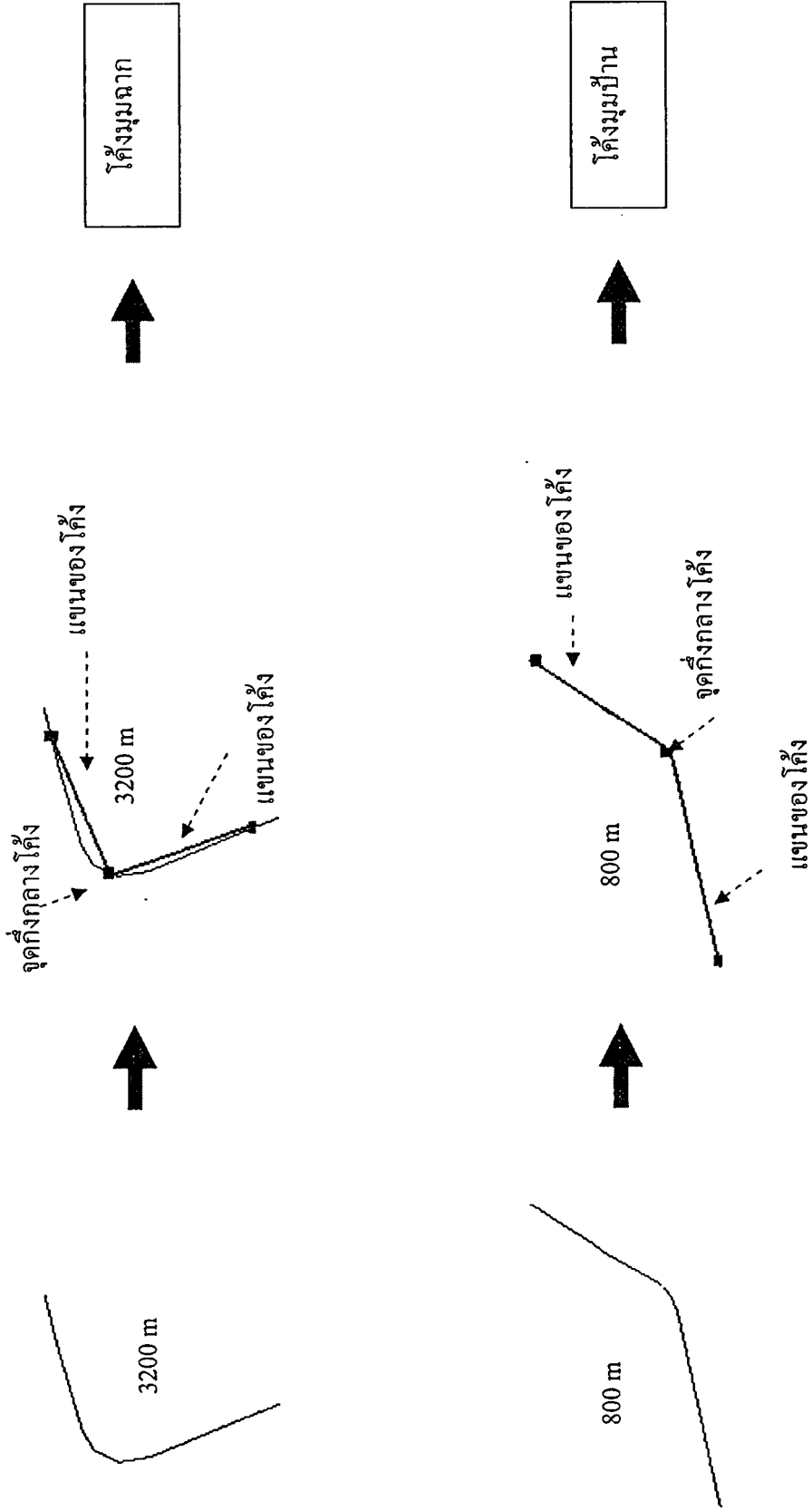
ตัวอย่างการพิจารณาทางแยกและทางโค้งทั้ง 8 แบบ (ต่อ)



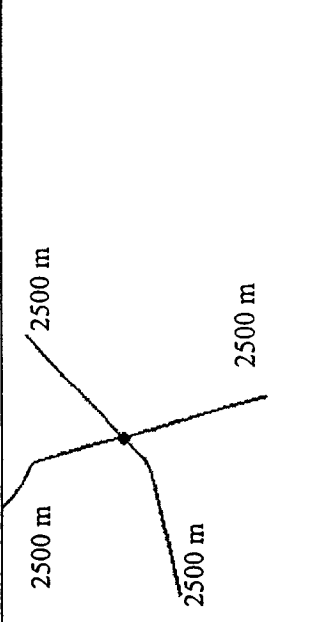
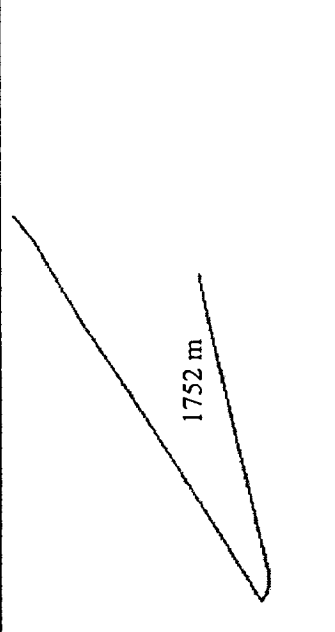
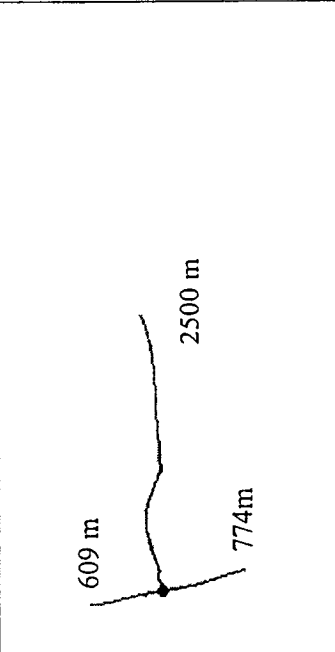
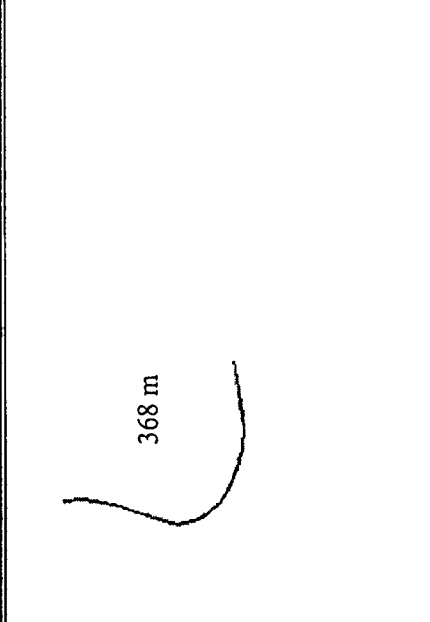
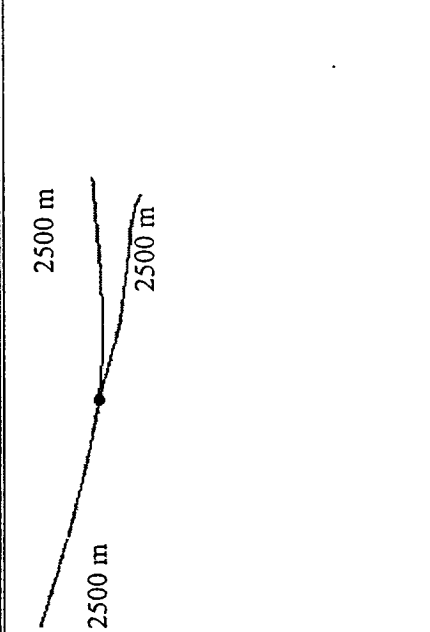
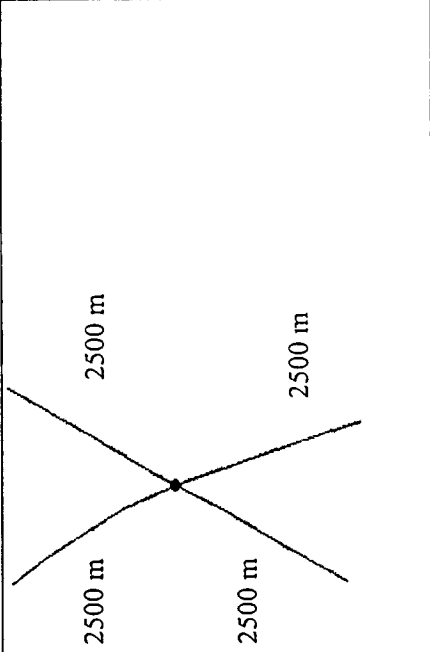
ตัวอย่างการพิจารณาทางแยกและทางโค้งทั้ง 8 แบบ (ต่อ)

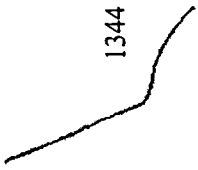
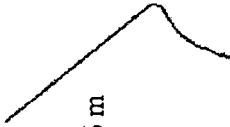
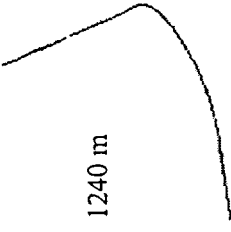
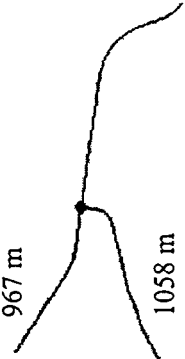

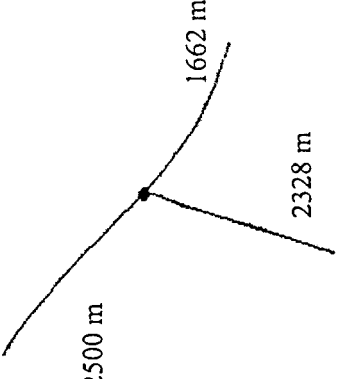


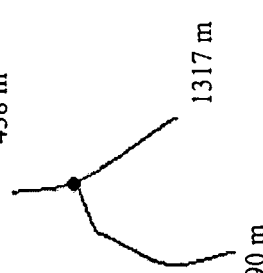
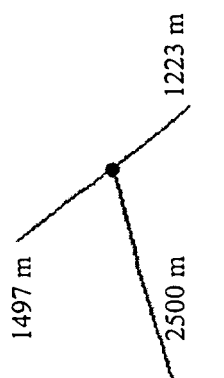
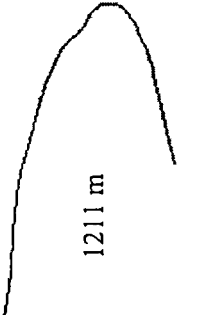
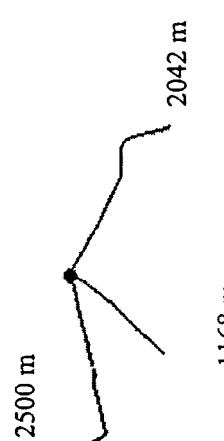
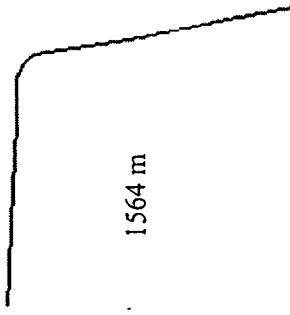
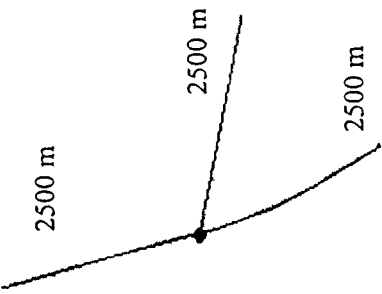
ตัวอย่างการพิจารณาทางแยกและทางโค้งทั้ง 8 แบบ (ต่อ)

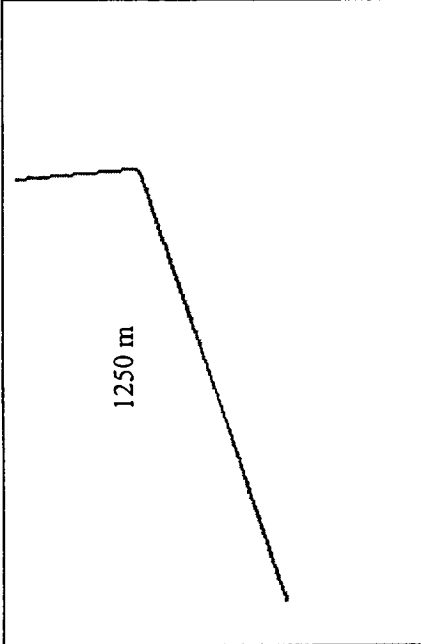
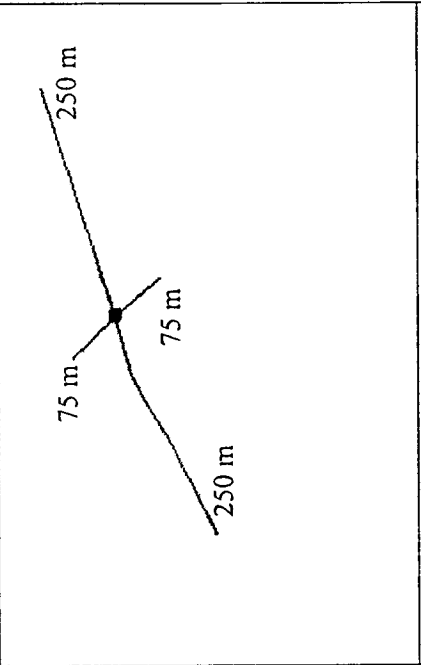
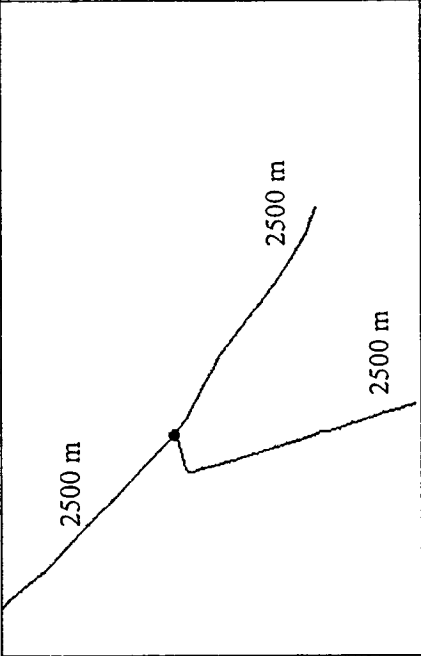
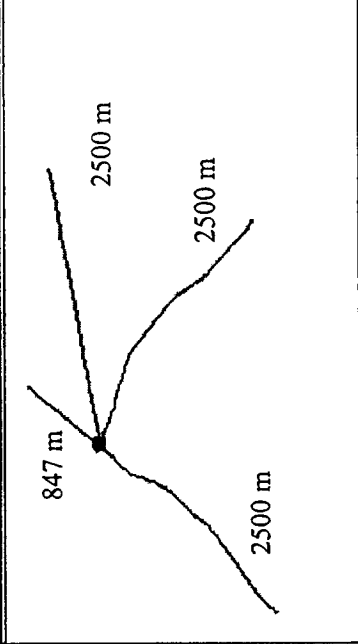
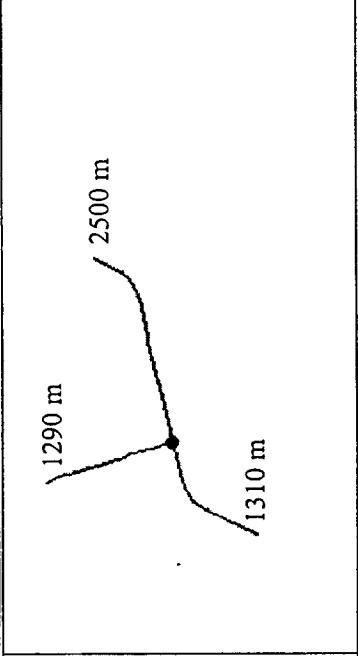
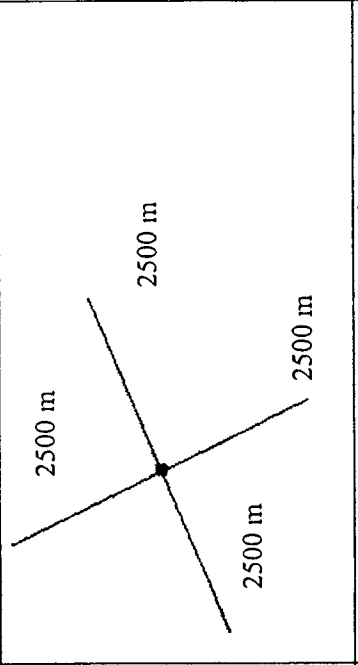


จงเลือกวงกลม O รูปร่างใดรูปร่างหนึ่งใน 8 ตัวเดือกคือ T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมกว้าง

		
<p>1. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>2. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>3. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>
		
<p>4. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>5. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>6. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>

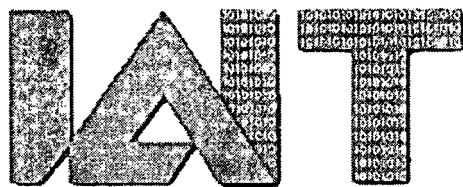
 <p>1344 m</p>	 <p>536 m</p>	 <p>1240 m</p>
<p>7. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>8. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>9. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>
 <p>967 m 1058 m 1372 m</p>	 <p>1630 m</p>	 <p>2500 m 1662 m 2328 m</p>
<p>10. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>11. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>12. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>

 <p>438 m 1317 m 1690 m</p>	 <p>1497 m 2500 m 1223 m</p>	 <p>1211 m</p>
<p>13. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>14. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>15. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>
 <p>2500 m 1168 m 2042 m</p>	 <p>1564 m</p>	 <p>2500 m 2500 m 2500 m</p>
<p>16. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>17. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>18. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>

 <p>1250 m</p>		 <p>250 m 75 m 250 m</p>
<p>19. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>20. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>  <p>2500 m 2500 m 2500 m</p>	<p>21. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>
 <p>847 m 2500 m 2500 m</p>	 <p>1290 m 2500 m 1310 m</p>	 <p>2500 m 2500 m 2500 m</p>
<p>22. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>23. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>	<p>24. T, Y, ↑, +, สีแยกประเภทอื่น, โค้งมุมแหลม, โค้งมุมฉาก, โค้งมุมกว้าง</p>

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



2nd International conference on Advances in Information Technology

Proceedings of  
The 2nd International Conference on  
Advances in Information Technology  
(IAIT2007)

November 1-2, 2007  
Bangkok, Thailand

**Editor**  
Chakarida Nukoolkit

**Organized by**  
School of Information Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi



# Vector Data Processing to Detect and Classify Road Junctions

Thitiwut Sillpapipat and Chutimet Srinilta  
 Dept. of Computer Engineering, Faculty of Engineering  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Bangkok 10520, Thailand  
 notetsu@hotmail.com, kschutim@kmitl.ac.th

## Abstract

*It is often that road junctions are identified as accident-prone spots. Location, type and shape of junctions can be analyzed together with accident related data to improve traffic safety. With respect to vector data, road junctions are located at the area where three or more roads share end and/or start points. Straight line representation of a road composing a junction represents a junction arm. Junction type is determined by the number of junction arms. Angles between junction arms represent junction shape. The experiments demonstrate that our approach successfully identifies three-, four- and more-than-four- way junctions of six different shapes.*

**Keywords:** vector, road junction, detection, classification, median of slopes

## 1. Introduction and Related Works

Fatalities and injuries from traffic accidents have a significant impact on society. Parties from both private and public sectors have been paying increasing attention to improve traffic safety. At present, in Thailand, vehicle navigation systems are equipped with certain car models right from the manufacturers. Such systems offer accurate information to assist driving such as voice-guided driving direction and location-based services. Cameras are installed on highways to enforce speeding laws. Traffic signals and signs are posted at accident-prone spots. A number of campaigns including "Don't Drive Drunk" are launched to reduce chance of causing road accident.

Accident statistics are collected and analyzed. The analysis results are often used to identify factors influencing accidents which will be used to improve accident prevention methods.

Accidents occur more often at road junctions. Accident analysis with information on locations, types and shapes of junctions will be beneficial.

Digital road maps are available in two formats – raster format and vector format. Early, two decades back, contributions in road junction detection were based on raster data format. Image processing techniques on edge and line detection were employed. In [1], Willrich introduced a knowledge-based framework for automated quality control of vector data set. Cartographic features, such as roads, were extracted from image and compared with vector data. Heinze proposed a graph based road pattern recognition [2]. Basic patterns in a road network were detected automatically from vector data. New knowledge was derived from the pattern found. Koutaki proposed an approach to construct a road network from intersection models [3]. Crossroads, T-junctions and Y-junctions were detected and extracted from aerial image by model matching method. Giordana classified shape of blood vessel using angles between blood tubes [4].

Median-Median line algorithm was originally proposed by [5]. It was an algorithm to find a linear-fit of a set of scatter plot of points using median. Points were divided into two groups. In each group, medians of x-values and y-values were determined and used to represent all points in the group. A line was then drawn between median points of the two groups. That line was a linear-fit of points in the set of scatter plot.

These days, many systems are using vector based map because vector data requires less storage space and it is easier to maintain topological relationships. Moreover, data associated with geographic location can be easily recorded and retrieved.

This paper introduces a road junction model constructed from vector based map to locate junctions in the map and classify junctions according to their types and shapes. Junction types include three-way junction, four-way junction and more-than-four-way (MTF) junction. Shapes of a three-way junction are T, Y and W. Shapes of a four-way junction are +, X and other.

Data used in the experiments was an experimental demonstration data set of Canadian

major road network from GeoBase portal (<http://www.geobase.ca/geobase/en/index.html>). We were able to locate and identify types and shapes of 6,069 junctions in the Canadian major road network.

This paper is organized as follows. Section 2 explains a linear-fit line construction with Median of Slopes. Section 3 introduces road junction model. Junction detection and classification is explained in section 4. Sections 5 and 6 discuss experiments and results, respectively. Section 7 concludes the paper and suggests some future works.

## 2. Median of Slopes

This section introduces a method to find a linear-fit line representing a set of points starting at the leftmost point or the rightmost point.

Let  $P$  be a set of  $n$  points.

$$P = \{ p_1, p_2, p_3, \dots, p_n \}$$

$$= \{ (x_i, y_i) : i = 1, 2, \dots, n \}$$

To find the linear-fit line beginning at the leftmost point,  $p_1$  corresponds to the leftmost point which means that  $x_1$  is the minimum  $x$  value in the set. To find the linear-fit line beginning at the rightmost point,  $p_l$  corresponds to the rightmost point which means that  $x_l$  is the maximum  $x$  value in the set.

Slopes between  $p_1$  and all other points are calculated using the following equation where  $s(j)$  is a slope between  $p_1$  and  $p_j$ .

$$s(j) = \frac{(y_j - y_1)}{(x_j - x_1)}, \quad j = 2, 3, \dots, n$$

After that, the median of all slopes ( $MS$ ) is determined.

$$MS = Med s(j), \quad j = 2, 3, \dots, n$$

Lastly, the line is drawn from  $p_1$  to the point that gives  $MS$ . This line is a linear-fit line representing  $p_1$  to  $p_n$ , starting at  $p_1$ .

A solid line in Figure 1 represents a linear-fit line of all points in the figure starting from the leftmost point. It is obtained from the Median of Slopes approach.

$$s(2) = 2.57,$$

$$s(3) = 0.56,$$

$$s(4) = 0.5,$$

$$s(5) = 0.75 \text{ and}$$

$$s(6) = 0.94.$$

$$MS = 0.75 = s(5).$$

Therefore, line between  $p_1$  and  $p_5$  represents the six points shown in the figure 1.

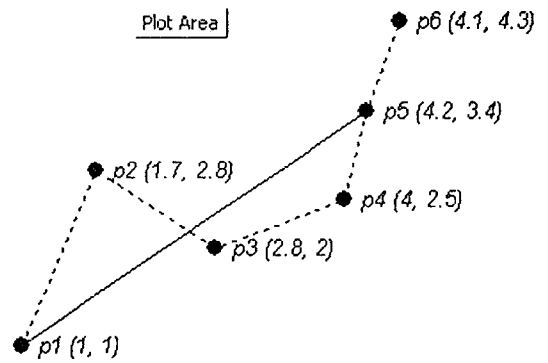
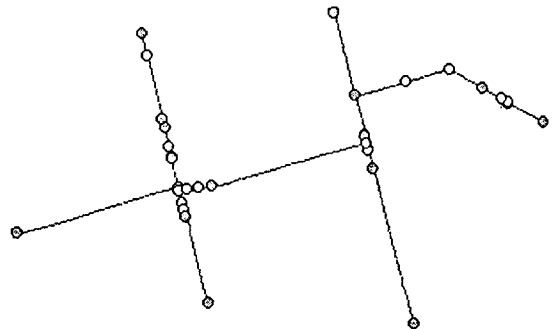


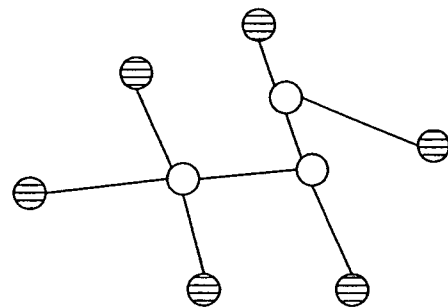
Figure1. A linear-fit line obtained from Median of Slopes of six points

## 3. Road Junction Model

A road is an open way for a passage of vehicle. A road is a series of connected road segments. A terminal road segment begins and/or ends at deadend. An intermediate road segment begins at one junction and ends at another junction. A real world road network is usually represented in two-dimensional space as shown in Figure 2(a). There are three junctions and six deadends in this road network.



(a) A road network (2D representation)



(b) Road junction model

Figure2. A road network and its junction model

In vector based system, geo-referenced data for a road is a series of connected line segments representing a center line of the road. Each line segment is a series of connected points. A point is defined by a coordinate representing a physical spot on the earth.

Our focus depended on location, type and shape of junctions; therefore, driving direction, traffic regulation and width of road are ignored.

A road junction model is constructed from 2D road network. Graph is used to represent the model.

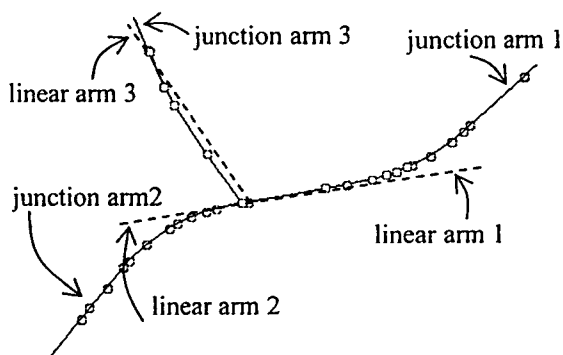
A point in 2D representation is a node in a graph. A line between two adjacent points is an edge in a graph. Coordinate of point is an attribute of a node.

There are three types of nodes.

- J-node or junction node : a node having degree more than 2
- I-node or intermediate node : a node having degree of 2
- D-node or deadend node : a node having degree of 1

I-nodes can be left out because they are not part of junctions. All I-nodes are removed from the model. Edges that associate with I-nodes in a line segment are collapsed into a single edge. Figure 2(b) is a road junction model of a road network in Figure 2(a). In the model, shaded nodes denote D-nodes and clear nodes denote J-nodes. The model contains three J-nodes and six D-nodes which are equivalent to the number of junctions and deadends in Figure 2(a).

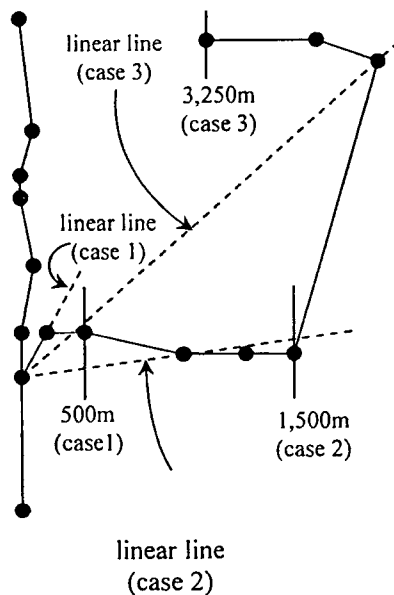
Angles between junction arms are included in node attributes. A junction arm is represented by its linear-fit line called linear arm. Linear arms are obtained by applying MS approach to points in line segments composing the junction. Figure 3 shows linear arms and junction arms of a three-way junction. It is noted that number of points in a line segment determines how closely a linear arm fits the actual junction arm.



**Figure3.** Linear and junction arms of a three-way junction

The other important factor is the length of the junction arm. Figure 4 shows the effect of junction arm length. Three linear lines in the figure are obtained from applying the MS approach against points along three different arm lengths. We can see that if junction arm length is too short or too long (case 1 or 3), the linear lines do not represent

the junction arm. Case 2 gives the closet fit straight line of the junction arm.



**Figure4.** Effect of arm length on linear-fit line

Because we consider shape of three- and four-way junctions, each junction is describes by a set of four angles,  $\theta_1$  to  $\theta_4$ , where  $\sum_{i=1}^4 \theta_i = 360^\circ$ .  $\theta_k$  is 0 when the  $k^{\text{th}}$  angle does not exist. For example, the value of  $\theta_4$  of a J-node representing a three-way junction is 0. Angle attribute of a D-node is  $[360, 0, 0, 0]$ .

## 4. Road Junction Detection and Classification

### 4.1 Road Junction Detection

J-nodes (nodes that have degree more than two) in the road junction model correspond to junctions in road network. Junction physical location is obtained from coordinate attribute of J-node.

Deadends can also be located using the model. D-nodes (nodes having degree of 1) represent deadends.

### 4.2 Road Junction Classification

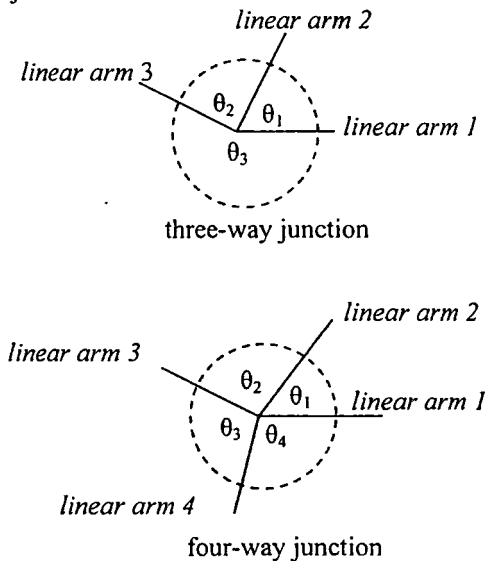
We classified junctions according to junction types and shapes.

**4.2.1 Classification based on junction type:** Junction type is determined by the degree of J-node in the model. Based on junction type, a junction is classified as follows.

- three-way junction : a J-node having degree of 3
- four-way junction : a J-node having degree of 4
- MTF junction : a J-node having degree more than 4

#### 4.2.2 Classification based on junction shape:

Junction can be classified further according to its shape. Junction shape is described by angle attributes of J-node ( $\theta_1$  to  $\theta_4$ ). Figure 5 shows angles describing a three-way junction and a four-way junction.



**Figure5.** Angles describing junction

A three-way junction is classified into three classes according to its shape. English alphabets resembling junction shapes are used in junction shape names. Classification criteria is shown below.  $\theta_m$  and  $\theta_n$  is the two smallest angles among the three.

- W-junction :  $0^\circ < \theta_m + \theta_n \leq 150^\circ$
- T-junction :  $150^\circ < \theta_m + \theta_n \leq 200^\circ$
- Y-junction :  $200^\circ < \theta_m + \theta_n \leq 240^\circ$

A four-way junction is classified into three classes according to its shape. English alphabets resembling junction shapes are used in shape names. Classification criteria is shown below.

- +-junction :  $70^\circ < \theta_i \leq 110^\circ$  for all i's from 1 to 4
- X-junction :  $0^\circ < \theta \leq 90^\circ$  for two opposite angles, and  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$  for the other two opposite angles
- Other : all that do not comply with the criteria above

## 5. Experiments

The data used in experiments was an experimental demonstration data set of Canadian major road network from GeoBase portal. We divided the data into two sets. The first set was used in experiments in Part 1 and the second set

was used in Part 2. All data was stored in PostGIS database.

Junction arm length was a parameter in our experiments.

Experiments in Part 1 were performed on the first set of data where location, type and shape of all junctions are known. We executed the experiments under different arm lengths. The purpose of Part 1 was to evaluate our approach in terms of the ability to detect and classify road junctions. Part 1 was also set out to find a proper value of arm length. This value would be used in Part 2.

After gaining some confidence in the approach, experiments in Part 2 were performed on the second set of data with the arm length that produced the best result in Part 1. The purpose of Part 2 was to detect and classify junctions in large data set.

Data sets and parameter used in both parts are explained in more detail below.

### Part 1

Input data set : Approximately 10% of the data in Canadian demonstration major road network was randomly selected and used as an input data set in this part. Description of input data set for Part 1 is shown right below.

#### Junction detection

	<u>Number</u>
Junctions	689
Deadends	220
Non-junction	390

#### Junction classification

	<u>Number</u>
Three-way junctions	607
W-junction	11
T-junction	341
Y-junction	255
Four-way junctions	77
+-junction	48
X-junction	29
Other	0
MTF junctions	1

Arm length : arm length was increased from 250 meters to 2,500 meters with incremental step of 250 meters. Junction arms longer than 2,500 meters were not taken into account because their linear-fit lines might not represent the actual junction arms but the road segments instead. The longest length of junction arm was also bounded to the distance between the two junctions sharing that arm.

### Part 2

Input data set : All data in Canadian demonstration road network data set that was not used in Part 1

was used as input data set in Part 2. The input data set for Part 2 contained data of 12,978 roads.

Arm length : arm length was fixed at 1,250 meters.

## 6. Results

### Part 1

#### Junction detection

The results were compared against junction location information also obtained from GeoBase portal. It is found that our approach correctly identified location of every junction and deadend in the data set (correctness of 100%).

#### Junction classification

We also obtained 100% correctness in classifying junctions in the first data set according to their types. 607 junctions were classified as three-way junctions, 77 junctions were classified as four-way junctions and 1 junction was MTF junction.

**Table1.** Effect of arm length in three-way junction classification using shape

Arm length (meters)	Number of misses (junctions)		
	W-junction	T-junction	Y-Junction
250	+12	-10	-1
500	+3	-2	-1
750	+1	0	-1
1000	-1	+1	0
1250	0	0	0
1500	-2	+2	0
1750	-1	+1	0
2000	+2	-2	0
2250	-1	+1	0
2500	0	0	0

#### Effect of arm length

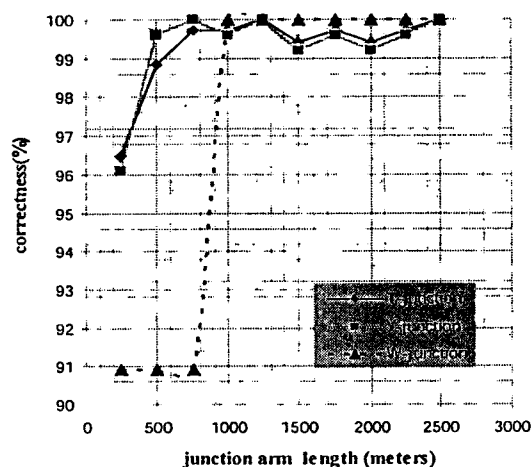
Table 1 shows effect of arm length in three-way junction classification based on junction shape. As many as twelve junctions were misclassified when arm length was 250 meters. When arm length was 500 meters or longer, the number of misses reduced to single digits. Every three-way junction was correctly classified when arm length was 1,250 and 2,500 meters.

Table 2 shows effect of arm length in four-way junction classification based on junction shape. The number of misses went up and down a little as arm length increased. However, they were small values. Every four-way junction was correctly classified when arm length was 250, 1,000, 1,250 and 2,500 meters.

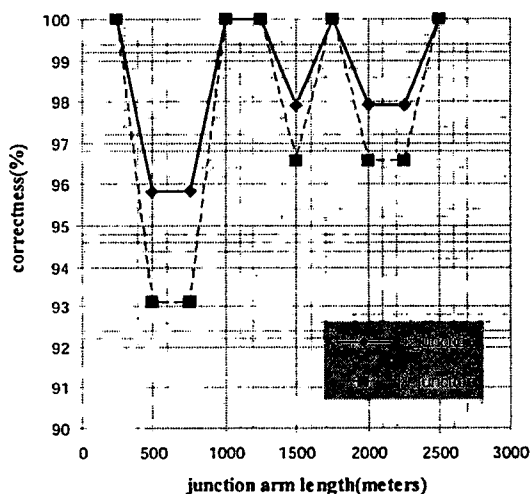
**Table2.** Effect of arm length in four-way junction classification using shape

Arm length (meters)	Number of misses (junctions)		
	+ junction	X-junction	Other
250	0	0	0
500	+2	-2	0
750	+2	-2	0
1000	0	0	0
1250	0	0	0
1500	+1	-1	0
1750	0	0	0
2,000	+1	-1	0
2250	+1	-1	0
2500	0	0	0

When consider classification correctness in percentage, results were displayed as shown in Figures 6 and 7.



**Figure 6.** Effect of arm length (three-way junction shape classification)



**Figure 7.** Effect of arm length (four-way junction shape classification)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายฐิติวุฒิ ศิลปพิพัฒน์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2524
ที่อยู่	88/11 หมู่ที่ 6 ถนนเลี้ยวเมือง ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอ เมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2547	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547	เข้าศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง