

การออกแบบทอพอโลยีเซนเซอร์ไร้สายริมฝั่งแม่น้ำ โดยคำนึงถึงคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์



นางสาวนริศรา โสภายนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TOPOLOGICAL DESIGN FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR RIVERBANK  
BASED ON GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS



Miss Narisara Sophayont

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบทอพอโลยีเซนเซอร์ไร้สายริมฝั่งแม่น้ำโดย  
คำนึงถึงคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์

โดย

นางสาวนริศรา โสภายนต์

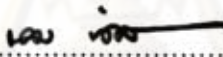
สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

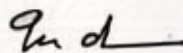
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

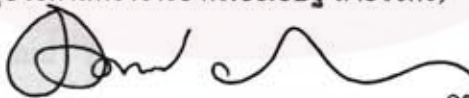
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชวานิศ อิศกุล)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ กิรติวินทร)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นริศรา โสภานต์ : การออกแบบทอพอโลยีเซนเซอร์ไร้สายริมฝั่งแม่น้ำ โดยคำนึงถึง  
คุณลักษณะทางภูมิศาสตร์. (TOPOLOGICAL DESIGN FOR WIRELESS SENSOR  
NETWORKS FOR RIVERBANK BASED ON GEOGRAPHICAL  
CHARACTERISTICS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. ชัยเชษฐ สายวิจิตร, 49  
หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการวางโนดบนริมฝั่งแม่น้ำ เพื่อจุดมุ่งหมายในการใช้  
จำนวนเซนเซอร์โนดปริมาณต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับทั้งด้านความเชื่อมโยงของโครงข่ายและ  
ความเชื่อถือได้ของโครงข่าย จากคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ส่งผล  
กระทบให้แม่น้ำมีรูปร่างที่แตกต่างกันด้วย การวางโนดโดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบเดิม สนใจเฉพาะ  
พื้นที่หนึ่ง ๆ เท่านั้น ไม่เหมาะสมหรือทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรสำหรับโครงข่ายมากเกินไป เป็น  
การใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพมากพอ

ดังนั้น ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ จึงพิจารณาวางโนดด้วยระยะทางในการส่ง  
สัญญาณข้อมูลสูงสุดตลอดริมฝั่งแม่น้ำ โดยการสร้างเส้นกลางแม่น้ำขึ้นสำหรับอ้างอิง เพื่อคำนวณ  
ระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลถึงกัน ซึ่งต้องรับประกันการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล  
ความเชื่อมโยง และความเชื่อถือได้ของโครงข่ายด้วย ออกแบบการวางเซนเซอร์โนดคงที่ แบบถูก  
กำหนดตำแหน่งระหว่างสถานีต้นทางและสถานีปลายทางที่ถูกวางไว้ก่อนหน้า บนริมฝั่งแม่น้ำทั้ง  
2 ฝั่ง ซึ่งขั้นตอนวิธีนี้สามารถรองรับลักษณะความแตกต่างของแม่น้ำที่ประกอบไปด้วยทั้งส่วน  
ทางตรงและทางโค้ง อันเนื่องมาจากคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแม่น้ำ

สำหรับผลการทดลอง จำลองการทำงานบนรูปแม่น้ำที่มีความแตกต่างกันทั้งรูปร่าง ความกว้าง  
และความสมมาตรของแม่น้ำ 2 ฝั่ง แสดงให้เห็นถึงจำนวนเซนเซอร์โนดที่ต้องใช้สำหรับโครงข่าย  
ในปริมาณที่แตกต่างกัน อีกทั้งนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับแม่น้ำจริงได้ด้วยและแสดง  
ถึงการใช้ทรัพยากรโครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับวิธีการ  
วางโนดแบบเดิม จากนั้นเพิ่มสมรรถนะของโครงข่ายด้วยการเพิ่มคิกริความเชื่อถือได้ของระบบ ซึ่ง  
เดิมนั้นเซนเซอร์โนดสามารถติดต่อกับโนดก่อนหน้าและโนดถัดไปด้วยคิกริเท่ากับ 2 เท่านั้น จึง  
เพิ่มคิกริขึ้นเป็น 4 และ 6 ตามลำดับ จะส่งผลให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพสำหรับการรองรับความ  
ขัดข้องที่เกิดจากโนดได้สูงยิ่งขึ้น

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิติกร.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

## 5070571921: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: WIRELESS SENSOR NETWORKS / RIVERBANK / CONNECTIVITY / RELIABILITY

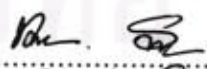
NARISARA SOPHAYONT: TOPOLOGICAL DESIGN FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR RIVERBANK BASED ON GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., 49 pp.

This thesis investigates the algorithm for node placement along the riverbanks. The proposed algorithm intends to minimize the total number of sensor node with several constraints such as network connectivity and network reliability. In terms of riverbank, alters of geographical characteristics impact on the vary shapes of river profile. Therefore, locating node bases on the fundamental algorithms, considering specific area, are inappropriate. A case in point is over consuming network resources, which is using resources inefficiency.

Our algorithm takes an account on node placement by maximum transmission range along the riverbanks. For example, the center line of the river for referencing will be created, in order to calculate the transmission rage that have to guarantee river sensed information coverage, network connectivity and network reliability. Furthermore, the design static node placements which are deterministic between source and sink of predefined stations on both coast of the riverbank. This algorithm can reserve the different of the riverbank that composed by straight line and curve line.

The simulation results of river profiles that differ on shape, width, and symmetry show the different amount of sensor node, using for each network. Thus, our algorithm can apply for real river and demonstrates how to maximize efficiency of network resources. When compared our algorithm with the basic algorithm. Next, increase performance of network with reliability degree of the system. Generally, sensor node can connect to upstream node and downstream node by only degree 2 then rise to 4 and 6, respectively. Therefore, the network has high efficiency for reserve node failure.

Department: Electrical Engineering

Student's Signature.....

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature...

Academic Year: 2009

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำ แนวทางและข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ซึ่งเน้นการเรียนรู้โดยการคิดพิจารณาและไตร่ตรอง ทำให้นิสิตมีความรู้ ความเข้าใจด้านระบบโทรคมนาคม ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัสวกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ กิรดิวินทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ ให้คำแนะนำ และคำถามทุกคำถาม เพื่อให้ผู้วิจัยเรียนรู้ถึงรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ทุกประเด็น อีกทั้งยังทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรม สั่งสอน จนทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ ความสามารถในการทำงาน และการดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างมีความสุข ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นทุก ๆ สิ่ง ทุก ๆ อย่าง ของผู้วิจัย เป็นที่ปรึกษา คอยให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ การอบรมสั่งสอน และตักเตือน อีกทั้งสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมาจนถึงขั้นนี้ และค่าใช้จ่ายทุกด้าน

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และผองเพื่อนในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษา และความมีน้ำใจช่วยเหลือซึ่งกันและกัน จนทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณกิจกรรมของกลุ่มวิจัยโครงข่าย (Network research group) ที่ทำให้ตระหนักถึงความก้าวหน้าของงานวิจัยในด้านต่าง ๆ การฝึกฝนในการนำเสนอผลงาน การท่องเที่ยวเพื่อพักผ่อน และเสริมสร้างมิตรไมตรีอันดีต่อกัน ล้วนแล้วแต่เป็นประสบการณ์อันมีคุณค่า

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ นายปวิณ จันทมา ที่อยู่เคียงข้าง และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฉุ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	6
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 การวางตำแหน่งของโนด.....	9
2.1.1 การวางตำแหน่งของ โหนดแบบคงที่ (Static node placement).....	9
2.1.2 การวางตำแหน่งของ โหนดแบบพลวัต (Dynamic node placement).....	11
2.2 การกระจายคลื่นวิทยุ.....	12
2.2.1 แบบจำลองการลดทอนของคลื่น (Propagation path loss model).....	13
2.2.2 การลดทอนของสัญญาณจากสภาพภูมิศาสตร์.....	13
2.2.3 การเฟดของสัญญาณ (Fading).....	14
2.3 ทฤษฎีกราฟ.....	14
2.3.1 นิยามกราฟและ โครงสร้างต้นไม้ (Tree).....	14
2.3.2 ความเชื่อมโยง (Connectivity).....	16

2.3.3 ความเชื่อถือได้ (Reliability) .....	17
บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีการออกแบบ .....	19
3.1 การออกแบบเพื่อรองรับเงื่อนไขบังคับด้านการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล.....	19
3.2 การออกแบบเพื่อรองรับเงื่อนไขบังคับด้านความเชื่อมโยง.....	22
3.3 การออกแบบเพื่อรองรับเงื่อนไขบังคับด้านความเชื่อถือได้ .....	23
บทที่ 4 ผลการจำลองการทำงานและการวิเคราะห์ผล.....	26
4.1 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดสำหรับแม่น้ำที่มีรูปร่างแตกต่างกันอันเนื่องมาจาก ค่าความโค้ง .....	29
4.2 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดสำหรับแม่น้ำที่มีคุณสมบัติความสมมาตรของแม่น้ำ กับไม่สมมาตรของแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง.....	34
4.3 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อปรับค่าความกว้างของแม่น้ำ .....	36
4.4 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อนำไปทดสอบบนแม่น้ำจริง.....	39
4.5 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อเพิ่มค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย .....	43
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	44
5.1 บทสรุป .....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	45
รายการอ้างอิง .....	46
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	49

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของโพรโตคอลสำหรับโครงข่ายไร้สาย.....	12
ตารางที่ 3.1 นิยามค่าพารามิเตอร์.....	20
ตารางที่ 4.1 ค่าดีกรีความโค้งที่ต่างกันของแม่น้ำที่ทดสอบ.....	30



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การวางเซนเซอร์ประเภทคงที่แบบถูกกำหนด.....	10
รูปที่ 2.2 การวางเซนเซอร์ประเภทคงที่แบบสุ่ม.....	10
รูปที่ 2.3 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์แบบพลวัต.....	11
รูปที่ 2.4 การส่งคลื่นวิทยุในอากาศว่าง.....	13
รูปที่ 2.5 ลักษณะของโครงสร้างกราฟ.....	15
รูปที่ 2.6 กราฟโครงสร้างต้นไม้บนริมฝั่งแม่น้ำ.....	16
รูปที่ 2.7 การครอบคลุมของสัญญาณสำหรับโครงข่าย ก. 1 มิติ ข. 2 มิติ ค. 3 มิติ.....	17
รูปที่ 2.8 ก. ความซับซ้อนจากเส้นทาง ข. ความซับซ้อนจากโนด.....	17
รูปที่ 2.9 การครอบคลุมของสัญญาณสำหรับคิกริความเชื่อมโยง ก. $k = 2$ ข. $k = 4$ ค. $k = 6$ .....	18
รูปที่ 3.1 ลักษณะแม่น้ำสำหรับการทดสอบ.....	20
รูปที่ 3.2 แม่น้ำที่ได้รับการติดตั้งสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า.....	21
รูปที่ 3.3 ระยะทางการส่งสัญญาณข้อมูลระหว่างคู่ของเซนเซอร์โนด.....	21
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจัดของแม่น้ำกับรัศมีสำหรับการส่งสัญญาณ.....	22
รูปที่ 3.5 ความเชื่อมโยงของโนด ก. $k = 2$ ข. $k = 4$ ค. $k = 6$ กรณีโนดเกิดความซับซ้อน.....	24
รูปที่ 4.1 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 1.....	29
รูปที่ 4.2 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 2.....	29
รูปที่ 4.3 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 3.....	30
รูปที่ 4.4 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 4.....	30
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงาน เมื่อส่งข้อมูลด้วยระยะทางตามเส้นกลางแม่น้ำ กรณีระยะการจัดของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน.....	32
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานเมื่อส่งข้อมูลด้วยรัศมีสูงสุด กรณีระยะการจัด ของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน.....	32
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงาน เมื่อส่งข้อมูลด้วยระยะทางตามเส้นกลางแม่น้ำ กรณีระยะทางตามความยาวของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน.....	33
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานเมื่อส่งข้อมูลด้วยรัศมีสูงสุด กรณีระยะทางตาม ความยาวของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน.....	33
รูปที่ 4.9 แม่น้ำมีลักษณะสมมาตร.....	35
รูปที่ 4.10 แม่น้ำมีลักษณะไม่สมมาตร.....	36

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อแม่น้ำที่มีคุณสมบัติสมมาตรกับไม่สมมาตร.....	36
รูปที่ 4.12 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ $R$ .....	37
รูปที่ 4.13 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ $2R$ .....	37
รูปที่ 4.14 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ $3R$ .....	38
รูปที่ 4.15 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ $4R$ .....	38
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับความกว้างของแม่น้ำ.....	39
รูปที่ 4.17 ตำแหน่งที่ตั้งโหนดมาตรในกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา.....	40
รูปที่ 4.18 เซกเมนต์สำหรับวางเซนเซอร์โนดในกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา จากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานียังสถานีการทำเรือ.....	41
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อทดสอบบนแม่น้ำจริงจากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีการทำเรือ.....	41
รูปที่ 4.20 เซกเมนต์สำหรับวางเซนเซอร์โนดในกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา จากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีป้อมพระจุล.....	42
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อทดสอบบนแม่น้ำจริงจากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีป้อมพระจุล.....	42
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อปรับเปลี่ยนคิกริความเชื่อถือได้.....	43

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ในยุคโลกาภิวัตน์นี้ ประชาคมโลกมีปฏิสัมพันธ์อันดีระหว่างกัน ด้วยความสะดวก รวดเร็ว และกว้างขวาง อันเนื่องมาจาก วิทยาการของเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคม และระบบสารสนเทศที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายในอดีตสู่เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการให้มากที่สุด

ดังนั้นผู้ให้บริการพยายามวิจัยค้นคว้า พัฒนา ออกแบบบริการรูปแบบต่าง ๆ และอุปกรณ์สื่อสารให้มีประสิทธิภาพ ความคุ้มค่า ความปลอดภัย และความสะดวกสบายในการใช้งาน ซึ่งสามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา การสื่อสารแบบไร้สายเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากความสะดวกสบายในการพกพาอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสาร และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สังเกตจากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์สื่อสารได้ก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ยุคปัจจุบันมากนั่นเอง

นอกจากนั้นการใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) [1], [2] และ [3] ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายเช่นกัน ด้วยเทคโนโลยีที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซนเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กกระทัดรัดประมาณเท่ากับเหรียญเท่านั้น ทำให้เคลื่อนย้ายได้ง่ายภายในประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผล หน่วยส่งสัญญาณ ทำหน้าที่เก็บข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และรับส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ สร้างเครือข่ายได้เอง สามารถหาเส้นทางจากต้นทางไปสู่ปลายทางได้ และสร้างเส้นทางใหม่ได้ เมื่อเส้นทางเดิมมีการเปลี่ยนแปลง มีอายุการทำงานที่ยืนยาวเพราะใช้พลังงานต่ำ ทำงานได้โดยไม่ต้องมีการบำรุงรักษา อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารขนาดเล็กเหล่านี้ ได้รับการพัฒนาให้มีหน้าที่ตรวจสอบอุณหภูมิ, ความชื้น, ความดัน, แสงสว่าง, เสียง และการเคลื่อนไหว เป็นต้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ก่อให้เกิดประโยชน์มากมายในงานแขนงต่าง ๆ เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม, ด้านการแพทย์, ด้านธุรกิจอุตสาหกรรม, ด้านเกษตรกรรม และด้านความมั่นคง เป็นต้น

ตัวอย่างของการนำเทคโนโลยีโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาใช้ เช่น การตรวจสอบไฟไหม้ป่า [1] เซนเซอร์สามารถตรวจสอบควันไฟได้ โดยสื่อสารข้อมูลผ่านเซนเซอร์แต่ละโหนดภายในโครงข่าย และแสดงสัญญาณเตือนภัย เพื่อให้หาทางดับเพลิงหรือการแก้ไขสถานการณ์อันเลวร้ายได้ทันทั่วทั้งที่ อีกทั้งลดความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม หรือการนำเซนเซอร์ไปติดตั้งในหุ่นยนต์กู้ภัย

เซนเซอร์สามารถตรวจสอบอุณหภูมิ, ก๊าซ และการเคลื่อนไหว เมื่อนำหุ่นยนต์เข้าไปตรวจสอบสถานที่ที่เกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ แผ่นดินไหว และภัยสึนามิ เป็นต้น หุ่นยนต์สามารถรายงานผลต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่หน่วยกู้ภัยได้ในระดับหนึ่งด้วย ซึ่งตัวอย่างเหล่านี้ เป็นการนำเทคโนโลยีของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาใช้งานในชีวิตประจำวัน อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อบ้านเมือง สังคม และประเทศชาติ

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา [4] ทั่วโลกได้รับผลกระทบจากปัญหาอุทกภัย ก่อให้เกิดความเสียหายมากมาย ซึ่งทวีปเอเชียประสบกับปัญหาอุทกภัยสูงกว่าทวีปอื่น ๆ ประเทศไทยเองก็เช่นเดียวกัน ประสบกับปัญหาอุทกภัยบ่อยครั้ง และรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่จะเกิดในเขตชุมชนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย โดยเฉพาะแถบชายฝั่งด้านตะวันออก และทางใต้ของประเทศซึ่งตั้งอยู่ใกล้มหาสมุทร หรือในเขตเมืองใหญ่อย่าง กรุงเทพมหานคร หาดใหญ่ และเชียงใหม่ล้วนแล้วแต่ประสบปัญหาน้ำท่วมทั้งสิ้น โดยเฉพาะช่วงหน้าฝน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำมีมากกว่าที่กักเก็บ และระบบระบายน้ำยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ถึงแม้ว่าปัญหานี้จะได้รับการป้องกันและแก้ไขจากกรมชลประทานก็ตาม แต่ยังมีจุดบกพร่องของระบบโทรมาตร ซึ่งเป็นระบบรวบรวมและจัดการข้อมูล แสดงผลของการทำงานการตรวจรับส่งข้อมูล และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม นำความเสียหายอย่างมหาศาลมาสู่ชีวิตและทรัพย์สิน น้ำที่ไหลบ่าเข้าท่วมพื้นที่ได้ทำลายสิ่งที่เป็นโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนนหนทาง สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น ทำลายพืชผลการเกษตร ทะเลสาบน้ำตื้นทำให้ดินเสื่อมสภาพ เกิดการปนเปื้อนของน้ำ และทำลายชีวิตประชาชนจำนวนมากมาย นอกจากนี้ ปัญหาน้ำท่วมขังในบางพื้นที่ยังส่งผลกระทบต่อแพร่ระบาดของโรคระบาดทั้งในมนุษย์ พืชและสัตว์ ประชาชนต้องสูญเสียที่ทำกิน ต้องอพยพย้ายถิ่นส่งผลกระทบต่อสุขภาพกายและสุขภาพจิต ซึ่งมีผลต่อการก่ออาชญากรรมที่สูงขึ้น และภาวะปัญหาต่าง ๆ ตามมามากมาย ซึ่งหากเกิดภัยพิบัติโดยไม่เตรียมการป้องกันย่อมส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศโดยรวม

เนื่องจากปัจจุบันการบริหารจัดการน้ำของกรมชลประทาน [5] ต้องประสบกับปัญหาเรื่องการรับส่งข้อมูลอุทกวิทยาที่ไม่ทันต่อเหตุการณ์ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงระบบการตรวจวัดและรับส่งข้อมูล ณ เวลาจริง (Real time) อย่างต่อเนื่อง หรือระบบโทรมาตรอุทกวิทยา ให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ เพื่อติดตามเฝ้าระวัง แจ้งเตือนสถานการณ์น้ำ และแก้ไขปัญหาได้ทันเวลาที่

ฉะนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของระบบพยากรณ์น้ำและเตือนภัยอุทกภัย โดยออกแบบระบบด้วยการประยุกต์ใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการติดตั้งและใช้งานบริเวณริมฝั่งแม่น้ำเป็นอย่างยิ่ง เพราะอุปกรณ์มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ไม่ต้องมีการวางระบบไฟฟ้า เนื่องจากมีแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน และการรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีขนาด

เล็ก จึงทำให้ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากอุปกรณ์ภายในโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะวางไว้ในตำแหน่งที่ห่างไกลจากศูนย์ควบคุมและสถานีภาคสนาม ดังนั้นระบบการสื่อสารจึงมีความสำคัญอย่างมาก เพื่อให้ศูนย์ควบคุมสามารถติดตามสถานะการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และติดตามข้อมูลที่สถานีภาคสนามได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง แต่การออกแบบและติดตั้งเซนเซอร์เป็นเรื่องยากที่ต้องใช้ความรู้ทั้งทางทฤษฎีเป็นพื้นฐาน และสภาวะแวดล้อมของตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์ด้วย มีปัจจัยมากมายส่งผลกระทบต่อการวางตำแหน่ง (Node placement) ของเซนเซอร์ไร้สาย ไม่เพียงแต่การกำหนดตำแหน่งเท่านั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงไปพร้อม ๆ กันคือ คุณภาพของโครงข่าย ซึ่งเซนเซอร์ต้องสามารถรักษาความเชื่อมโยง (Connectivity) และความเชื่อถือได้ (Reliability) ของโครงข่ายไว้ด้วย ยิ่งไปกว่านั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการวางตำแหน่งของเซนเซอร์ จึงพิจารณาต่ออีกว่า วางตำแหน่งของเซนเซอร์อย่างไรเพื่อให้ประหยัดต้นทุนมากที่สุด โดยครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจให้มากที่สุดด้วย ในที่นี้คือพื้นที่ของริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่งตลอดความยาวของแม่น้ำ

จากคุณสมบัติและความสามารถของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย กล่าวได้ว่า เซนเซอร์ไร้สายเป็นเซนเซอร์อัจฉริยะ (Smart sensor) ทำให้นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจและทำการศึกษาเซนเซอร์อัจฉริยะเหล่านี้ ก่อให้เกิดงานวิจัยมากมาย ซึ่งพิจารณาโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายทั้งทางด้านความปลอดภัย ด้านพลังงาน ด้านโพรโตคอลในการหาเส้นทาง (Routing protocol) หรือโพรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (MAC protocol) และการวางตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สาย

## 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัยในอดีต นำเสนอรูปแบบการวางตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สาย ในลักษณะที่แตกต่างกันทางด้านรูปแบบหรือวิธีการแก้ปัญหา เพื่อสนับสนุนหน้าที่การทำงานและความต้องการเฉพาะด้านนั้น ๆ แม้กระนั้นก็ตาม งานวิจัยทั้งหมดล้วนมีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ วิเคราะห์และออกแบบการวางโนดให้เกิดประสิทธิภาพต่อโครงข่ายสูงสุด

งานวิจัย [6] และ [7] นำเสนอรูปแบบการวางโนดด้วยการกระจายตัวอย่างเอกรูป (Uniform distribution) ซึ่งเป็นหนึ่งในลักษณะการวางโนดแบบสุ่ม (Random) สำหรับโครงข่าย 1 มิติ จากนั้นวิเคราะห์ผล ค่าความน่าจะเป็นของความเชื่อมโยงภายในโครงข่าย จากสถานีต้นทางไปสู่สถานีปลายทางด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยของ [8] และ [9] ทำการพิสูจน์และนำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับ การวางโนดส่งผ่านระหว่างคู่โนดเซนเซอร์ โดยใช้จำนวนโนดส่งผ่าน (Relay node) น้อยที่สุดสำหรับโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ภายใต้เงื่อนไขบังคับ (Constraints) รัศมีของโนดส่งผ่านมากกว่ารัศมีของ

เซนเซอร์ ตั้งขึ้นระหว่างคู่โหนดใด ๆ ต้องคำนึงถึงระยะทางที่เชื่อมโยงถึงกัน ในแต่ละฮอป (Hop) ต้องมีค่าไม่เกินระยะทางการส่งข้อมูล (Transmission range) ซึ่งกำหนดรูปแบบในการแก้ปัญหาการวางตำแหน่งด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีประมาณค่าแบบ SMT (Steiner minimum tree) นอกจากนี้การออกแบบพิจารณาถึงอายุการใช้งาน ขณะที่ยังคงรักษาค่าความเชื่อมโยงภายในโครงข่ายไว้ด้วย แต่ผู้วิจัย [9] นำเสนอขั้นตอนวิธีในการวางโหนดพัฒนาจากผู้วิจัย [8] ซึ่งพิจารณาเฉพาะโครงข่ายแบบลำดับชั้นเดียว (Single-tiered) คือทั้งเซนเซอร์โหนดและโหนดส่งผ่านสามารถรับส่งข้อมูลร่วมกันได้ ส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือ พิจารณาโครงข่ายแบบสองลำดับชั้น (Two-tiered) ภายในโครงข่ายประกอบไปด้วยโหนดส่งผ่านสามารถรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเท่านั้น ขณะที่เซนเซอร์โหนดไม่มีส่วนร่วมในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลโดยตรงได้ ต้องติดต่อสื่อสารผ่านทางโหนดส่งผ่านเท่านั้น และคำนึงถึงความเชื่อมโยง ซึ่งผู้วิจัย [8] พิจารณาเพียงหนึ่งความเชื่อมโยง แต่ผู้วิจัย [9] พิจารณาค่าความเชื่อมโยงเท่ากับหนึ่งและสองตามลำดับ การวางโหนดเป็นแบบสุ่ม สำหรับโครงข่าย 2 มิติ

สำหรับงานวิจัย [10], [11], [12], [13], [14], [15] และ [16] มีความมุ่งหมายที่จะยืดระยะเวลาการทำงานของโครงข่าย ขณะเดียวกันสามารถรองรับความเชื่อมโยงของโครงข่ายออกแบบโดยการวางโหนดจำนวนน้อยที่สุด แต่ยังคงประสิทธิภาพด้านการติดต่อสื่อสารข้อมูลภายในโครงข่าย อันประกอบไปด้วยเซนเซอร์โหนดและโหนดส่งผ่าน พิจารณาการวางโหนดแบบสุ่มสำหรับโครงข่าย 2 มิติ

ในงานวิจัย [10] นำเสนอขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการวางโหนดสำหรับโครงข่าย 2 ลักษณะ ซึ่งพัฒนาจากงานวิจัย [9] คือ โครงข่ายแบบลำดับชั้นเดียว ประกอบด้วยเซตของเซนเซอร์โหนด ทำงานโดยส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ตัวหนึ่งไปยังเซนเซอร์อีกตัวหนึ่งได้โดยตรง ซึ่งทราบตำแหน่งของเซนเซอร์โหนดทุกตัว ขั้นตอนวิธีในการวางโหนดลักษณะนี้ ทำหน้าที่ค้นหาเซตของโหนดส่งผ่าน ที่สามารถรับประกันความเชื่อมโยงภายในโครงข่ายได้ เมื่อลบจำนวนเซนเซอร์โหนดหรือโหนดส่งผ่านมีค่า  $k-1$  ออกจากโครงข่าย ซึ่งค่า  $k$  คืออันดับของความเชื่อถือได้ (Degree of reliability) ส่วนโครงข่ายแบบสองลำดับชั้น ประกอบด้วยเซตของเซนเซอร์โหนดที่ทราบตำแหน่งเช่นกัน แต่ไม่มีส่วนร่วมในการส่งข้อมูล เซนเซอร์โหนดสามารถติดต่อสื่อสารกับโหนดส่งผ่านเท่านั้น ขั้นตอนวิธีในการวางโหนดสำหรับโครงข่ายแบบสองลำดับชั้นนี้ เมื่อกำหนดเซตของโหนดส่งผ่านเข้าไปภายในโครงข่าย จากนั้นถ้าลบจำนวนโหนดมีค่า  $k-1$  ออก ภายใต้งื่อนไขบังคับดังกล่าวโครงข่ายยังคงต้องรักษาความเชื่อมโยงภายในโครงข่ายได้ด้วย ใช้ขั้นตอนวิธีแบบละโมภ (Greedy algorithm) ในการแก้ไขปัญหา Set-cover

ในงานวิจัย [11], [12] [13], [14] และ [15] นำเสนอขั้นตอนวิธีในการประมาณค่าวางโหนดให้มีจำนวนน้อยที่สุด ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ พิจารณาโครงข่ายแบบสองลำดับชั้น ที่

ครอบคลุมทอพอโลยีความเชื่อมโยงภายในโครงข่าย โดยที่รับประกันค่าความเชื่อมโยง  $k$  ของโครงข่ายทั้งกรณีเท่ากับ 1, 2 หรือมากกว่านั้น แต่ข้อจำกัดของงานวิจัย [12] ขึ้นตอนวิธีในการวางโนดไม่รองรับค่าความเชื่อมโยงที่มากกว่า 2

ในงานวิจัย [16] นำเสนอขั้นตอนวิธีในการประมาณค่าวางโนดให้มีจำนวนน้อยที่สุด ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เช่นกัน โดยพิจารณาโครงข่ายแบบลำดับชั้นเดียว ผู้วิจัยสนใจเงื่อนไขบังคับที่ยังไม่ได้พิจารณาในงานวิจัยในอดีต ซึ่งวางตำแหน่งโนดส่งผ่าน ณ ตำแหน่งใดก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติตำแหน่งที่วางโนดส่งผ่านนั้นมีความสำคัญมาก ซึ่งเสนอให้วางภายในเขตย่อยของตำแหน่งที่คาดว่าจะวางได้ (Candidate) เท่านั้น

งานวิจัย [17] ศึกษาคุณลักษณะของโครงข่ายเมื่อค่าความเชื่อมโยง  $k$  เปลี่ยนแปลง โดยโนดทั้งหมดวางแบบสุ่มและเป็นอิสระต่อกัน สำหรับโครงข่าย 1, 2 และ 3 มิติ วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลจำลองการทำงาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถประยุกต์ใช้กับโครงข่ายแบบเคลื่อนที่

ในงานวิจัย [18] นำเสนอขั้นตอนวิธีในการวางเซนเซอร์โนดให้มีจำนวนน้อยที่สุด โดยที่รับประกันค่าความเชื่อมโยง  $k$  ของโครงข่าย นอกจากนั้นยังเพิ่มจำนวนเซนเซอร์โนดด้วยค่าตัวประกอบคงที่ สำหรับค่า  $k$  ใด ๆ ซึ่งวัดสมรรถนะของโครงข่ายด้วยค่า Steiner points คือตำแหน่งที่สามารถเพิ่มจุดที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างหลาย ๆ คู่โนดจากจุดเริ่มต้น พิจารณาการวางโนดแบบถูกกำหนด สำหรับโครงข่าย 2 มิติ

นอกจากนี้งานวิจัยของ [19] และ [20] นำเสนอการวางตำแหน่งที่เหมาะสมของเซนเซอร์ แต่มีเงื่อนไขบังคับที่แตกต่างกันออกไป งานวิจัย [19] ต้องการรองรับการกระจายตัวของเซนเซอร์ โดยการเติมเต็มช่องว่างในพื้นที่การรับส่งข้อมูล เพื่อรับประกันการครอบคลุมพื้นที่ของโครงข่าย ส่วน [20] มีเงื่อนไขบังคับในการตรวจสอบความไม่แม่นยำสำหรับการส่งข้อมูล เมื่อคุณลักษณะของภูมิประเทศที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอุปสรรค (Obstacle) ต่าง ๆ รูปแบบที่ใช้ตรวจสอบคือการกำหนดกริด (Grid) บนเซนเซอร์แต่ละตัวแล้วกำหนดค่าระดับความเชื่อมั่น (Confidence level) ที่ต่ำที่สุดบนวัตถุที่ตรวจสอบพบ จำนวนโดยใช้ขั้นตอนวิธีละโมบในการแก้ปัญหา

อีกทั้งงานวิจัยของ [21] ศึกษาพื้นที่ที่สนใจทำการวางเซนเซอร์ด้วยจำนวนที่น้อยที่สุดเช่นกัน มีจุดประสงค์ในการค้นหาตำแหน่งของเซนเซอร์ด้วยค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด แต่แตกต่างจาก [20] เพราะงานวิจัยนี้วางเซนเซอร์แบบสุ่ม และนำเสนอการวัดคุณภาพของเส้นทางบนโครงสร้างตารางที่เซนเซอร์แต่ละตัวครอบคลุมอยู่ โดยใช้วิธีการคำนวณความน่าจะเป็นที่เกิดการตรวจสอบข้อผิดพลาดในแต่ละกริด จากนั้นจึงพิจารณาเลือกเส้นทางที่รับส่งข้อมูล จากตำแหน่งต้นทางไปยังตำแหน่งปลายทางแล้วเกิดความผิดพลาดต่ำสุด และใช้จำนวน โหนดน้อยที่สุดด้วย



และงานวิจัยของ [22] เสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาการวางตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้รูปแบบของกราฟ และประยุกต์ทฤษฎีกราฟรูปแบบไม่ยืดหยุ่น (Rigidity) มาทดสอบกับเงื่อนไขการออกแบบวางตำแหน่งของเซนเซอร์ที่มีลักษณะเด่นเฉพาะตัว ทำให้การคำนวณการวางตำแหน่งของเซนเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด การวางตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สาย ส่วนใหญ่จะนำเสนอการวางโนดแบบสุ่ม ในพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งข้อดีของการวางโนดแบบสุ่มนั้นไม่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย เช่น งานทางด้านเครื่องตรวจวัดระยะไกล การสะท้อนของคลื่นเสียงใต้น้ำ การตรวจสอบและค้นคืนภาพนิ่ง หรือภาพเคลื่อนไหว ซึ่งต้องการวางโนดแบบกำหนดตำแหน่ง ถึงแม้ว่างานวิจัย [18] จะออกแบบขั้นตอนวิธีวางเซนเซอร์ไร้สายแบบกำหนดตำแหน่ง แต่ขาดการพิจารณาเงื่อนไขบังคับ ด้านการครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจ ดังนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำเสนอการออกแบบทอพอโลยีเซนเซอร์ไร้สายริมฝั่งแม่น้ำ โดยคำนึงถึงคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ พิจารณาการวางตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สายที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบการวางตำแหน่งของเซนเซอร์คือ การใช้จำนวนเซนเซอร์ให้น้อยที่สุด เพื่อลดปัญหาความสิ้นเปลืองของโครงข่าย อีกทั้งการออกแบบยังมีเงื่อนไขบังคับที่ต้องรับประกันการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล (Area coverage) ความเชื่อมโยงภายในโครงข่าย (Network connectivity) และความเชื่อถือได้ของโครงข่าย (Network reliability) ด้วยการสร้างโครงข่ายแบบต้นไม้ (Tree) และทำการวางโนดในตำแหน่งที่ต้องการ

### 1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบทอพอโลยีโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ตามลักษณะที่แตกต่างกันของภูมิศาสตร์ริมฝั่งแม่น้ำ
2. นำแนวทางที่ได้พัฒนาขึ้นไปทดสอบวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนด เพื่อใช้จำนวนเซนเซอร์โนดในปริมาณที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับที่สามารถรับประกันการครอบคลุมพื้นที่ ความเชื่อมโยง และความเชื่อถือได้ของโครงข่าย

### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. งานวิจัยนี้ศึกษาและนำเสนอทอพอโลยีของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยเน้นการนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายเซนเซอร์ระดับน้ำ ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ของริมฝั่งแม่น้ำ

2. โครงการวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบที่มีต่อโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิศาสตร์ ในส่วนของความคลาดเคลื่อนและความกว้างของแม่น้ำ
3. งานวิจัยนี้นำเสนอและพัฒนาแนวทางการออกแบบโครงข่าย โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบจากความแตกต่างของภูมิศาสตร์ริมฝั่งน้ำ ณ ตำแหน่งสถานที่ติดตั้ง
4. นอกจากตำแหน่งที่ตั้งของเซนเซอร์ที่พิจารณาไปข้างต้น ในการออกแบบโครงข่ายจะคำนึงถึงจุดเชื่อมต่อของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง และค่าความเชื่อถือได้ของระบบ

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าบทความทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การวางตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สาย และปัจจัยทางภูมิศาสตร์ที่ส่งผลกระทบต่อ การวางตำแหน่งของเซนเซอร์
2. ศึกษาทฤษฎีกราฟ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ ในการออกแบบทอพอโลยีของโครงข่ายในรูปแบบต่าง ๆ
3. วิเคราะห์และกำหนดรูปแบบปัญหาของงานวิจัย
4. สร้างแบบจำลองการทำงาน เพื่อทดสอบแก้ไขปัญหาที่กำหนดไว้ข้างต้น
5. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการทำงานของระบบ
6. วิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีมาตรฐานที่มีอยู่เดิม
7. รวบรวมข้อมูล และสรุปผลวิเคราะห์เพื่อดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้พื้นฐานและองค์ประกอบของการวางโนด รวมถึงประเด็นงานวิจัยในอดีต ด้านการวางโนด
2. ความรู้เกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางภูมิศาสตร์ ที่ส่งผลกระทบต่อโครงข่าย
3. ความรู้เกี่ยวกับความเชื่อมโยง และวิธีการเพิ่มความเชื่อมโยงของโครงข่าย ทำให้โครงข่ายมีความเชื่อถือได้มากขึ้น เพื่อรองรับความขัดข้องที่เกิดจากโนดได้
4. การรวบรวมองค์ความรู้ คิดวิเคราะห์ และออกแบบขั้นตอนวิธีวางโนดริมฝั่งแม่น้ำภายใต้เงื่อนไขบังคับที่กำหนด เพื่อการใช้งาน โครงข่ายให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

- นำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ติดตั้งใช้งานจริงได้บนริมฝั่งแม่น้ำในอนาคต เพื่อรายงานสถานะของแม่น้ำได้อย่างถูกต้องเท่าทันต่อเหตุการณ์ ลดผลกระทบอันเกิดจากปัญหาอุทกภัย

### 1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ อันประกอบไปด้วยรูปแบบการวางตำแหน่งของโน้ตทั้งแบบคงที่และแบบพลวัต รวมทั้งอธิบายข้อดีข้อเสียของการวางโน้ตในแต่ละลักษณะด้วย จากนั้นกล่าวถึงการลดทอนของการส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ และทฤษฎีกราฟที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขั้นตอนวิธี

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ พิจารณาหลักการออกแบบการวางโน้ตให้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอรองรับการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล การเชื่อมโยง และความเชื่อถือได้ของโครงข่าย

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ด้วยโปรแกรมการจำลองการทำงาน โดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิม นอกจากนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดสอบของขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และข้อเสนอแนะสำหรับนำไปพัฒนางานวิจัยต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การวางตำแหน่งของโนด

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการในการวางตำแหน่งของโนด โดยจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การวางตำแหน่งของโนดประเภทคงที่ (Static node placement) และการวางตำแหน่งของโนดประเภทพลวัต (Dynamic node placement) โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละวิธี ดังนี้

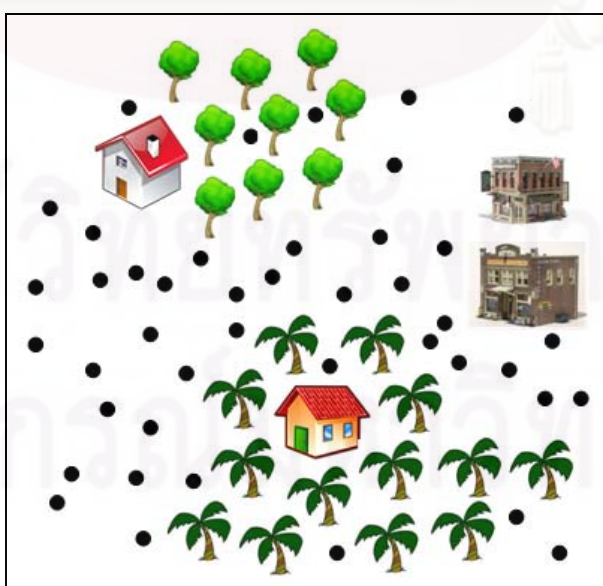
##### 2.1.1 การวางตำแหน่งของโนดแบบคงที่ (Static node placement)

