แบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างใน
มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน

วรวรรณ มะนาวหมู่

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

A SENSOR NETWORK MODELING FOR TRACKING MOTORCYCLE TAXI PROVIDING SERVICE IN BURAPHA UNIVERSITY, BANGSAEN

VORAWAN MANAWMOO

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE MASTER DEGREE OF SCIENCE INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATICS BURAPHA UNIVERSITY
AUGUST 2016

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ นางสาววรวรรณ มะนาวหมู่ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ดร.ภารุจ รัตนวรพันธุ์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา ริมเจริญ)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล)

คณะวิทยาการสารสนเทศ อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.... คณบดีคณะวิทยาการสารสนเทศ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณะ ชินสาร)
วันที่...๒...เดือน...ตุลาคม...........พ.ศ...๒๕๖๑...

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ เนื่องด้วยความเมตตากรุณาและคำแนะนำอันมีค่ายิ่งจาก ผศ.ดร.ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้จัดทำงานนิพนธ์รู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคิวรถจักรยานยนต์รับจ้าง บริเวณหน้าม.บูรพา, ซอยสดใส, ซอยลีลา, หลังม.บูรพา ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลสถานที่และเส้นทางการรับ – ส่งผู้โดยสารเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อบุญฤทธิ์ มะนาวหมู่ คุณแม่วรรณี มะนาวหมู่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่ให้กำเนิดชีวิต คอยเป็นกำลังใจ อบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษาแก่ลูกด้วยความรักความห่วงใย ขอบคุณน้องวรวัฒน์ มะนาวหมู่ น้องวรวุฒิ มะนาวหมู่ และนายเกียรติศักดิ์ แกล้วกล้า ที่ช่วยแนะนำ ช่วยหาข้อมูล เป็นกำลังใจและแรงใจให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทุกคน โดยเฉพาะพี่มัยสุข ยางเจยมัว ที่เสียสละเวลามาช่วยเก็บข้อมูลที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างทุกเช้าและเที่ยงวัน อีกทั้งยังช่วยให้คำแนะนำ ช่วยเป็นแรงผลักดันในการทำงานนิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ผู้ทำงานนิพนธ์เป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

วรวรรณ มะนาวหมู่

57920644: สาขาวิชา: เทคโนโลยีสารสนเทศ; วท.ม. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)

คำสำคัญ: แบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้/ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย/ Zigbee/ โครงสร้างเครือข่าย

วรวรรณ มะนาวหมู่: แบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน (A Sensor Network Modeling for Tracking Motorcycle Taxi Providing Services in Burapha University, Bangsaen) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล, Ph.D., 47 หน้า. ปี พ.ศ. 2559

งานนิพนธ์ฉบับนี้เสนอการจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน โดยใช้เส้นทางและจุดหมายปลายทางการให้บริการของรถจักรยานยนต์รับจ้างที่ได้จากการสอบถามกับผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างจำนวน 42 คน ในการออกแบบโครงสร้างและจำลองเครือข่าย ใช้อุปกรณ์รับรู้ทำหน้าที่เป็นตัวหาเส้นทาง (router) ที่น้อยที่สุด (โดยคำนึงถึงค่าขีดจำกัดจริงของอุปกรณ์รับรู้) ขั้นตอนวิธีการทางกราฟ (Depth First Search และ Breadth First Search) ถูกนำมาใช้หาเส้นทาง โดยแต่ละเส้นทางจะเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดจากต้นทางไปยังปลายทาง อุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นโหนดปลายทาง (end node) ถูกนำไปติดกับรถจักรยานยนต์แต่ละคัน เพื่อจำลองสถานการณ์ที่น่าจะมีความหน่วงในการส่งข้อมูลมากที่สุด (Worst-case Scenario) ผู้ทำงานนิพนธ์เลือกจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้โดยสมมติว่ามีผู้ใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างทั้ง 42 คัน พร้อม ๆ กัน และผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการไปยังจุดหมายปลายทางที่ไกลที่สุดที่ผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างได้เคยให้บริการในช่วยระยะเวลาการเก็บข้อมูล จากผลการทดลองพบว่าโครงสร้างของเครือข่ายควรเป็นแบบเมช (mesh network) โดยมีจำนวนอุปกรณ์รับรู้ 71 โหนด และควรวาง XBee Internet Gateway ให้อยู่ในตำแหน่งใกล้เส้นทางหลักที่เป็นจุดหมายปลายทางของรถจักรยานยนต์รับจ้างมากที่สุด

57920644: MAJOR: INFORMATION TECHNOLOGY; M.Sc. (INFORMATION TECHNOLEGY)

KEYWORD: SENSOR NETWORK MODELING/ WIRELESS SENSOR NETWORK/ ZIGBEE/ NETWORK TOPOLOGY

VORAWAN MANAWMOO: A SENSOR NETWORK MODELING FOR TRACKING MOTORCYCLE TAXI PROVIDING SERVICE IN BURAPHA UNIVERSITY, BANGSAEN. THESIS ADVISOR: NUTTHANON LEELATHAKUL, Ph.D., 47 P. 2016

This thesis presents a wireless sensor network model for tracking motorcycle taxis in Burapha University, Bangsaen. We collected the route and destinations (together with other related motorcycle taxi data) from 42 taxi service providers. In our network simulation, wireless sensors send the location-tracking data via predetermined shortest routes. Graph algorithms (i.e., Depth First Search and Breadth First Search), with the knowledge of sensor limitation, are used for the shortest-route pre-calculation. To simulate the worst-case scenario, we assume all 42 motorcycle taxies simultaneously were in the service, and we choose destinations that are farthest away from the service spots. We found that the network architecture should be Mesh network. (using 71 router nodes). The results show that the XBee Internet Gateway should be placed in a position close to the route, which leads to destinations of the most customers.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย......ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ......จ

สารบัญ......ฉ

สารบัญตาราง......ซ

สารบัญภาพ......ฌ

บทที่

1 บทนำ......1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา......1

วัตถุประสงค์ของงานนิพนธ์......2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ......3

ขอบเขตของงานนิพนธ์......3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......4

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง......4

1. เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย......4

2. Zigbee......9

2.1 โปรโตคอล Zigbee......11

2.2 ชั้นกายภาพ......12

2.3 Max sublayer......13

2.4 Network layer......13

2.5 Application layer......13

2.6 โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของ Zigbee......13

2.7 โครงสร้างเครือข่าย Zigbee......15

2.8 การประยุกต์ใช้งานของ Zigbee......20

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......21

3 วิธีดำเนินการวิจัย......25

กระบวนการจัดทำแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลการรับส่งผู้โดยสารของ

รถจักรยานยนต์รับจ้าง......27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

กระบวนการเก็บข้อมูลการรับส่งผู้โดยสารที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง...29

กระบวนการศึกษาข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้และอุปกรณ์ Zigbee........................29

กระบวนการศึกษาการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์รับรู้...29

กระบวนการศึกษาเส้นทางการเดินทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง
และกระบวนการจำลองเส้นทาง...30

กระบวนการออกแบบวิธีใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายเบื้องต้น...............30

กระบวนการสร้างแบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้...31

กระบวนการทดสอบแบบจำลองเครือข่าย...31

4 ผลการดำเนินงาน...32

ขีดความสามารถและข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้..32

โครงสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้เพื่อทำการส่งข้อมูล.......................................33

เส้นทางการเดินทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง...37

กระบวนการทดสอบแบบจำลองเครือข่าย...38

1. ความหน่วงของการส่งข้อมูลใน OPNET Simulator...........................39

2. การประยุกต์ใช้งานของ Zigbee...40

อภิปรายผลการทดลอง..43

1. เรื่องจำนวนของอุปกรณ์..43

2. เรื่องการเปรียบเทียบ ZigBee กับเทคโนโลยีไร้สายอื่น สำหรับการ
Tracking รถจักรยานยนต์รับจ้าง..43

2.1 GPS..43

2.2 Wifi...44

2.3 Bluetooth...45

5 อภิปรายและสรุปผล...47

บรรณานุกรม...49

ภาคผนวก..51

ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูล...52

ประวัติย่อของผู้ทำงานนิพนธ์...53

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 กลุ่มความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Frequency Band)..............................10

2-2 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย.......................................11

4-1 ขีดความสามารถของอุปกรณ์รับรู้..32

4-2 ตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้ (router) ตามพิกัดต่าง ๆ..35

4-3 จำนวนผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างในวันที่เก็บข้อมูล.....................................37

4-4 จุดหมายปลายทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง...38

4-5 แสดงค่าเฉลี่ยความหน่วงของแต่ละโครงสร้าง...40

4-6 ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway และค่าเฉลี่ยความหน่วงกรณี XBee Internet Gateway 1 ตัว..41

4-7 ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway และค่าเฉลี่ยความหน่วงกรณี XBee Internet Gateway 2 ตัว..42

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 แผนที่แสดงเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน..3

2-1 การทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..5

2-2 ย่านความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4...10

2-3 โครงสร้างชั้นโปรโตคอลของ ZigBee...12

2-4 แสดงการหาเส้นทางของ AODV...15

2-5 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบดาว...17

2-6 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบ peer to peer..18

2-7 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้...18

2-8 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบเมช..19

3-1 แสดงผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย.......................................26

3-2 แบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูล..27

3-3 รายชื่ออาคารภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน..28

4-1 ตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้ทำหน้าที่เป็น router ตามขอบถนนในมหาวิทยาลัยบูรพา โดยมาตราส่วนเป็นไปตามขนาดจริงของมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน......................34

4-2 โครงสร้างอย่างง่ายแบบที่ 5 เพื่อหาค่าความหน่วงจำลองจาก OPNET.................39

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รถจักรยานยนต์รับจ้าง เป็นบริการขนส่งสาธารณะชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นบริการที่สะดวก ให้ความรวดเร็วในการเดินทาง และได้รับอนุญาตให้รับ – ส่ง ผู้โดยสารทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยบูรพา โดยสามารถรับผู้โดยสารได้ครั้งละ 1 คน ให้บริการรับ – ส่ง ทั้งระยะใกล้และไกล

ในปัจจุบัน ผู้โดยสารสามารถเรียกใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง โดยการโบกมือเมื่อพบเห็นตามเส้นทาง, ไปขึ้นรถจักรยานยนต์รับจ้างที่จุดให้บริการ, โทรศัพท์ติดต่อผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง วิธีดังกล่าวนี้อาจจะได้ผลในช่วงเวลาที่มีผู้ให้บริการจักรยานยนต์รับจ้างมาก เช่น ช่วงเวลากลางวัน แต่ในบางเวลา ผู้โดยสารอาจต้องรอเป็นเวลานานหรือไม่สามารถเรียกใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างได้เลย เนื่องจากบางพื้นที่ไม่ใช่บริเวณที่ผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างนิยมผ่าน หรือเป็นช่วงเวลาที่มีผู้ให้บริการน้อย

ความปลอดภัยในการขับขี่ก็เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มีความสำคัญ แม้ว่าจะมีป้ายเตือนห้ามขับขี่รถจักรยานยนต์ด้วยความเร็วเกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อยู่ทั่วบริเวณมหาวิทยาลัยบูรพา แต่การบังคับใช้กฎข้อนี้เป็นไปได้ยาก เนื่องจากการจ้างบุคลากรมาเฝ้าตามบริเวณต่าง ๆ ต้องมีค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก

งานนิพนธ์นี้พยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการจำลองการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ซึ่งสื่อสารกันแบบไร้สาย (Wireless sensor networks) เพื่อติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างที่เข้ามารับส่งผู้โดยสารภายในมหาวิทยาลัยบูรพา โดยเครือข่ายดังกล่าวเป็นเครือข่ายของเครื่องตัวรับรู้ซึ่งสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวเครื่องและส่งผ่านข้อมูลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแบบไร้สาย ไปยังอุปกรณ์อีกตัวที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกัน

เครื่องตัวรับรู้สามารถจับความแรงของสัญญาณวิทยุของเครื่องอีกตัวที่ติดตั้งไว้กับรถจักรยานยนต์รับจ้าง และส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังเครื่องบริการแม่ข่ายเพื่อประมวลผลหาที่ตั้ง

และบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับรถจักรยานยนต์คันดังกล่าว เช่น ที่ตั้ง ณ ขณะนั้น, ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง, ผู้ที่ขับขี่ขณะนั้น

โดย งานนิพนธ์นี้มุ่งเน้นในส่วนของการจำลองเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้ ซึ่งถูกออกแบบสำหรับจะได้รับการติดตั้งภายในบริเวณมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน การจำลองเป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบเครือข่ายก่อนที่จะติดตั้งระบบจริง เนื่องจากพื้นที่ของหาวิทยาลัยบูรพาค่อนข้างใหญ่ เครือข่ายที่สามารถครอบคลุมทั้งบริเวณต้องประกอบด้วยอุปกรณ์รับรู้เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีราคาสูงและใช้เวลาในการติดตั้งนาน แบบจำลองดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ติดตั้งระบบเครือข่ายนี้รู้ถึงพฤติกรรมเฉพาะของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ทำให้สามารถออกแบบระบบเครือข่ายที่เหมาะสม นอกจากนี้ แบบจำลองยังมีส่วนช่วยอย่างมากในการออกแบบและทดลองขั้นตอนวิธีติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์รับรู้ภายในเครือข่าย ที่สามารถประหยัดพลังงานที่มีอย่างจำกัดในอุปกรณ์รับรู้แต่ละตัว

วัตถุประสงค์ของงานนิพนธ์

ในการจำลองเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้สำหรับติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างที่เข้ามาส่งผู้โดยสารภายในมหาวิทยาลัยบูรพา มีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะและข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการใช้ออกแบบระบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้
2. เพื่อศึกษาเส้นทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ข้อมูลถนนและตึกภายในมหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง
3. เพื่อใช้ในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ให้ครอบคลุมได้ทั้งบริเวณ
4. เพื่อสร้างแบบจำลองเครือข่ายที่คล้ายระบบจริง ที่สามารถใช้ทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีต่าง ๆ ที่จะใช้หาเส้นทางสำหรับส่งข้อมูลในเครือข่าย
5. เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีการหาเส้นทางส่งข้อมูล โดยใช้จำนวนอุปกรณ์รับรู้ที่เหมาะสม และการรับ – ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ไม่เปลืองพลังงานมาก
6. เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวความคิดที่นำเสนอ ไปศึกษาเพื่อทำการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยของตนเองต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงคุณลักษณะและข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการใช้ออกแบบระบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้
2. ทราบถึงเส้นทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ข้อมูลถนน และตึกภายในมหาวิทยาลัยบูรพา
3. ทราบวิธีจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้
4. สามารถนำโครงสร้างเครือข่ายจำลองไปพัฒนาต่อเพื่อใช้งานจริงในอนาคต
5. ได้แบบจำลองเครือข่าย และเส้นทางที่ใช้ส่งข้อมูลภายในเครือข่ายที่คล้ายระบบจริง
6. สามารถนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาขั้นสูงต่อไป

ขอบเขตของงานนิพนธ์

งานนิพนธ์นี้มุ่งที่จะศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีการหาเส้นทางส่งข้อมูล โดยใช้จำนวนอุปกรณ์รับรู้ที่เหมาะสม และตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงาน (XBee Internet Gateway) โดยเน้นการจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อใช้สำหรับติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างที่เข้ามาส่งผู้โดยสารภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน (ดังภาพที่ 1) เท่านั้น

ภาพที่ 1-1 แผนที่แสดงเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน (อ้างอิง: Google Map 2015)

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานนิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้จำลองเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้ เพื่อนำมาหาเส้นทางสำหรับส่งข้อมูลภายในเครือข่ายให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุด (โดยอุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานถูกวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน) โดยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังหัวข้อต่อไปนี้

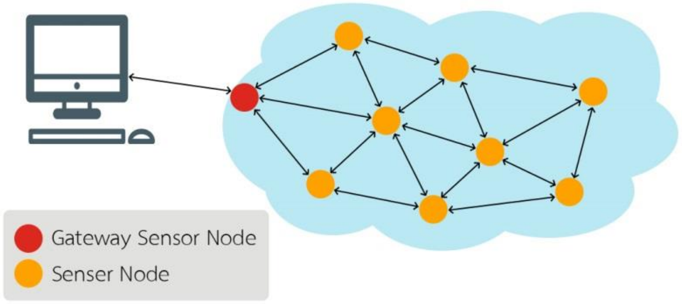
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network)

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยเซ็นเซอร์ที่กระจายในพื้นที่แบบอิสระ เพื่อตรวจสอบสภาพทางกายภาพหรือสภาพสิ่งแวดล้อมที่สนใจ เช่น อุณหภูมิ, เสียง, การสั่นสะเทือน, ความดันหรือมลพิษ และทำการร่วมมือกันส่งผ่านข้อมูล ผ่านทางเครือข่ายไปยังสถานที่หลักที่รอรับข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้ต่อไป โดยเครือข่ายในปัจจุบันมีความทันสมัยมากขึ้น สามารถส่งข้อมูลในแบบสองทิศทาง ทำให้สามารถทำการควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ได้อีกด้วย การพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในช่วงแรก ทำขึ้นเพื่อใช้ในงานทางทหารเช่นการเฝ้าระวังสนามรบ การตรวจจับสิ่งแปลกปลอม หรือแม้กระทั่งตรวจจับความเคลื่อนไหวฝ่ายศัตรู ส่วนเครือข่ายดังกล่าวในวันนี้จะเน้นใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมและผู้บริโภคเป็นหลัก เช่น การตรวจสอบกระบวนการอุตสาหกรรม การควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้าน การตรวจสอบสุขภาพและอื่น ๆ อีกมากมาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบขึ้นจากตัวอุปกรณ์ที่เรียกว่า "โหนด" จากไม่กี่ตัวจนมีมากมายไปถึงหลายร้อยหรือหลายพัน ที่แต่ละโหนดจะประกอบไปด้วยหนึ่งเซ็นเซอร์ หรือบางทีก็หลายเซ็นเซอร์ ซึ่งเซ็นเซอร์จะประกอบไปด้วยตัวรับสัญญาณวิทยุที่มีเสาอากาศภายในหรือมีส่วนการเชื่อมต่อกับเสาอากาศภายนอก มีตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเชื่อมต่อกับตัวเซนเซอร์และส่วนของแหล่งจ่ายพลังงานที่มักจะได้มาจากแบตเตอรี่หรือแบบฟอร์มของแบตเตอรี่ที่ฝังตัวอยู่เพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน เช่น โซลาเซลล์ โหนดเซ็นเซอร์อาจมีขนาด

แตกต่างกันตั้งแต่ขนาดเท่ากล่องรองเท้า จนเล็กลงไปถึงขนาดเท่าขนาดของฝุ่น ค่าใช้จ่ายของโหนดเซ็นเซอร์แต่ละตัว มีผลมาจากตัวแปรต่างๆ ซึ่งอาจมีราคาตั้งแต่ 100 บาท ไปจนถึงหลายพันบาท โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของแต่ละโหนดเซ็นเซอร์ ขนาดและข้อจำกัดในด้านการตรวจจับพลังงาน หน่วยความจำ ความเร็วในการประมวลผล การคำนวณ และความสามารถของระยะทางในการสื่อสาร โครงสร้างของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย มีได้หลากหลายตั้งแต่แบบพื้นฐานที่เรียกว่า Star Network หรือซับซ้อนไปจนถึงในแบบ Multi-hop wireless mesh network ซึ่งจะแตกต่างจากเครือข่าย Star network โดยใช้เทคนิคการกำหนดการเชื่อมต่อระหว่าง hop ที่ตัว router หรือ ตัว Coordinator



ภาพที่ 2-1 การทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Gateway node ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย ออกไปยัง Server โดยผ่าน Internet)

ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะสำคัญโดยรวมของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยทั่วไปแล้วประกอบไปด้วยสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้คือ

1. การใช้พลังงาน สำหรับโหนด ซึ่งอาจใช้แบตเตอรี่หรือการเก็บเกี่ยวพลังงาน
2. ความสามารถในการรับมือกับความล้มเหลวโหนด
3. การเคลื่อนที่ของโหนด
4. โครงสร้างเครือข่ายแบบไดนามิก
5. ความล้มเหลวของการสื่อสาร

6. ความหลากหลายของโหนด
7. ขนาดการใช้งานโหนดที่มีขนาดใหญ่
8. ความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมรุนแรง
9. ความง่ายดายในการใช้งาน
10. การดำเนินการแบบอัตโนมัติ

มาตรฐานและข้อกำหนด

มีหลายมาตรฐานที่รองรับการพัฒนาเครือข่ายในรูปแบบเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่ง IEEE มุ่งเน้นไปที่ชั้นของ Physical และ MAC Internet Engineering Task Force ทำงานบนชั้นที่ 3 และเหนือกว่า นอกจากนี้ International Society of Automation ยังได้ให้บริการครอบคลุมทุกชั้นโปรโตคอล โดยมาตรฐานที่มียังถือว่าน้อยมาก ตัวอย่างมาตรฐานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปในขณะนี้มีดังนี้ WirelessHART, ISA100, IEEE 1451, ZigBee/802.15.4 และ IEEE 802.11

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์และเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

1. เซ็นเซอร์มีราคาต่ำเพื่อการสร้างเครือข่ายที่ต้องใช้เซ็นเซอร์จำนวนมาก
2. เซ็นเซอร์มีขนาดเล็กเพื่อนำไปวางไว้ในสภาพแวดล้อมต่างๆ
3. เซ็นเซอร์มีแหล่งพลังงานและความสามารถในการประมวลผลจำกัด
4. เซ็นเซอร์และเครือข่ายตรวจจับไร้สายสามารถจัดการตัวเองได้ โดยไม่ต้องมีมนุษย์เข้าไปควบคุมหรือช่วยเหลือ
5. เซ็นเซอร์จำนวนมากกระจายตัวครอบคลุมบริเวณทำการของเครือข่ายตรวจจับไร้สายเพื่อเก็บข้อมูล
6. โครงสร้างเครือข่ายตรวจจับไร้สายเป็นโครงสร้างที่ไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลา
7. เครือข่ายตรวจจับไร้สายทนทานต่อความเสียหาย เมื่อเซ็นเซอร์บางส่วนทำงานไม่ได้

ตัวอย่างการนำเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายไปประยุกต์ใช้ สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ได้ดังนี้

การตรวจสอบพื้นที่

การใช้เซ็นเซอร์ไร้สายตรวจสอบพื้นที่เป็นลักษณะทั่วไปของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในการตรวจสอบพื้นที่เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะถูกปรับใช้และกระจายในพื้นที่โดยรอบที่ต้องการตรวจสอบ และทำการตรวจสอบในส่วนปรากฏการณ์ที่ต้องการตรวจสอบ ดังเช่นตัวอย่างที่ทหารใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจสอบการบุกรุกของศัตรู ตัวอย่างของพลเรือนที่ใช้ทำเป็นรั้วทางภูมิศาสตร์ และทำระบบตรวจสอบท่อส่งก๊าซหรือน้ำมัน เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจสอบสิ่งที่ถูกกำหนดให้ตรวจสอบ เช่น ความร้อน ความดัน ก็จะทำการรายงานข้อมูลที่ตรวจสอบได้ไปยังสถานีฐาน โดยใช้วิธีการดำเนินการส่งตามความเหมาะสม เช่น การส่งข้อความบนอินเตอร์เน็ตหรือส่งทางดาวเทียม ในอีกทางหนึ่งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายยังสามารถใช้ช่วงของเซ็นเซอร์เพื่อตรวจสอบสถานะของยานพาหนะตั้งแต่รถจักรยานยนต์ รถยนต์ รวมไปถึงรถไฟได้อีกด้วย

การตรวจสอบมลพิษทางอากาศ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้รับการติดตั้งในหลายเมือง (Stockholm, London หรือ Brisbane) เพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นอันตรายสำหรับประชาชน

การตรวจสอบไฟป่า

เครือข่ายของโหนดเซ็นเซอร์สามารถติดตั้งในป่าเพื่อการควบคุมเมื่อเกิดเพลิงไหม้ได้ โดยที่โหนดแต่ละตัวจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ และก๊าซซึ่งเกิดจากเหตุการณ์ไฟไหม้ในต้นไม้หรือพืช โดยการตรวจสอบต้นเพลิงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การดำเนินงานของนักผจญเพลิงประสบความสำเร็จ ซึ่งต้องขอขอบคุณเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ทำให้นักดับเพลิงสามารถรู้ได้ว่าบริเวณใดที่เพลิงไหม้ได้เริ่มต้นเกิดขึ้น

การตรวจสอบเรือนกระจก

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถใช้เพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิและความชื้นของสภาวะเรือนกระจกที่อยู่ภายในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม เมื่ออุณหภูมิและความชื้นลดลงต่ำกว่าระดับที่ได้กำหนดไว้ ผู้จัดการที่ควบคุมเรือนกระจกจะต้องมีระบบการแจ้งเตือนผ่านทาง e-mail, ข้อความโทรศัพท์ หรือระบบรองรับที่สามารถเรียกใช้ระบบพ่นหมอกผ่านทางช่องระบายอากาศ และยังเปิดพัดลมหรือตัวควบคุมอีกหลากหลายเพื่อทำการตอบสนองต่อสิ่งที่เกิดขึ้น

การตรวจสอบสภาพเครื่องจักร

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ได้รับการพัฒนาเพื่อการบำรุงรักษาเครื่องจักร Condition - based machine(CBM) ที่ทำช่วยให้ประหยัดต้นทุนและการสั่งงานเปิดใช้งานฟังก์ชันใหม่ที่สำคัญ ในระบบจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ในสถานที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ของเครื่องจักรอันเนื่องมากจากสายไฟ หรือจากการที่เครื่องจักรหมุนทำให้เกิดพื้นที่อันตรายขึ้น ซึ่งในพื้นที่เหล่านี้สามารถเข้าถึงได้ด้วยการติดตั้งเซ็นเซอร์ไร้สาย

ตรวจสอบน้ำ/ระบบบำบัดน้ำเสีย

มีโอกาสมากมายสำหรับการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายภายในอุตสาหกรรมน้ำ/ระบบบำบัดน้ำเสีย ในที่ซึ่งไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวก หรือสายไฟฟ้าเข้าไม่ถึง โดยการส่งผ่านข้อมูลที่สามารถตรวจสอบได้จากอุปกรณ์ I/O และเซ็นเซอร์ขับในแบบไร้สาย โดยการใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่แพ็ค

ด้านการเกษตร

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายถูกนำมาใช้ภายในอุตสาหกรรมเกษตรทั่วไป โดยใช้เครือข่ายไร้สายช่วยเกษตรกรในการทำงาน ทำให้ไม่ต้องบำรุงรักษาสายไฟในสภาพแวดล้อมที่ยากลำบาก โดยระบบสามารถตรวจสอบสภาพของดิน ความชื้น สถานะของปั๊ม โดยทำการส่งข้อมูลในแบบไร้สายกลับไปยังศูนย์ และศูนย์สามารถควบคุมการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในรูปแบบระบบอัตโนมัติเพื่อช่วยให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. Zigbee

คำว่า ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก และจะส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกัน เช่น ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

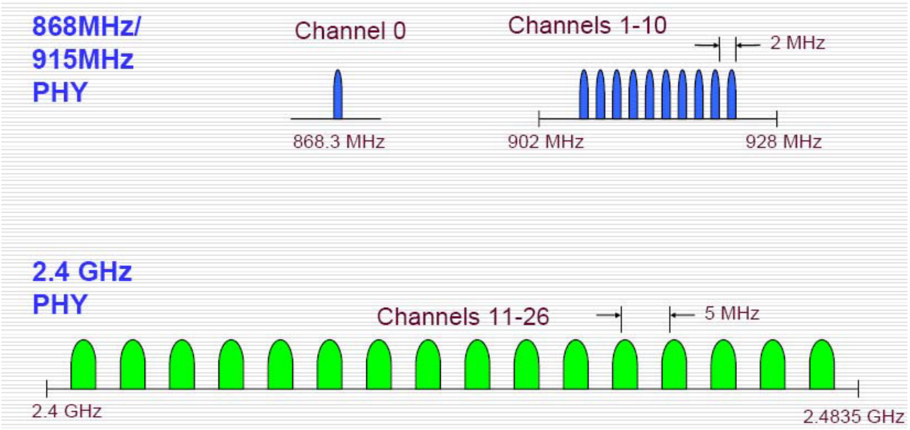
ZigBee มาตรฐานสากลกำหนดโดย ZigBee Alliance ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการเครือข่ายด้วยตัวเซ็นเซอร์เองได้ จุดประสงค์ของคุณสมบัติดังกล่าวเพื่อให้สามารถสร้างเป็นระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายได้ ซึ่งระบบเครือข่ายดังกล่าวสามารถทำงานได้ทุกสภาพแวดล้อมทั้งในอาคารและนอกอาคาร ตัวเซ็นเซอร์สามารถทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยการใช้พลังงานจาก

แบตเตอรี่ขนาดเล็กได้นานเป็นเดือน เป็นปี ระบบนี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานกับพวกตรวจจับและตรวจสอบสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่สนใจได้

การทำงานของ ZigBee จะเป็นการรับและส่งคลื่นสัญญาณข้อมูล ผ่านชิปขนาดเล็กในระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายแบบจุดต่อจุดไปเรื่อยๆ จากเซ็นเซอร์ต้นทางไปจนถึงปลายทางที่ต้องการข้อมูล ข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิ, การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต, จับปริมาณมลพิษในอากาศ, ปริมาณน้ำ, อุณหภูมิ, แสง และท่อแก๊ส เป็นต้น

Zigbee นั้นได้กำหนดย่านความถี่ในการใช้งานไว้ในชั้น Physical layer มีอยู่ 3 ย่านความถี่ คือ

1. ย่านความถี่ 868 MHz มีช่องสัญญาณ 1 ช่อง คือช่องสัญญาณที่ 0 อัตราส่งข้อมูล 20 Kbps
2. ย่านความถี่ 915 MHz มีช่องสัญญาณ 10 ช่อง คือช่องสัญญาณที่ 1-10 อัตราส่งข้อมูล 40 Kbps
3. ย่านความถี่ 2.4 GHz มีช่องสัญญาณ 16 ช่อง คือช่องสัญญาณที่ 11-26 อัตราส่งข้อมูล 250 Kbps



ภาพที่ 2-2 ย่านความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (อ้างอิง: Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary)

โดยย่านความถี่ 868 MHz ใช้ได้ในยุโรป ย่านความถี่ 915 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ และย่านความถี่ 2.4 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 กลุ่มความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Frequency Band)

แถบความถี่	**ทวีปที่ใช้แถบความถี่**	**อัตราการส่งข้อมูล**	**จำนวนช่องสัญญาณ**
868 MHz	Europe	20 kbps	1
915 MHz (ISM)	Americas	40 kbps	10
2.4 GHz (ISM)	Worldwide	250 kbps	16

โดยการสื่อสารของ Zigbee นั้นใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz (ย่านไมโครเวฟ) ซึ่งเป็นย่านเดียวกับ Bluetooth และ Wi-Fi ซึ่งในย่านนี้การวางตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้จะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ ในเส้นทางการสื่อสาร อย่างไรก็ตาม Zigbee, Wi-Fi และ Bluetooth มีข้อแตกต่างของการสื่อสาร ดังตารางที่ 2-2

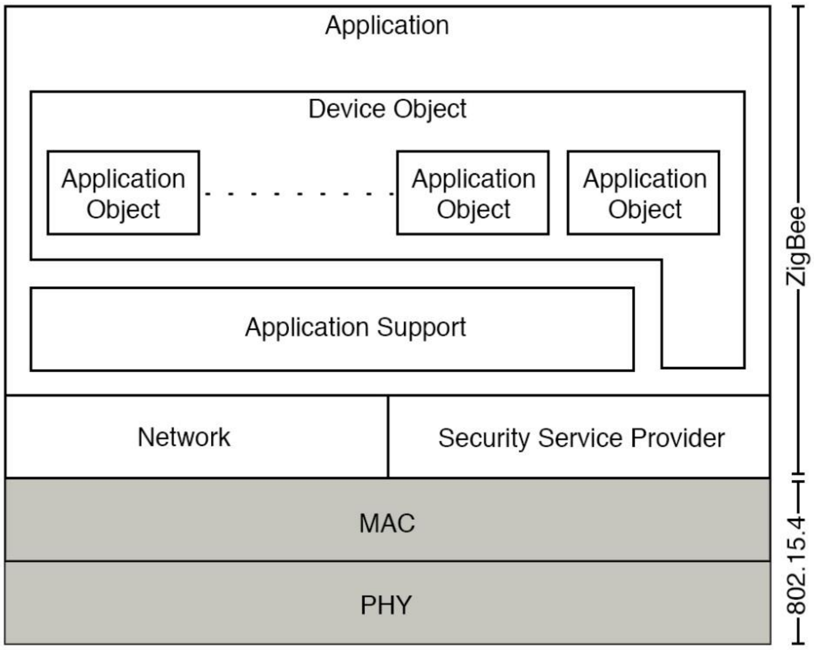
ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย

	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth
พิกัดของสัญญาณ	10–100 เมตร	50–100 เมตร	10–100 เมตร
โครงสร้างระบบเครือข่าย	Ad-hoc, peer to peer, star, mesh	Point to hub	Ad-hoc, very small networks
ย่านความถี่	868 MHz (Europe), 900-928 MHz (NA), 2.4GHz (worldwide)	2.4 และ 5 GHz	2.4 GHz
ความซับซ้อน	ต่ำ	สูง	สูง
การใช้พลังงาน	ต่ำมาก	สูง	กลาง
ความปลอดภัย	AES (128 บิต) ร่วมกับความปลอดภัยในชั้นแอปพลิเคชั่น		64 และ 28 บิต มีการเข้ารหัส
การนำไปใช้งาน	การควบคุมงานอุตสาหกรรม, เครือข่ายเซ็นเซอร์, ระบบอาคารอัตโนมัติ, ระบบของเล่นอัตโนมัติ, เกม	การเชื่อมต่อแบบไร้สาย, การเข้าถึงเครือข่ายอินเตอร์เน็ต	การเชื่อมต่อแบบไร้สายระหว่างอุปกรณ์ เช่น โทรศัพท์, PDA, laptops, headsets

2.1 โปรโตคอล Zigbee

โปรโตคอล Zigbee จะเป็นไปตาม OSI seven-layer model โดยในส่วนของชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (MAC Layer) และชั้นกายภาพ (Physical Layer) จะใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งทำงานในเรื่องของระดับกำลังสัญญาณ คุณภาพของการเชื่อมต่อ (Link

Quality) การควบคุมการเข้าถึง (Access Control) และการรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ในส่วนของชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer) ชั้นสนับสนุนโปรแกรมประยุกต์ (Application Support Layer) และชั้นเครือข่าย (Network Layer) จะกำหนดตามมาตรฐานของ Zigbee



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างชั้นโปรโตคอลของ ZigBee

2.2 ชั้นกายภาพ (Physical layer)

การทำงานของชั้นกายภาพ ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มี 2 รูปแบบคือ data service และ management service โดย Physical Layer ทำงานในส่วนการเปิด-ปิดตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ (radio-transceiver) การตรวจจับพลังงาน (Energy Detection) Link Quality Indication (LQI) การเลือกช่องสัญญาณ (channel selection) การทำให้ช่องสัญญาณว่าง (Clear Channel Assessment) และการรับส่งข้อมูลผ่านความถี่ 2.4 GHz ISM

2.3 Max sublayer

การทำงานของ MAC sublayer ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มี 2 ส่วน คือ MAC data service และ MAC management โดย MAC data service จะส่งผ่าน MAC protocol data units (MPDU) ไปยัง PHY data service คุณสมบัติต่าง ๆ ของ MAC sublayer มีดังนี้

1. การจัดการสัญญาณบีคอน (Beacon management)
2. การเข้าถึงช่องทางการสื่อสาร (Channel access)
3. การจัดการประกันช่องเวลา (Guaranteed time slot (GTS) management)
4. การตรวจสอบเฟรม (Frame validation)
5. การส่งเฟรมตอบรับ (Acknowledgement frame delivery)
6. การเชื่อมต่อเข้าไปในเครือข่าย และการออกจากเครือข่าย (Association and Disassociation)

2.4 Network layer

ในส่วนของชั้นเครือข่ายทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทางของข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

2.5 Application layer

ชั้นโปรแกรมประยุกต์เป็นชั้นที่มีส่วนที่เรียกว่าโครงประกอบของโปรแกรมประยุกต์ (Application Framework) โดยมีออปเจคของอุปกรณ์ ZigBee (ZigBee Device Object หรือ ZDO) ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าถึงและใช้งานในชั้นโปรแกรมประยุกต์ ส่วนในชั้นสนับสนุนโปรแกรมประยุกต์นั้น ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของชั้นโปรแกรมประยุกต์และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชั้นโปรแกรมประยุกต์

2.6 โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของ ZigBee (ZigBee Routing Protocol)

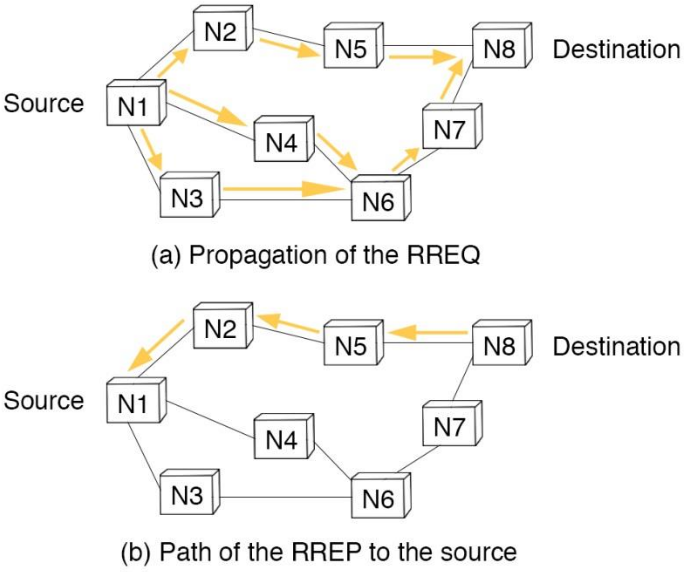
ในการค้นหาเส้นทางของ Zigbee จะใช้ AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) Routing Algorithm ซึ่งเป็นโปรโตคอลหาเส้นทางที่นิยมมากชนิดหนึ่งสำหรับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) มีลักษณะคล้ายกับ Dynamic Source Routing ในส่วนที่มีการกระจาย

การร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Broadcast Route Request) ไปยังเพื่อนบ้านและส่งข้อมูลการร้องขอเป็นแบบเครื่องต่อเครื่อง (Hop-by-Hop) ในการลดโอเวอร์เฮด (Overhead) ของการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Route Request) แต่ละโหนดจะมีกระบวนการปรับปรุงตารางการค้นหาเส้นทาง (Routing Table) ในการจัดการข้อมูลของเส้นทางในโหนดข้างเคียง แต่ละโหนดจะมีการปรับปรุงตารางเป็นคาบเวลา (Periodically) โดยขึ้นอยู่กับการร้องขอด้วย ในการปรับปรุงตารางนั้นจะตรวจสอบแต่ละโหนดข้างเคียงและกระจายไปยังโหนดอื่นๆเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม AODV มีจุดอ่อนอยู่ที่มีการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดสูง (High Mobility) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีการจราจรที่หนาแน่น (High Traffic) ที่เกิดจากการปรับปรุงตาราง การลดความหนาแน่นของการจราจรในเครือข่ายจะช่วยลดอัตราการปรับปรุงตารางการค้นหาเส้นทางได้ แต่ก็ส่งผลให้เกิดความล้มเหลวในการค้นหาเส้นทาง (Routing Failure) ได้เช่นกัน AODV นั้นเป็นโปรโตคอลแบบ Source Initiated On-Demand Driven/Reactive ซึ่งหาเส้นทางก็ต่อเมื่อต้นทาง (Source) ต้องการหาเส้นทางไปยังปลายทาง (Destination) เมื่อหาเส้นทางได้แล้วจะหยุดการค้นหา ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะช่วยลดการใช้แบนด์วิธ (Bandwidth) ในช่องสัญญาณแต่จะต้องเสียเวลาหาเส้นทางใหม่เมื่อต้องการส่งข้อมูล เนื่องจากโปรโตคอลนี้ใช้ในลักษณะของเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น มีการย้ายตำแหน่งของโหนดที่เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Node) เป็นต้น โปรโตคอลนี้จะมีการส่งข้อความควบคุม (Control Message) เป็นช่วงๆ เพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางหรือปรับปรุงเส้นทาง

สำหรับโหนดที่สามารถติดต่อได้โดยตรงจะเรียกว่าโหนดข้างเคียง (Neighbor) โดยโหนดจะเก็บข้อมูลของโหนดข้างเคียงเมื่อได้รับ Hello Message ที่แต่ละโหนดจะทำการกระจายข้อมูล (Broadcast) ออกมาตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อมีโหนดใด ๆ ที่ต้องการส่งข้อความ (Message) ไปยังโหนดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โหนดข้างเคียง โหนดตัวนั้นจะทำการ Broadcast Route Request Message(RREQ) ซึ่งใน RREQ จะประกอบไปด้วย ต้นทาง (Source) ปลายทาง (Destination) อายุ (LifeSpan) ของข้อมูลและหมายเลขลำดับ (Sequence Number)

การค้นหาเส้นทางของ AODV จะเริ่มเมื่อโหนดต้นทางต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งข้อมูลการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (RouteRequest หรือ RREQ) ไปยังโหนดข้างเคียง และโหนดที่ได้รับก็จะทำการส่งต่อไปยังโหนดข้างเคียงต่อไปเรื่อยๆ

จนถึงโหนดปลายทางที่ต้องการที่จะติดต่อด้วย เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ ตัวแรกที่มาถึง โหนดปลายทางจะส่งข้อความตอบกลับการค้นหาเส้นทาง (Route Reply หรือ RREP)กลับไปยังโหนดต้นทางที่ทำการส่ง RREQ มาให้โดยส่งกลับไปในเส้นทางที่ RREQ ตัวแรกมาถึง เพราะถือว่าใช้เวลาน้อยที่สุดในการส่ง RREQ มาจากต้นทาง



ภาพที่ 2-4 แสดงการหาเส้นทางของ AODV

2.7 โครงสร้างเครือข่าย Zigbee (Zigbee Network Topology)

ZigBee ได้แบ่งชนิดอุปกรณ์ทางกายภาพ (Physical Device) ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Full Function Device (FFD) คือ อุปกรณ์เราท์เตอร์ (Router) ที่ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ (Coordinator) ใช้พลังงานจากสายไฟฟ้า (Power Line) สามารถทำงานได้ทุกโครงข่ายงาน (Topology) และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

คุณสมบัติของ FFD มีดังนี้

- สามารถกำหนดฟังก์ชันการทำงานในแต่ละโครงสร้างเครือข่าย (Topology) ได้
- สามารถทำงานร่วมกับเครือข่ายอื่นๆ ได้
- สามารถทำงานร่วมกันได้ดี

- สามารถติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้

2. Reduce Function Device (RFD) คือ อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ (Battery) ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆได้ และถูกลดความสามารถในการทำโครงข่าย ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถทำโครงข่ายแบบดาว (Star) ได้ง่าย

คุณสมบัติของ RFD มีดังนี้

- จำกัดเฉพาะโครงสร้างเครือข่าย (Topology) แบบสตาร์เท่านั้น
- ไม่สามารถทำงานร่วมกับเครือข่ายอื่น ๆ ได้
- ติดต่อได้กับอุปกรณ์เฉพาะในเครือข่ายเดียวกันเท่านั้น
- พัฒนาปรับปรุงได้ง่าย

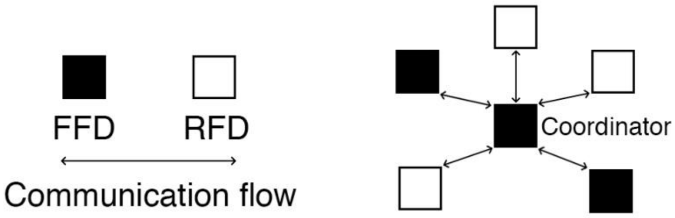
ในระบบของ ZigBee ประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐานหลายส่วน คือ Full-Function Device (FFD) หรือ Reduced-Function Device (RFD) ซึ่งภายในเครือข่ายใดๆ ควรจะมีหนึ่ง FFD ซึ่งใช้เป็นตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (PAN Coordinator) FFD สามารถ ทำงานใน 3 โหมด คือ ตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Personal Area Network Coordinator) ตัวประสานการเชื่อมต่อ (Coordinator) และ Reduced Function Device (RFD) โดยที่ FFD สามารถส่งข้อมูลผ่าน RFD หรือ FFD ในขณะที่ RFD สามารถส่งข้อมูลผ่านได้เฉพาะ FFD

โครงสร้างเครือข่ายที่ ZigBee รองรับได้แก่ โครงสร้างแบบดาว (Star) โครงสร้างแบบเครื่องต่อเครื่อง (Peer to Peer Topology) โครงสร้างแบบกลุ่มของต้นไม้ (Cluster Tree) และโครงสร้างแบบเมช (Mesh)

2.7.1 โครงสร้างเครือข่ายแบบดาว (Star Topology)

ในโครงสร้างเครือข่ายแบบดาวการสื่อสารที่ติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์และส่วนควบคุมส่วนกลาง (Single Central Controller) หรือที่เรียกว่าตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ที่เป็นศูนย์กลางในการส่งข้อมูลของเครือข่าย การใช้ประโยชน์จากเครือข่ายที่มีโครงสร้างแบบนี้ สามารถยกตัวอย่างได้ เช่น การทำระบบบ้านอัจฉริยะ (Home Automation) อุปกรณ์ที่ต่อกับคอมพิวเตอร์ (Personal Computer Peripherals) ของเล่นและเกมส์ หลังจากที่ตัว FFD ทำงาน เริ่มต้น FFD จะสร้างเครือข่ายของมันเองและกลายมาเป็นตัวประสานการ

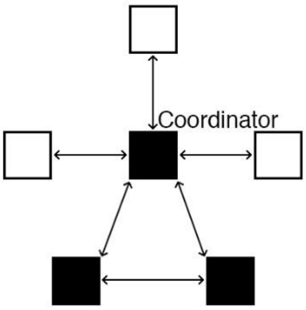
เชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล เครือข่ายแบบดาวจะเลือกหมายเลขเครือข่ายส่วนบุคคล (PANID) ที่ยังไม่ได้ถูกเลือกในเครือข่ายอื่นๆ ภายในเครือข่ายที่มันมองเห็น (Radio Sphere)



ภาพที่ 2-5 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบดาว

2.7.2 โครงสร้างแบบเครื่องต่อเครื่อง (Peer to Peer Topology)

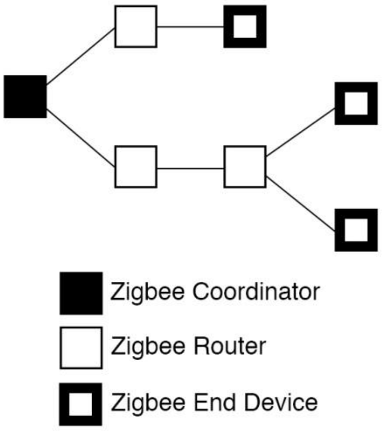
ในโครงสร้างแบบเครื่องต่อเครื่องนี้จะมีหนึ่งตัวที่เป็นตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ส่วนที่แตกต่างกับโครงสร้างแบบดาว คือ ทุกอุปกรณ์สามารถสื่อสารกับทุกอุปกรณ์อื่นได้ในระยะการส่งข้อมูลที่สามารถส่งถึง โครงสร้างแบบเครื่องต่อเครื่องเป็นได้ทั้ง แอดฮอค (Ad-Hoc) การจัดตั้งด้วยตัวเอง (Self Organizing) และการรักษาสภาพด้วยตัวมันเอง (SelfHealing) เช่น การควบคุมภายในโรงงานและการดูแลและติดตาม (Monitoring) เครือข่ายตรวจจับไร้สายและการติดตามสินค้าหรือสิ่งของ (Inventory Tracking) เป็นต้น



ภาพที่ 2-6 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบ peer to peer

2.7.3 โครงสร้างเครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้ (Cluster Tree Topology)

เครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้เป็นรูปแบบพิเศษของเครือข่ายแบบเครื่องต่อเครื่อง ซึ่งอุปกรณ์ส่วนมากเป็น FFD และ RFD ที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้ที่โหนดสุดท้ายของสาขา สำหรับ FFD บางอุปกรณ์นั้นสามารถเป็นตัวประสานการเชื่อมต่อและมีการประสานเวลา (Synchronization) กับอุปกรณ์อื่น ๆ และตัวประสานการเชื่อมต่อเหล่านี้เป็นตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายส่วนบุคคล โดยตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลจะสร้างกลุ่มชุดแรกด้วยตัวมันเองที่คัสเตอร์เฮด (Cluster Head หรือ CLH) ด้วยหมายเลขของกลุ่ม (Cluster IDหรือ CID) ที่มีค่าหมายเลขเป็น 0

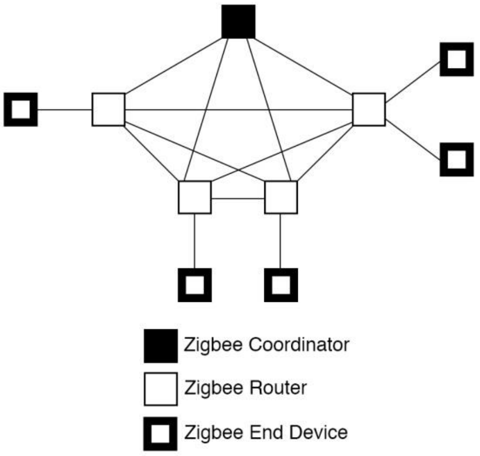


ภาพที่ 2-7 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้

การเลือกหมายเลขของเครือข่ายส่วนบุคคลจะเลือกหมายเลขที่ยังไม่ถูกใช้และการกระจาย (Broadcast) เฟรมเบคอน (Beacon) ไปยังอุปกรณ์ข้างเคียง อุปกรณ์ที่ได้รับเบคอนอาจจะร้องขอเข้าร่วมเครือข่ายที่ CLH ถ้าตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายส่วนบุคคลอนุญาตมันจะบันทึกอุปกรณ์ใหม่นั้นเป็น Child Node และอุปกรณ์ตัวใหม่จะบันทึก CLH เป็น Parent Node ข้อดีของโครงสร้างกลุ่มของต้นไม้คือ เป็นการเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่ที่มีการต้องการเข้าร่วมในเครือข่ายมาก

2.7.4 เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)

เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ยกเว้นอุปกรณ์ FFD สามารถส่งข้อมูลไปยัง FFD อื่นได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านโครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยัง RFD จะต้องผ่านอุปกรณ์ RFD ก่อนหน้า ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้คือ ช่วยลดอัตราความล่าช้าของการส่งและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ



ภาพที่ 2-8 รูปแบบโครงสร้างเครือข่ายแบบเมช

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมชมีอีกชื่อว่า เครือข่ายหลายจุด (Multi-hop) ขณะที่เครือข่ายแบบสตาร์เป็น เครือข่ายจุดเดียว (single-hop) เครือข่ายโปรโตคอล ZigBee เป็นเครือข่ายแบบเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์พร้อมกัน ซึ่งหมายความว่า จุดเชื่อมต่อในเครือข่ายทุกจุดมีสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเท่า ๆ กัน มีวิธีการเชื่อมต่อแบบหลายอุปกรณ์พร้อมกัน 2 วิธีได้แก่ beacon และ non-beacon การเชื่อมต่อแบบ non-beacon ทุกจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ช่องสัญญาณว่างอยู่ ในเครือข่ายแบบ beacon จุดเชื่อมต่อจะสามารถส่งข้อมูลได้ในช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าเท่านั้น

2.8 การประยุกต์ใช้งานของ ZigBee

การประยุกต์ใช้งาน ZigBee นั้นจะแบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร ที่มีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. ข้อมูลแบบช่วงเวลา (Periodic) โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง และตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เช็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซนเซอร์และมิเตอร์

2. ข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent) เป็นลักษณะที่มีการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตซ์ไฟ

3. ข้อมูลแบบซ้ำๆ (Repetitive low latency) ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อย ๆ โดยการสื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่องเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการ นำไปใช้ในงาน เช่น เมาส์ไร้สาย

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวัน ถ้าเรานำมาตรฐานเครือข่ายแบบไร้สาย IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้เป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ หรือ อุปกรณ์กับมนุษย์ ที่ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับมีดังนี้

1. ระบบการควบคุมอัตโนมัติ ที่บ้าน โรงงาน และ โกดังเก็บสินค้า เป็นต้น
2. ระบบการติดตามสำหรับ ความปลอดภัย ชีวะอนามัย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
3. การตรวจหาตำแหน่งที่นำไปใช้ในการปฏิบัติการทางทหาร การทำงานของนักผจญเพลิงและบริษัทที่ต้องการการตรวจหาตำแหน่งแบบเวลาจริง
4. ให้ความบันเทิง เช่น เกมฝึกทักษะ และของเล่นแบบ interactive

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 หรือ ZigBee ถ้ามีการใช้งานเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก เช่น ในทางชีวะอนามัย นอกจากนี้ระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายจะช่วยเตือนภัยจากสิ่งแวดล้อม รวมถึงอุบัติภัยต่าง ๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม แผ่นดินไหว เป็นต้น ทั้งนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย และตัวอุปกรณ์เองมีช่วงการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้น นอกจากนี้ยังมีราคาแพงอีกด้วย แต่ในระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ใช้

Zigbee นี้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐาน เช่น เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่มีราคาถูก ทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่าง ๆ และอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติตามที่เราต้องการ

สำหรับการประยุกต์ระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ใช้ Zigbee มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้อุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิต สื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้ เช่น เมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามา โทรทัศน์จะลดเสียงลงอัตโนมัติ ทั้งนี้เราเองไม่ต้องตั้งค่าต่าง ๆ ให้กับอุปกรณ์ แต่อุปกรณ์เองจะเรียนรู้เองจากพฤติกรรมของเราภายในบ้าน โดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสงหลอดไฟ อุณหภูมิ เพลง ช่องโทรทัศน์ โดยแต่ละอุปกรณ์จะเรียนรู้รสนิยมของแต่ละคนและบันทึกไว้

นอกจากนี้เราสามารถนำระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ใช้ Zigbee มาประยุกต์ใช้ในการคมนาคม กับอุปกรณ์พื้นฐานต่าง ๆ ที่อยู่ตามท้องถนน ทางด่วน และที่อื่น ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ต่าง ๆ จะสื่อสารกันเองเป็นระบบเครือข่าย ในระหว่างการเดินทางของรถบนท้องถนน อุปกรณ์ที่อยู่ข้างทางจะส่งข้อมูลที่จำเป็นในการเดินทางสำหรับถนนที่รถวิ่งอยู่ เช่น ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ เส้นทางเป็นรถเดินทางเดียวหรือสองทาง สภาพการจราจร ข้อมูลอุบัติเหตุ เป็นต้น

นอกจากนี้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ข้างถนนจะมีการทำงานแบบอัตโนมัติด้วย เช่น ไฟส่องทางจะลดความเข้มลงเมื่อไม่มีรถวิ่งผ่านมา และระบบควบคุมการจราจร เป็นต้น ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือสามารถตรวจหาตำแหน่งของรถได้ ซึ่งจะคล้ายกับระบบ GPS แต่ระบบ GPS นี้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งในบางสถานที่ได้ เช่น ภายในอุโมงค์ ภายในอาคาร เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

บทความอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ได้แก่ Chee-Yee Chong และ S.P. Kumar (2003) ได้เสนองานวิจัย "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges"; Deborah Estrin, David Culler, และ Kris Pister (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Connecting the Physical World with Pervasive Networks"; G.J. Pottie และ W.J. Kaiser (2000) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Wireless Integrated Sensor Networks"; และ I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, และ E. Cayirci (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "A Survey on Sensor Networks" โดยผลงานวิจัยทั้ง 4 พยายามให้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ การประยุกต์ใช้ในแบบต่าง ๆ (เช่น การประยุกต์ใช้

ในค่ายทหาร, การประยุกต์ใช้เป็นเครื่องดักจับภัยพิบัติ, การประยุกต์ใช้ในการดักจับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในตัวคนไข้และในโรงพยาบาล, การประยุกต์ใช้ในบ้าน ฯลฯ) นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังกล่าวถึง ข้อจำกัดและประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้

เอกสารเกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ได้แก่ Robert Faludi (2010) เสนอผลงานเขียนในหนังสือชื่อ “Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing” ซึ่งแนะนำวิธีการใช้โปรแกรมเครื่องมือสำเร็จรูปในการพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้อย่างง่าย รวมถึงการติดตั้งเครื่องเกตเวย์เพื่อให้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต; N. Katenka, E. Levina, และ G. Michailidis (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “A Cost-Efficient Approach to Wireless Sensor Network Design” ซึ่งเสนอการออกแบบโดยการวางอุปกรณ์รับรู้แบบสุ่ม เป้าหมายหลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือการประหยัดต้นทุนโดยรวมของเครือข่ายให้ได้มากที่สุด โดยที่เครือข่ายต้องสามารถครอบคลุมพื้นที่กำหนดและอุปกรณ์ทุกตัวในเครือข่ายสามารถติดต่อถึงกันได้; A. Tiwari, P. Ballal, และ F. Lewis (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance” โดยได้เสนอการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สำหรับการส่งข้อมูลแบบทันที (Real-time) โดยได้พัฒนาทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสำหรับการเฝ้าสังเกตเครื่องจักรกล ระบบที่ถูกนำเสนอได้คำนึงถึงรูปแบบการวางอุปกรณ์รับรู้และเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลที่ทำให้ประหยัดพลังงาน; Chiranjib Patra, Anjan Guha Roy, Samiran Chattopadhyay และ Parama Bhaumik (2010) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง “Designing Energy-Efficient Topologies for Wireless Sensor Network: Neural Approach” โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเส้นประสาท (Neural network) ในการวางจุดที่ตั้งของอุปกรณ์รับรู้แต่ละตัว การออกแบบจุดที่ตั้งดังกล่าวมุ่งเน้นไปในเรื่องการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้เครือข่ายสามารถปรับจุดที่ตั้งของอุปกรณ์ได้เองเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป

เอกสารการวิจัยที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สำหรับเฝ้าสังเกตเฉพาะทาง ได้แก่ Heemin Park, Jeff Burke, และ Mani B. Srivastava (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light

control" โดยได้เสนอระบบควบคุมความสว่างของไฟสำหรับการผลิตสื่อเพื่อสันทนาการ ระบบควบคุมไฟดังกล่าวใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) เพื่อเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าส่องสว่างของไฟในจุดต่าง ๆ ให้เร็วที่สุด เพื่อที่จะฉายไปที่บุคคลหรือวัตถุเป้าหมายที่กำลังเคลื่อนที่ โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จะเป็นไปตามที่ผู้ตั้งค่าได้ทำการตั้งค่าไว้ตั้งแต่แรก; C. Sharp, S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry, D. Culler (2005) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception" โดยได้นำเสนอเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของพาหนะของสายลับและช่วยหุ่นยนต์ไล่ล่าในการจับพาหนะของสายลับ ระบบเครือข่ายดังกล่าวมีกลวิธีในการเลือกผู้นำอัตโนมัติ, การเลือกเส้นทาง, การรวมข้อมูลไว้ด้วยกันเพื่อลดขนาดของข้อมูล และการควบคุมหุ่นยนต์แบบปิด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและใช้คุณสมบัติเชิงพื้นที่และทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมซึ่งทำให้การออกแบบง่ายขึ้นและใช้ได้จริงในภาคสนามมากขึ้น; Thangavelu, A., K. Bhuvaneswari and K. Kumar (2007) ได้เสนอระบบติดตามและนำทางยานพาหนะโดยใช้ Wi-Fi ในการติดต่อสื่อสาร; Erin-Ee-Lin Lau, Boon-Giin Lee, Seung-Chul Lee, and Wan-Young Chung (2008) นำเสนอวิธีระบุตำแหน่งและตรวจจับวัตถุทั้งในที่ร่มและกลางแจ้งอย่างแม่นยำโดยใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย (CC2431 Chipcon, นอร์เวย์) ที่ใช้มาตรฐาน IEEE802.15.4 แบบเดียวกับ Zigbee โดยที่อุปกรณ์จะทำการคำนวณและประมาณค่าเพื่อระบุตำแหน่งโดยใช้ความเข้มของสัญญาณ วิธีการนี้จะทำการคำนวณระยะทางจากความเข้มของสัญญาณการรับส่งระหว่างโหนดที่ใช้อ้างอิง และโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่ง

Ken Blakely และ Bruce Lowekamp ได้นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง "A Structured Group Mobility Model for the Simulation of Mobile Ad Hoc Networks" ซึ่งแนะนำการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ และในงานวิจัยได้นำเสนอการสร้างลำดับการเคลื่อนไหวที่แสดงให้เห็นถึงรูปแบบของการเคลื่อนย้ายโหนด และเปรียบเทียบจำลองการใช้ SGMM (Structured Group Mobility Model) กับรุ่นอื่น ๆ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการกำหนดเส้นทางต่าง ๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่มีความจำเป็นในงานวิจัยนี้

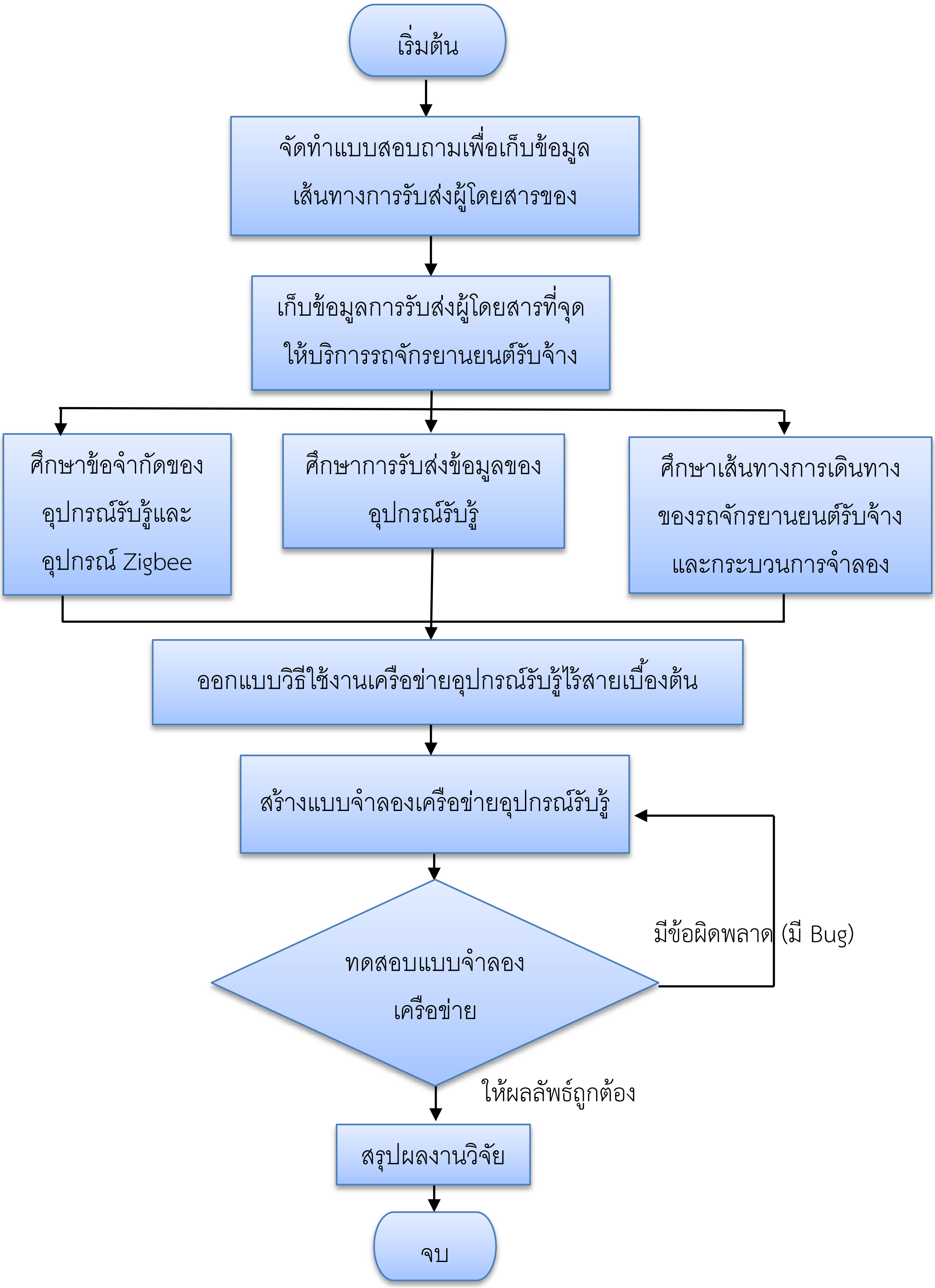
Suporn Pongnumkul และคณะ (2014) ได้นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Improving Arrival Time Prediction of Thailand’s Passenger Trains Using Historical Travel Times” ซึ่งแนะนำวิธีการคาดการณ์เวลา ความล่าช้า ที่รถโดยสารจะเดินทางมาถึงยังสถานี โดยประเมินจากค่าเฉลี่ยของเวลาการเคลื่อนที่จากประวัติการเดินทางย้อนหลังเป็นเวลา 6 เดือน และนำขั้นตอนวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-NN) เข้ามาช่วยในการคาดการณ์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้างในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน มุ่งเน้นการศึกษาถึงการจำลองเครือข่าย ก่อนการติดตั้งเทคโนโลยีไร้สายในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมเบื้องต้นของโครงสร้างเครือข่ายแบบไร้สายในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยลดจำนวนครั้งการลองผิดลองถูกขณะติดตั้งอุปกรณ์จริง โดยผู้วิจัยได้ศึกษาตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จัดทำแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลเส้นทางการรับส่งผู้โดยสารของรถจักรยานยนต์รับจ้าง
2. เก็บข้อมูลการรับส่งผู้โดยสารที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง
3. ศึกษาข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้ Zigbee
4. ศึกษาการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์รับรู้
5. ศึกษาเส้นทางการเดินทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง และกระบวนการจำลองเส้นทาง
6. ออกแบบวิธีใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายเบื้องต้น
7. สร้างแบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้
8. ทดสอบแบบจำลองเครือข่าย

จากขั้นตอนดังกล่าวผู้วิจัยได้จัดทำผังงาน (Flowchart) ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แสดงผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการจัดทำแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลเส้นทางการรับส่งผู้โดยสารของรถจักรยานยนต์รับจ้าง

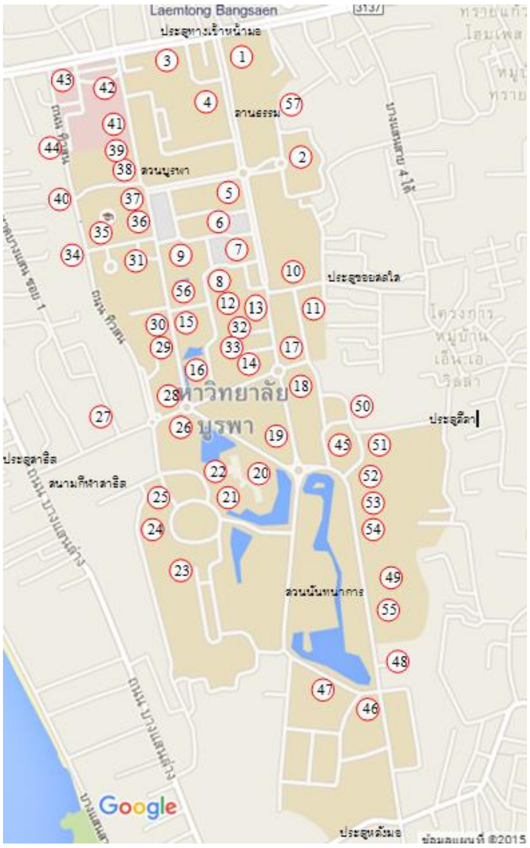
การจัดทำแบบสอบถามเป็นสิ่งแรกที่ต้องทำก่อนมีการเก็บข้อมูลผู้ขับ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผู้จัดทำได้ออกแบบแบบสอบถาม เพื่อเก็บข้อมูลจากผู้ขับรถจักรยานยนต์รับจ้างโดยมีข้อมูลที่ต้องการทราบดังนี้ สถานที่ที่รับผู้โดยสาร, เวลาที่รับผู้โดยสาร , สถานที่ปลายทาง, เวลาที่ใช้ในการส่งผู้โดยสาร และเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งผู้โดยสาร เอกสารแบบสอบถามเป็นดังภาพที่ 11

วันที่____ เดือน________________ พ.ศ. 2558

สถานที่หรือเบอร์อาคารที่รับผู้โดยสาร___________________ เวลา______

สถานที่หรือเบอร์อาคารที่ส่งผู้โดยสาร___________________ เวลา______

เส้นทางที่ใช้ในการรับ – ส่งผู้โดยสาร



ภาพที่ 3-2 แบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

โดยหมายเลขต่าง ๆ ที่อยู่ในแบบสอบถาม ใช้แทนรายชื่ออาคารต่าง ๆ ที่อยู่ภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน ดังภาพที่ 3-3

รายชื่ออาคารในมหาวิทยาลัยบูรพา

1. หอศิลปะและวัฒนธรรมภาคตะวันออก
2. อาคารเฉลิมพระเกียรติฉลองราชสมบัติ 60 ปี (K)
3. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล
4. อาคารโลกใต้ทะเล สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล
5. สำนักงานอธิการบดี (ภปร.)
6. หอประชุมธำรง – บัวศรี
7. อาคารศาสตราจารย์ประยูร จินดาประดิษฐ์
8. ภาควิชาเคมี
9. อาคารสิรินธร (SD)
10. คณะเภสัชศาสตร์
11. อาคารปฏิบัติการโรงแรมเทา – ทอง
12. อาคารฟิสิกส์
13. ภาควิชาคณิตศาสตร์
14. คณะโลจิสติกส์
15. อาคารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (BS)
16. สำนักหอสมุด
17. สำนักบริหารวิชาการ
18. ศูนย์กิจกรรมนิสิต+ศูนย์หนังสือจุฬา
19. บัณฑิตวิทยาลัย
20. คณะมนุษยศาสตร์ (QS2)
21. อาคารศาสตราจารย์กระแส มาลยาภรณ์
22. อาคารดร.ผาสุข กุลวาณิช (MBA)
23. คณะวิศวกรรมศาสตร์
24. อาคาร IEP
25. อาคารพิบูลบำเพ็ญ
26. คณะศิลปกรรมศาสตร์
27. โรงเรียนสาธิตฯ
28. อาคารศึกษาศาสตร์(QS1)
29. วิทยาลัยนานาชาติ
30. หอพักนิสิตนานาชาติ
31. สำนักคอมพิวเตอร์
32. อาคารวิทยาศาสตร์การอาหาร
33. โรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
34. อาคารวิทยาศาสตร์การแพทย์
35. อาคารอนุรักษ์
36. อาคารเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ
37. คณะพยาบาลศาสตร์
38. คณะสาธารณสุขศาสตร์
39. หอประชุมคณะสาธารณสุข
40. หอพักนิสิตคณะพยาบาล
41. ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ (รพ.)
42. อาคารท่านผู้หญิงประภาศรี
43. คณะแพทยศาสตร์
44. หอพักนิสิตคณะแพทย์
45. อาคารโภชนาคาร
46. อาคารชุดพักอาศัย
47. ศูนย์จีนศึกษา (สถาบันขงจื๊อ)
48. คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
49. สนามกีฬาเชาวน์ – มณีวงศ์
50. หอพักนิสิตชาย หอ 14
51. หอ 50 ปี เทา – ทอง
52. หอพักนิสิตหญิง หอ 15
53. หอพักนิสิต เทา – ทอง 2
54. หอพักนิสิต เทา – ทอง 3
55. หอพักนิสิต เทา – ทอง 4
56. CL
57. อาคารนวัตกรรม

ภาพที่ 3-3 รายชื่ออาคารภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน

กระบวนการเก็บข้อมูลการรับส่งผู้โดยสารที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง โดยได้เลือกจุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างที่อยู่บริเวณรอบ ๆ มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน เป็นจำนวน 4 จุดให้บริการ คือ จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างหน้ามหาวิทยาลัยบูรพา จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างซอยสดใส จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างซอยลีลา และจุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างหลังมหาวิทยาลัยบูรพา โดยได้เลือกเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างมากที่สุด (เช้าและเที่ยง) และเลือกเอาเฉพาะข้อมูลที่สถานที่ปลายทางอยู่ภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสนเท่านั้น

กระบวนการศึกษาข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้และอุปกรณ์ Zigbee

การศึกษาอุปกรณ์รับรู้ เริ่มต้นจากการศึกษารายละเอียดผลิตภัณฑ์ของบริษัทต่าง ๆ เช่น คลื่นความถี่ที่ใช้ พื้นที่ที่ตัวอุปกรณ์สามารถครอบคลุมหรือส่งสัญญาณไปถึง ราคา พลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล ความยากง่ายในการศึกษาการสั่งงานของอุปกรณ์รับรู้ ความยากง่ายในการติดตั้ง และความทนทาน เพื่อที่ผู้วิจัยจะสามารถตัดสินใจสั่งซื้ออุปกรณ์ดังกล่าวหรือประกอบขึ้นเอง

หลังจากทดลองคุณลักษณะทางด้านกายภาพของตัวอุปกรณ์รับรู้ ผู้วิจัยจะเริ่มทดสอบการสั่งใช้งานผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API) โดยเริ่มจากการตั้งค่าแบบง่าย ๆ และเขียนโปรแกรมให้อุปกรณ์รับรู้ 2-3 ตัวสื่อสารข้อมูลกันอย่างง่าย ๆ

กระบวนการศึกษาการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์รับรู้

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะเริ่มศึกษาการใช้งานอุปกรณ์รับรู้ที่ต้องใช้ความชำนาญมากขึ้น เช่น การรับข้อมูลเข้าและส่งข้อมูลออกของอุปกรณ์รับรู้ การกำหนดระยะเวลาสำหรับภาวะหลับ (Sleep mode) และภาวะตื่น (Active mode) ของอุปกรณ์รับรู้ การตั้งเครื่องเกตเวย์สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายของตัวอุปกรณ์รับรู้และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การหาเส้นทางสำหรับส่งข้อมูล

กระบวนการศึกษาเส้นทางการเดินทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง และกระบวนการจำลองรูปแบบ

ขั้นตอนการหาแบบอย่าง (Pattern) ของเส้นทางการเดินรถจักรยานยนต์รับจ้างเป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้การจำลองการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยผู้ทำการวิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลการรับส่งผู้โดยสารที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างมาวิเคราะห์ เพื่อจำลองจำนวนรถจักรยานยนต์รับจ้าง ณ จุดต่าง ๆ ณ เวลาต่าง ๆ และนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างแบบจำลอง

กระบวนการออกแบบวิธีใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายเบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองออกแบบการใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ โดยอุปกรณ์รับรู้ที่เป็นโหนดปลายทาง (End-node) จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปที่อุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็น XBee Internet Gateway ผ่าน Router ที่วางเรียงตามขอบถนน (ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway จะถูกเปลี่ยนไปตามการทดลองในบทที่ 4 เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสม) เมื่อ Router ได้รับข้อมูลจะส่งข้อมูลต่อไปยัง Router ตัวถัดไป จนกว่าจะถึงอุปกรณ์รับรู้ที่เป็น Co-ordinator ซึ่งทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกไปยัง Internet

ตัวอุปกรณ์โหนดปลายทาง (Zigbee) จะถูกนำไปวางไว้ที่เบาะที่นั่งของรถจักรยานยนต์รับจ้าง โดยมีเซ็นเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้การกดทับของผู้โดยสารทำให้สามารถตรวจจับได้ว่ามีผู้โดยสารหรือไม่ เมื่อข้อมูลดังกล่าวถูกส่งมาที่เครื่องแม่ข่ายที่ติดกับ XBee Internet Gateway เครื่องแม่ข่ายจะสามารถรู้ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รับจ้างแต่ละคัน และสามารถนำไปประมวลผลหาความเร็วในการเคลื่อนที่ขณะนั้น ๆ หรือนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ต่อไป เพื่อให้นิสิต อาจารย์ หรือบุคลากรในมหาวิทยาลัย สามารถเรียกใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างได้

กระบวนการสร้างแบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลเส้นทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ณ จุดต่าง ๆ และแผนที่ของมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน มาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองเครือข่ายที่ใกล้เคียงกับเครือข่ายจริง

ผู้ทำการวิจัยจะออกแบบโครงสร้างเครือข่ายที่เหมาะสม รวมทั้งกำหนดตำแหน่งที่จะวางอุปกรณ์รับรู้ชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความหน่วงในการส่งข้อมูลน้อยที่สุด (นั่นคือ ส่งข้อมูลผ่านเส้นทางที่สั้นที่สุด)

กระบวนการทดสอบแบบจำลองของเครือข่าย

ผู้วิจัยทดสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ โดยผู้วิจัยจะเปลี่ยนจุดติดตั้งอุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงาน (XBee Internet Gateway) ในการทดสอบแต่ละครั้งเพื่อหาความหน่วงในการส่งข้อมูลที่น้อยที่สุด

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ผลการศึกษาของแต่ละกระบวนการในบทที่ 3 ที่จะถูกกล่าวถึงในบทนี้ มีดังนี้

ขีดความสามารถและข้อจำกัดของอุปกรณ์รับรู้

จากการศึกษาและทดลองตัวอุปกรณ์รับรู้ (รุ่น XBEEPRO2, whip or wire antenna) พบขีดความสามารถดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ขีดความสามารถของอุปกรณ์รับรู้

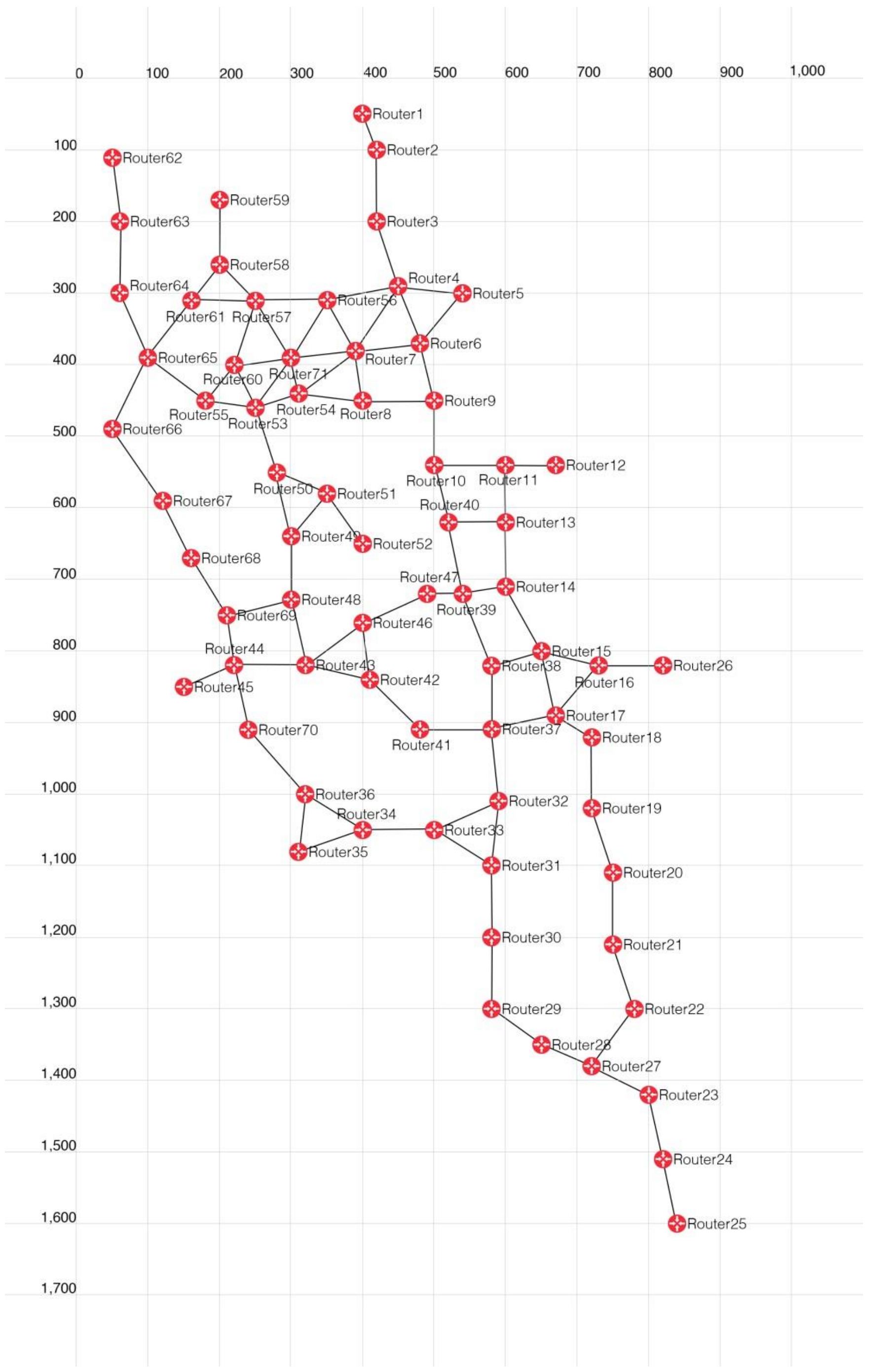
ขีดความสามารถ	
พิสัยการครอบคลุมของสัญญาณไร้สาย (ภายในอาคาร)	40 เมตร
พิสัยการครอบคลุมของสัญญาณไร้สาย (ภายนอกอาคาร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง)	100-120 เมตร
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ รับ/ส่ง	40/40 มิลลิแอมป์
แถบคลื่นความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร	2.4 GHz
จำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ได้	12 ช่องสัญญาณ
โครงสร้างเครือข่ายที่ทำการหาเส้นทางส่งข้อมูลได้	Star, Tree, Mesh
อัตราการส่งข้อมูล	250 kbps

ขีดจำกัดและความสามารถในการรับส่งข้อมูลข้างต้นมีความสำคัญต่อการออกแบบเครือข่าย เช่น พิสัยการครอบคลุมของสัญญาณมีผลต่อระยะทาง ตำแหน่งในการวางอุปกรณ์รับรู้และการออกแบบโครงสร้างเครือข่าย อัตราการส่งข้อมูลมีผลต่อการหาค่าความหน่วงของการส่งข้อมูล เป็นต้น

โครงสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้เพื่อทำการส่งข้อมูล

XBEEPRO2 สามารถสร้างโครงสร้างเครือข่ายได้ทั้งแบบดาว แบบต้นไม้ และแบบเมช โดยหนึ่งเครือข่ายต้องมีอุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็น Co-ordinator อย่างน้อย 1 ตัว ส่วนจำนวนอุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็น Router และ End-node จะมีกี่ตัวก็ได้ขึ้นกับสภาพแวดล้อม

สำหรับมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเป็นลักษณะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดความยาวมากกว่าขนาดความกว้าง (740x1600 ตารางเมตร) ดังภาพที่ 1-1 ในบทที่ 1 และเครือข่ายจะต้องถูกออกแบบมาเพื่อติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้าง ดังนั้นโครงสร้างเครือข่ายจึงควรเป็นแบบเมช (Mesh Network) เพื่อความรวดเร็วในการส่งข้อมูลและเมื่อมีอุปกรณ์รับรู้ตัวใดตัวหนึ่งมีปัญหา ก็ยังมีอุปกรณ์รับรู้ตัวอื่นที่สามารถทำหน้าที่ส่งข้อมูลต่อได้ โดยควรติดอุปกรณ์รับรู้ตามขอบถนนอย่างน้อยทุก ๆ 100 เมตร เพื่อให้ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก end-node ไปยัง XBee Internet Gateway ได้ (หรือทุก ๆ 50 เมตร ถ้าต้องการรองรับความผิดพลาดของอุปกรณ์รับรู้ตัวใดตัวหนึ่ง) โดยโครงสร้างเครือข่ายที่ผู้วิจัยได้ใช้จำลองเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้มีจำนวนอุปกรณ์รับรู้ทั้งหมด 71 ตัว (ดังภาพที่ 4-1) เป็นตัวอย่างการวางอุปกรณ์รับรู้ตามขอบถนนของมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน



ภาพที่ 4-1 ตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้ทำหน้าที่เป็น router ตามขอบถนนในมหาวิทยาลัยบูรพา โดยมาตราส่วนเป็นไปตามขนาดจริงของมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน

ตารางที่ 4-2 ตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้ (router) ตามพิกัดต่าง ๆ

Router	X	Y	Router	X	Y	Router	X	Y
1	400	50	25	840	1600	49	300	640
2	420	100	26	820	820	50	280	550
3	420	200	27	720	1380	51	350	580
4	450	290	28	650	1350	52	400	650
5	540	300	29	580	1300	53	250	460
6	480	370	30	580	1200	54	310	440
7	390	380	31	580	1100	55	180	450
8	400	450	32	580	1010	56	350	310
9	500	450	33	500	1050	57	250	310
10	500	540	34	400	1050	58	200	270
11	600	540	35	310	1080	59	200	170
12	670	540	36	320	1000	60	220	400
13	600	620	37	580	910	61	160	310
14	620	710	38	580	820	62	50	110
15	650	800	39	540	720	63	60	200
16	730	820	40	520	620	64	60	300
17	630	890	41	480	910	65	100	390
18	720	920	42	410	840	66	100	490
19	720	1020	43	320	820	67	120	590
20	750	1110	44	220	820	68	160	670
21	750	1210	45	150	850	69	210	750
22	780	1300	46	400	760	70	240	910
23	800	1420	47	490	720	71	300	390
24	820	1510	48	300	730			

โดยขั้นตอนกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์รับรู้ ที่ทำหน้าที่เป็น Router ถูกแสดงในตารางที่ 4-2 มีรายละเอียดดังนี้

1. นำแผนที่ของมหาวิทยาลัยที่ได้จาก Google map มาใช้ในการหาตำแหน่งของถนนภายในมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน

2. นิยามพิกัดของบริเวณมหาวิทยาลัย โดย (0, 0) เป็นพิกัด ณ จุดมุมซ้ายบนของภาพ (บริเวณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา) และ (1000, 1700) เป็นพิกัด ณ จุดมุมขวาล่างของภาพ (บริเวณประตูหลังของมหาวิทยาลัยบูรพาออกไปถนนเนตรดี)

3. ดูแผนที่และหาพิกัดจุดตัดของถนน เพื่อทำการจำลองกราฟ (graph) ที่จะใช้ในการคำนวณต่อไป

4. ใช้ขั้นตอนวิธี Depth First Search ของทฤษฎีกราฟ เพื่อทำการไล่ไปตามถนนสายต่าง ๆ (เริ่มจากโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา) จนครบทุกถนน โดยระยะห่างของแต่ละคู่อุปกรณ์รับรู้ที่อยู่ติดกันเท่ากับ 100 เมตร (ยกเว้นคู่ที่อยู่ปลายถนนจะมีระยะห่างน้อยกว่า 100 เมตร)

5. นำตำแหน่งที่ได้มาใช้สร้างรูปข้างต้น (ภาพที่ 4-1)

ในการใช้งานจริง อุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นโหนดปลายทาง (End-node) จะคอยส่งข้อมูลมาที่อุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็น XBee Internet Gateway ผ่าน Router ต่าง ๆ ที่วางเรียงตามขอบถนน ตัวอุปกรณ์โหนดปลายทางจะถูกวางไว้ที่เบาะที่นั่งของรถจักรยานยนต์รับจ้าง โดยมีตัวรับรู้การกดทับของผู้โดยสารทำให้สามารถตรวจจับได้ว่ามีผู้โดยสารหรือไม่ เมื่อจักรยานยนต์เคลื่อนที่ ตัวอุปกรณ์รับรู้ที่เป็นโหนดปลายทางจะติดต่อ router ใกล้เคียงเพื่อทำการส่งที่อยู่ของ router ตัวนั้น และสถานะของรถจักรยานของรถจักรยานยนต์รับจ้างว่ามีผู้โดยสารหรือไม่ ไปยัง XBee Internet Gateway เพื่อประมวลผลต่อไป

การจำลองเครือข่ายในงานวิจัยนี้ ตำแหน่งของ router จะคงที่เนื่องจากจุดประสงค์ของงานวิจัยคือ การติดตามรถจักรยานยนต์รับจ้าง ทำให้ต้องวาง router ตามขอบถนน โดยงานวิจัยพยายามตอบปัญหาของการวาง XBee Internet Gateway โดยดูว่าตำแหน่งใดเหมาะสม โดยใช้ความหน่วงในการส่งข้อมูลเป็นตัวชี้วัด ถ้าตำแหน่งใดช่วยให้มีความหน่วงในการส่งข้อมูลน้อยกว่าตำแหน่งนั้นจะเหมาะสมในการวาง XBee Internet Gateway มากกว่า

เส้นทางการเดินทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง

ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างถึงเส้นทางการให้บริการ รวมถึงสถานที่และเวลาการรับส่ง โดยมีรายละเอียดสรุปได้ดังนี้

จำนวนรถจักรยานยนต์รับจ้าง แต่ละวันไม่แน่นอน ตารางที่ 4-3 แสดงจำนวนผู้ให้บริการตามจุดต่าง ๆ บริเวณรอบ ๆ มหาวิทยาลัยบูรพา เรียงลำดับจากมากไปน้อย

ตารางที่ 4-3 จำนวนผู้ให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างในวันที่เก็บข้อมูล

บริเวณ	พิกัด	จำนวน	วันที่เก็บข้อมูล	ช่วงเวลา
หน้ามหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน	(400, 50)	13 คัน	2/11/58, 3/11/58	7:40-9:00 น., 12:00-13:00 น.
ซอยลีลา	(670, 540)	10 คัน	27/10/58	7:40-9:00 น., 12:00-13:00 น.
ซอยสดใส	(820, 820)	14 คัน	26/10/58	8:00-10:00 น., 12:00-13:00 น.
หลังมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน	(840, 1600)	5 คัน	29/10/58	7:30-9:00 น., 12:00-13:00 น.

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายที่สามารถรองรับกรณีที่แย่ที่สุดได้ (กรณีที่รถจักรยานยนต์รับจ้างทุกคันให้บริการผู้โดยสารพร้อม ๆ กัน โดยมีจุดหมายปลายทางที่อยู่ไกลจากจุดให้บริการมากที่สุด) ผู้วิจัยจึงจำลองเส้นทางการเดินทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ตามขั้นตอนดังนี้

1. เลือกจุดหมายปลายทางสำหรับรถจักรยานยนต์รับจ้างทั้ง 42 คัน จากข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บข้อมูล โดยเลือกเอาเฉพาะจุดหมายปลายทางของผู้โดยสารที่ไกลจากจุดให้บริการที่สุด รายละเอียดของจำนวนรถจักรยานยนต์รับจ้างที่ไปยังจุดหมายปลายทางต่าง ๆ เป็นไปดังตารางที่ 4-4 (ค่ามาก หมายถึงผู้ใช้บริการต้องการไปสถานที่นั้นมาก)

ตารางที่ 4-4 จุดหมายปลายทางของรถจักรยานยนต์รับจ้าง

ปลายทาง	จำนวนผู้โดยสาร	ปลายทาง	จำนวนผู้โดยสาร
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	1	อาคารสิรินธร	1
หอพักเทาทอง 4	5	อาคารพาณิชยศาสตร์	1
สระว่ายน้ำ	1	ศูนย์จีนฯ	1
คณะวิศวกรรมศาสตร์	7	ตึก BS	2
ตึก QS2	6	ตึก K	9
อาคารวิจัยฯ	1	ตึก QS1	1
คณะสาธารณสุขศาสตร์	3	โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา	3
หอศิลป์	1	โรงแรมเทาทอง	1

2. ใช้ขั้นตอนวิธีของ Breadth First Search หาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง ไปยังจุดหมายที่เลือกขึ้นมา

3. หาตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รับจ้างในเวลาต่าง ๆ จนกว่าจะถึงที่หมาย โดยการทดลองจะมีสมมติฐานว่า รถจักรยานยนต์รับจ้างทั้ง 42 คันจะถูกเรียกใช้บริการพร้อมกันให้ไปยังจุดหมายต่าง ๆ เพราะผู้วิจัยต้องการจำลองเหตุการณ์ที่มีจำนวนข้อมูลที่จะต้องส่งในเครือข่ายมากที่สุด (Worst-case Scenerio)

กระบวนการทดสอบแบบจำลองเครือข่าย

การทดลองในขั้นตอนนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกนั้น ผู้วิจัยทดลองใช้ OPNET Simulator หาค่าความหน่วงการส่งข้อมูลในสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อหาค่าความหน่วงเมื่อระยะทางเปลี่ยนไป ในส่วนที่สอง ผู้วิจัยนำข้อมูลค่าความหน่วงจากส่วนแรก ข้อมูลแบบจำลองตำแหน่งของ router และตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ณ เวลาต่าง ๆ ที่ได้อธิบายมาก่อนหน้า มาหาค่าความหน่วงในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ที่เป็นโหนดปลายทางจนถึง อุปกรณ์รับรู้ที่เป็น XBee Internet Gateway

1. ความหน่วงของการส่งข้อมูลใน OPNET Simulator

งานวิจัยนี้ใช้ค่าจำลองความหน่วงของการส่งข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่เป็นที่นิยมใช้ในการจำลองเครือข่ายชื่อ OPNET โดยทำการทดลองหาค่าความหน่วงเมื่อระยะทางระหว่างโหนดปลายทางและโหนด XBee Internet Gateway เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

ในการหาค่าความหน่วงโดยใช้ OPNET นี้ ผู้วิจัยใช้โครงสร้างเครือข่ายอย่างง่าย 5 แบบ กล่าวคือ โครงสร้างแรกจะมี XBee Internet Gateway 1 ตัว โหนดปลายทาง 1 ตัว โดยวางระยะห่างกัน 100 เมตร โครงสร้างแบบที่ 2 จะมี XBee Internet Gateway 1 ตัว โหนดปลายทาง 1 ตัว และ router 1 ตัววางคั่นระหว่าง XBee Internet Gateway และ โหนดปลายทาง โดยระยะห่างแต่ละอุปกรณ์เท่ากับ 100 เมตร ทำนองเดียวกัน โครงสร้างแบบที่ 3, 4 และ 5 จะมี XBee Internet Gateway 1 ตัว โหนดปลายทาง 1 ตัวและ router 2, 3, 4 ตัว (ตามลำดับ) คั่นระหว่าง XBee Internet Gateway รูปภาพที่ 4-2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างแบบที่ 5

ภาพที่ 4-2 โครงสร้างอย่างง่ายแบบที่ 5 เพื่อหาค่าความหน่วงจำลองจาก OPNET (ตั้งค่า Packet Reception-Power Threshold ที่ -82 dB และ ค่า Transmission Power ที่ 0.001 เพื่อให้ระยะครอบคลุมใกล้เคียงกับค่าจริงจากผลการทดลอง)

ค่าที่ได้จากโครงสร้างทั้ง 5 แบบมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าเฉลี่ยความหน่วงของแต่ละโครงสร้าง

แบบของโครงสร้าง	ค่าเฉลี่ยความหน่วงในการส่งข้อมูลจากโหนดปลายทางไปยังโหนด XBee Internet Gateway [msec]
1	0.25
2	0.55
3	0.75
4	1.00
5	1.3

จากตารางข้างต้น ทำให้สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความหน่วงจำลองคือ 0.25 msec per hop

2. การประยุกต์ใช้งานของ Zigbee

ผู้วิจัยนำข้อมูลความหน่วงที่ได้จากการจำลองเครือข่ายใน OPNET ข้อมูลแบบจำลองตำแหน่งของ router และตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ณ เวลาต่าง ๆ ที่ได้อธิบายแล้วในบทนี้ มาจำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายในมหาวิทยาลัยบูรพา (สาเหตุที่ผู้วิจัยไม่สามารถใช้ OPNET จำลองเครือข่ายทั้งหมดได้ คือ ไลบารี่ของ OPNET ยอมให้มีโหนดปลายทางต่อ router หนึ่งตัวเท่านั้น แต่ในเครือข่ายที่ถูกออกแบบมามีโหนดปลายทางถึง 42 โหนด ทำให้การจำลองเครือข่ายไม่ถูกต้อง) เพื่อหาค่าความหน่วงในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ปลายทาง (end node) ที่ติดอยู่กับเบาะที่นั่งรถจักรยานยนต์รับจ้าง มายัง XBee Internet Gateway โดยผู้วิจัยทำการจำลองหาค่าความหน่วง 12 ครั้ง ในแต่ละครั้งผู้วิจัยใช้ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway ที่ต่างกัน ผู้วิจัยเลือกตำแหน่ง XBee Internet Gateway โดยเลือกเปลี่ยนอุปกรณ์รับรู้ที่ทำหน้าที่เป็น Router ให้ทำหน้าที่เป็น XBee Internet Gateway แทน โดยเลือกตำแหน่งตามเกณฑ์ต่อไปนี้

1. ตำแหน่งที่ใกล้จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง (หน้ามหาวิทยาลัยบูรพา, ซอยสดใส, ซอยลีลา และหลังมหาวิทยาลัยบูรพา)
2. ตำแหน่งใกล้อาคารเรียนที่เป็นจุดหมายปลายทางของผู้โดยสารส่วนใหญ่ (ตึกK, QS2)
3. ตำแหน่งที่เป็นจุดกลางของ Router ทุกตัว (centroid)

ตารางที่ 4-6 และ 4-7 แสดงตำแหน่งของ XBee Internet Gateway ที่จะถูกใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4-6 ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway และค่าเฉลี่ยความหน่วงกรณี XBee Internet Gateway 1 ตัว

การทดลอง	ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway	พิกัดของ XBee Internet Gateway	ค่าเฉลี่ยความหน่วง [msec]
1	หน้ามหาวิทยาลัยบูรพา (Router 1)	(400, 50)	26.59
2	ซอยสดใส (Router 12)	(670, 540)	17.583
3	ซอยลีลา (Router 26)	(820, 820)	18.5
4	หลังมหาวิทยาลัยบูรพา (Router 25)	(840, 1600)	36.268
5	หน้าคณะพยาบาล (Router 53)	(250, 460)	20.006
6	หน้าสวนนันทนาการ (Router 37)	(580, 910)	12.84
7	หน้า QS1 (Router 43)	(320, 820)	16.875
8	หน้าอาคารโภชนา (Router 17)	(670, 890)	14.441

ในการทดลองที่ 1 ผู้วิจัยทำการจำลองเครือข่ายอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สายโดยมี XBee Internet Gateway ในเครือข่าย 1 ตัว มี Coordinator 1 ตัว อยู่กลางเครือข่าย การทดลองนี้ต้องการวัดค่าเฉลี่ยความหน่วงในการส่งข้อมูลจากรถจักรยานยนต์รับจ้างแต่ละคันไปยัง XBee Internet Gateway (ตามเส้นทางที่สั้นที่สุด) ผลการทดลองในตารางที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการวาง XBee Internet Gateway คือ ตำแหน่ง Router 37 ที่คู่พิกัด (580, 910) เนื่องจากตำแหน่ง Router 37 เป็นบริเวณเส้นทางหลักที่รถจักรยานยนต์รับจ้างผ่านมากที่สุด (25 คัน) อีกทั้งยังเป็นตำแหน่งที่เป็นสถานที่ปลายทางที่ผู้โดยสารเรียกใช้บริการมากเป็นอันดับที่ 3 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ไม่ตรงกับที่คาดไว้ในเบื้องต้น (ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้คาดเดาว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการวาง XBee Internet Gateway น่าจะอยู่ใกล้กับจุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง)

ตารางที่ 4-7 ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway และค่าเฉลี่ยความหน่วงกรณี XBee Internet Gateway 2 ตัว

การทดลอง	ตำแหน่งของ XBee Internet Gateway	พิกัดของ XBee Internet Gateway	ค่าเฉลี่ยความหน่วง [msec]
1	Router 37, Router 53	(580, 910), (250, 460)	9.417
2	Router 37, Router 71	(580, 910), (300, 390)	8.423
3	Router 7, Router 37	(390, 380), (580, 910)	8.06
4	Router 4, Router 37	(450, 290), (580, 910)	7.667

ในการทดลองครั้งที่ 2 ผู้วิจัยได้จำลองเครือข่ายอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สายโดยมี XBee Internet Gateway ในเครือข่าย 2 ตัว Coordinator 1 ตัว อยู่กลางเครือข่าย เพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่อุปกรณ์รับรู้ XBee Internet Gateway เกิดข้อผิดพลาด โดยเมื่อเกิดข้อผิดพลาดที่ XBee Internet Gateway ตัวใดตัวหนึ่ง XBee Internet Gateway อีกตัวก็สามารถทำงานแทนได้ (fault tolerance) การทดลองนี้ต้องการวัดค่าเฉลี่ยความหน่วงในการส่งข้อมูลจากรถจักรยานยนต์รับจ้างแต่ละคันไปยัง XBee Internet Gateway ตัวที่ใกล้รถจักรยานยนต์รับจ้างขณะนั้นมากที่สุด โดยเลือกเพียงตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น โดยค่าความหน่วงเริ่มวัดตั้งแต่ขณะที่อุปกรณ์รับรู้ (Zigbee) ที่ติดกับรถจักรยานยนต์รับจ้างส่งข้อมูลมายัง Router และส่งข้อมูลต่อไปยัง XBee Internet Gateway ที่ใกล้กับ Router ตัวนั้นมากที่สุด ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวาง XBee Internet Gateway 2 ตัว (มีค่าเฉลี่ยความหน่วงน้อยที่สุด) คือ Router 4 และ Router 37 เนื่องจากทั้ง 2 ตำแหน่ง เป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดปลายปลายทางของผู้ใช้บริการมากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 และ 3 (Router 4 ใกล้ตึก K Router 37 ใกล้ตึก QS2) โดยตำแหน่งของ Router ทั้ง 2 ตัว อยู่บริเวณถนนที่เป็นเส้นทางหลักและเป็นเส้นที่มีผู้ใช้บริการมาก นอกจากตึก K และ ตึก QS2 จะเป็นสถานที่ปลายทางที่ผู้โดยสารใช้บริการมากแล้ว ยังอยู่ในเส้นทางผ่านของผู้โดยสารคนอื่นที่มีจุดหมายปลายทางอื่นด้วย

ข้อสังเกตเพิ่มเติม router ที่รถจักรยานยนต์รับจ้างผ่านมากที่สุดคือ Router 37 และ Router 17 ซึ่งเราคิดว่าคู่นี้น่าจะให้ค่าเฉลี่ยความหน่วงน้อย แต่เนื่องจาก 2 Router นี้อยู่ใกล้กัน ทำให้ไม่สามารถช่วยลดความหน่วงในการส่งข้อมูลได้ดีกว่าคู่อื่น

อภิปรายผลการทดลอง

1. เรื่องจำนวนของอุปกรณ์

จำนวนของ XBee Internet Gateway ที่ใช้ในการจำลองสร้างเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ควรมีจำนวนมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป เพราะเมื่อ XBee Internet Gateway ตัวใดมีปัญหา ก็จะยังมี XBee Internet Gateway อีกตัวในเครือข่ายที่สามารถทำงานได้ ส่วนจำนวนของ XBee Internet Gateway จริง ๆ แล้วควรจะเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของเครือข่ายและความน่าจะเป็นที่ XBee Internet Gateway ทั้งหมดจะเสียพร้อมกัน

2. เรื่องการเปรียบเทียบ ZigBee กับเทคโนโลยีไร้สายอื่น สำหรับการ Tracking รถจักรยานยนต์รับจ้าง

2.1. GPS

GPS หรือ GLOBAL POSITIONING SYSTEM มีชื่อภาษาไทยที่ถูกบัญญัติโดยราชบัณฑิตยสถาน เมื่อเดือนพฤษภาคม 2541 ไว้ว่า “ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก” สัญญาณดาวเทียม GPS สามารถช่วยในการบอกตำแหน่งที่อยู่ได้ทุกเวลา ทุกที่ในโลก โดยการส่งพิกัดจากกลุ่มดาวเทียว 24 ดวง ที่โคจรอยู่รอบโลกในระยะความสูงที่คลื่นวิทยุไม่สามารถรบกวนได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ตั้งต่ำกว่า 50 เมตร (อ้างอิง: goalgps. (2016). ความรู้เกี่ยวกับ GPS. สืบค้นจาก http://goalgps.net/ความรู้เกี่ยวกับ-gps)

<u>ข้อดีของ GPS</u>

- สามารถรับรู้ตำแหน่ง, วัน, เวลา
- ใช้ได้กับการคมนาคมทางบก ทางน้ำ และทางอวกาศ

<u>ข้อเสียของ GPS</u>

- เครื่องรับสัญญาณบางประเภทราคาแพง (ราคาประมาณ 290-2000 บาท ยัง ไม่รวมราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ GPS module เช่น Arduino,

Raspberry Pi)

- อาจพบปัญหาที่เกิดจากดาวเทียมซึ่งจะทำให้การบอกตำแหน่งและระยะทางคลาดเคลื่อนได้

ผู้วิจัยพิจารณาการใช้ GPS แล้วพบข้อสังเกตดังนี้

1. หลังจากได้ตำแหน่งพิกัดจาก Module GPS การส่งข้อมูลพิกัดไปยัง Server ต้องใช้เทคโนโลยีไร้สายอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น Wifi, Bluetooth, ZigBee หรือ 3G ดังนั้นการใช้ Module GPS จึงอาจทำให้สิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็น เพราะลำพัง Wifi, Bluetooth, ZigBee หรือ 3G ก็สามารถช่วยหาตำแหน่งพิกัดได้

2. หากเราจะเลือกใช้ GPS ใน Smartphone แทนที่จะเป็น Module GPS ก็ติดปัญหาที่ Smartphone บางรุ่นไม่สามารถให้ตำแหน่งที่แม่นยำได้

2.2. Wifi

Wifi เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่ได้รับความนิยม มีมาตรฐานสากลกำหนดโดย Wi-Fi Alliance ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 (ในปัจจุบันมีมาตรฐาน Wifi 7 ตัว คือ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, 802.11-2012, 802.11ac, 802.11ad) Wifi ทำงานในคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 และ 5 GHz ซึ่งเป็นช่องสัญญาณการเชื่อมต่อที่ได้รับความนิยม เพราะสะดวกสบายและใช้งานง่ายโดยเฉพาะการเชื่อมต่อกับ Smartphone, Tablet, Notebook, Smart TV ฯลฯ ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบไร้สายนั้นจะต้องใช้ Access point เป็นตัวกลางที่คอยช่วยติดต่อระหว่างตัวรับ – ส่ง สัญญาณ Wireless ของผู้ใช้กับ Router ที่ได้รับการเชื่อมต่อกับเครือข่าย โดยมีพิกัดของสัญญาณ 50-100 เมตร

<u>ข้อดีของ Wifi</u>

- ขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย
- สะดวกในการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งไคลแอนท์ที่ใช้งาน
- หาซื้ออุปกรณ์ได้ง่าย

<u>ข้อเสียของ Wifi</u>

- เสี่ยงต่อการโดนโจรกรรมข้อมูล
- ระยะทางมีผลต่อความแรงของสัญญาณ ทำให้ต้องติด Access point ดี ๆ

- ต้องเดินสายไฟและระบบ LAN ไปยัง Access point

การสร้าง Wireless LAN สามารถทำได้หลายแบบ เช่น

- สร้าง Wireless LAN ที่มี Access point อยู่ตามขอบถนน ซึ่งวิธีนี้จะต้องมีการเดินสาย LAN เพื่อเชื่อมต่อกับ Access point ที่อยู่ตามขอบถนนทำให้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเดินสายไฟ

- ทำ Wifi Adhoc Network ในงานนิพนธ์นี้ ผู้วิจัยไม่เลือกวิธีนี้เพราะ ZigBee มีโปรโตคอล Routing แบบ Mesh Network ซึ่งง่ายต่อการใช้งานอยู่แล้ว

2.3. Bluetooth

Bluetooth เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์โดยใช้คลื่นวิทยุระยะสั้น ใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz

- Bluetooth 3 มีระยะของสัญญาณประมาณ 100 เมตร ใช้อัตราการส่งผ่านข้อมูล 0.7-2.1 Mb/s ใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลมาก (ประมาณ 30 mA)

- Bluetooth 4 มีระยะของสัญญาณประมาณ 50 เมตร ใช้อัตราการส่งผ่านข้อมูล 0.26 Mb/s ใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลต่ำกว่า Bluetooth 3 (ประมาณ 20mA)

ซึ่งเทคโนโลยี Bluetooth เหมาะแก่การใช้งานส่งข้อมูลจำนวนไม่มากด้วยระทางสั้น ๆ เพื่อสร้างเครือข่ายเล็ก ๆ แบบส่วนตัว

<u>ข้อดีของ Bluetooth</u>

- สามารถรับส่งข้อมูลผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้
- ใช้พลังงานต่ำ (Bluetooth 4)
- ใช้งานง่าย
- สามารถเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายขนาดเล็กได้
- ต้นทุนอุปกรณ์มีราคาไม่แพง

<u>ข้อเสียของ Bluetooth</u>

- ความเร็วในการส่งข้อมูลช้าเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ๆ
- ถ้ามีการเชื่อมต่อหลายอุปกรณ์อาจเกิดการชนกันของข้อมูล

เนื่องจาก Bluetooth ทั้ง 2 เวอร์ชั่น เหมาะแก่การสร้างเครือข่ายขนาดเล็กแบบ Star (**ไม่ใช่แบบ Mesh**) เพราะหากมีจุดเชื่อมต่อเยอะความเร็วในการส่งข้อมูลก็จะลดลง และหากต้องการให้มีการใช้พลังงานต่ำระยะทางประสิทธิภาพ**การครอบคลุมของสัญญาณก็จะน้อยลง**ไปด้วย และในกรณีไม่ใช้ Bluetooth ใน Smartphone การส่งข้อมูลไปยัง server ต้องพึ่งเทคโนโลยีไร้สายอื่น ๆ เช่น Wifi, 3G ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองอุปกรณ์ หรือในกรณีหากจะใช้ Smartphone เราก็ต้องเขียน App บน Smartphone และต้องบังคับให้ผู้ขับรถจักรยานยนต์รับจ้างเปิด Bluetooth ของ Smartphone ตลอดเวลา ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์ (ซึ่งอาจทำให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์รับจ้างไม่อยากใช้งาน)

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

ในงานนิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้จำลองเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ (Wireless sensor network) เพื่อช่วยออกแบบโครงสร้างของเครือข่าย (Topology) สำหรับการติดตามหาตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อช่วยให้ผู้เรียกใช้บริการรู้ถึงสถานะการมีผู้โดยสารและตำแหน่งของรถจักรยานยนต์รับจ้างคันต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลเส้นทางในการรับส่งผู้โดยสารของรถจักรยานยนต์รับจ้าง และสถานที่ปลายทางของผู้ใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลโดยการสอบถามข้อมูลจากผู้ขับรถจักรยานยนต์รับจ้างที่จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างบริเวณ หน้ามหาวิทยาลัยบูรพา, ซอยสดใส, ซอยลีลา และหลังมหาวิทยาลัยบูรพา รวมทั้งหมด 42 คัน (จำนวนรถจักรยานยนต์รับจ้างอ้างอิงจากวันที่เก็บข้อมูล) โดยผู้วิจัยเลือกจำลองข้อมูลจุดหมายปลายทางที่ไกลจากจุดให้บริการมากที่สุด (1 คัน : 1 ปลายทาง) และนำเส้นทางที่รถจักรยานยนต์รับจ้างใช้ในการรับส่งผู้โดยสารมาจำลองเส้นทางเพื่อวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างเครือข่าย

ผู้วิจัยได้นำแผนที่ของมหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน (จาก Google map) มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเครือข่าย โดยใช้ขั้นตอนวิธี Depth First Search ของทฤษฎีกราฟมาช่วยในการกำหนดตำแหน่งที่จะวางอุปกรณ์รับรู้ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความหน่วงในการส่งข้อมูลน้อยที่สุด โดยโครงสร้างเครือข่ายที่เหมาะสมคือแบบเมช (Mesh Network) เพราะช่วยให้การส่งข้อมูลมีความรวดเร็ว และเมื่ออุปกรณ์รับรู้ตัวใดตัวหนึ่งมีปัญหาก็ยังมีอุปกรณ์รับรู้ตัวอื่นที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลต่อได้ ซึ่งมีจำนวนอุปกรณ์รับรู้ทั้งหมด 71 ตัว อยู่ตามขอบถนนทั่วมหาวิทยาลัย มีระยะห่างกันทุกๆ 100 เมตร และนำขั้นตอนวิธี Breadth First Search ของทฤษฎีกราฟมาช่วยหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างไปยังจุดหมายปลายทาง

ในการจำลองเครือข่ายจะสมมติให้อุปกรณ์รับรู้ (Zigbee) ถูกวางไว้ที่เบาะที่นั่งของรถจักรยานยนต์รับจ้าง โดยมีตัวรับรู้การกดทับของผู้โดยสารทำให้สามารถตรวจจับสถานะได้ว่ามี

ผู้โดยสารหรือไม่ เมื่อรถจักรยานยนต์รับจ้างเคลื่อนที่อุปกรณ์รับรู้ (Zigbee) จะติดต่อ Router ใกล้เคียงเพื่อส่งที่อยู่ของ Router ตัวนั้นและสถานะของรถจักรยานยนต์รับจ้าง ไปยัง XBee Internet Gateway ผู้วิจัยได้เปลี่ยนอุปกรณ์รับรู้ที่เคยทำหน้าที่เป็น Router ให้ทำหน้าที่เป็น XBee Internet Gateway แทน โดยกำหนดให้มีจำนวน XBee Internet Gateway 1 ถึง 2 ตัว ในเครือข่ายและทดลองเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมของ XBee Internet Gateway (ใกล้จุดให้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง, ใกล้อาคารที่เป็นจุดหมายปลายทางของผู้โดยสารส่วนใหญ่, จุด Centroid) มาหาค่าเฉลี่ยความหน่วง

ผลการทดลองในการหาค่าเฉลี่ยความหน่วงของการส่งข้อมูลบ่งชี้ว่าการวางตำแหน่ง XBee Internet Gateway ควรวางตำแหน่งที่ใกล้จุดหมายปลายทางที่ผู้โดยสารเรียกใช้บริการมากที่สุด หรือ ตำแหน่งที่รถจักรยานยนต์รับจ้างวิ่งผ่านมากที่สุด

บรรณานุกรม

Akyildiz. (2002). A Survey on Sensor Networks, *IEEE Communications Magazine*, August. 102-114.

Chee-Yee Chong. (2003). *Sensor networks: Evolution, opportunities, and Challenges*. Proc IEEE.

Chiranjib Patra. (2010). *Designing Energy-Efficient Topologies for Wireless Sensor Network: Neural Approach*. International Journal of Distributed Sensor Networks.

C. Sharp. (2005). *Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception*. Proceedings of the Second European. pp. 93-107.

Deborah Estrin. (2002). *Connecting the Physical World with Pervasive Networks*. IEEE Pervasive Computing.

G.J. Pottie. (2000). *Wireless Integrated Sensor Networks*. Communication of the ACM. An overview with more of a signal processing viewpoint.

Goalgps. (2016). *ความรู้เกี่ยวกับ GPS*. วันที่ค้นข้อมูล 8 สิงหาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://goalgps.net/ความรู้เกี่ยวกับ-gps.

Heemin Park. (2007). *Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light control*. Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks.

N. Katenka. (2007). *A Cost-Efficient Approach to Wireless Sensor Network Design*. Technical report #474. Dept of Statistics, Univ of Michigan.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Sinem Coleri Ergen. (2004). *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary*. Retrieved August 8, 2016, from http://eecs.berkeley.edu

Thai Easy Elec. (2014). *ZigBee and XBee BASIC ตอน ZigBee คืออะไร*. วันที่ค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html.

Tiwari. (2007). *Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance*. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN) Volume 3.

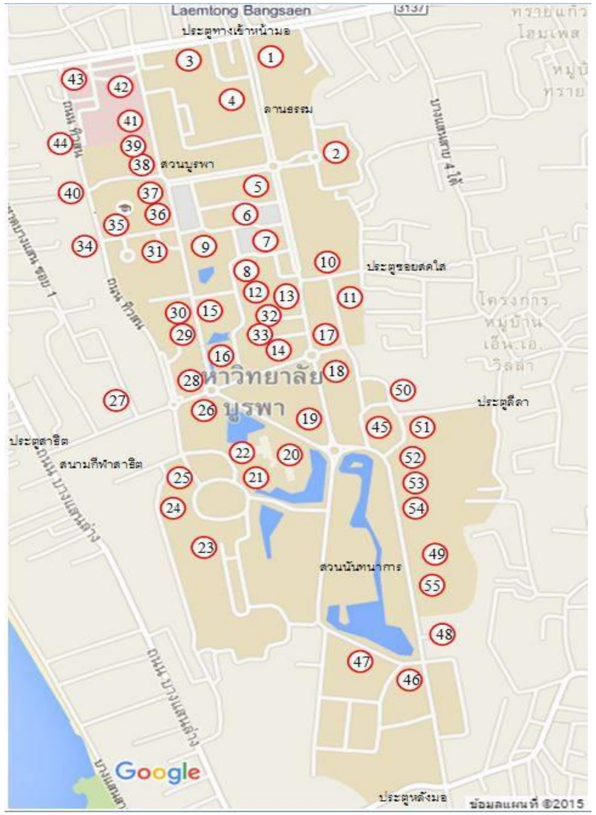
ภาคผนวก

วันที่____ เดือน______________ พ.ศ. 2558

สถานที่หรือเบอร์อาคารที่รับผู้โดยสาร____________ เวลา____

สถานที่หรือเบอร์อาคารที่ส่งผู้โดยสาร____________ เวลา____

<u>เส้นทางที่ใช้ในการรับ – ส่งผู้โดยสาร</u>

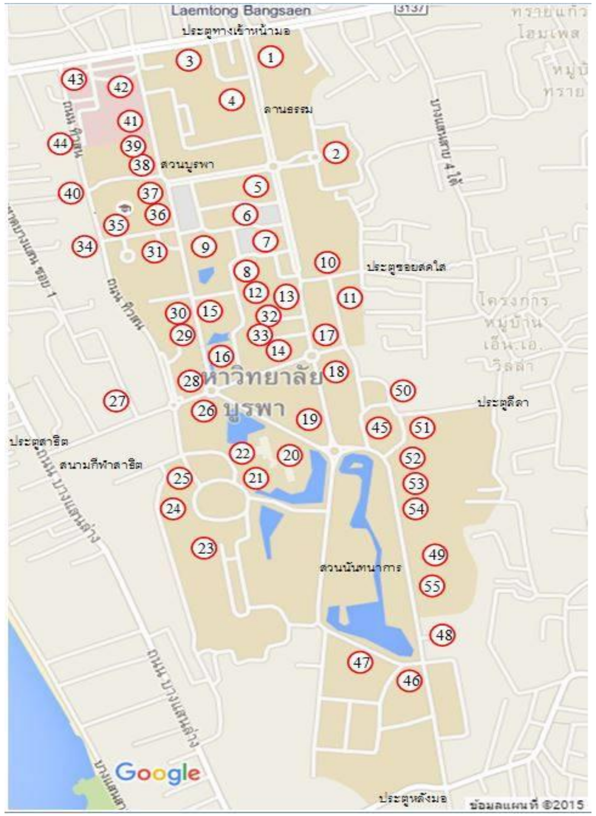


วันที่____ เดือน______________ พ.ศ. 2558

สถานที่หรือเบอร์อาคารที่รับผู้โดยสาร____________ เวลา____

สถานที่หรือเบอร์อาคารที่ส่งผู้โดยสาร____________ เวลา____

<u>เส้นทางที่ใช้ในการรับ – ส่งผู้โดยสาร</u>



ประวัติย่อของผู้ทำงานนิพนธ์

ชื่อ – สกุล	นางสาววรวรรณ มะนาวหมู่
วัน เดือน ปีเกิด	8 มิถุนายน 2534
สถานที่เกิด	จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 116/13 หมู่ 1 ตำบลบ่อพลอย อำเภอบ่อไร่ จังหวัดตราด

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552-2556	วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์) มหาวิทยาลัยบูรพา
พ.ศ. 2557-2559	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ) มหาวิทยาลัยบูรพา