เซนเซอร์โดยทั่วไปจะถูกวางในพื้นที่หนึ่ง ๆ ไม่ว่าจะวางแบบกำหนดตำแหน่งที่ถูกกำหนดไว้แน่นอนหรือการวางแบบสุ่ม รูปแบบของการวางนั้นขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการหรือลักษณะของงานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการวางตำแหน่งของโนดแบบคงที่นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท [23] คือ การวางประเภทคงที่แบบถูกกำหนด (Deterministic) และการวางประเภทคงที่แบบสุ่ม (Random) ซึ่งการวางแบบถูกกำหนดนั้นขึ้นอยู่กับค่าสมรรถนะของโครงข่ายที่ต้องการวัด เช่น อัตราการส่งข้อมูล การตรวจวัดระยะทาง และจำนวนฮอปในการส่งข้อมูล เป็นต้น การออกแบบประเภทนี้จำเป็นต้องมีขั้นตอนวิธีหรือสมการทางคณิตศาสตร์มารองรับ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณ และมีการเตรียมการล่วงหน้า เมื่อทอพอโลยีของโครงข่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงไป อุปกรณ์ยังคงทำงานได้สำเร็จตามเป้าหมายที่ได้วางแผนไว้ อันเนื่องมาจากเซนเซอร์มีราคาแพงหรือการวาง ณ ตำแหน่งนั้น ๆ มีผลกระทบโดยตรงต่อการประมวลผลของอุปกรณ์ การออกแบบจะกำหนดว่าต้องวางเซนเซอร์ ณ พิกัดคู่อันดับ  $(x,y)$  ใด กรณีวางใน 2 มิติ เพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบ และควบคุมการทำงานของโครงข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.1 เซนเซอร์ถูกกำหนดให้วางตามริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง เพื่อการตรวจสอบและเตือนภัยระดับน้ำในแม่น้ำ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรวางแบบสุ่มนั้น การวางโนดด้วยวิธีนี้ จะมีความเชื่อถือได้ที่สูงกว่า ภายใต้งบเงินจำนวนโนดเท่ากัน



รูปที่ 2.1 การวางเซนเซอร์ประเภทคงที่แบบถูกกำหนด

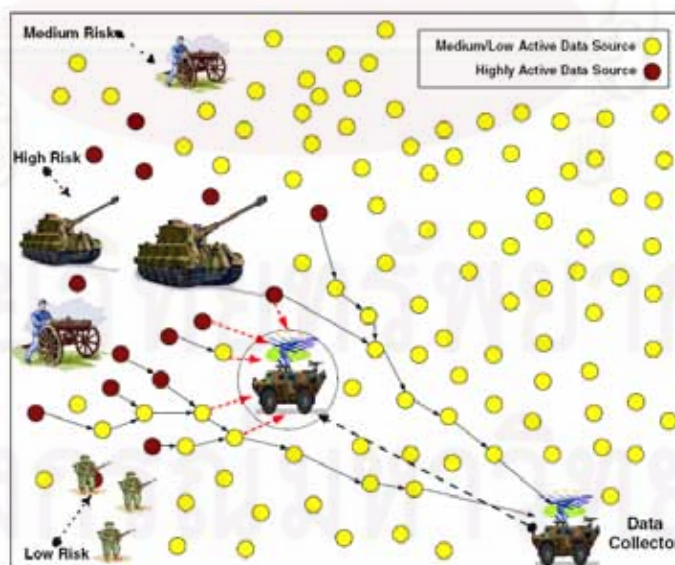
ส่วนการวางแบบสุ่ม เหมาะสำหรับงานทางด้านความมั่นคง สำรวจพื้นที่ การกู้ภัย หรือการตรวจสอบไฟไหม้ป่า เพราะระบบเหล่านี้สามารถยอมรับความเสี่ยงได้หรือเหมาะกับการเข้าถึงพื้นที่ที่ปฏิบัติงานได้ยาก ดังรูปที่ 2.2 เป็นการวางเซนเซอร์แบบสุ่มเพื่อการสำรวจพื้นที่ ข้อดีของการวางแบบสุ่มนี้คือ ทำได้ง่ายกว่าการวางแบบถูกกำหนด อย่างไรก็ตามผลลัพธ์แต่ละครั้งอาจแตกต่างกันไป ฉะนั้นในการทดลองควรทดสอบหลาย ๆ ครั้ง เพื่อดูแนวโน้มที่ถูกต้องของค่าที่ต้องการวัด ข้อเสียคือ สิ้นเปลืองงบประมาณสูงกว่า เพราะถ้าต้องการรวบรวมข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่หนึ่ง ๆ ต้องใช้โนดในปริมาณมากนั่นเอง



รูปที่ 2.2 การวางเซนเซอร์ประเภทคงที่แบบสุ่ม

### 2.1.2 การวางตำแหน่งของโหนดแบบพลวัต (Dynamic node placement)

การวางตำแหน่งของเซนเซอร์ลักษณะนี้ มีความสำคัญต่อโครงข่ายที่ต้องการปรับปรุงพัฒนาสมรรถนะของโครงข่าย เช่น เมื่อเซนเซอร์จำนวนหนึ่งหยุดการทำงานไปเนื่องจากแบตเตอรี่หมด เซนเซอร์ที่เหลือต้องปรับเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ หรือการที่เซนเซอร์สำรองย้ายตำแหน่งใหม่เข้าไปแทนโหนดที่ใช้งานไม่ได้ เพื่อความคงอยู่ของโครงข่ายต่อไป แต่การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเซนเซอร์นั้น ต้องคำนึงถึงเวลาว่าเมื่อใดเป็นเวลาที่เหมาะสม เมื่อมีการเคลื่อนย้ายโหนดไปแล้ว ต้องรักษาสมรรถนะโครงข่ายหรือสนับสนุนการทำงานของโครงข่ายให้คงอยู่นั่นคือ ทอพอโลยีของโครงข่ายต้องมีประสิทธิภาพในระดับสูงนั่นเอง นอกจากนี้คำนึงถึงเวลาที่จะเคลื่อนย้ายโหนดแล้ว ต้องคำนึงถึงตำแหน่งใหม่ของเซนเซอร์ด้วย โดยที่คุณสมบัติของตำแหน่งใหม่ ต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์การวางและค้นหาของโครงข่ายด้วย การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางโหนดนั้น จะเกิดปัญหาความซับซ้อนของโครงข่ายขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งพิจารณาได้ 2 ประเด็น คือ ประเด็นแรกเรื่องจำนวนของตำแหน่งที่เซนเซอร์สามารถวางได้ ซึ่งมีอยู่อย่างไม่จำกัด ประเด็นที่สองเรื่องภาระบุเพิ่มที่เกิดขึ้น (Overhead) และสถานะของข้อมูลที่กำหนดตำแหน่งใหม่ของเซนเซอร์ ตัวอย่างของการวางเซนเซอร์แบบพลวัต ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [24] ใช้สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งปราศจากอุปกรณ์ใด ๆ เข้ามาขัดขวางการทำงานของโครงข่าย โดยการปกป้อง DC (Data collector) ให้ห่างไกลจากการทำอันตรายของฝ่ายตรงข้าม โดยเคลื่อนย้าย DC ไปยังตำแหน่งที่ปลอดภัย



รูปที่ 2.3 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์แบบพลวัต

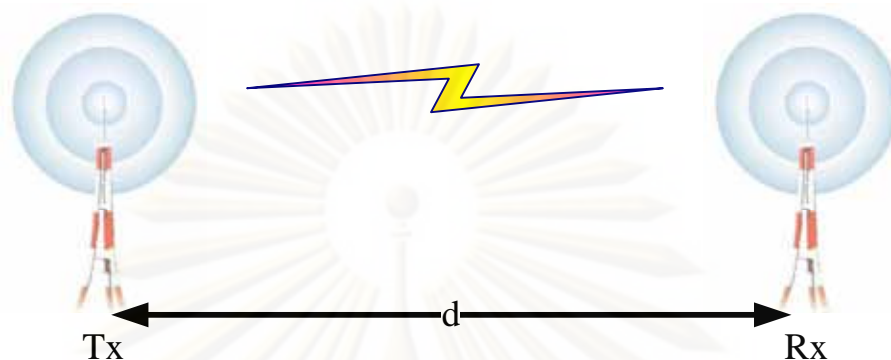
## 2.2 การกระจายคลื่นวิทยุ

โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่หนึ่งที่ไม่ต้องขออนุญาต (Unlicensed band) จากคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เป็นความถี่สำหรับโครงข่ายไร้สายที่ใช้งานได้ทั่วไป แต่คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่นี้ เมื่อคลื่นตกกระทบที่วัตถุทำให้เกิดการสะท้อน การดูดกลืน การรบกวนและการลดทอนของคลื่นสัญญาณได้ ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุนั้น ๆ ดังจะกล่าวในส่วนต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้ นั้น เลือกใช้อุปกรณ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4/ Zigbee เพราะอุปกรณ์ชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก ใช้พลังงานในการส่งข้อมูลต่ำ เหมาะสำหรับการนำไปตรวจสอบหรือการควบคุมในบริเวณที่ต้องการได้ ดังตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติการเปรียบเทียบขั้นพื้นฐานของโพรโตคอลสำหรับโครงข่ายไร้สาย [2]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของโพรโตคอลสำหรับโครงข่ายไร้สาย

	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Market name for standard	2.5G/3G	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
Network target	WAN/MAN	WLAN and hotspot	PAN and DAN (desk area network)	WSN
Application focus	Wide area voice and data	Enterprise applications (data and VoIP)	Cable replacement	Monitoring and control
Bandwidth (Mbps)	0.064–0.128+	11–54	0.7	0.020–0.25
Transmission range (ft)	3000+	1–300+	1–30+	1–300+
Design factors	Reach and transmission quality	Enterprise support, scalability, and cost	Cost, ease of use	Reliability, power and cost

### 2.2.1 แบบจำลองการลดทอนของคลื่น (Propagation path loss model)



รูปที่ 2.4 การส่งคลื่นวิทยุในอากาศว่าง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การสูญเสียจากระยะทาง (Path loss) เป็นการลดทอนสัญญาณที่ กำลังส่งของสัญญาณจะลดลงอย่างคงที่ตามระยะทางในการส่งสัญญาณ ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศว่างดังรูปที่ 2.4 เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในการวิเคราะห์ และออกแบบ การสื่อสารไร้สาย นั่นคือ ค่ากำลังสูญเสียในอากาศว่าง (Attenuation in free space) [25] ทั้งในกรณีของ LOS: Line of sight (เส้นทางที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง) และNLOS: Non-line of sight ค่ากำลังสูญเสียในอากาศว่างจะแปรผันตามระยะทาง และความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ดังสมการที่ 2.1

$$\alpha_{path} (dB) = 32.45 (dB) + 20 \log f (MHz) + 20 \log d (km) \quad (2.1)$$

โดยที่  $\alpha_{path}$  คือ กำลังสูญเสียในอากาศว่าง (dB)

$f$  คือ ความถี่คลื่นที่ใช้ (MHz)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเสาอากาศรับและเสาอากาศส่ง (km)

สำหรับกรณีของ LOS การส่งคลื่นสัญญาณจะไม่พิจารณากรณีคลื่นเกิดการดูดกลืน (Absorption) การสะท้อน (Reflection) และการกระจาย (Diffraction) จึงขอไม่กล่าวถึงรายละเอียดไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

### 2.2.2 การลดทอนของสัญญาณจากสภาพภูมิศาสตร์

คุณลักษณะของการแพร่กระจายของคลื่นนั้น ย่อมแตกต่างกันไปตามพื้นที่หรือลักษณะงานที่นำไปใช้ ซึ่งงานวิจัยนี้นอกจากจะกำหนดให้ส่งคลื่นสัญญาณแพร่ออกไปในอากาศว่างในพื้นที่เปิดใด ๆ แล้ว ยังพิจารณากรณีที่คลื่นวิทยุแพร่ออกไปในพื้นที่ที่เหนือแหล่งน้ำ



สัญญาณจะลดทอนลงด้วยสมการ 2.2 ตามมาตรฐานของ ITU-R P.620-6 ในภาคผนวกที่ 2 [26] เนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณาการสื่อสารที่ความถี่ 2.4 GHz จึงเข้าเงื่อนไขการคำนวณการลดทอนของสัญญาณที่สัมพันธ์กับระยะทางสำหรับการกระจายคลื่น ที่มีความถี่ระหว่าง 790 MHz ถึง 60 GHz

$$\gamma_o = \begin{cases} \left[ 7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.50} \right] f^2 \times 10^{-3} & \text{for } f \leq 56.77 \\ 10 & \text{for } f > 56.77 \end{cases} \quad (2.2)$$

โดยที่  $\gamma_o$  คือ กำลังสูญเสียในอากาศที่มีสถานะแห้ง (dB/km)  
 $f$  คือ ความถี่คลื่นที่ใช้ (GHz)

### 2.2.3 การเฟดของสัญญาณ (Fading)

การเฟด (Fade) ของสัญญาณหมายถึง การที่สัญญาณถูกลดทอนลงไปทำให้มีความแรงสัญญาณอ่อนลง ซึ่งไม่สามารถทำนายได้แน่นอน เพราะเกิดขึ้นจากเงื่อนไขของบรรยากาศขณะนั้น จากสภาพอากาศและภูมิประเทศ สามารถพิจารณาการเฟดของสัญญาณได้เป็น 2 ลักษณะคือ Large scale fading กับ Small scale fading ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึง Large scale fading เท่านั้น เป็นการเฟดที่เกิดจากองค์ประกอบขนาดใหญ่ เช่น ระยะทาง หรือการครอบคลุมพื้นที่ การเฟดลักษณะนี้ทำให้สัญญาณลดลงไปจากเดิมอีกที่เรียกว่า Shadow fading สามารถวัดค่าได้ด้วยการกระจายตัวปกติแบบกราฟล็อก (Lognormal distribution) จากการลดทอนดังกล่าว เพื่อการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางนั้น ส่งผลให้ต้องแก้ปัญหาการลดทอนของสัญญาณด้วยการลดขนาดรัศมีของโนดนั้นลง เพิ่มพลังงานในการส่งสัญญาณ หรือทำให้สถานีที่รับสัญญาณมีความเร็วในการตรวจสอบ (Sensitivity) สัญญาณสูงขึ้น

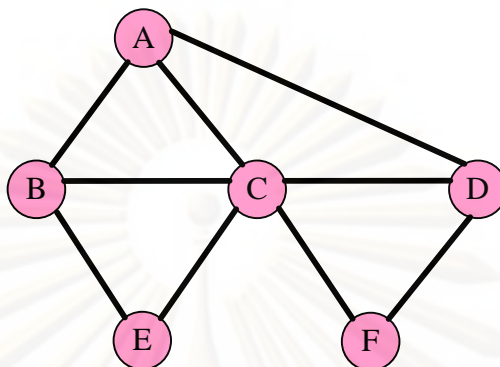
## 2.3 ทฤษฎีกราฟ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของกราฟเบื้องต้น และคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงเมื่อสร้างกราฟ การติดต่อสื่อสารกันของกราฟเป็นตัวกำหนดทอพอโลยีของโครงข่าย ซึ่งประกอบไปด้วยเซตของเส้นทางที่เชื่อมโยงถึงกันมากมายระหว่างเซตของโนดนั้น ๆ จึงขออธิบายรายละเอียด ดังนี้

### 2.3.1 นิยามกราฟและโครงสร้างต้นไม้ (Tree)

กราฟ [26] ใช้สัญลักษณ์  $G = (V, E)$  ประกอบด้วยเซตของโนด (Vertex set) แทนด้วย  $V$  ซึ่งเป็นเซตอันตะ (Finite set) และไม่เป็นเซตว่าง และเซตของเส้นทาง (Edge set) แทนด้วย  $E$  เป็นเซต

ที่ประกอบด้วยเซตย่อยที่มีสมาชิก 2 ตัวของสมาชิกเซตของโนด กล่าวได้ว่า  $E(G)$  แทนเซตของเส้นทางของกราฟ  $G$



รูปที่ 2.5 ลักษณะของโครงสร้างกราฟ

จากรูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างกราฟ  $G = (V, E)$  ซึ่งประกอบไปด้วย สมาชิกของเซตโนด  $V$  และเซตของเส้นทาง  $E$  เพื่อเชื่อมต่อระหว่างโนดเข้าด้วยกัน

$$V = \{A, B, C, D, E, F\}$$

$$E = \{(A, B), (A, C), (A, D), (B, C), (B, E), (C, D), (C, E), (C, F), (D, F)\}$$

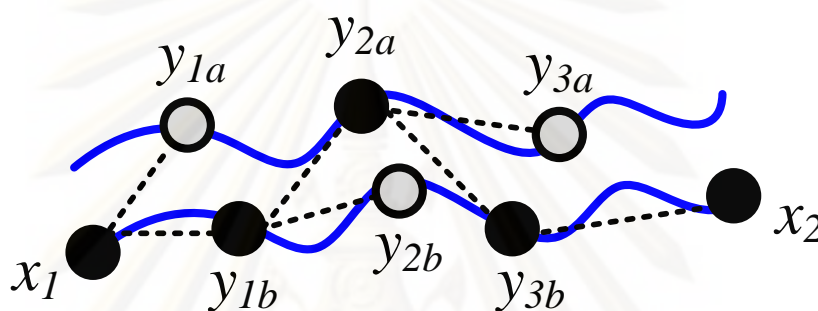
จากพื้นฐานของกราฟ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณากราฟในลักษณะโครงสร้างเป็นรูปต้นไม้ (Tree) ซึ่งคุณสมบัติของ  $T$  สำหรับ  $n$  โหนดนั้นประกอบด้วย

- ความเชื่อมโยงต่อกัน ภายใน  $T$
- ไม่มีวัฏจักร (Cycle) ในโครงข่าย
- กำหนดให้คู่โนด  $u, v$  ต้องมีเส้นทางเชื่อมระหว่าง  $u, v$  เพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น
- ทุก ๆ เส้นทางใน  $T$  มีคุณสมบัติ cut-edge คือ เมื่อลบเส้นทางนั้นออกไปจะทำให้โครงข่ายขาดความเชื่อมโยงถึงกัน
- $T$  เป็นโครงข่ายที่ประกอบไปด้วย  $n-1$  เส้นทาง
- $T$  เป็นโครงข่ายที่ประกอบไปด้วยโนดอย่างน้อย 2 โหนด สำหรับดีกรีความเชื่อมโยงเท่ากับ 1 เมื่อ  $n \geq 2$
- การเพิ่มหนึ่งเส้นทางเข้าไประหว่างโนดสองโนดภายในโครงข่ายของ  $T$  ย่อมทำให้กราฟเกิดวัฏจักรขึ้น

จากคุณลักษณะของ  $T$  จึงนำโครงสร้างต้นไม้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย เป็นกราฟที่มีการเชื่อมต่อแบบไม่มีทิศทาง (Undirected graph) และส่วนของโนดใบ (Leaf node) จะมีดีกรีเป็นหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นตัวอย่างการวางเซนเซอร์โนดลงบนริมฝั่งแม่น้ำ เริ่มต้นจากสถานีต้นทาง  $x$ , เป็น

โหนดแรกที่ต้องค้นหาโหนดที่ได้รับข้อมูล สังเกตว่าจากหนึ่งโหนดสามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดถัดไปได้ 2 ตำแหน่งบนริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง แต่เลือกที่จะส่งข้อมูลได้เพียงโหนดเดียวเท่านั้น โหนดสีดำ  $y_{1b}$  เป็นโหนดที่ได้รับการเลือก ส่วนโหนดโหนดสีเทา  $y_{1a}$  เป็นโหนดที่ไม่ได้รับการเลือก และจากโหนดที่ได้รับการเลือกจะทำการค้นหาโหนดที่ตำแหน่งถัดไปตามลำดับจนกระทั่งถึงสถานีปลายทาง  $x_2$  ดังนั้นกราฟ  $G = (V, E)$  จึงประกอบไปด้วย

$$V = \{x_1, y_{1b}, y_{2a}, y_{3b}, x_2\} \text{ และ } E = \{(x_1, y_{1b}), (y_{1b}, y_{2a}), (y_{2a}, y_{3b}), (y_{3b}, x_2)\}$$

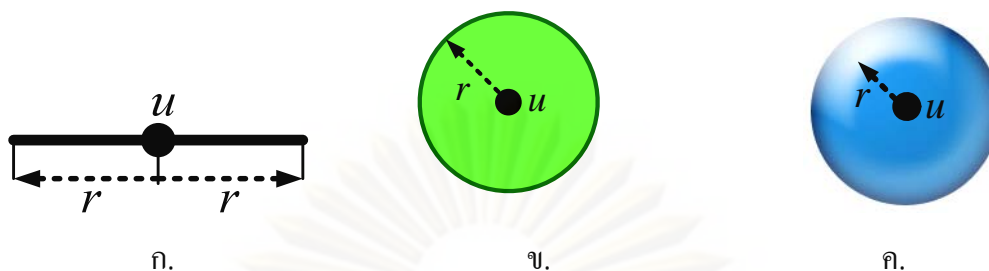


รูปที่ 2.6 กราฟโครงสร้างต้นไม้บนริมฝั่งแม่น้ำ

### 2.3.2 ความเชื่อมโยง (Connectivity)

ทอพอโลยีของโครงข่าย จะมีความเชื่อมโยงของเส้นทางระหว่างคู่โหนด  $u, v$  ในโครงข่ายนั้น ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโหนด  $u, v$  พลังงานที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูล และสถานะแวดล้อมรอบด้าน ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2 ส่วนในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความเชื่อมโยงของระยะทางระหว่างคู่โหนด  $u, v$  ของโครงข่าย ซึ่งโครงข่ายนั้นสามารถพิจารณาตามมิติได้เป็น 1, 2 และ 3 มิติ ดังรูปที่ 2.7 [1] แสดงรัศมีของโหนดใน 1, 2 และ 3 มิติ เมื่อพิจารณาโครงข่ายในมิติใด ๆ กำหนดให้  $u$  เป็นโหนดต้นทางที่ต้องการจะส่งข้อมูลไปยังโหนด  $v$  ดังนั้นตำแหน่งที่โหนด  $v$  จะวางได้เพื่อสามารถติดต่อรับส่งข้อมูลกับโหนด  $u$  ได้ต้องอยู่ภายในบริเวณค่ารัศมี  $r$  ในกรณีโครงข่าย 1 มิติ รูปที่ 2.7 ก. เซกเมนต์ที่สามารถส่งข้อมูลได้มีค่าเป็น  $2r$  เมื่อกำหนดให้โหนด  $u$  เป็นศูนย์กลาง สำหรับโครงข่าย 2 มิติ รูปที่ 2.7 ข. รัศมีในการส่งข้อมูลจะเป็นพื้นที่วงกลมรอบจุดศูนย์กลางโหนด  $u$  และสุดท้ายโครงข่าย 3 มิติ รูปที่ 2.7 ค. รัศมีในการส่งข้อมูลจะเป็นทรงกลมรอบจุดศูนย์กลางโหนด  $u$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

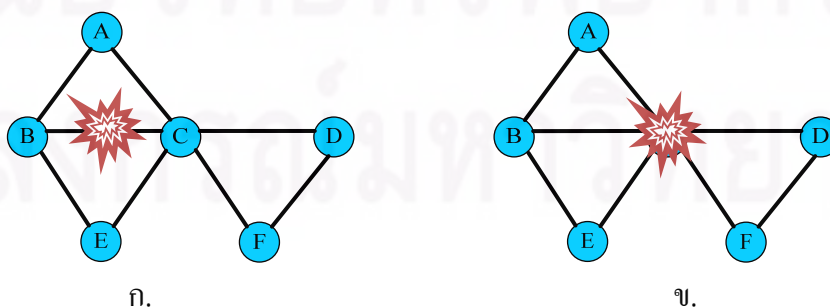


รูปที่ 2.7 การครอบคลุมของสัญญาณสำหรับ โครงข่าย ก. 1 มิติ ข. 2 มิติ ค. 3 มิติ

สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะ โครงข่าย 2 มิติเท่านั้น ซึ่งตำแหน่งของ  $v$  สามารถอยู่ที่ใดก็ได้ ภายในบริเวณรัศมีการครอบคลุมของ  $u$  ทำให้เกิดค่าดีกรีความเชื่อมโยงเท่ากับ 1 โดยเงื่อนไขของความเชื่อมโยง [27] กล่าวไว้ว่าโครงข่ายที่มีความเชื่อมโยง  $k$  ก็ต่อเมื่อ มีการลบโหนดออกไปจากเซตของโหนดนั้น เท่ากับ  $k - 1$  แล้ว ยังคงทำให้โครงข่ายทำงานอยู่ได้ โดยไม่ขาดการเชื่อมโยงถึงกัน

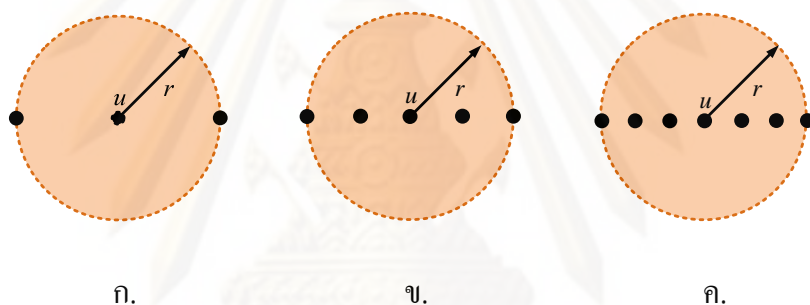
### 2.3.3 ความเชื่อถือได้ (Reliability)

ความเชื่อถือได้ (Reliability) [28] คือการศึกษาสมรรถนะที่มีความคงทนต่อการเกิดความขัดข้องโดยรวมของทั้งระบบ ซึ่งความขัดข้องนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท กล่าวคือความขัดข้องจากเส้นทาง หมายถึง เมื่อลบเส้นทางนั้นออกจากโครงข่าย จะทำให้เส้นทางระหว่างคู่โหนดนั้นขาดออกจากกัน แต่โครงข่ายยังคงสามารถทำงานได้ ดังรูปที่ 2.8 ก. เส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด  $B, C$  เกิดความขัดข้องขึ้น ทำให้โหนด  $B$  ไม่สามารถติดต่อกับโหนด  $C$  ได้โดยตรง แต่สามารถติดต่อกันได้โดยส่งข้อมูลผ่านไปยังโหนด  $A$  หรือโหนด  $E$  ย่อมทำให้โครงข่ายสามารถทำงานต่อไป ต่างจากความขัดข้องจากโหนด หมายถึง เมื่อลบโหนดออกจากโครงข่ายส่งผลให้เส้นทางที่เชื่อมต่อจากโหนดนั้นไปยังโหนดอื่น ๆ จะถูกลบออกไปด้วย ซึ่งรุนแรงกว่าความขัดข้องจากเส้นทาง ดังรูปที่ 2.8 ข. เมื่อโหนด  $C$  เกิดความขัดข้องขึ้น นอกจากโหนด  $C$  จะถูกทำลายไปแล้ว ยังทำให้เส้นทางที่เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างโหนด  $C$  ไปยังโหนด  $A, B, D, E$  และ  $F$  ได้รับการทำลายไปด้วย ทำให้โครงข่ายนี้ขาดความเชื่อมโยงถึงกัน



รูปที่ 2.8 ก. ความขัดข้องจากเส้นทาง ข. ความขัดข้องจากโหนด

จากหัวข้อที่ 2.3.2 กล่าวถึงค่าดีกรีความเชื่อมโยง  $k$  ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเชื่อถือได้ของโครงข่าย เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.9 ก. โหนด  $u$  สามารถติดต่อสื่อสารกับโหนดข้างเคียงได้ 2 โหนด คือทางด้านซ้ายและด้านขวาอย่างละ 1 โหนด แสดงว่า โหนด  $u$  มีดีกรีความเชื่อมโยงเท่ากับ 2 จากนั้นพิจารณารูปที่ 2.9 ข. โหนด  $u$  สามารถติดต่อสื่อสารกับโหนดข้างเคียงได้เพิ่มขึ้นจากเดิมด้วยดีกรีความเชื่อมโยงเท่ากับ 4 ภายใต้รัศมีครอบคลุมการติดต่อสื่อสารเดิมเท่ากับ  $r$  และรูปที่ 2.9 ค. โหนด  $u$  มีดีกรีความเชื่อมโยงเท่ากับ 6 ภายใต้รัศมีครอบคลุมการติดต่อสื่อสารเท่ากับ  $r$  เช่นกัน เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของโครงข่าย เมื่อมีจำนวนโหนดที่สามารถติดต่อกับโหนด  $u$  มากขึ้นจากเดิม 2 โหนดในรูปที่ 2.9 ก. เป็น 6 โหนดในรูปที่ 2.9 ค. หากโหนดใดโหนดหนึ่งถูกลบออกไป โหนด  $u$  ยังคงสามารถสื่อสารข้อมูลติดต่อกับโครงข่ายได้ แต่สำหรับกรณีเดียวกันเกิดขึ้นกับรูปที่ 2.9 ก. จะทำให้โหนด  $u$  ขาดการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับอีกด้านที่โหนดถูกทำลายไป



รูปที่ 2.9 การครอบคลุมของสัญญาณสำหรับดีกรีความเชื่อมโยง ก.  $k = 2$  ข.  $k = 4$  ค.  $k = 6$

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### ขั้นตอนวิธีการออกแบบ

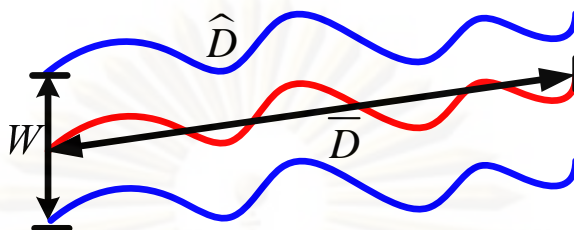
ในบทนี้กล่าวถึง วิธีการออกแบบท่อพอลิเอทิลีนเซอรัไรรีไซมิ่งฝิ่งแม่น้ำ สำหรับการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำและเตือนภัยอุทกภัย โดยนำหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่กล่าวถึงในบทที่แล้ว มาใช้สร้างขั้นตอนวิธีการวางเซนเซอร์โนดในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะทางภูมิศาสตร์ในแต่ละพื้นที่ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการวางตำแหน่งของเซนเซอร์รีไซมิ่งฝิ่งแม่น้ำที่แตกต่างกันออกไป จึงมีความจำเป็นต้องวางแผนและออกแบบท่อพอลิเอทิลีนเซอรัไรรีไซมิ่งฝิ่งแม่น้ำให้มีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนวิธีการออกแบบการวางเซนเซอร์โนดในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการใช้นับจำนวนเซนเซอร์น้อยที่สุดนั้น ต้องคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับด้านการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล ความเชื่อมโยง และความเชื่อถือได้ของโครงข่าย เพื่อเป็นการรับประกันการติดต่อสื่อสารภายในโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับแม่น้ำที่มีรูปร่างทางตรง และรูปร่างคดเคี้ยวได้ แม้ว่ารีไซมิ่งฝิ่งของแม่น้ำทั้งสองฝิ่ง มีลักษณะสมมาตรหรือไม่ก็ตาม

#### 3.1 การออกแบบเพื่อรองรับเงื่อนไขบังคับด้านการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล

งานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีต มุ่งเน้นไปที่การหาปริมาณ โหนดที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับโครงข่าย ด้วยขั้นตอนวิธีหรือสมการในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอขั้นตอนวิธีการวางโนดบนรีไซมิ่งฝิ่งแม่น้ำ ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่สร้างขึ้น เพื่อใช้งานในบริเวณที่เป็นพื้นที่เท่านั้น สำหรับพิจารณาโครงข่ายแบบ 2 มิติ เนื่องจากคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ของรีไซมิ่งฝิ่งแม่น้ำ ที่พบโครงสร้างทางรูปร่าง ความโค้ง และความกว้างที่แตกต่างกันในแม่น้ำแต่ละสายแตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยนี้พิจารณาวางเซนเซอร์โนดบนรีไซมิ่งฝิ่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝิ่ง แบ่งรูปร่างของแม่น้ำได้เป็น 2 ลักษณะอย่างกว้าง ๆ คือ แม่น้ำทางตรง และแม่น้ำทางโค้ง จากรูปที่ 3.1 กำหนดให้  $\hat{D}$  เป็นระยะทางตามรูปร่างแม่น้ำหรือระยะทางตลอดความยาวแม่น้ำ และกำหนดให้  $\bar{D}$  เป็นระยะกระจัดของแม่น้ำ ดังนั้นคิกรความโค้งของแม่น้ำ  $C$  คำนวณได้จากอัตราส่วนในสมการที่ 3.1 ซึ่งค่า  $C$  ที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าเฉลี่ยของความโค้งตลอดความยาวแม่น้ำในเซกเมนต์นั้น

$$C = \frac{\hat{D}}{D} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.1 ลักษณะแม่น้ำสำหรับการทดสอบ

โดยตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ พร้อมคำจำกัดความที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ตารางที่ 3.1 นิยามค่าพารามิเตอร์

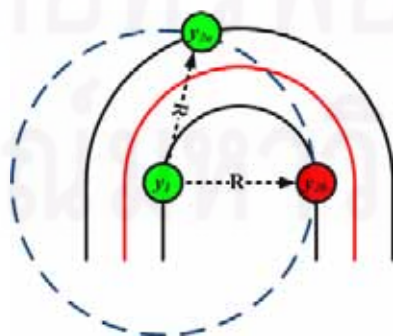
$X$	เขตของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า
$Y$	เขตของเซนเซอร์โนด
$x_i$	ตำแหน่งที่ $i^{\text{th}}$ ของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า
$y_j$	ตำแหน่งที่ $j^{\text{th}}$ ของเซนเซอร์โนด
$n$	จำนวน โหนดของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้าทั้งหมดในโครงข่าย
$m$	จำนวน โหนดของเซนเซอร์โนดทั้งหมดในโครงข่าย
$r$	รัศมีสำหรับการส่งสัญญาณของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า
$R$	รัศมีสำหรับการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โนด
$k$	ดีกรีความเชื่อถือได้
$C$	ดีกรีความโค้ง
$\hat{D}$	ระยะทางตามรูปร่างแม่น้ำหรือระยะทางตลอดความยาวแม่น้ำภายในเซกเมนต์
$\bar{D}$	ระยะกระจัดของแม่น้ำภายในเซกเมนต์
$L_s$	ความยาวของแม่น้ำในหนึ่งเซกเมนต์ ซึ่งถูกแบ่งโดยสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า
$W$	ความกว้างของแม่น้ำ
$\hat{d}$	ระยะทางตามรูปร่างแม่น้ำระหว่างคูโนดตามเส้นกลางแม่น้ำ
$\bar{d}$	ระยะกระจัดระหว่างคูโนดตามเส้นกลางแม่น้ำ

จากรูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างแม่น้ำที่ได้รับการติดตั้งเขตของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้ ประกอบด้วยสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้  $x_1, x_2, x_3$  และ  $x_4$  บนริมฝั่งแม่น้ำ ซึ่งแบ่งแม่น้ำออกเป็น 3 ส่วนระหว่างคู่ของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้นจึงกำหนดให้  $L_s$  เป็นความยาวของแต่ละเซกเมนต์ระหว่างคู่ของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้ ในแต่ละเซกเมนต์ดังกล่าวจะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับจำลองการเพื่อวางเซนเซอร์โนดต่อไป



รูปที่ 3.2 แม่น้ำที่ได้รับการติดตั้งสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้

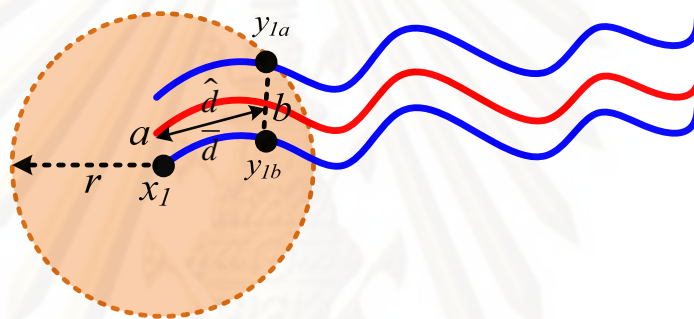
จากเงื่อนไขบังคับด้านการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล ดังนั้น กำหนดให้  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  เป็นเขตของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้ กำหนดให้  $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$  เป็นเขตของเซนเซอร์โนด โดยทำการส่งข้อมูลที่รัศมีในการติดต่อสื่อสารที่  $r$  และ  $R$  ตามลำดับ ในทางทฤษฎี จำนวนเซนเซอร์โนดในโครงข่ายจะน้อยที่สุด ก็ต่อเมื่อสื่อสารข้อมูลกันด้วยระยะทางไกลที่สุดที่เท่ากับรัศมี แต่ในทางปฏิบัตินั้น การสื่อสารข้อมูลดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการรองรับการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูลตลอดความยาวแม่น้ำ พิจารณาได้จากรูปที่ 3.3 โหนด  $y_1$  ตั้งอยู่บนโค้งแม่น้ำต้องการส่งข้อมูลไปยังโนด  $y_2$  ซึ่งจากระยะทางในการสื่อสารข้อมูลสามารถติดต่อได้กับโนด  $y_{2a}$  และ  $y_{2b}$  แต่ถ้าส่งข้อมูลไปยัง โหนด  $y_{2b}$  จะทำให้ข้อมูลในช่วงโค้งของแม่น้ำถูกตัดออกไปหรือไม่ได้รับการพิจารณาจากโครงข่าย ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารที่ขาดประสิทธิภาพที่เพียงพอ ดังนั้น ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวางโนดถัดไปคือ ตำแหน่งที่ โหนด  $y_{2a}$



รูปที่ 3.3 ระยะทางการส่งสัญญาณข้อมูลระหว่างคู่ของเซนเซอร์โนด



ผู้วิจัยสังเกตเห็นความสำคัญในการตรวจสอบ และเก็บรวบรวมข้อมูลทุกพื้นที่ที่ตลอดความยาวของแม่น้ำ เมื่อพิจารณาถึงการครอบคลุมของพื้นที่ จึงสร้างเส้นกลางแม่น้ำ ใช้สำหรับเป็นเส้นอ้างอิงในการคำนวณระยะทาง ระหว่างการติดต่อสื่อสารของเซนเซอร์กับเซนเซอร์ และเซนเซอร์กับสถานีทั้งต้นทางและปลายทางด้วย เพื่อเป็นการรับประกันว่าสามารถส่งข้อมูลจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทาง ดังรูปที่ 3.4 สถานี  $x_1$  มีรัศมี  $r$  ภายในวงกลม 1 หน่วยคำนวณค่า  $\bar{d}$  จากจุด  $a$  ไปยังจุด  $b$  ได้เท่ากับ 0.72 หน่วย ค่า  $\hat{d}$  เท่ากับ 1 หน่วย จะสังเกตว่าค่า  $\bar{d} < r$  เสมอ กรณีค่า  $C$  มากกว่า 1  $\bar{d} = r$  ได้ก็ต่อเมื่อ  $C$  เท่ากับ 1 เท่านั้น และค่า  $\hat{d} \leq r$  เสมอ เพื่อรองรับการครอบคลุมของพื้นที่



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดของแม่น้ำกับรัศมีสำหรับการส่งสัญญาณ

### 3.2 การออกแบบเพื่อรองรับเงื่อนไขบังคับด้านความเชื่อมโยง

ความเชื่อมโยงของโครงข่ายแอดฮอกนั้นมีความสำคัญอย่างมาก สำหรับการตรวจสอบเพื่อรวบรวมข้อมูลภายในโครงข่าย ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3.2 เพราะความเชื่อมโยงมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ต้องใช้ไปในโครงข่าย (Power consumption) ในการรวบรวมข้อมูลและระยะเวลาในการใช้งานได้ของโครงข่าย (Network lifetime) จากทฤษฎีในบทที่ 2 สามารถคำนวณการลดทอนของสัญญาณตามสมการที่ 2.2 และ 2.3 ถ้ากำหนดให้ระยะทางการสื่อสารข้อมูลในช่วงสอบเป็น 1 กิโลเมตร  $\alpha_{path}$  เท่ากับ 100.05 dB และ  $\gamma_0$  เท่ากับ 0.0025 dB ซึ่งกรณีการส่งสัญญาณแพร่กระจายออกไปในพื้นที่ที่เหนือแหล่งน้ำ สัญญาณลดทอนลงมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การลดทอนของสัญญาณในอากาศว่างกรณี LOS ซึ่งอาจไม่จำเป็นต้องนำมาคิด

เมื่อสื่อสารข้อมูลกันด้วยระยะทางไกลมากเท่าใด จะทำให้โครงข่ายสูญเสียพลังงานเพิ่มมากขึ้น แต่โนดจะสูญเสียพลังงานก็ต่อเมื่อมีการรับส่งข้อมูลเท่านั้น และข้อมูลที่ใช้สำหรับระบบภาคการณและเตือนภัยอุทกภัยนั้น จะรับส่งข้อมูลเฉพาะเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ หรือรวบรวมข้อมูลระดับน้ำ ตามความถี่ของช่วงเวลาที่ต้องการของผู้ที่ควบคุมดูแล ซึ่งการกระทำเช่นนี้

ทำให้สูญเสียพลังงานเท่าที่จำเป็นเท่านั้น ดังนั้นโครงข่ายที่ประสบความสำเร็จในการติดต่อสื่อสารจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางนั้น ซึ่งในที่นี้คือการที่สถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้ากับเซนเซอร์โหนดสามารถร่วมกันรับ และส่งข้อมูลกับโหนดเพื่อนบ้านอย่างน้อยสองโหนด โดยปกตินั้นการติดตั้งจำนวนเซนเซอร์โหนดมากทำให้โครงข่ายมีความเชื่อมโยงสูงขึ้น แต่ต้องใช้งบประมาณลงทุนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ด้วยสาเหตุนี้เองทำให้ผู้วิจัยมีความต้องการหาจำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข่าย เพื่อลดงบประมาณสำหรับการลงทุน

### 3.3 การออกแบบเพื่อรองรับเงื่อนไขบังคับด้านความเชื่อถือได้

ความเชื่อถือได้ของโครงข่ายเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่ง ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของโครงข่าย ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.3 ซึ่งจากรูปที่ 3.5 ก. แสดงการติดต่อกันระหว่างโหนด ซึ่งโหนดหนึ่ง ๆ สามารถเชื่อมโยงไปยังโหนดต้นทางก่อนหน้าด้วยระยะทางหนึ่งฮอป และโหนดปลายทางถัดไปได้ด้วยระยะทางหนึ่งฮอป นั้นแสดงว่าโหนดนั้นมีดีกรีความเชื่อถือได้เท่ากับ 2 ภายใต้เงื่อนไขไม่มีโหนดใดในโครงข่ายเกิดความขัดข้องขึ้น แต่เมื่อพิจารณาระดับชั้นความเชื่อมโยงของโครงข่าย ( $k$ -connectivity) เพื่อเพิ่มค่าความเชื่อถือได้ของระบบ ดังรูปที่ 3.5 ข. และรูปที่ 3.5 ค. เพิ่มดีกรีความเชื่อมโยงขึ้นเป็น 4 และ 6 ตามลำดับ ส่งผลให้โครงข่ายมีความเชื่อถือได้สูงขึ้น จากเดิมสามารถติดต่อกับโหนดต้นทางก่อนหน้าและโหนดปลายทางถัดไปเพียงด้านละหนึ่งฮอป เพิ่มขึ้นเป็นด้านละสองและสามฮอป ภายใต้เงื่อนไขไม่มีโหนดใดในโครงข่ายเกิดความขัดข้องขึ้นติดต่อกันหนึ่งและสองโหนดตามลำดับ

รูปที่ 3.5 ก. โหนด  $u$  มีโหนดที่ติดต่อกับได้ด้วย 2 โหนดคือ โหนดต้นทางก่อนหน้าหนึ่งฮอป และโหนดปลายทางถัดไปหนึ่งฮอป นั้นแสดงว่าโหนดนั้นมีดีกรีความเชื่อถือได้เท่ากับ 2 สามารถคำนวณสมรรถนะของโครงข่ายที่รองรับความขัดข้อง ในรูปแบบของค่าความน่าจะเป็น ดังนี้ กำหนดให้  $p$  เป็นค่าความน่าจะเป็นของโหนดแต่ละตัวภายในโครงข่ายเกิดความขัดข้อง เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนโหนดทั้งหมด  $m$  ตัว ดังนั้นจะได้ค่า

$$p = \frac{k}{2m} \quad (3.2)$$

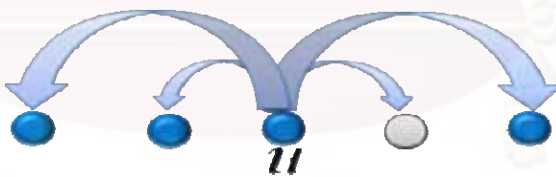
ตัวอย่าง เช่น เมื่อ  $k = 2$ ,  $m = 3$  ค่าความน่าจะเป็น  $p$  ได้เท่ากับ 0.33 นั้นหมายความว่าโอกาสที่โหนดภายในโครงข่ายจะเกิดความขัดข้องได้ต้องมีค่าไม่เกินกว่า 0.33 และเมื่อจำนวนโหนด  $m$  สูงขึ้นจะทำให้โอกาสที่โหนดแต่ละตัวเกิดความขัดข้องนั้นมีค่าลดลง เพราะค่า  $p$  แปรผกผันกับค่า  $m$  ดังสมการที่

3.2

แต่เมื่อพิจารณาระดับชั้นความเชื่อมโยงของโครงข่าย ( $k$ -connectivity) เพื่อเพิ่มค่าความเชื่อถือได้ของระบบ ดังรูปที่ 3.5 ข. โหนด  $u$  สามารถติดต่อกับโหนดข้างเคียงได้ 4 โหนด ทำให้โครงข่าย

มีดีกรีความเชื่อถือได้เท่ากับ 4 คือ โหนดต้นทางก่อนหน้าสองฮอป และโหนดปลายทางถัดไปสองฮอป จากรูปมีโหนดที่เกิดความขัดข้องขึ้น 1 โหนด เปรียบเทียบกับจำนวนโหนดที่ยังใช้งานได้ 4 โหนด พบว่า โหนดภายในโครงข่าย เกิดความขัดข้องคิดเป็น 0.2 ซึ่งยังคงสภาวะความเชื่อมโยงได้ จากนั้นคำนวณค่าความน่าจะเป็นของโหนดแต่ละตัวภายในโครงข่ายเกิดความขัดข้อง เมื่อ  $k = 4, m = 5$  คำนวณค่า  $p$  ได้เท่ากับ 0.4 นั่นหมายความว่าโอกาสที่โหนดภายในโครงข่ายจะเกิดความขัดข้องได้ต้องมีค่าไม่เกินกว่า 0.4

รูปที่ 3.5 ค. โหนด  $u$  สามารถติดต่อกับโหนดข้างเคียงได้ 6 โหนด ทำให้โครงข่ายมีดีกรีความเชื่อถือได้เท่ากับ 6 คือ โหนดต้นทางก่อนหน้าสามฮอป และโหนดปลายทางถัดไปสามฮอป จากรูปมีโหนดที่เกิดความขัดข้องขึ้น 3 โหนด เปรียบเทียบกับจำนวนโหนดที่ยังใช้งานได้ 4 โหนด พบว่าโหนดภายในโครงข่าย เกิดความขัดข้องคิดเป็น 0.43 ที่ยังคงสภาวะความเชื่อมโยงได้ ซึ่งสามารถคำนวณค่า  $p$  จากสมการที่ 3.2 ได้เท่ากับ 0.43 นั่นหมายความว่าโอกาสที่โหนดภายในโครงข่ายจะเกิดความขัดข้องได้ต้องมีค่าไม่เกินกว่า 0.43

ก. 2-connected  $G$ ข. 4-connected  $G$ ค. 6-connected  $G$ 

รูปที่ 3.5 ความเชื่อมโยงของโหนด ก.  $k = 2$  ข.  $k = 4$  ค.  $k = 6$  กรณีโหนดเกิดความขัดข้อง

ขั้นตอนต่าง ๆ สำหรับการออกแบบขั้นตอนวิธีสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. Predefine Input Parameter: กำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการให้เป็นอินพุตสำหรับการทดสอบ
  - 1.1 River profile: รูปแม่น้ำ ดังรูปที่ 3.2
  - 1.2  $X$ : Set of predefined station: สถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้าบนรูปแม่น้ำ ดังรูปที่ 3.2
  - 1.3  $r$ : รัศมีสำหรับการส่งสัญญาณของสถานีที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า
  - 1.4  $R$ : รัศมีสำหรับการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โนด กำหนดให้  $r = R, r > 0$
  - 1.5  $k$ : ดิกรีความเชื่อถือได้
  - 1.6  $L_s$ : Segment length: ความยาวของแม่น้ำในหนึ่งเซกเมนต์ที่ต้องการ
- 2 Algorithm: ขั้นตอนวิธี
  - 2.1 สร้างเส้นกลางแม่น้ำ ซึ่งเป็นเส้นที่แบ่งแม่น้ำออกเป็น 2 ฝั่งเท่า ๆ กัน เพื่อเป็นเส้นอ้างอิงสำหรับคำนวณระยะทางระหว่างการติดต่อสื่อสารของเซนเซอร์กับเซนเซอร์ และเซนเซอร์กับสถานีทั้งต้นทางและปลายทาง
  - 2.2 สร้างเส้นตั้งฉาก จากโนดตั้งต้นไปยังเส้นกลางแม่น้ำ เพื่อเป็นตำแหน่งสำหรับคำนวณระยะทางในติดต่อสื่อสารกับโนดถัดไป
  - 2.3 พิจารณาค่า  $k$  เพื่อกำหนดให้โครงข่ายสามารถติดต่อกับโนดข้างเคียงได้เป็นจำนวนเท่าไร ดังรูปที่ 2.9
  - 2.4 จากตำแหน่งในขั้นตอนวิธีที่ 2.2 คำนวณค่า  $\hat{d}$  ซึ่งค่า  $\hat{d} \leq r$  เพื่อหาตำแหน่งสำหรับวางโนดถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3.4
  - 2.5 ภายในระยะรัศมี  $r$  จากตำแหน่งในขั้นตอนวิธีที่ 2.4 สร้างเส้นตั้งฉากกลับไปยังริมฝั่งแม่น้ำ ทำให้เกิดตำแหน่งที่คาดว่าจะวางโนดได้ 2 ตำแหน่ง ลักษณะเหมือนโครงข่ายรูปต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6
  - 2.6 เลือกโนดที่ตำแหน่งไกลที่สุด ภายในระยะรัศมี  $r$  จากตำแหน่งในการวางเซนเซอร์โนดตัวใหม่นั้น

ให้กระทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2.2 เพื่อค้นหาตำแหน่งสำหรับวางโนดตัวถัดไป ในทิศทางจากด้านบนสู่ด้านล่าง กระบวนการจะสิ้นสุดเมื่อถึงสถานีปลายทางของเซกเมนต์นั้น ๆ

จากนั้นขั้นตอนวิธีนี้จะเริ่มกระทำซ้ำอีกครั้งเมื่อเข้าสู่สถานีต้นทางของเซกเมนต์ถัดไป
- 3 Output: ผลลัพธ์
  - 3.1 จำนวน  $m$  ของเซนเซอร์โนด
  - 3.2 ตำแหน่งของเซนเซอร์โนด

## บทที่ 4

### ผลการจำลองการทำงานและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะเสนอ ผลการจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีการวางเซนเซอร์โนดบนริมฝั่งแม่น้ำ และวิเคราะห์ผลการทดสอบที่เกิดขึ้น โดยหัวข้อสำหรับการทดสอบแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดสำหรับแม่น้ำที่มีรูปร่างแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากค่าคิกริความโค้ง
2. การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดสำหรับแม่น้ำที่มีคุณสมบัติความสมมาตรของแม่น้ำกับไม่สมมาตรของแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่งระหว่างขั้นตอนวิธีที่นำเสนอและขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง (k-connectivity-repair)
3. การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อปรับค่าความกว้างของแม่น้ำ
4. การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อนำไปทดสอบบนแม่น้ำจริง ระหว่างขั้นตอนวิธีที่นำเสนอและขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง (k-connectivity-repair)
5. การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อเพิ่มคิกริความเชื่อถือได้ของโครงข่าย กำหนดให้โครงข่ายที่พิจารณาเป็นโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบ 2 มิติ โดยสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองการทำงาน ดังนี้

- วางเซนเซอร์ประเภทคงที่แบบถูกกำหนด
- พิจารณาการส่งสัญญาณที่ความถี่ 2.4 GHz
- อุปกรณ์ตามมาตรฐาน 802.15.4/ Zigbee
- ค่ากำลังสูญเสียในอากาศว่างกรณี LOS
- สายอากาศชนิดแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง (Omni directional)
- พลังงานมีอยู่อย่างไม่จำกัด

สำหรับขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง (k-connectivity-repair) [18] นั้น มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าจำนวนโนดที่น้อยที่สุด สำหรับการวางเซนเซอร์โนดบนโครงข่าย อีกทั้งสามารถรับประกันคิกริความเชื่อมโยง  $k$  ของโครงข่ายได้ด้วยการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์โนด โดยคำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าตัวประกอบคงที่ สำหรับค่า  $k$  ใด ๆ ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้นำขั้นตอน

วิธีนี้มาใช้เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ  
เชื่อมโยงมีดังนี้

ซึ่งขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความ

**Algorithm 1 K-CONNECTIVITY-REPAIR**

---



---

```

1: input :  $k$ , set  $V$  of vertices and their coordinates
2: if  $n \geq k$  then
3:    $E \leftarrow \{(u, v) \mid u, v \in V, u \neq v\}$ 
4:    $K \leftarrow (V, E)$ 
5:    $\omega \leftarrow$  new  $V \times V$  array
6:   for vertices  $u, v \in V$  do
7:      $\omega[v, w] \leftarrow \lceil \|v - w\rceil - 1$ 
8:   end for
9:   call K-CONNECTED-SUBGRAPH ( $k, K, \omega$ )
      to compute  $\alpha$ -approximate minimum-weight
       $k$ -connected spanning subgraph  $S$  of  $(K, \omega)$ 
10:  for  $edge(u, v) \in E(S)$  do
11:    for  $i = 1, 2, \dots, \omega[u, v]$  do
12:       $t \leftarrow i / (\omega[u, v] + 1)$ 
13:      place  $k$  sensors at position  $(1 - t) \cdot u + t \cdot v$ 
14:      place  $k - 1$  sensors at position  $v$ 
15:      place  $k - 1$  sensors at position  $w$ 
16:    end for
17:  end for
18: else
19:  call K-CONNECTIVITY-REPAIR ( $1, V$ )
20:   $N \leftarrow \{\text{newly placed sensors}\}$ 
21:  for  $x \in V \cup N$  do
22:    place  $k - 1$  sensor at position  $x$ 
23:  end for
24: end if

```

---

Algorithm 2 Greedy K-CONNECTED-SUBGRAPH

```

1: input :  $k, G=(V, E), \omega$ 
2:  $G' \leftarrow (V, \emptyset)$ 
3:  $E \leftarrow \{(u, v) | u, v \in V\}$ 
4: for  $(u, v) \in E$  increasing order of  $\omega[u, v]$  do
5:    $E(G') \leftarrow E(G) \cup \{(u, v)\}$ 
6:   if  $G'$  is  $k$ -connected then
7:     break
8:   end if
9: end for
10: for  $(u, v) \in E(G')$  in decreasing order of  $\omega[u, v]$  do
11:    $G'' = (V, E(G') / \{(u, v)\})$ 
12:   if  $G''$  is  $k$ -connected then
13:      $G' \leftarrow G''$ 
14:   end if
15: end for
17: return  $G'$ 

```

จากขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยงดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กรณีแรก เมื่อจำนวน  $n$  ของโหนดตั้งต้นมีค่าไม่น้อยกว่าค่า  $k$  มาพิจารณาเพื่อหาค่า  $E$  ของทุกคู่โหนด ทำการสร้างอาร์เรย์เก็บค่า  $V$  ใหม่ ไว้ใน  $\omega$  จากนั้นคำนวณหาค่าน้ำหนักของแต่ละคู่โหนด เพื่อตรวจสอบว่าแต่ละคู่โหนดนั้นมีความเชื่อมโยงถึงกันหรือไม่ ถ้าค่าน้ำหนักเท่ากับ 0 แสดงว่าคู่โหนดนั้นเชื่อมโยงถึงกัน แต่ถ้ามีค่าน้ำหนักเป็นอย่างอื่นต้องเพิ่มเส้นทาง เพื่อให้คู่โหนดนั้นความเชื่อมโยงถึงกัน

2. นำขั้นตอนวิธีที่ 2 การหาความเชื่อมโยงของกราฟย่อยด้วยวิธีละโมบ (Greedy  $k$ -connected-subgraph) มาใช้คำนวณหาค่าน้ำหนักที่ต่ำที่สุดของ  $\alpha$ -approximate เพื่อความเชื่อมโยงของกราฟย่อย นั่นคือทำการเพิ่ม  $E'$  สำหรับเพิ่มจำนวนเส้นทางที่เชื่อมโยงระหว่างคู่โหนด เพื่อตรวจสอบว่ากราฟย่อยนั้นสามารถติดต่อกันได้ แต่ถ้าการเพิ่ม  $E'$  นั้นไม่มีความจำเป็นสำหรับโครงข่าย จึงลบเส้นทางนั้นออกไปภายหลัง

3. ทำการแปลงค่าเส้นทางที่เลือกขึ้นมาใหม่ เพื่อความเชื่อมโยงของกราฟย่อยนั้น เป็นตำแหน่งที่วางเซนเซอร์โหนด ตามความเหมาะสมตลอดความยาวของเซกเมนต์นั้น ๆ จนกระทั่งถึงจุดปลายทางตามค่าน้ำหนัก  $\omega$  สำหรับกรณีที่  $\omega > 0$  จะทำการวางเซนเซอร์โหนดเพิ่มที่แต่ละตำแหน่งสุดท้ายของเส้นทางนั้น

4. สำหรับกรณีที่มีจำนวน  $n$  ของโน้ดตั้งต้นมีค่าน้อยกว่าค่า  $k$  ทำให้กราฟ  $K$  จะมีจำนวนโน้ดน้อยกว่า  $k$  ดังนั้นจึงไม่มีค่าความเชื่อมโยงของกราฟย่อย จึงกำหนดให้ขั้นตอนวิธีสามารถทำงานที่มีค่าดีกรีความเชื่อมโยงเท่ากับ 1 เพื่อประมาณค่าจำนวนเซนเซอร์โน้ดที่ต้องเพิ่มเข้าไปในโครงข่าย ซึ่งทำให้โครงข่ายเกิดความเชื่อมโยงถึงกันได้

#### 4.1.1 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โน้ดสำหรับแม่น้ำที่มีรูปร่างแตกต่างกันอันเนื่องมาจากค่าความโค้ง

ในส่วนแรกกล่าวถึง การนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมาทดสอบวางเซนเซอร์บนริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 4 ลักษณะ จากรูปที่ 4.1 แม่น้ำมีความโค้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแม่น้ำอีก 3 ลักษณะ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า  $C$  ในตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.2 จะมีค่าดีกรีความโค้งรองลงมาตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4.3 แม่น้ำจะมีลักษณะการผสมผสานกันระหว่างแม่น้ำทางตรงกับแม่น้ำทางโค้งและในรูปที่ 4.4 เป็นรูปแม่น้ำทางตรงเท่านั้น ซึ่งแม่น้ำลักษณะนี้เป็นกรณีอย่างง่ายที่สุดที่พิจารณาได้ เนื่องจากค่าระยะทางตามรูปร่างแม่น้ำภายในเซกเมนต์ มีค่าเท่ากับระยะทางการกระจัดภายในเซกเมนต์เดียวกันเมื่อคำนวณค่าจากตำแหน่งต้นทางไปยังปลายทางหนึ่ง ๆ แต่ในทางปฏิบัติแม่น้ำโดยทั่วไปนั้นจะมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับแม่น้ำรูปที่ 4.3 มากที่สุด เพราะประกอบไปด้วยรูปร่างทั้งส่วนตรงและส่วนโค้งผสมผสานกันไป



รูปที่ 4.1 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 1



รูปที่ 4.2 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 2





รูปที่ 4.3 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 3

รูปที่ 4.4 แม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 4

ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีความโค้งที่ต่างกันของแม่น้ำที่ทดสอบ

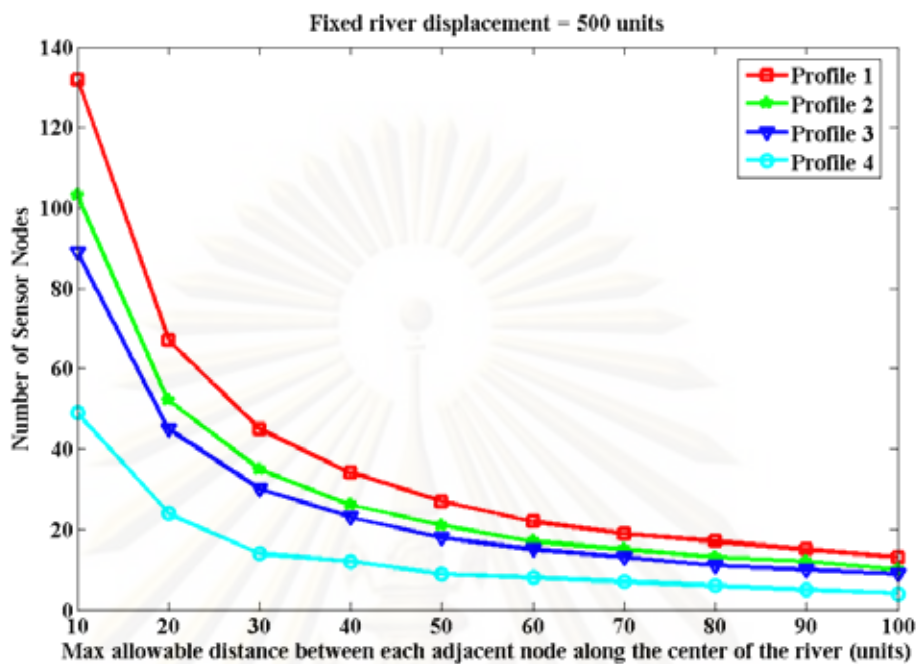
แม่น้ำสำหรับทดสอบ	$\hat{D}$	$\bar{D}$	$C$
Profile 1	1255	500	2.51
Profile 2	941	500	1.882
Profile 3	836	500	1.772
Profile 4	500	500	1

นำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปทดสอบกับรูปแม่น้ำที่กำหนดระยะกระจัดของแม่น้ำภายในหนึ่งเซกเมนต์เท่ากับ 500 หน่วย จากนั้นวางโนดด้วยการพิจารณาการส่งสัญญาณข้อมูลไม่เกินรัศมี  $\hat{d} \leq r$  สำหรับเซนเซอร์โนดทุกตัว ซึ่งจุดประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อคาดคะเนแนวโน้มของจำนวนโนดที่ต้องใช้สำหรับรูปร่างแม่น้ำที่นำมาทดสอบต่างกัน คาดว่าผลการทดสอบจะมีจำนวนเซนเซอร์ในแม่น้ำทดสอบ Profile 4 น้อยกว่า Profile 3, 2 และ 1 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน  $y$  จำนวนเซนเซอร์โนด กับแกน  $x$  ขณะที่ทำการปรับเปลี่ยนค่าระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลจาก 10 หน่วย จนกระทั่ง 100 หน่วยบนแม่น้ำสำหรับทดสอบ Profile 1-4 เมื่อค่าระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวน  $m$  เซนเซอร์มีปริมาณลดลง นั่นแสดงว่าจำนวนฮอปในการติดต่อสื่อสารกันในโครงข่ายลดลงด้วยเช่นกัน สังเกตพบว่าจำนวนเซนเซอร์ของ Profile 1 มีปริมาณมากกว่าจำนวนเซนเซอร์ของ Profile 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากค่า  $C$  ในตารางที่ 4.1 แม่น้ำที่มีค่าดัชนีความโค้งสูงสุด จะส่งผลให้มีความต้องการใช้จำนวนเซนเซอร์ที่

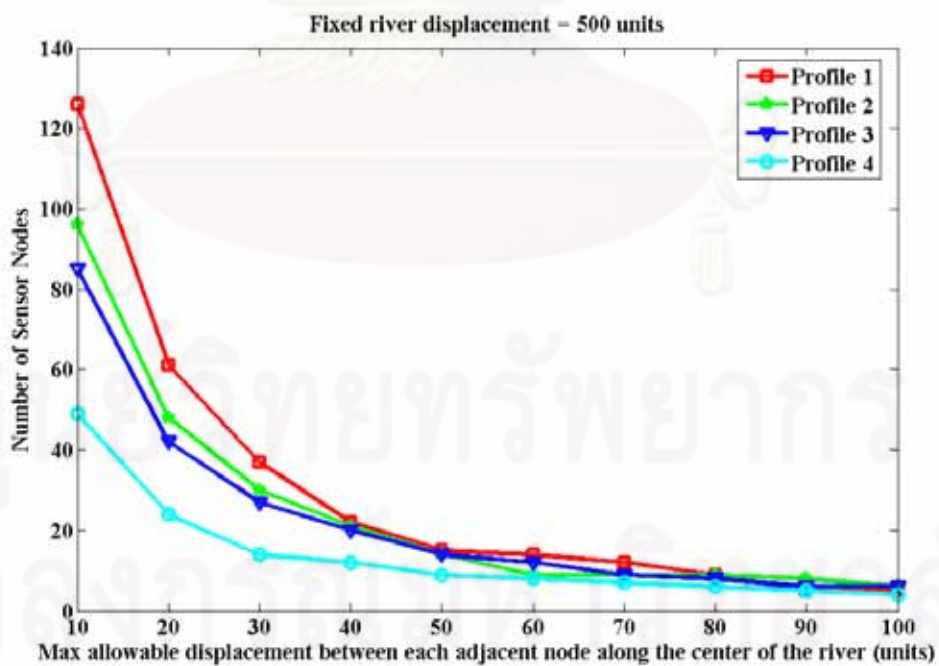
สูงขึ้นด้วย จากผลการจำลองการทำงานสามารถแบ่งกราฟออกเป็น 3 ช่วงดังนี้ ในช่วงแรกของกราฟแสดงถึงปริมาณเซนเซอร์จำนวนมาก สำหรับแม่น้ำทั้ง 4 รูปแบบ และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อให้  $\hat{d}$  เท่ากับ 20 หน่วย อันเนื่องมาจากระยะทางการส่งสัญญาณข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้นเท่าตัว จึงทำให้จำนวนโนดลดลง ช่วงที่สองเมื่อ  $\hat{d}$  อยู่ระหว่าง 20 – 60 หน่วย การใช้จำนวนเซนเซอร์จะลดลง แต่จะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงแรก ซึ่งมีการลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงสุดท้ายตั้งแต่  $\hat{d}$  มีค่ามากกว่า 60 หน่วย จำนวนเซนเซอร์จะลดลงช้ามาก เพราะระยะทางการส่งสัญญาณข้อมูลมีค่ามากขึ้น

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลสูงสุดระหว่างโนด  $\bar{d} = r$  ลงบนแม่น้ำสำหรับการทดสอบที่ระยะกระจัดของแม่น้ำภายในหนึ่งเซกเมนต์เท่ากับ 500 หน่วย ผลการทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.5 แต่ใช้จำนวนเซนเซอร์ในปริมาณที่ต่ำกว่า เนื่องจากรัศมีในการส่งสัญญาณเท่ากับระยะกระจัดระหว่างคูโนดตามเส้นกลางแม่น้ำ ทำให้ไม่สามารถรองรับการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.1 จากผลการทดสอบสังเกตเห็นว่า เมื่อระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลมีค่ามากกว่า 50 หน่วย กราฟจะมีการสลับทับซ้อนกันแตกต่างจากรูปที่ 4.5 ที่ไม่มีการไขว้กันของกราฟ อันเนื่องมาจากตำแหน่งของเซนเซอร์โนดที่ถูกวางบนริมฝั่งแม่น้ำนั้น เป็นช่วงส่วนโค้งที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของแม่น้ำ

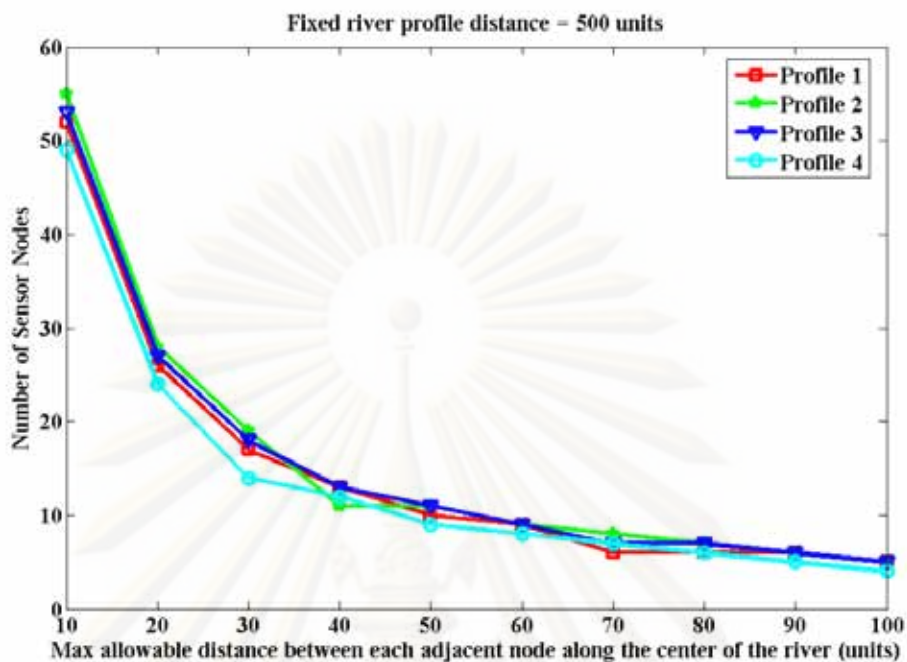
จากนั้นทดสอบขั้นตอนวิธีสำหรับการวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงาน ด้วยการเปลี่ยนค่าจากระยะกระจัดในหนึ่งเซกเมนต์เป็นระยะทางตามความยาวของแม่น้ำในหนึ่งเซกเมนต์แทน ซึ่งยังคงมีค่าเท่ากับ 500 หน่วย จึงทำให้ค่า  $C$  ของแม่น้ำที่นำมาทดสอบทั้ง 4 ลักษณะเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 1 ผลที่คาดว่าจะได้รับคือ จำนวนเซนเซอร์โนดที่ใช้ต้องมีค่าเท่ากัน ผลการจำลองการทำงานที่ได้นั้นแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาการส่งสัญญาณข้อมูลไม่เกินรัศมี  $\hat{d} \leq r$  สำหรับเซนเซอร์โนดทุกตัว จำนวนของเซนเซอร์โนดที่ใช้ไปในแต่ละลักษณะของแม่น้ำมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่า  $\hat{D}$  เมื่อเปรียบเทียบระยะทางระหว่างคูโนดโดยเปรียบเทียบเป็นเชิงเส้น จะได้ค่าของระยะทางที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน แต่จำนวนเซนเซอร์โนดการจำลองการทำงานมีค่าไม่เท่ากัน เพราะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโนดบนโค้งแม่น้ำที่แตกต่างกัน ในรูปที่ 4.8 แสดงถึงการเปลี่ยนค่าระยะทางการส่งสัญญาณข้อมูลมีค่าเท่ากับรัศมีสูงสุดของเซนเซอร์โนด  $\bar{d} = r$  ผลการจำลองการทำงานที่ได้จะมีความต้องการใช้จำนวนเซนเซอร์โนดที่ใกล้เคียงกับ กรณีการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.7 แต่จำนวนเซนเซอร์โนดในรูปที่ 4.8 มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเท่านั้น และไม่รองรับเงื่อนไขการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ



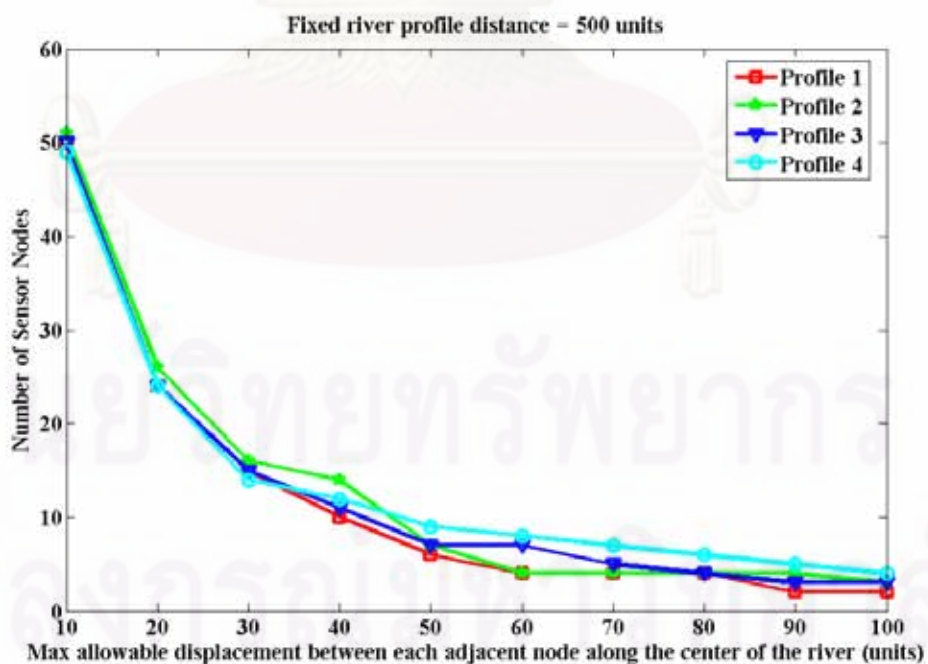
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานเมื่อส่งข้อมูลด้วยระยะทางตามเส้นกลางแม่น้ำ กรณีระยะกระจัดของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานเมื่อส่งข้อมูลด้วยรัศมีสูงสุด กรณีระยะกระจัดของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน



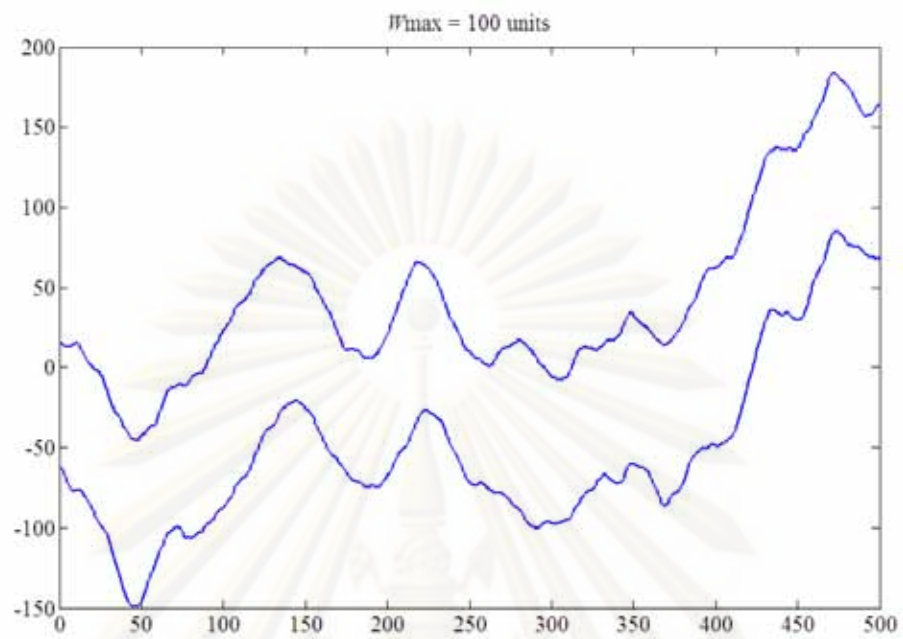
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานเมื่อส่งข้อมูลด้วยระยะทางตามเส้นกลางแม่น้ำ กรณีระยะทางตามความยาวของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน



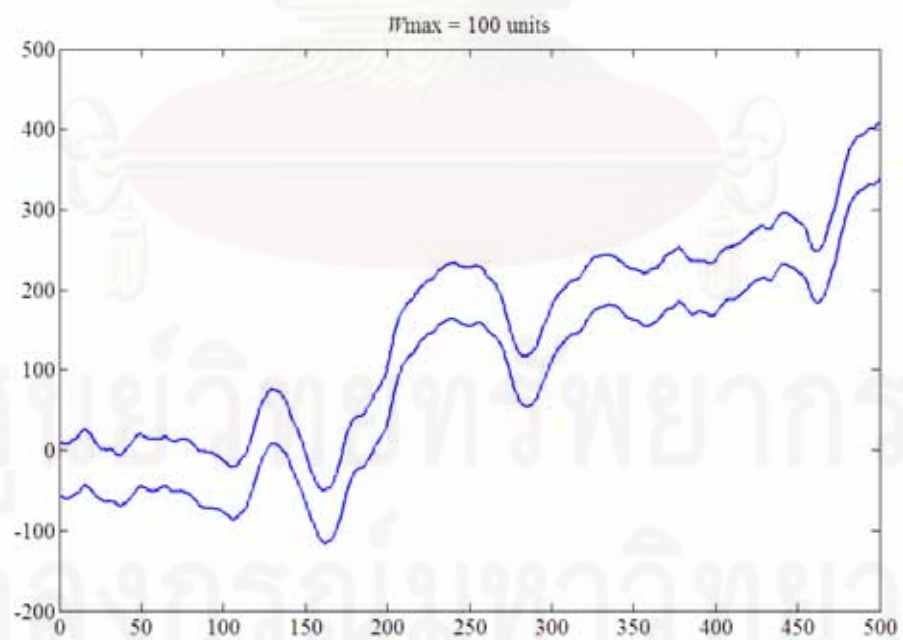
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานเมื่อส่งข้อมูลด้วยรัศมีสูงสุด กรณีระยะทางตามความยาวของเซกเมนต์แม่น้ำเท่ากัน

#### 4.1.2 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดสำหรับแม่น้ำที่มีคุณสมบัติความสมมาตรของแม่น้ำกับไม่สมมาตรของแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง

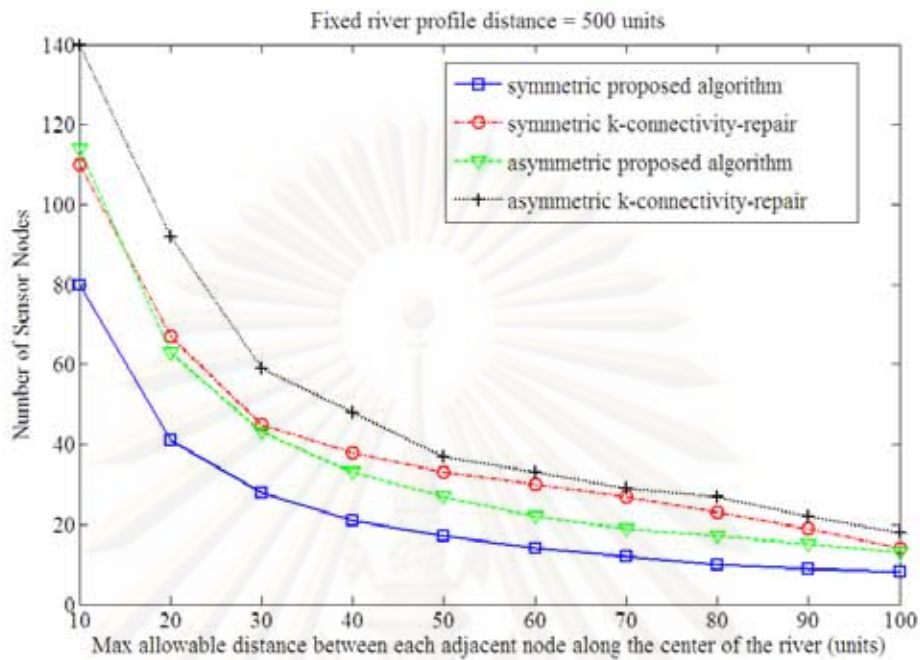
ในหัวข้อนี้กล่าวถึง ความแตกต่างของแม่น้ำที่มีคุณสมบัติความสมมาตรของแม่น้ำกับไม่สมมาตรของแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง ทำการสุ่มรูปแบบแม่น้ำด้วยการกระจายตัวอย่างเอกรูป เพื่อนำมาทดสอบจากโปรแกรมการจำลองการทำงาน MATLAB ดังรูปที่ 4.9 แสดงแม่น้ำที่มีความสมมาตรกัน คือความกว้างของแม่น้ำค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งเซกเมนต์ มีค่า 500 หน่วย จำนวนค่าดีกรีความโค้งได้เท่ากับ 1.7022 และกำหนดให้ความกว้างของแม่น้ำทั้ง 2 ลักษณะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100 หน่วยทั้งรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 แต่ในรูปที่ 4.10 นั้นแม่น้ำจะมีค่าความกว้างที่แปรปรวนสูงกว่าแบบแรก จำนวนค่าดีกรีความโค้งได้เท่ากับ 2.1992 ซึ่งแม่น้ำจะไม่สมมาตรกัน เนื่องจากลักษณะทางภูมิศาสตร์อันประกอบไปด้วยบางช่วงแคบ บางช่วงกว้าง ผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.11 แม่น้ำที่ไม่สมมาตรจะใช้จำนวนโนดในปริมาณที่สูงกว่าแม่น้ำที่มีคุณสมบัติความสมมาตร เพราะมีโอกาสที่จะเกิดความโค้งสูงกว่าแม่น้ำในลักษณะสมมาตรและมีค่าดีกรีความโค้งสูงกว่าด้วย ซึ่งแนวโน้มของผลการจำลองการทำงานสอดคล้องกับหัวข้อที่ 4.1 ดังที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ เมื่อพิจารณาผลการจำลองการทำงาน เฉพาะส่วนขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ และขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง (k-connectivity repair) [18] โดยทดสอบบนแม่น้ำในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ส่วนผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานระหว่างขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ และขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง สำหรับแม่น้ำที่มีความสมมาตรหรือไม่สมมาตรกันก็ตาม พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิม จากผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.11 พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีความต้องการวางจำนวนเซนเซอร์โนดที่น้อยกว่าเพราะขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยงนั้น วางโนดด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy algorithm) จากนั้นจึงจะมาพิจารณาวางโนด เพื่อชดเชยค่าความเชื่อมโยงตามต้องการในภายหลังภายใต้เงื่อนไขบังคับเดียวกันดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 จึงทำให้ใช้จำนวนโนดมากกว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ แต่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนออาจมีข้อจำกัด สำหรับการนำไปใช้ในโครงข่ายขนาดใหญ่ไม่ได้ ประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร หรือสามารถทำงานได้ แต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง



รูปที่ 4.9 แม่น้ำมีลักษณะสมมาตร



รูปที่ 4.10 แม่น้ำมีลักษณะไม่สมมาตร

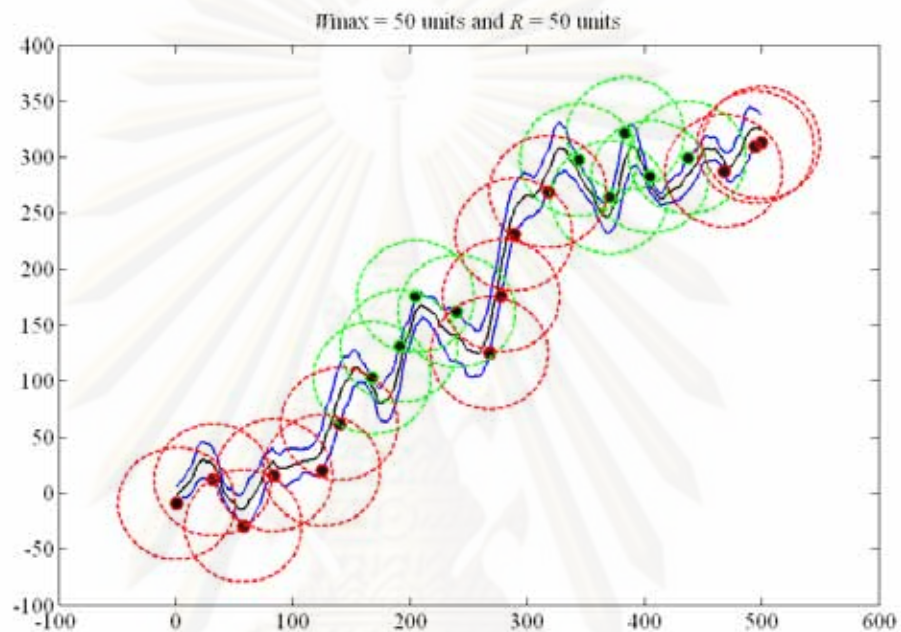


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อแม่น้ำที่มีคุณสมบัติสมมาตรกับไม่สมมาตร

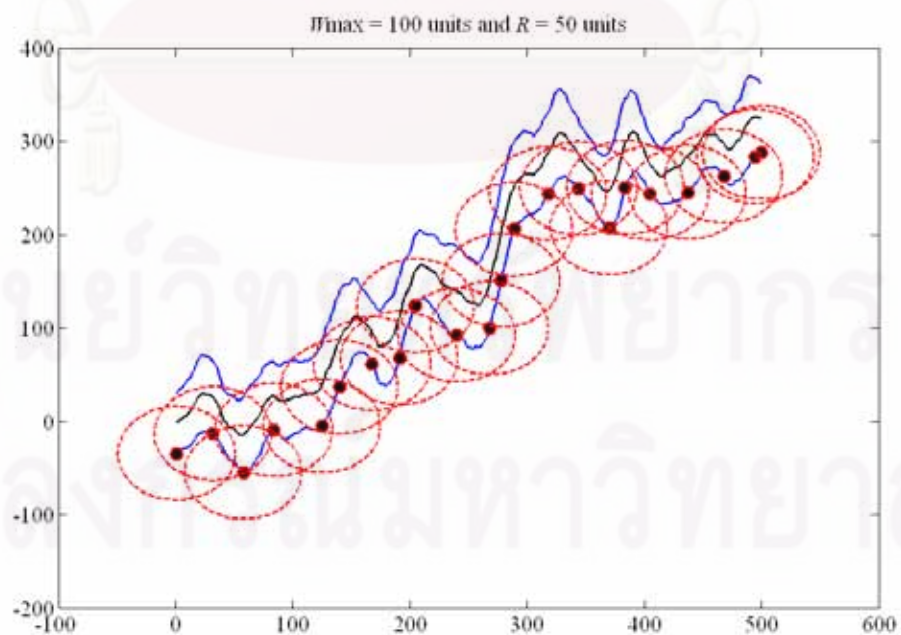
#### 4.1.3 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อปรับค่าความกว้างของแม่น้ำ

ในหัวข้อนี้แสดงการวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนด เมื่อปรับเปลี่ยนค่าความกว้างของแม่น้ำ เพื่อศึกษาผลกระทบจากความกว้างของแม่น้ำที่มีต่อการวางเซนเซอร์โนด ยกตัวอย่าง กรณีที่แม่น้ำมีความกว้างสูงสุดเท่ากับ 50 หน่วย เท่ากับค่ารัศมีสำหรับการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โนด  $R$  ดังรูปที่ 4.12 แสดงการวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดบนริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่งขึ้นอยู่กับระยะทางการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โนดสูงสุด ที่ไม่เกินค่ารัศมีนั่นเอง ซึ่งคำนวณจากขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 จากนั้นปรับค่าแม่น้ำมีความกว้างสูงสุดเท่ากับ  $2R$ ,  $3R$  และ  $4R$  หน่วย ตามลำดับ ซึ่งอ้างอิงจากเส้นกลางแม่น้ำยังเป็นเส้นเดิม และยังคงค่ารัศมีสำหรับการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โนด  $R$  ดังรูปที่ 4.13, 4.14, 4.15 ตามลำดับ จากผลการทดสอบจำนวนเซนเซอร์โนดมีค่าเท่ากันทั้ง 4 รูปแบบ ดังผลการทดสอบในรูปที่ 4.16 มีจำนวนเซนเซอร์โนดเท่ากับ 20 โหนด แสดงว่าความกว้างของแม่น้ำไม่มีผลต่อปริมาณความต้องการของเซนเซอร์โนด แต่ส่งผลต่อตำแหน่งของการวางโนดสามารถตรวจสอบตำแหน่งการวางเซนเซอร์โนดได้จากรูปที่ 4.12 – 4.15 โดยไม่รวมสถานีต้นทางและสถานีปลายทางที่ถูกวางไว้ก่อนหน้า แม้ว่าจะปรับเปลี่ยนค่าความกว้างของแม่น้ำก็ตาม กล่าวได้ว่าเมื่อความกว้างแม่น้ำมีค่าสูงสุดมากกว่ารัศมี ( $W > R$ ) จะทำให้ตำแหน่งของเซนเซอร์โนดอยู่ฝั่งเดียวกันกับสถานีต้นทางตลอดความยาวของแม่น้ำ ไม่มีโอกาสที่จะส่งสัญญาณข้อมูลข้ามไปยัง

แม่น้ำอีกฝั่งหนึ่งได้ แต่สำหรับกรณีที่มีความกว้างแม่น้ำมีค่าสูงสุดน้อยกว่าหรือเท่ากับรัศมี ( $W \leq R$ ) รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนโนดฝั่งด้านบนเท่ากับ 9 โหนด และฝั่งด้านล่างเท่ากับ 11 โหนด นั้นหมายความว่าตำแหน่งของเซนเซอร์โนดมีโอกาสที่จะส่งสัญญาณข้ามฝั่งแม่น้ำไปมาได้ทั้ง 2 ฝั่ง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่คาดว่าจะวาง โหนดได้ (Candidate node) ที่สอดคล้องกับขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบ

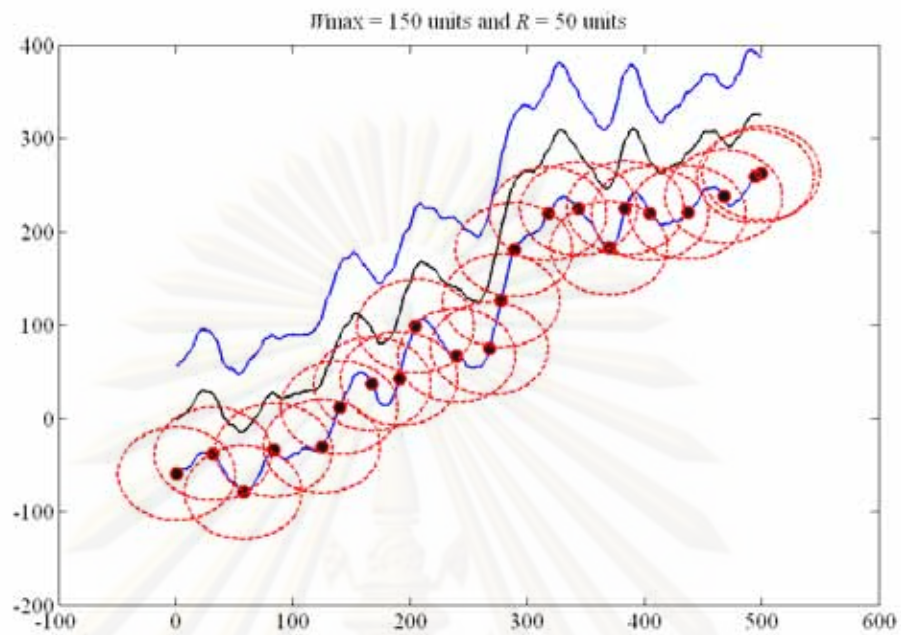


รูปที่ 4.12 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ  $R$

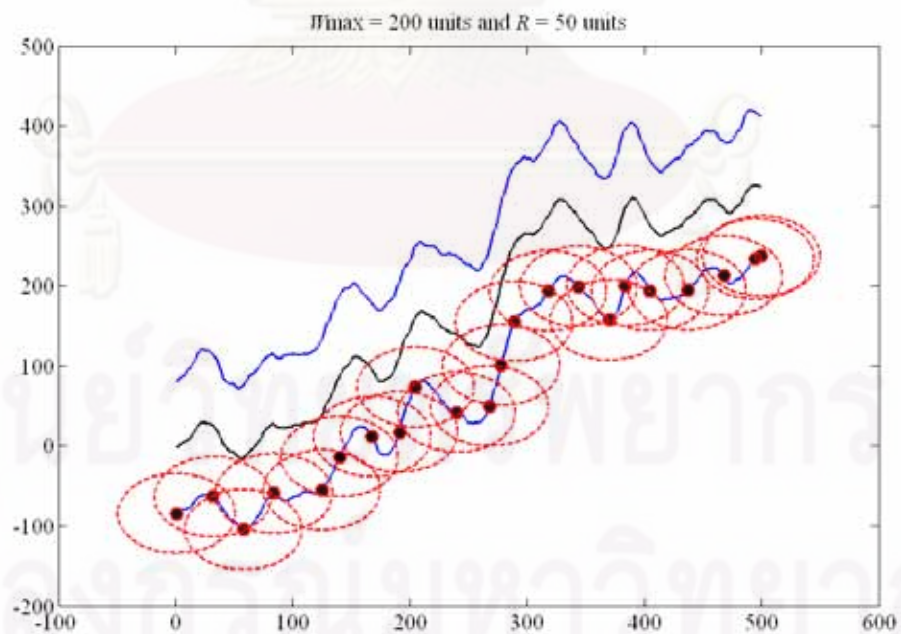


รูปที่ 4.13 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ  $2R$

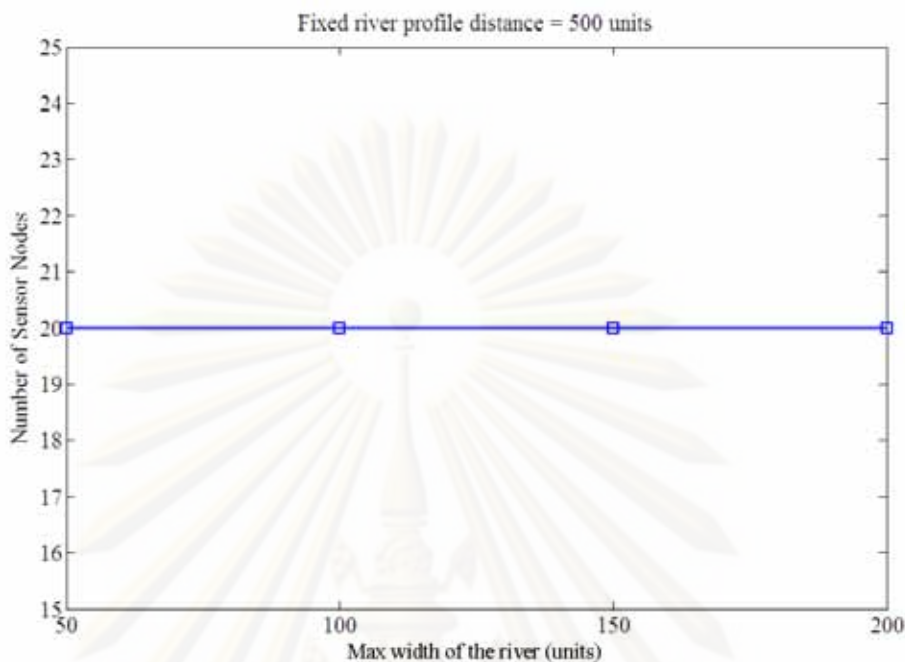




รูปที่ 4.14 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โหนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ  $3R$



รูปที่ 4.15 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์โหนดเมื่อความกว้างของแม่น้ำสูงสุดเท่ากับ  $4R$



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับความกว้างของแม่น้ำ

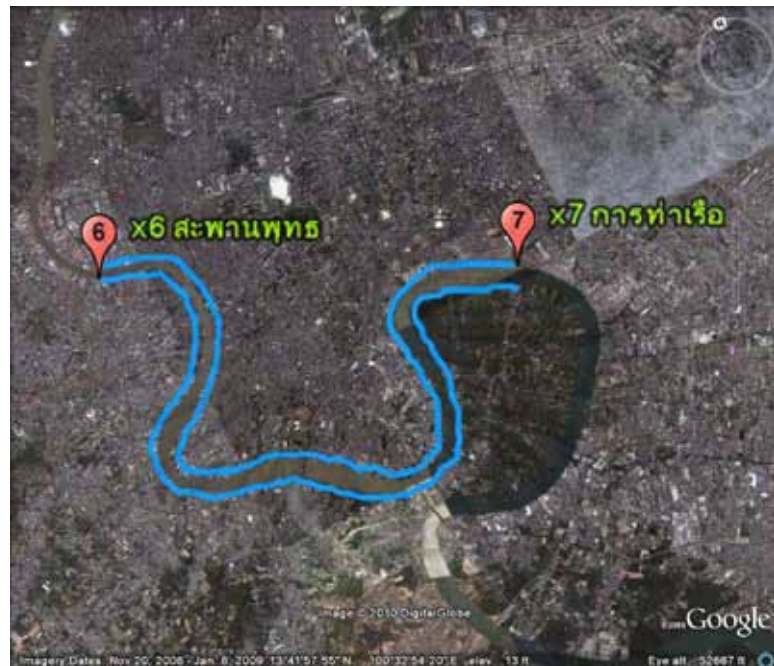
#### 4.4 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อนำไปทดสอบบนแม่น้ำจริง

ในส่วนนี้กล่าวถึงการนำขั้นตอนวิธีไปทดสอบบนแม่น้ำจริง ซึ่งจากตัวอย่างในรูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของโทรมาตรบนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา [5] โดยกำหนดให้ตำแหน่งที่ตั้งของโทรมาตรเป็นตำแหน่งของเซต  $X$  ซึ่งประกอบไปด้วย 8 สถานีอันได้แก่ สถานีอยุธยา สถานีบางไทร สถานีปทุมธานี สถานีปากเกร็ด สถานีสามเสน สถานีสะพานพุทธ สถานีการทำเรือ และสถานีป้อมพระจุล วัดฤประสังข์ของหัวข้อนี้คือ การนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้บนแม่น้ำจริง จึงยกตัวอย่างการพิจารณา การวางเซนเซอร์โนดในเซกเมนต์จากสถานีสะพานพุทธ ไปยังสถานีการทำเรือรูปที่ 4.18 ซึ่งมีระยะทางตามความยาวแม่น้ำ 21.19 กิโลเมตร และระยะกระจัด 10.07 กิโลเมตรเปรียบเทียบผลการทดสอบกับขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิม ด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีหาค่าความเชื่อมโยง ซึ่งได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน  $x$  ทำการเพิ่มค่าระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลสูงสุดระหว่างโนดที่อยู่ติดกัน ตลอดความยาวของเส้นกลางแม่น้ำจาก 100 เมตร จนกระทั่ง 1000 เมตร กับแกน  $y$  จำนวนเซนเซอร์โนด เมื่อค่าระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวน  $m$  เซนเซอร์มีปริมาณลดลง พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิม จากการวางจำนวนเซนเซอร์โนดที่น้อยกว่า เพราะขั้นตอนวิธีหาค่าความเชื่อมโยงนั้น วางโนดด้วยวิธีแบบละโมบในตอนต้นและมาพิจารณาวางโนด เพื่อหาค่าความเชื่อมโยงในภายหลัง จึงทำให้ใช้จำนวนโนดมากกว่า

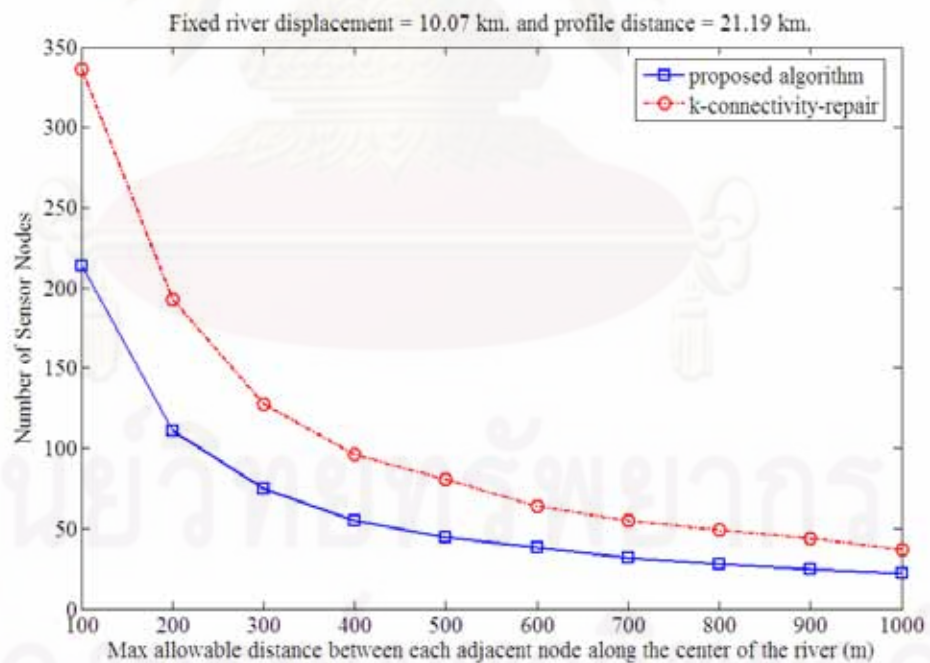
ขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอ และยกตัวอย่างการพิจารณาสำหรับกรณีที่แม่น้ำมีความโค้งมากที่สุด ในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ด้วยการวางเซนเซอร์โนดในเซกเมนต์จากสถานีสะพานพุทธเป็นสถานีต้นทาง ไปยังสถานีป้อมพระจุลเป็นสถานีปลายทาง ดังรูปที่ 4.20 ซึ่งมีระยะทางตามความยาวแม่น้ำ 46.58 กิโลเมตร และระยะกระจัด 22.31 กิโลเมตร เปรียบเทียบผลการทดสอบกับขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิมด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง ซึ่งได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนด กับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ ซึ่งขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอสามารถประมวลผลวางเซนเซอร์โนดตลอดความยาวของแม่น้ำได้ แม้ว่าจะมีช่วงโค้งเป็นคูกของแม่น้ำที่ระยะห่างของแม่น้ำข้ามพื้นที่ประมาณ 300 เมตร เมื่อค่าระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนเซนเซอร์มีปริมาณลดลง พบว่า ขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิมสอดคล้องกับผลการจำลองการทำงานในรูปแบบก่อนหน้า ด้วยการใช้จำนวนเซนเซอร์โนดที่น้อยกว่า แต่ขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยงมีความสามารถในการรองรับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ดีกว่าขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอ เพราะขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยงนั้น คำนึงถึงความซับซ้อนของโครงข่ายสูงกว่าขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอ



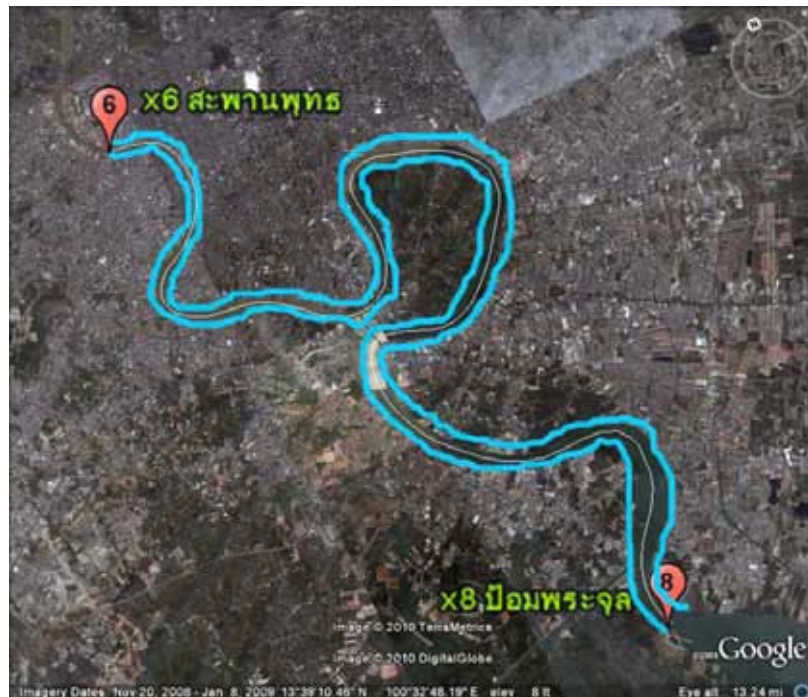
รูปที่ 4.17 ตำแหน่งที่ตั้งโทรมาตรในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา



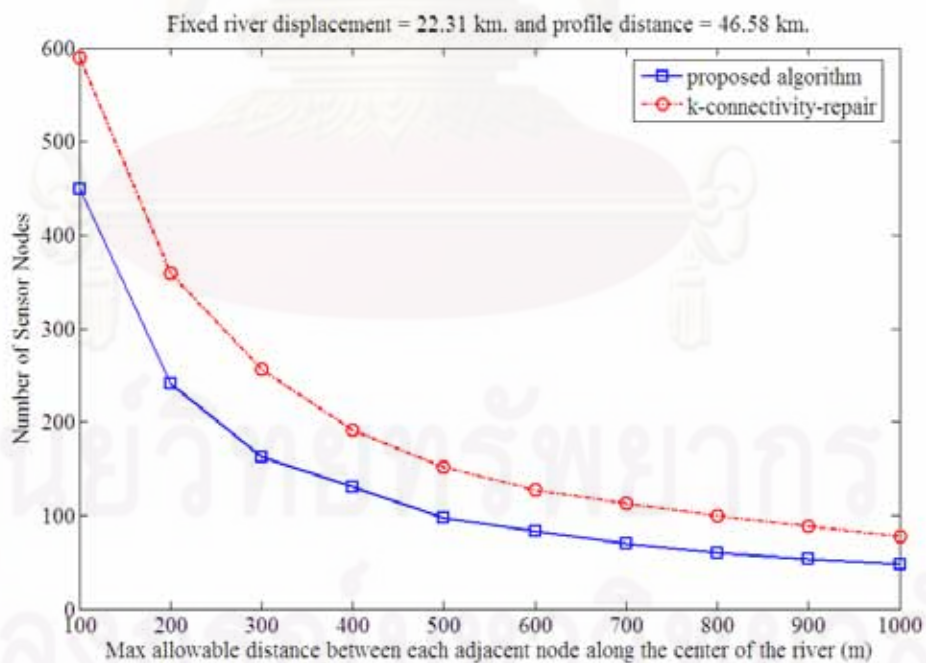
รูปที่ 4.18 เซกเมนต์สำหรับวางเซนเซอร์โนคในกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาจากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีการท่าเรือ



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนคกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนคข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อทดสอบบนแม่น้ำจริงจากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีการท่าเรือ



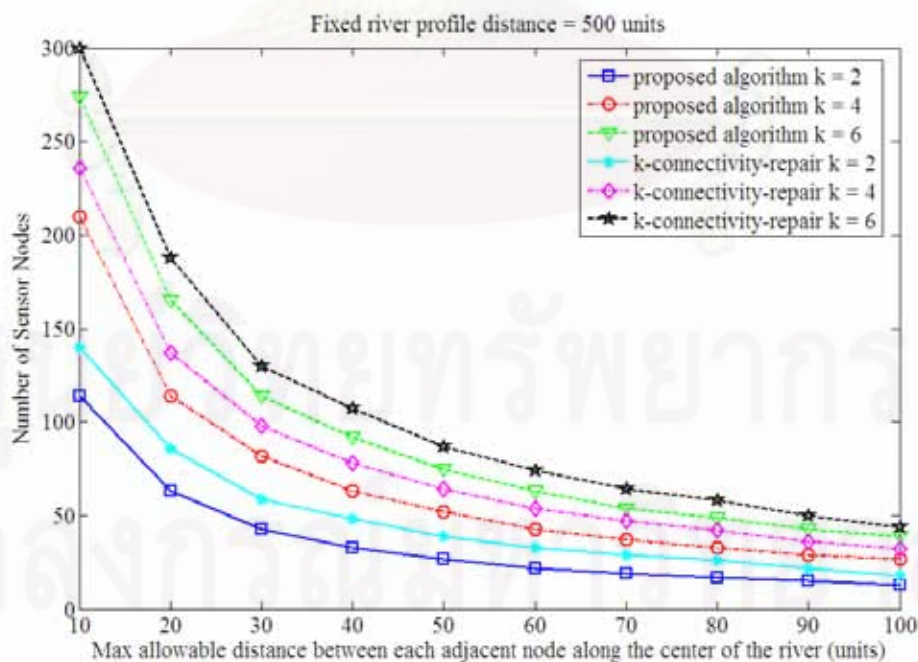
รูปที่ 4.20 เซกเมนต์สำหรับวางเซนเซอร์โนดในกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาจากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีป้อมพระจุล



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อทดสอบบนแม่น้ำจริงจากสถานีสะพานพุทธไปยังสถานีป้อมพระจุล

#### 4.5 การเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนดเมื่อเพิ่มค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงผลการทดสอบกับแม่น้ำจากหัวข้อที่ 4.2 เลือกแม่น้ำรูปที่ 4.10 สาเหตุเพราะมีคุณสมบัติของแม่น้ำที่ไม่มีความสมมาตรของริมฝั่งแม่น้ำ และประกอบไปด้วยแม่น้ำทั้งทางตรงและทางโค้งด้วย มาทำการคำนวณจำนวนเซนเซอร์โนดเพื่อเปรียบเทียบจำนวนเซนเซอร์โนด เมื่อมีค่าดีกรีความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้นภายใต้รัศมีการครอบคลุมดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 แล้วแต่สิ่งที่ต้องแลกมาเมื่อมีค่าดีกรีความเชื่อถือได้สูงขึ้นจาก 2, 4 และ 6 ตามลำดับ คือ การลงทุนปริมาณเซนเซอร์โนดที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 4.22 พิจารณากรณีขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีการปรับเปลี่ยนค่าดีกรีความเชื่อถือได้สูงขึ้นจาก 2, 4 และ 6 ตามลำดับ โครงข่ายมีความต้องการจำนวนเซนเซอร์โนดสูงขึ้น เมื่อค่าดีกรีความเชื่อถือได้สูงขึ้น ซึ่งค่าดีกรีความเชื่อถือได้นี้เป็นจำนวนเซนเซอร์โนดอย่างต่ำที่โนดแต่ละตัวจะติดต่อกันสื่อสารข้อมูลกันได้ และเมื่อพิจารณากรณีขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ทำการปรับเปลี่ยนค่าดีกรีความเชื่อถือได้จาก 2, 4 และ 6 ตามลำดับ ได้แนวโน้มของผลการทดลองเหมือนกับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ แต่จะใช้ปริมาณเซนเซอร์โนดสูงกว่า สาเหตุที่ขั้นตอนวิธีชดเชยค่าความเชื่อมโยง ต้องการปริมาณเซนเซอร์โนดมากกว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ เพราะบางโนดอาจติดต่อกับโนดอื่น ๆ ได้มากกว่าค่า  $k$  ที่กำหนดเอาไว้ในคอนตัน และมีประสิทธิภาพรองรับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้มากกว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซนเซอร์โนดกับระยะทางสำหรับการส่งสัญญาณระหว่างโนดข้างเคียงตามความยาวของแม่น้ำ เมื่อปรับเปลี่ยนดีกรีความเชื่อถือได้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ คำนึงถึงความสำคัญของปัญหาอุทกภัยที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกปี จึงต้องเตรียมความพร้อมในการป้องกันและแก้ไขสถานการณ์น้ำท่วมไว้ล่วงหน้า การวางระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายริมฝั่งแม่น้ำของงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพ สามารถครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงต่อน้ำท่วม คำนึงถึงความเชื่อถือได้ของระบบ อีกทั้งลดค่าใช้จ่ายในการลงทุน เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำ ระดับน้ำ และการแผ่รังสีเดือนกุมภาพันธ์เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นผิดปกติ จะทำให้ปัญหาไม่เกิดขึ้นหรือลดความรุนแรงของปัญหาลง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการวางโนดบนริมฝั่งแม่น้ำ เพื่อจุดมุ่งหมายในการใช้จำนวนเซนเซอร์โนดปริมาณต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับทั้งด้านความเชื่อมโยงของโครงข่ายและความเชื่อถือได้ของโครงข่าย พิจารณาวางโนดด้วยระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลสูงสุดตลอดริมฝั่งแม่น้ำ โดยการสร้างเส้นกลางแม่น้ำขึ้นสำหรับอ้างอิง เพื่อคำนวณระยะทางในการส่งสัญญาณข้อมูลถึงกัน ซึ่งต้องรับประกันการครอบคลุมพื้นที่ในการสื่อสารข้อมูล ความเชื่อมโยงและความเชื่อถือได้ของโครงข่ายด้วย ออกแบบการวางเซนเซอร์โนดคงที่ แบบถูกกำหนดตำแหน่งระหว่างสถานีต้นทางและสถานีปลายทางที่ถูกวางไว้ก่อนหน้า บนริมฝั่งแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งขั้นตอนวิธีนี้สามารถรองรับลักษณะความแตกต่างของแม่น้ำที่ประกอบไปด้วย ทั้งส่วนทางตรงและทางโค้ง อันเนื่องมาจากคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแม่น้ำ

จากผลการทดลอง พบว่าแม่น้ำที่มีค่าดัชนีความโค้งมาก ต้องการจำนวนเซนเซอร์โนดที่ต้องใช้สำหรับโครงข่ายในปริมาณที่มากขึ้นไปด้วย และความกว้างของแม่น้ำไม่ส่งผลกระทบต่อจำนวนเซนเซอร์โนด แต่จะส่งผลกระทบต่อการวางตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น ส่วนการนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับแม่น้ำจริงนั้น แสดงถึงการใช้ทรัพยากรโครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีหาค่าความเชื่อมโยง ด้วยการใช้จำนวนเซนเซอร์โนดในปริมาณที่ต่ำกว่า จากนั้นเพิ่มสมรรถนะของโครงข่ายด้วยการเพิ่มดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ซึ่งเดิมมีดัชนีเท่ากับ 2 จึงเพิ่มดัชนีขึ้นเป็น 4 และ 6 ตามลำดับ จะส่งผลให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพสำหรับการรองรับความขัดข้องที่เกิดจากโนดได้สูงยิ่งขึ้น รวมถึงสามารถนำโครงข่ายที่ออกแบบไว้ไปประยุกต์ติดตั้งใช้งานจริงบนริมฝั่งแม่น้ำในอนาคต เพื่อรายงานสถานะของแม่น้ำได้อย่างถูกต้องเท่าทันต่อเหตุการณ์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบขั้นตอนวิธีการวางแผนเซอร์โคโนคนั้น ผู้วิจัยยังขาดการนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ติดตั้งเซนเซอร์บนริมฝั่งแม่น้ำในทางปฏิบัติ ซึ่งยังคงมีปัจจัยหรือสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ส่งผลกระทบต่อการวางตำแหน่งที่ได้ออกแบบจากการจำลองการทำงาน

2. สำหรับการทดสอบต่อไปควรวัดประสิทธิภาพของค่าความเชื่อได้ ในรูปของความน่าจะเป็นที่ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาค่าความเชื่อได้ ณ จุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข่าย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

- [1] Santi, P. Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks. John Wiley and Sons, 2005.
- [2] Sohraby, K., Minoli, D., and Znati, T. Wireless Sensor Networks - Technology, Protocols, and Applications. John Wiley and Sons, 2007.
- [3] Murthy, C. S.R., and Manoj, B. S. Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols. Prentice Hall, 2004.
- [4] Dutta, D., and Herath, S. Trend of floods in Asia and flood risk management with integrated river basin. Proceedings of the 2nd International Conference of Asia-Pacific Hydrology and Water Resources Association, vol. 1, pp. 55-62, 2004.
- [5] กรมชลประทาน. โครงการศึกษาวางระบบและติดตั้งระบบโทรมาตร เพื่อการพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำเจ้าพระยา. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: <http://www.rid.go.th> [2551, มิถุนายน 8]
- [6] Desai, M., and Manjunath, D. On the Connectivity in Finite Ad Hoc Networks. Proceedings of IEEE Communication Letters, vol. 6, No. 10, October 2002.
- [7] Noshiro, A. and Kurihara, M. Close Form Solutions for Connectivity of Fixed Radius Random Graphs in One-Dimentional Space. Proceedings of IEEE SMC, October 2006.
- [8] Cheng, X., Du, D. Z., Wang, L., and Xu, B. Relay sensor placement in wireless sensor networks. Proceedings of Wireless Network, vol. 14, no.3 pp. 347-355, 2008.
- [9] Lloyd, E. L., and Xue, G. Relay sensor placement in wireless sensor networks. Proceedings of IEEE Transactions on Computers, vol. 56, no. 1, pp. 134-138, 2007.
- [10] Wang, G., Huang, L., Xu, H., and Wang, Y. Reliable relay node placement in wireless sensor network. Proceedings of Communications and Networking in China (CHAINACOM'08), 2008, pp. 371-375.
- [11] Tang, J., Hao, B., and Sen, A. Relay node placement in large scale wireless sensor networks. Proceedings of Computer Communications, vol. 29, pp. 490-501, 2006.
- [12] Kashyap, A., Khuller, S., and Shayman, M. Relay placement for higher order connectivity in wireless sensor networks. Proceeding of IEEE International Conference on Computer Communication (INFOCOM 2006), 2006.

- [13] Hao, B., Tang, J., and Xue, G. Fault-tolerant relay node placement in wireless sensor networks: formulation and approximation. IEEE HPSR:Workshop on I-Jigh Performance Switching and Routing, pp. 246–250, 2004.
- [14] Zhang, W., Xue G., and Misra, S. Fault-tolerant relay node placement in wireless sensor networks: problems and algorithms. Proceeding of IEEE International Conference on Computer Communication (INFOCOM 2007), pp. 1649–1657, 2007.
- [15] Han, X., Cao, X., Lloyd, E. L., and Shen, C. Fault-tolerant relay node placement in heterogeneous wireless sensor networks. Proceeding of IEEE International Conference on Computer Communication (INFOCOM 2007), pp. 1667–1675, 2007.
- [16] Misra, S., Hong, S. D., Xue, G., and Tang, J. Constrained relay node placement in wireless sensor networks to meet connectivity and survivability requirements. Proceeding of IEEE International Conference on Computer Communication (INFOCOM 2008), pp. 879–887, 2008.
- [17] Ta, X., Mao, G., and Anderson, B. D.O. On the phase transition width of k-connectivity in wireless multihop networks. Proceeding of IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 8, no. 7, pp. 936-949, July 2009.
- [18] Bredin, L., Demaine, E. D., Hajiaghayi, M., and Rus, D. Deploying sensor networks with guaranteed capacity and fault tolerance. Proceeding of ACM MobiHoc, pp. 309–319, 2005.
- [19] Kar, K., and Banerjee, S. Node placement for connected coverage in sensor networks. Proceedings of the Workshop on Modeling and optimization in Mobile, Adhoc and Wireless Networks (WiOpt'03), 2003.
- [20] Dhillon, S. S., and Chakrabarty, K. Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks. Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'03), pp. 1609-1614, 2003.
- [21] Clouqueur T., Phipatanasuphorn, V., Ramanathan, P., and Saluja, K. K. Sensor deployment strategy for target detection. Proceedings of the 1st ACM international Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA '02), pp. 42-48, 2002.

- [22] Aspnes, J., et al. A Theory of Network Localization. Proceeding of IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 5, no. 12, pp. 1663-1678, 2006.
- [23] Younis, M., and Akkaya, K. Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: A survey. Proceedings of Ad Hoc Networks, vol. 6, no. 4, pp. 621-655, 2008.
- [24] Youssef, W., Younis, M., and Akkaya, K. An intelligent safety aware gateway relocation scheme for wireless sensor networks. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'06), pp. 3396-3401, 2006.
- [25] Freeman, R. L. Radio System Design for Telecommunications. 3rd Edition, John Wiley and Sons, 2007.
- [26] ITU-R Recommendations. Propagation data required for the evaluation of coordination distances in the frequency range 100 MHz to 105 GHz. pp. 13, March 2005.
- [27] Balakrishnan, V. K. Schaum's Outline of Theory and Problems of Graph Theory. Mcgraw-Hill, 1997.
- [28] Jungnickel, D. Graphs, Networks and Algorithms. Springer, 1999.
- [29] Shier, D. R. Network Reliability and Algebraic Structures. Clarendon Press Oxford, 1991.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนริศรา โสภายนต์ เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2528 จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปีการศึกษา 2546 และได้สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร และสำเร็จการศึกษาปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต สาขาวิชารัฐศาสตร์ บริหารรัฐกิจ จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2549 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 สังกัดห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม ปัจจุบันทำงานที่บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) สังกัดส่วนปฏิบัติการและบริการลูกค้าสนามบินสุวรรณภูมิ ศูนย์บำรุงรักษาโครงข่าย ในตำแหน่งวิศวกร

## บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

Sophayont, N., and Saivichit, C. Topological Design for Wireless Sensor Networks for Riverbank Based on Geographical Characteristics. Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCET 2010). China, 2010.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย