

การพัฒนา วิเคราะห์ และประเมินระบบวัดสภาพการจราจรที่ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

นางสาวลดาวัลย์ กลิ่นกุสม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT, ANALYSIS AND EVALUATION OF TRAFFIC CONDITION
MEASUREMENT SYSTEM USING BLUETOOTH SENSORS

Miss Ladawan Klinkusoom



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

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนา วิเคราะห์ และประเมินระบบวัดสภาพ
	การจราจรที่ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ
โดย	นางสาวลดาวัลย์ กลิ่นกุสม
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนดิศ อัสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทีต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนดิศ อัสกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ)

ลดมลพิษ กลิ่นเหม็น : การพัฒนา วิเคราะห์ และประเมินระบบวัดสภาพการจราจรที่ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ (DEVELOPMENT, ANALYSIS AND EVALUATION OF TRAFFIC CONDITION MEASUREMENT SYSTEM USING BLUETOOTH SENSORS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.เชาวน์ ดิศ อัครกุล, 68 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ สำหรับตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจรในสภาพแวดล้อมในเมือง โดยระบบนี้ใช้โครงข่ายของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธต่าง ๆ ที่ติดตั้งหรือพกพาในยานพาหนะบนท้องถนน และนำข้อมูลหมายเลขประจำตัวและตราเวลาของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้ไปประมวลผลเป็นข้อมูลสารสนเทศจราจรที่ต้องการ ขอบเขตงานวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย การออกแบบ สร้าง และทดสอบต้นแบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ ประกอบด้วย การหาระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และการหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่สามารถตรวจจับได้ ทั้งในสภาพแวดล้อมในเมืองและสภาพแวดล้อมชนบท ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีสมรรถนะเพียงพอสำหรับการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจร ขั้นต่อไปเป็นการทดสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในบริเวณถนน ผลการทดสอบพบว่าการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนสามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะได้ดีกว่าการติดตั้งในตำแหน่งอื่น ๆ หลังจากนั้นจึงทำการติดตั้งและทดสอบชุดตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเพื่อเก็บข้อมูลการจราจรบนช่วงถนนจริง โดยข้อมูลสารสนเทศจราจรเบื้องต้นที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลที่เก็บโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธประกอบด้วย เวลาในการเดินทางของยานพาหนะ และความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะ บนช่วงถนนที่ทำการทดสอบ ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลสารสนเทศจราจรจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยเพื่อประเมินความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล ซึ่งพบว่าข้อมูลทั้งสองมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้ตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจร เพื่อใช้สร้างสารสนเทศจราจรในเขตกรุงเทพมหานครต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5570575921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: BLUETOOTH SENSOR / TRAFFIC MEASUREMENT / TRAFFIC INFORMATION

LADAWAN KLINKUSOOM: DEVELOPMENT, ANALYSIS AND EVALUATION OF TRAFFIC CONDITION MEASUREMENT SYSTEM USING BLUETOOTH SENSORS.

ADVISOR: PANUWAT JANPUGDEE, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 68 pp.

This thesis presents the application of Bluetooth wireless sensors for the vehicular traffic measurement in Bangkok. The system employs Bluetooth sensors to detect Bluetooth devices carried in travelling vehicles on the street. Anonymous IDs of those Bluetooth devices and the associated timestamp data are collected by the Bluetooth sensors and then processed to obtain useful traffic information. The scope of this thesis includes the design, assembly, and test of the Bluetooth sensor prototypes. The preliminary test is for the basic performance evaluation of the Bluetooth sensors including the maximum detection range and the highest speed of devices that can be detected, in both urban and rural environments. The test results show that the Bluetooth sensors have sufficient performance for the vehicular traffic measurement application. The next test is for determining the most appropriate location for the installation of Bluetooth sensors on the street. It was found that the installation of Bluetooth sensors on the roadside yielded the best detection performance. Then a set of Bluetooth sensors were installed on the sides of roads in the city area of Bangkok for the real traffic measurement. The traffic information derived from Bluetooth sensors is the travel time and the average speed of vehicles on those particular road sections. The average speed of vehicles was compared with the reference data obtained from The Intelligent Traffic Information Center Foundation for validation of accuracy. The comparison shows a good agreement between them. It thus lends a confidence in the Bluetooth sensor for being used for the traffic measurement in urban areas.

Department: Electrical Engineering Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก อ.ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. เขาวรรณดิศ อัครกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน อีกทั้งยังตรวจทานงานวิจัยฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.วาทีต เบญจพลกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร และ รศ.ดร. ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้มอบความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนจากโครงการขับเคลื่อนการวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (Special Task Force for Activating Research (STAR)) ภายใต้กลุ่มวิจัยโครงข่ายไร้สายและอินเทอร์เน็ตในอนาคต (Wireless Network and Future Internet Research Group) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยโครงข่าย (Network Research Group) ซึ่งดูแลโดย ผศ.ดร. เขาวรรณดิศ อัครกุล และ ผศ.ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร ที่จัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และการทำงานของผู้วิจัยให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น รวมถึงให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือในการทำงานแก่ผู้วิจัย ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสะดวกราบรื่น

ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย บิดา มารดา และนายธนชาติ วีระพันธุ์ ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลืองานวิจัย คอยแนะนำ เป็นกำลังใจที่ดีอย่างยิ่ง และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องนักวิจัยทุกคน รวมถึงเจ้าหน้าที่ บุคลากรที่อยู่ในภาควิชาไฟฟ้า สาขาโทรคมนาคม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และเป็นกำลังใจที่ดีต่อผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ซ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	5
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	7
2.1 เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth Technology).....	7
2.1.1 การเชื่อมต่อของบลูทูธแบบเครือข่ายขนาดย่อม (Piconet)	7
2.1.2 การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุด้วยการแผ่สเปกตรัม (Frequency Hopping Spread Spectrum: FHSS)	8
2.1.3 โพรโทคอลการค้นหาบริการ (Service discovery protocol)	8
2.1.4 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลบลูทูธ (Bluetooth packet format).....	9
2.1.5 โพรโทคอลแอปพลิเคชัน (Application protocol).....	10
2.2 สายอากาศสำหรับอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย.....	11
2.2.1 หน้าที่ของสายอากาศ	11
2.2.2 สายอากาศชนิดไมโครสตริป (Microstrip antenna).....	11

2.2.2.1	ลักษณะสมบัติที่สำคัญ.....	12
2.2.2.2	แบบรูปการแผ่พลังงาน.....	13
2.2.3	สายอากาศทางเลือกชนิดอื่น.....	13
2.3	แบบจำลองการส่งผ่านพลังงาน	13
2.4	ความเร็วและเวลาในการเดินทาง	14
บทที่ 3	การพัฒนาตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน	
เบื้องต้น	16	
3.1	แนวคิดการประยุกต์ใช้งานตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดการจราจร	16
3.2	ภาพรวมของระบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ	18
3.3	การทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ	21
3.3.1	การทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ	21
3.3.1.1	การทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง	21
3.3.1.2	การทดสอบในสภาพแวดล้อมชานเมือง	23
3.3.2	การทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่สามารถตรวจจับได้.....	26
3.3.2.1	การทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง	26
3.3.2.2	การทดสอบในสภาพแวดล้อมชานเมือง	28
3.4	การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่เหมาะสมในบริเวณเส้นทาง	
	จราจร.....	30
3.4.1	การทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนน	33
3.4.2	การทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอย	36
บทที่ 4	การพัฒนาตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ เพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพการจราจร.....	38
4.1	ภาพรวมของระบบ	38
4.2	ผลการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในถนนจริง	40
4.2.1	การทดสอบบนถนนอังรีดูนังต์.....	40

4.2.1.1	ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ.....	41
4.2.1.2	ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ	42
4.2.2	การทดสอบบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	43
4.2.2.1	ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ.....	44
4.2.2.2	ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ	45
4.3	ผลการเปรียบเทียบข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้กับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย	46
4.4	การประเมินสารสนเทศการจราจรจากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเทียบกับสารสนเทศจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย	52
4.4.1	จำนวนแหล่งข้อมูล (Data point) บนท้องถนน.....	52
4.4.2	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธบนท้องถนน.....	53
4.4.3	การวัดค่าความแรงสัญญาณ (Received Signal Strength Indication : RSSI)..53	
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1	บทสรุป	55
5.2	ข้อเสนอแนะ	56
	รายการอ้างอิง	58
	ภาคผนวก.....	61
	ภาคผนวก ก : รายละเอียดอุปกรณ์ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดสภาพจราจร	62
	ภาคผนวก ข : โปรแกรมหลัก	63
	ภาคผนวก ค : โปรแกรมคำนวณสารสนเทศการจราจร	65
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	68

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 : กระบวนการทำงานของป้ายจราจรอัจฉริยะ	2
รูปที่ 1.2 : ตัวอย่างข้อมูลสารสนเทศการจราจรในรูปแบบเส้นสีโดยมุลนิธิศูนย์ข้อมูลอัจฉริยะ.....	4
รูปที่ 2.1 : พิโคเน็ต (ซ้าย) และสแคทเทอร์เน็ต (ขวา) โดยมีอุปกรณ์บลูทูธมาสเตอร์อยู่ตรงกลาง ของ พิโคเน็ต	8
รูปที่ 2.2 : การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุโดยเปลี่ยนความถี่ไปมา.....	8
รูปที่ 2.3 : รูปแบบการส่งสัญญาณค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ	9
รูปที่ 2.4 : โครงสร้างชุดข้อมูลของบลูทูธ	10
รูปที่ 2.5 : บลูทูธโพรโทคอล (ซ้าย) และการทำงานของระบบบลูทูธ (ขวา).....	11
รูปที่ 2.6 : โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	12
รูปที่ 3.1 : ภาพรวมของระบบตรวจวัดสภาพการจราจรโดยใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ.....	18
รูปที่ 3.2 : ส่วนประกอบของต้นแบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ	19
รูปที่ 3.3 : แผนภาพแสดงการทำงานของระบบตรวจวัดการจราจรโดยใช้ตัวรับรู้ประเภทบลู ทูธ.....	20
รูปที่ 3.4 : แผนที่แสดงสถานที่ทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด ภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในกรุงเทพมหานคร	22
รูปที่ 3.5 : การทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด ภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	22
รูปที่ 3.6 : แผนที่แสดงสถานที่ทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด บริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี.....	24
รูปที่ 3.7 : การทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยา เขตสารสนเทศเพชรบุรี.....	24
รูปที่ 3.8 : การทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถ ตรวจจับได้บนถนนอังรีดูนังต์ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	27

รูปที่ 3.9 : การทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับได้ บนถนนบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.....	28
รูปที่ 3.10 : แบบจำลองสายอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำเร็จรูป 31	
รูปที่ 3.11 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสามมิติ.....	31
รูปที่ 3.12 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ Y-Z.....	32
รูปที่ 3.13 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ X-Z.....	32
รูปที่ 3.14 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ X-Y.....	32
รูปที่ 3.15 : สถานที่ติดตั้งและทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนอังรีดูนังต์ บริเวณหน้าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์.....	34
รูปที่ 3.16 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนอังรีดูนังต์.....	34
รูปที่ 3.17 : สถานที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	35
รูปที่ 3.18 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	35
รูปที่ 3.19 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอยบริเวณถนนอังรีดูนังต์.....	36
รูปที่ 3.20 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอยบริเวณถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	37
รูปที่ 4.1 : สถาปัตยกรรมระบบงานวิทยานิพนธ์.....	38
รูปที่ 4.2 : แผนที่การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบตรวจจับบลูทูธบริเวณถนนอังรีดูนังต์.....	41
รูปที่ 4.3 : ตำแหน่งในการติดตั้งชุดทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนอังรีดูนังต์.....	41
รูปที่ 4.4 : ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนอังรีดูนังต์ จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ.....	42
รูปที่ 4.5 : ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนอังรีดูนังต์ จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ.....	43
รูปที่ 4.6 : แผนที่การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบตรวจจับบลูทูธบริเวณถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	44

รูปที่ 4.7 : ตำแหน่งในการติดตั้งชุดทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	44
รูปที่ 4.8 : ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนนราธิวาสราชนครินทร์ จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ	45
รูปที่ 4.9 : ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนนราธิวาสราชนครินทร์จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ	46
รูปที่ 4.10 : รูปแบบข้อมูลสารสนเทศการจราจรจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย	48
รูปที่ 4.11 : แผนที่แสดงตำแหน่งช่วงถนนรหัส 27007 และ 27006 บนถนนอังรีดูนังต์	49
รูปที่ 4.12 : แผนที่แสดงตำแหน่งช่วงถนนรหัส 28004 และ 29007 บนถนนนราธิวาสราชนครินทร์.....	49
รูปที่ 4.13 : ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนอังรีดูนังต์ช่วงที่ทดสอบ	50
รูปที่ 4.14 : ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์ช่วงที่ทดสอบ.....	51

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 : การแบ่งเกณฑ์ของเส้นสีจราจร ตามประเภทของถนนและช่วงความเร็ว ของมูลนิธิตุณย์ข้อมูลอัจฉริยะ	3
ตารางที่ 3.1 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะจอดนิ่งอยู่กับ ที่	23
ตารางที่ 3.2 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะจอดนิ่งอยู่กับที่ ที่ระยะต่างๆภายในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี	25
ตารางที่ 3.3 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะแล่นความเร็ว ต่าง ๆ บนถนนอังรีดูนังต์ ในเขตกรุงเทพมหานคร	27
ตารางที่ 3.4 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะแล่นความเร็ว ต่าง ๆ ในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

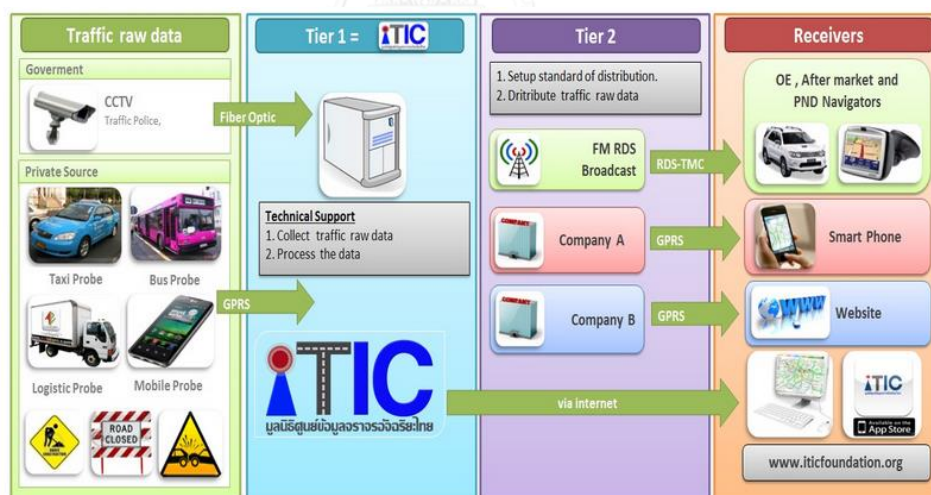
ปัจจุบันระบบสื่อสารและสารสนเทศได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางและเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม การศึกษา การรักษาพยาบาล การเมืองการปกครอง และอื่นๆ สารสนเทศกลายเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าในทุกๆ ด้านทั้งในระดับองค์กร ระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับโลก

ระบบสารสนเทศถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาในระบบขนส่ง โดยสารสนเทศการจราจร (Traffic information) คือข้อมูลการจราจรที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อประโยชน์ต่อการใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้สารสนเทศการจราจร เช่นการรายงานข้อมูลสภาพจราจร ณ เวลาจริง (Real-time traffic reporting) การทำนายสภาพจราจรในอนาคต (Traffic prediction) ฯลฯ สารสนเทศการจราจรมีแหล่งที่มาจากข้อมูลการจราจร (Traffic data) ที่รวบรวมจากแหล่งต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ยังไม่มีการประมวลผล เช่นปริมาณของยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะ ฯลฯ โดยนำมาทำการวิเคราะห์และประมวลผลจนกระทั่งได้ผลลัพธ์เป็นสารสนเทศจราจร เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่นการรายงานข้อมูลสภาพการจราจร โดยข้อมูลการจราจรที่ต้องการนั้น ต้องเป็นข้อมูลที่ทันกาล (Real time) ที่ได้รับอย่างต่อเนื่องและถูกต้อง

กรุงเทพมหานครเป็นหนึ่งในเมืองหลวงที่ประสบปัญหาการจราจรติดขัดอันดับต้นๆ ของโลก โดยปัญหาการจราจรทำให้สูญเสียเวลา ก่อให้เกิดความเครียดและปัญหาทางสุขภาพ [1] รวมถึงการสิ้นเปลืองพลังงาน เพื่อแก้ปัญหาการจราจร งานวิจัยต่างๆ จึงเกิดขึ้นพร้อมกับการเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน เช่น งานวิจัยที่ [2] เสนอการวิเคราะห์สภาพจราจรจากข้อมูลจราจรที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) โดยใช้ภาพจากโทรทัศน์วงจรปิด (Closed-circuit television: CCTV) งานวิจัยที่ [3] เสนอข้อมูลการจราจรที่ได้จากการนับจำนวนยานพาหนะ (Vehicle Counting) บนช่วงถนนที่โทรทัศน์วงจรปิดสามารถจับภาพได้ และงานวิจัยที่ [4] เสนอการคำนวณความหนาแน่นของยานพาหนะบนท้องถนน (Vehicle Density) โดยใช้วิธีการหาอัตราส่วนการเข้าครอบครอง (Occupancy Ratio: OR) ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนของพื้นที่ถนนที่รถครอบครองต่อพื้นที่ทั้งหมดของถนนในช่วงที่พิจารณา ข้อจำกัดของวิธีข้างต้นคือระยะเวลาจับภาพของกล้องวงจรปิดอาจไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของถนน ทำให้มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และผลการ

วิเคราะห์ที่ได้อาจไม่มีความถูกต้องแม่นยำเท่าที่ควร นอกจากนั้นคุณภาพของภาพจากกล้องวงจรปิดยังขึ้นกับทัศนวิสัยและสภาพดินฟ้าอากาศ และการบำรุงรักษาระบบมีความยุ่งยาก นอกจากงานวิจัยที่ใช้ภาพจากโทรทัศน์วงจรปิดแล้ว ยังมีงานวิจัยที่เลือกใช้โครงข่ายตัวรับรู้ไร้สาย (Wireless sensor network) ชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลจราจรบนท้องถนน ดังแสดงในงานวิจัย [5] แต่อุปกรณ์ที่ใช้ไม่เป็นที่นิยมและมีราคาแพง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เลือกใช้อาร์เอฟไอดี (Radio-frequency identification: RFID) [6] เป็นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลจราจรจากยานพาหนะ แต่อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้ในเขตเมือง เพราะต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์จำนวนมากในแต่ละถนน อีกทั้งเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับระบบ จำเป็นต้องใช้งานคู่กับระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ที่ติดตั้งภายในรถยนต์

ในประเทศไทยมีองค์กรที่ให้บริการข้อมูลสารสนเทศจราจร โดยนำระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transport Systems : ITS) เข้ามาใช้ในการบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาจราจร เช่น "มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย" หรือ "Intelligent Traffic Information Center" (ITIC) และทำการนำเสนอข้อมูลสารสนเทศการจราจรแก่ผู้ขับขี่ผ่านป้ายจราจรอัจฉริยะ โดยการให้ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ หรือแอปพลิเคชันต่างๆ ดังรูปที่ 1.1



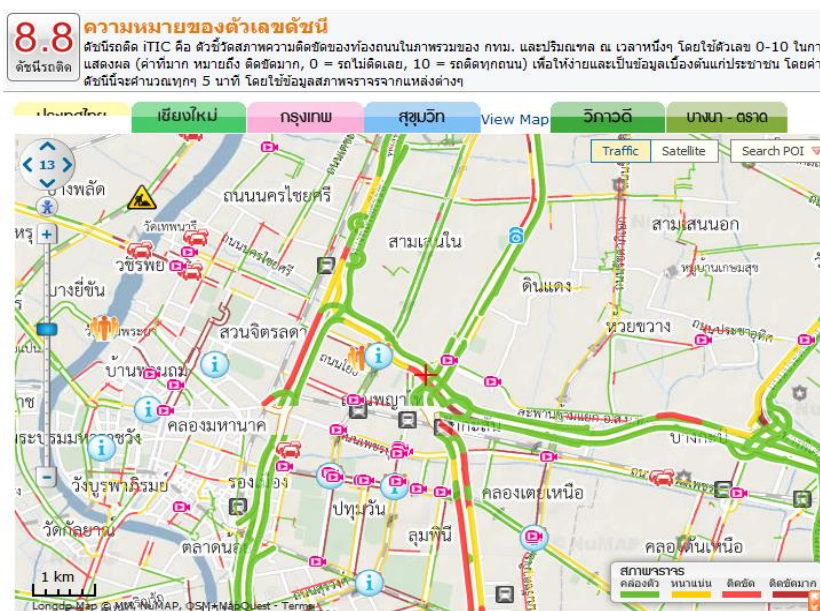
รูปที่ 1.1 : กระบวนการทำงานของป้ายจราจรอัจฉริยะ

การได้มาของข้อมูลสารสนเทศการจราจรของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะ ได้ถูกรวบรวมมาจากภาครัฐและภาคเอกชน ซึ่งแหล่งข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่สำคัญได้แก่ ข้อมูลจราจรจากโทรทัศน์วงจรปิดของกองบังคับการตำรวจจราจรกรุงเทพมหานครและการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่ติดตั้งอยู่บริเวณสี่แยก ข้อมูลการเดินทางของยานพาหนะ (Vehicle Probe) เช่น แท็กซี่ หรือรถโดยสารบรรทุก และข้อมูลจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone Probe) ที่ติดตั้งระบบระบุ

ตำแหน่งบนพื้นโลก [7], [8] ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งและความเร็วของแหล่งข้อมูลดังกล่าวได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจราจรจากโทรศัพท์วงจรปิดนั้นถือว่าเป็นระบบที่มีความถูกต้องสูงกว่า [9] แต่เนื่องจากแหล่งข้อมูลจราจรประเภทนี้มีจำนวนน้อย ต้นทุนการติดตั้งค่อนข้างสูงและกระจายไม่ทั่วถึงพื้นที่ทั้งหมดของกรุงเทพมหานคร ทางมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะจึงใช้ข้อมูลจราจรส่วนใหญ่จากโทรศัพท์วงจรปิดที่การวิเคราะห์ผลขึ้นกับการตัดสินใจของผู้ควบคุมเส้นสีจราจร โดยทำการตัดสินใจและจำแนกสถานะของการจราจรตามประเภทของถนนในรูปเส้นสี ซึ่งอาจมีความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลสารสนเทศการจราจรของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะ โดยแต่ละเส้นสีมีความหมายแทนความเร็วของยานพาหนะบนถนนช่วงนั้นๆ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 : การแบ่งเกณฑ์ของเส้นสีจราจร ตามประเภทของถนนและช่วงความเร็วของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลอัจฉริยะ

ประเภทของถนน	ช่วงของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงตามเส้นสีจราจร (กิโลเมตร/ชั่วโมง)		
	สีเขียว	สีเหลือง	สีแดง
ทางด่วน	มากกว่า 60	40 – 60	น้อยกว่า 40
ทางหลวง	มากกว่า 40	20 – 40	น้อยกว่า 20
ในเมือง	มากกว่า 25	15 – 25	น้อยกว่า 15
ตรอก / ซอย	มากกว่า 20	10 – 20	น้อยกว่า 10



รูปที่ 1.2 : ตัวอย่างข้อมูลสารสนเทศการจราจรในรูปแบบเส้นสีโดยมูลนิธิศูนย์ข้อมูลอัจฉริยะ

(ที่มา: www.iticfoundation.org)

นอกจากนี้ได้มีงานวิจัยที่นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ (Bluetooth sensor network) [10] สำหรับตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจร โดยบลูทูธเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้คลื่นความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับการใช้งานด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (Industrial, Scientific and Medical (ISM) radio band) ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธได้ถูกติดตั้งในอุปกรณ์สื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์หลากหลายชนิด เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์แบบพกพา อุปกรณ์หูฟังแบบไร้สาย ระบบนำทางในรถยนต์ ฯลฯ โดยงานวิจัย [11], [12] ประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเพื่อค้นหาตำแหน่งบุคคลภายในอาคาร ส่วนงานวิจัย [13], [14] ประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในการนับจำนวนคนในพื้นที่ขนาดใหญ่ภายนอกอาคาร เช่น งานเทศกาล ผลลัพธ์ที่ได้คือข้อมูลความหนาแน่นของคนภายในบริเวณที่สนใจ โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการและพยากรณ์ความหนาแน่นของคนในเหตุการณ์ครั้งต่อไป จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีบลูทูธสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ต่างๆได้เป็นอย่างดี จึงมีงานวิจัย [15-18] ที่นำเทคโนโลยีบลูทูธมาปรับประยุกต์ใช้ เพื่อแก้ไขปัญหาการจราจรโดยการตรวจจับ (detect) อุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีบลูทูธที่ติดตั้งภายในยานพาหนะ และนำข้อมูลการตรวจจับมาประมวลผลเพื่อสร้างสารสนเทศการจราจร และนำไปพยากรณ์สภาพการจราจรในช่วงเวลาเดียวกันของวันถัดไปได้

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดสภาพจราจร โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจะตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ถูกพกพาหรือติดตั้งในรถยนต์หรือยานพาหนะอื่นๆ

และเก็บข้อมูลหมายเลขประจำตัว (MAC Address) และชื่อของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจพบ และตราเวลาขณะที่ตรวจพบ (Time stamp) ข้อมูลดังกล่าวจะถูกรวบรวมและนำไปคำนวณหาเวลาในการเดินทางและความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนช่วงนั้นๆ รวมถึงการนำข้อมูลดังกล่าวไปประมวลผลเป็นสารสนเทศการจราจรของถนนช่วงดังกล่าวเพื่อใช้ประโยชน์ในการรายงานข้อมูลสภาพจราจร ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดการจราจรที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการเก็บข้อมูลจราจรที่ถูกต้องแม่นยำ ต่อเนื่อง และทันกาล เพื่อนำไปสร้างสารสนเทศการจราจรที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดการจราจร
2. เพื่อศึกษาสมรรถนะของวิธีการตรวจวัดการจราจรโดยใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ
3. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ ผลดีและผลเสีย และคุณภาพของข้อมูลของวิธีการตรวจวัดการจราจรโดยใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ กับวิธีการอื่นๆ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสารสนเทศการจราจร ที่ได้ข้อมูลจากการตรวจวัดโดยใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พัฒนาตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเพื่อตรวจวัดการจราจรบนท้องถนน ข้อมูลที่จัดเก็บได้แก่ หมายเลขประจำตัวและชื่อของอุปกรณ์บลูทูธ และตราเวลาขณะที่ตรวจพบอุปกรณ์บลูทูธ
2. ทดลองเก็บข้อมูลการจราจรบนช่วงถนนในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่พัฒนาขึ้นแบบออฟไลน์
3. ประมวลผลข้อมูลการจราจร เพื่อคำนวณสารสนเทศการจราจรเบื้องต้น และเปรียบเทียบกับสารสนเทศการจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบันของกรุงเทพมหานคร
4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการจับคู่ และคำนวณหาสารสนเทศการจราจรเบื้องต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบการตรวจวัดการจราจรที่มีประสิทธิภาพ ราคาประหยัด ช่วยลดต้นทุนในการเก็บข้อมูลการจราจร

- ระบบสารสนเทศการจราจรที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เพื่อให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดปัญหาการจราจรในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึง ความสำคัญของสารสนเทศการจราจรที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาจราจร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาจราจร ข้อดีและข้อเสียของระบบการตรวจวัดสภาพการจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบัน และแนวการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเพื่อตรวจวัดสภาพการจราจรที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี: กล่าวถึง หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีบลูทูธ คุณลักษณะของสายอากาศแบบไมโครสตริป และการคำนวณความเร็วจากระยะห่างของค่าพิคต 2 จุด

บทที่ 3 การพัฒนาตัวรับรู้บลูทูธ และผลการทดสอบสมรรถนะของระบบเบื้องต้น: กล่าวถึงการทดสอบระบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเบื้องต้น เพื่อหาสมรรถนะของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่นำมาใช้ในงานวิจัย โดยได้ทำการทดสอบเพื่อหาระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และการทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะที่สามารถตรวจจับได้ โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในสภาพแวดล้อมในเมือง และสภาพแวดล้อมชานเมือง รวมถึงการทดสอบหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณท้องถนนเพื่อใช้งานจริง

บทที่ 4 การพัฒนาตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ เพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพการจราจร: กล่าวถึงการติดตั้งและทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเพื่อตรวจวัดสภาพการจราจรในเขตกรุงเทพมหานครบนถนนอังรีดูนังต์ และถนนราธิวาสราชนครินทร์ และการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาประมวลผลเป็นสารสนเทศการจราจร ซึ่งได้แก่เวลาในการเดินทางและความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนน

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเสนอแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัยต่อไป

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth Technology)

บลูทูธเป็นเทคโนโลยี [19] คลื่นสัญญาณวิทยุระยะสั้นใช้คลื่นวิทยุความถี่ประมาณ 2.4-2.483 กิโลเฮิร์ตซ์ มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดประมาณ 1 เมกกะบิตต่อวินาที โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบบลูทูธประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุโดยการเปลี่ยนช่วงความถี่ไปมา การค้นหาอุปกรณ์บลูทูธที่อยู่ใกล้เคียง และระเบียบวิธีในการสื่อสารที่เข้าใจกันระหว่างผู้รับและผู้ส่ง เทคโนโลยีบลูทูธสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องพีดีเอ คอมพิวเตอร์แบบพกพา และโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพราะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ โดยระยะตรวจจับของบลูทูธนั้นขึ้นอยู่กับกำลังส่งของตัวส่งสัญญาณซึ่งจะสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ระดับได้ดังนี้

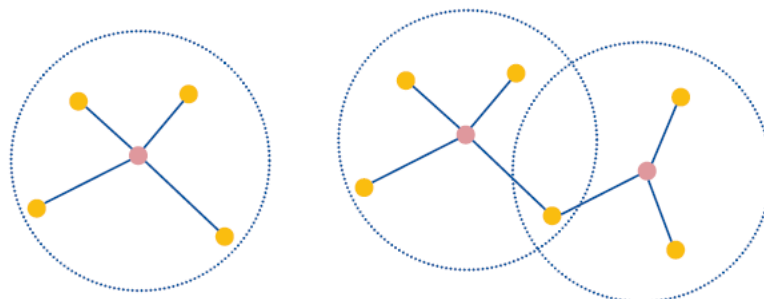
1. ระดับ 1 (Class 1) จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 100 เมตร ใช้พลังงานประมาณ 100 มิลลิวัตต์
2. ระดับ 2 (Class 2) จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 10 เมตร ใช้พลังงานประมาณ 2.5 มิลลิวัตต์
3. ระดับ 3 (Class 3) จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 10 เซนติเมตรถึง 1 เมตร ใช้พลังงานประมาณ 1 มิลลิวัตต์

2.1.1 การเชื่อมต่อของบลูทูธแบบเครือข่ายขนาดย่อม (Piconet)

เครือข่ายขนาดย่อมหรือเรียกว่าไพโคเน็ต เป็นเครือข่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์บลูทูธตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป แต่ไม่เกิน 8 ตัว ซึ่งจะแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ และส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1600 ครั้งต่อวินาที ทำให้แต่ละไพโคเน็ตสามารถทำงานในพื้นที่เดียวกันได้ โดยโอกาสในการถูกรบกวนจากเครือข่ายอื่นที่อยู่ใกล้มีเพียงร้อยละ 1.5 ทั้งนี้เครือข่ายบลูทูธได้ออกแบบให้เครื่องที่เป็นตัวแม่ข่ายมีหน้าที่ในการจัดการควบคุมลำดับการส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัว เพื่อป้องกันการเกิดการชนกันของข้อมูลอันเนื่องมาจากการส่งข้อมูลพร้อมกันบนช่องสัญญาณเดียวกัน

นอกจากนี้ในแต่ละไพโคเน็ตสามารถเชื่อมต่อข้ามเครือข่ายกัน เกิดเป็นเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้นที่เรียกว่าสแคทเทอร์เน็ต (Scatter net) ดังรูปที่ 2.1 แต่การเชื่อมต่อแบบนี้จะต้องมีการจัดลำดับ การ

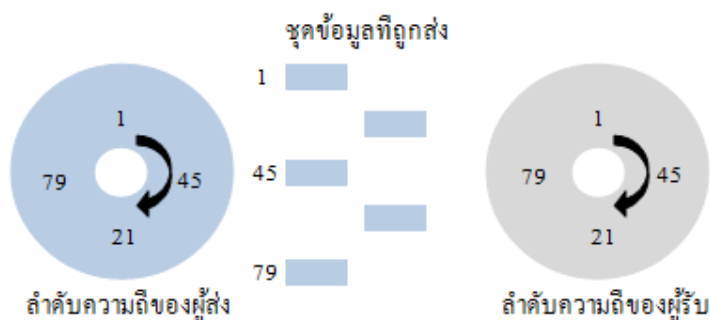
ทำงานบนเครือข่ายที่ยู่ยากขึ้นและต้องแบ่งความสามารถในการส่งข้อมูลกันส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง



รูปที่ 2.1 : พิโคเน็ต (ซ้าย) และสแคทเทอร์เน็ต (ขวา) โดยมีอุปกรณ์บลูทูธมาสเตอร์อยู่ตรงกลางของ พิโคเน็ต

2.1.2 การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุด้วยการแผ่สเปกตรัม (Frequency Hopping Spread Spectrum: FHSS)

กระบวนการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ ผู้ส่งจะส่งข้อมูลบนความถี่ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ โดยส่งข้อมูลไปบนช่องสัญญาณที่เปลี่ยนไปมาอย่างต่อเนื่องตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ ผู้รับก็ต้องรับข้อมูลด้วยลำดับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณที่ผู้ส่งส่งมาในเวลาเดียวกันดังรูปที่ 2.2 เพื่อป้องกันการดักจับข้อมูลจากผู้อื่น เนื่องจากลำดับความถี่ที่ส่งจะเข้าใจระหว่างผู้รับกับผู้ส่งเท่านั้น

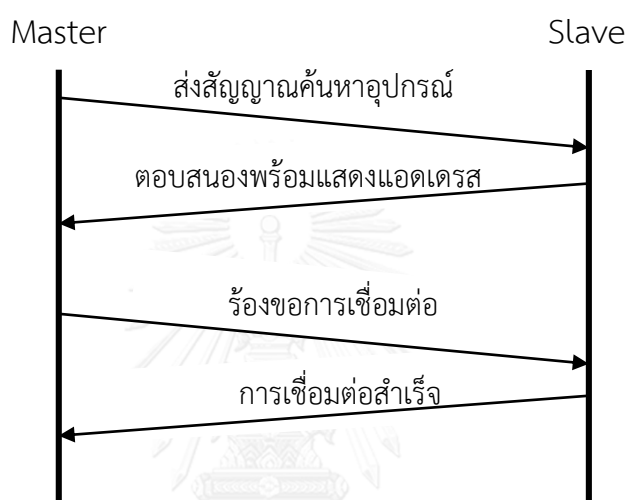


รูปที่ 2.2 : การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุโดยเปลี่ยนความถี่ไปมา

2.1.3 โพรโทคอลการค้นหาบริการ (Service discovery protocol)

รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการค้นหาอุปกรณ์บลูทูธที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งกระบวนการนี้เริ่มจากอุปกรณ์บลูทูธส่งสัญญาณซึ่งมีรูปแบบที่เข้าใจระหว่างอุปกรณ์บลูทูธ เมื่ออุปกรณ์บลูทูธอื่นพบคลื่นสัญญาณนี้ ก็จะตอบสนองกลับมาโดยส่งตำแหน่งประจำเครื่องกลับมาด้วย ทำให้อุปกรณ์ทั้งสองสามารถเชื่อมต่อกันได้

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างกระบวนการในการค้นหาอุปกรณ์ใกล้เคียง ชุดตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธ เริ่มจากชุดตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธส่งสัญญาณเพื่อตรวจหาอุปกรณ์ใกล้เคียง เมื่ออุปกรณ์บลูทูธในโทรศัพท์เคลื่อนที่ตรวจพบก็จะตอบสนองการทำงานโดยระบุหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ (Address) ของตัวเองกลับมายังชุดตรวจจับ หลังจากนั้นชุดตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธร้องขอการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์บลูทูธในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่ออุปกรณ์บลูทูธในโทรศัพท์เคลื่อนที่ยอมรับการเชื่อมต่อ ชุดตรวจจับสามารถส่งข้อมูลไปยังโทรศัพท์มือถือได้



รูปที่ 2.3 : รูปแบบการส่งสัญญาณค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ

2.1.4 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลบลูทูธ (Bluetooth packet format)

การส่งข้อมูลในบลูทูธจะส่งทีละกลุ่มข้อมูล (Packet) หลังจากทำการค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ และอุปกรณ์บลูทูธนั้นๆยอมรับการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์บลูทูธที่เป็นมาสเตอร์ โดยแต่ละกลุ่มข้อมูลจะประกอบไปด้วย

1. รหัสการเข้าถึง (Access code) เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลหมายเลขเครือข่ายและตำแหน่งของอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง มีขนาดยาวคงที่คือ 72 บิต
2. ส่วนหัว (Header) เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลมีขนาดยาว 54 บิต
3. ส่วนข้อมูล (Payload) คือข้อมูลที่ต้องการส่งไปยังปลายทางมีขนาดระหว่าง 0 - 2745 บิต ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ดังรูปที่ 2.4

รหัสการเข้าถึง (Access Code)	ส่วนหัว (Header)	ข้อมูล (Payload)
72 บิต	54 บิต	0 – 2745 บิต

รูปที่ 2.4 : โครงสร้างชุดข้อมูลของบลูทูธ

ลักษณะการใช้งานแพ็กเก็ตจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือแพ็กเก็ตควบคุม (Control Packet) สามารถมีได้เพียงแค่ส่วนรหัสการเข้าถึงเท่านั้น หรือมีส่วนรหัสการเข้าถึงกับส่วนหัวโดยไม่ต้องมีส่วนข้อมูล แต่แพ็กเก็ตข้อมูลนั้น จำเป็นจะต้องมีครบสมบูรณ์ทั้ง 3 ส่วน

2.1.5 โพรโทคอลแอปพลิเคชัน (Application protocol)

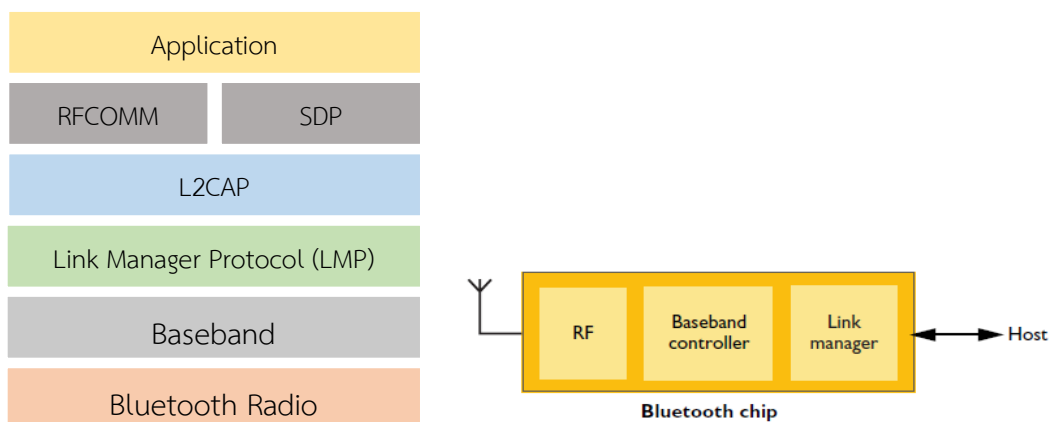
โพรโทคอลของการสื่อสารผ่านทางบลูทูธ (Bluetooth Protocol) ข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารผ่านทางบลูทูธนั้นมีมากมายหลายรูปแบบด้วยกัน โดยการทำที่ทั้ง 2 ฝ่ายจะสื่อสารกันได้ ต้องใช้ข้อตกลงเดียวกันจึงจะเกิดการเชื่อมต่อ และสามารถส่งผ่านข้อมูลถึงกันได้ ซึ่งรูปที่ 2.5 จะแสดงข้อตกลงแต่ละระดับชั้นของการสื่อสารผ่านทางบลูทูธ ประกอบด้วยโพรโทคอลที่สำคัญดังนี้

1. โพรโทคอลหลักของบลูทูธ (Bluetooth Core Protocols)

- Base band และ Link Control ทั้งคู่เป็นส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์บลูทูธในชั้นนี้ มีหน้าที่สำคัญในการจับคู่สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ
- Link Manager Protocol (LMP) ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น เข้ารหัส และการตรวจสอบแพ็กเก็ตที่มาจาก Base band
- Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP) มีหน้าที่ในการรวมและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทีมาจากแต่ละแพ็กเก็ต
- Service Discovery Protocol (SDP) มีหน้าที่ในการสำรวจตรวจสอบข้อมูลและลักษณะพิเศษของอุปกรณ์บลูทูธอื่นๆ

2. โพรโทคอลส่วนไร้สาย (Cable Replacement Protocol)

- RFCOMM ทำหน้าที่จำลองข้อมูลที่ได้จาก L2CAP เป็นสัญญาณที่สามารถใช้ได้ ในแอปพลิเคชัน



รูปที่ 2.5 : บลูทูธโพรโทคอล (ซ้าย) และการทำงานของระบบบลูทูธ (ขวา)

2.2 สายอากาศสำหรับอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย

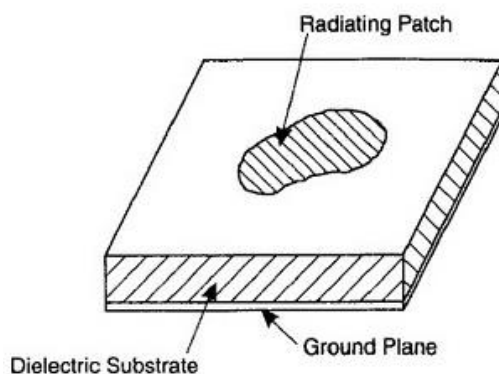
2.2.1 หน้าที่ของสายอากาศ

สายอากาศ (Antennas) คืออุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากต้นทางไปยังปลายทางโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่าการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communications) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สายอากาศแบบไมโครสตริบ (Microstrip Antenna) เนื่องจากมีรูปร่างแบนระนาบ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีราคาไม่แพง และยังสามารถนำไปยึดติดกับวัสดุต่างๆได้อย่างกลมกลืน อีกทั้งยังสะดวกในการติดตั้งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ชนิดพกพา และอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สายในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริบที่ติดตั้งในโมดูลบลูทูธที่ใช้ในงานในตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่พัฒนาในงานวิจัยนี้

2.2.2 สายอากาศชนิดไมโครสตริบ (Microstrip antenna)

สายอากาศไมโครสตริบ คือสายอากาศที่ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะบางซึ่งเป็นตัวแผ่พลังงาน (Radiator) ในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยที่ลักษณะโครงสร้างของไมโครสตริบจะประกอบไปด้วยแผ่นตัวนำบางๆที่วางอยู่บนแผ่นฐานรอง (Substrate) ซึ่งเป็นวัสดุฉนวนทางไฟฟ้าหรือไดอิเล็กตริก (Dielectric) และขอบด้วยระนาบกราวด์ (Ground Plane) แสดงในรูปที่ 2.6 [20] ในบางกรณีอาจมีตัวครอบ (Radome) เพื่อป้องกันสายอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยรูปแบบส่วนใหญ่จะนิยมใช้ เป็นรูปทรงเรขาคณิต เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสามเหลี่ยม เป็นต้น ขนาดของสายอากาศไมโครสตริบขึ้นอยู่กับการใช้งานไปใช้งานตามมาตรฐานที่มีการกำหนดช่วงแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่จะนำสายอากาศชนิดนี้ไปติดตั้ง เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำ แต่มี

ข้อดีคือมีต้นทุนต่ำ และมีขนาดเล็กจึงเหมาะกับการใช้งานด้านความถี่สูง จึงสามารถนำมาพัฒนาให้เป็นรูปแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.6 : โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริบ

2.2.2.1 ลักษณะสมบัติที่สำคัญ

ลักษณะสำคัญของสายอากาศไมโครสตริบคือ ปกติแล้วสายอากาศจะอิงความยาวคลื่น แต่สายอากาศไมโครสตริบนอกจากจะคำนึงถึงความยาวคลื่นแล้วยังต้องคำนึงถึงผลกระทบจากชนิดของแผ่นทองแดงด้วย ผลกระทบนี้เรียกว่า ความยาวคลื่นสัมพันธ์ที่ได้รับจากแผ่นทองแดง สายอากาศไมโครสตริบบางชนิดมีรูปร่างที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานได้กับหลายความถี่ โดยทั่วไปสายอากาศไมโครสตริบประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ

1. แผ่นตัวนำสายอากาศ เป็นแผ่นโลหะแบบบาง ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่พลังงานและมีค่าความต้านทานต่ำ ทนต่อสภาพแวดล้อม สามารถยึดติดกับผิวของวัสดุฐานรองได้ดี โดยทั่วไปทำจากทองแดงหรือทองคำ ตัวแผ่นอาจมีรูปร่างต่างๆ วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นตัวนำสายอากาศนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ และความซับซ้อนในการผลิต นอกจากนี้ขนาด และรูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศยังเป็นปัจจัยต่อการกำหนดความถี่การใช้งาน รูปแบบการแผ่พลังงาน และอิมพีแดนซ์ขาเข้า
2. ชั้นวัสดุฐานรอง เป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบสายอากาศ และเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริบ การแผ่พลังงานของสายอากาศจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มมากขึ้น โดยความหนาของวัสดุฐานรองมีค่าคงที่ การแผ่พลังงานของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเพิ่มมากขึ้น การเลือกวัสดุฐานรองต้องคำนึงถึงสมบัติทางกล สมบัติทางเคมี และสภาพคงทน

ต่อความชื้น และอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงสมบัติทางไฟฟ้าเช่น ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Dielectric constant) ด้วย

3. ระนาบกราวด์ เป็นแผ่นโลหะขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับแผ่นตัวนำสายอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากโลหะชนิดเดียวกับสายอากาศ โดยระนาบกราวด์นี้จะส่งผลกระทบต่อรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น เนื่องจากคลื่นเลี้ยวเบนที่บริเวณของของระนาบกราวด์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น เช่น ขนาดของลำคลื่นหลัก (Main lobe) รวมไปถึงการเกิดลำคลื่นด้านหลัง

2.2.2.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่มีแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern) แบบรอบทิศทางในระนาบแนวนอน (Horizontal plane) ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานกับตัวรับรู้สำหรับตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่อยู่ในยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่บนท้องถนน เนื่องจากลักษณะสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศของโมดูลบลูทูธมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ใช้งานในโมดูลบลูทูธ โดยได้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสร้างแบบจำลองสายอากาศ และคำนวณลักษณะสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศ ในย่านความถี่ที่ใช้งานได้แก่ 2.40 - 2.48 กิกะเฮิรท์ และได้ผลการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงาน

2.2.3 สายอากาศทางเลือกชนิดอื่น

นอกจากสายอากาศไมโครสตริปยังมีสายอากาศอีกหลายชนิดที่สามารถใช้งานในช่วงความถี่ 2.40 - 2.48 กิกะเฮิรท์ ยกตัวอย่างเช่น สายอากาศแบบโมนโพล (Monopole Antenna) สายอากาศชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายความถี่ โดยขนาดของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับย่านความถี่ที่ใช้งาน โดยสายอากาศชนิดนี้มีคุณสมบัติแผ่คลื่นได้ขนาดเท่ากันทุกทิศทางในระนาบแนวนอน สายอากาศชนิดนี้เป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากที่ความถี่ต่ำสายอากาศชนิดนี้จะมีขนาดเล็ก และง่ายต่อการติดตั้ง

2.3 แบบจำลองการส่งผ่านพลังงาน

ระยะทางไกลสุดที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจะสามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธอื่นๆได้ สามารถคำนวณโดยประมาณได้โดยใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis Transmission Equation) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การส่งผ่านพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศว่าง (Free space) ในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงอาจแตกต่างไปจากการสื่อสารในอากาศว่าง เนื่องจากตัวรับรู้อาจถูกติดตั้งในป้อมจราจร และอุปกรณ์บลูทูธที่จะตรวจจับอยู่ในรถยนต์ จึงมีค่าความสูญเสียมากกว่าความ

สูญเสียในอากาศว่าง (Free space loss) ทำให้ระยะใช้งานไกลสุดจริงอาจน้อยกว่าที่คำนวณได้จากสมการการส่งผ่านของฟรีสสมการการส่งผ่านของฟรีสแสดงดังในสมการที่ (1)

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (1)$$

โดย

P_r กำลังรับที่เครื่องรับ (วัตต์)

P_t กำลังส่งของเครื่องส่ง (วัตต์)

G_t อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (เท่า/ไม่มีหน่วย)

G_r อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (เท่า/ไม่มีหน่วย)

R ระยะทางระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง (เมตร)

λ ความยาวคลื่นของสัญญาณ (เมตร)

จากที่กล่าวมาแล้วในสมการที่ (1) เป็นสมการในอุดมคติไม่รวมผลของการสูญเสียอื่นๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการรับและส่งสัญญาณ ซึ่งสามารถเพิ่มตัวแปร L_{sys} แทนการสูญเสียรวมทั้งหมด ในสมการการส่งผ่านของฟรีสได้ ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$R = \left[\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 S_{i,min} L_{sys}} \right]^{1/2} \quad (2)$$

ตัวแปร $S_{i,min}$ เป็นค่าความไวของเครื่องรับซึ่งคือกำลังงานต่ำสุดของสัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับ หรือตรวจจับได้

2.4 ความเร็วและเวลาในการเดินทาง

ความเร็ว (Speed) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสถานะของการจราจร โดยหมายถึงอัตราการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนถนน พิจารณาเป็นระยะทางต่อหนึ่งหน่วยเวลา เวลาในการเดินทาง (Travel time) หมายถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของยานพาหนะในระยะหนึ่งๆโดยทั่วไปยานพาหนะแต่ละคันในการจราจรจะเดินทางด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาความเร็วของกระแสจราจรจึงไม่สามารถที่จะใช้ค่าความเร็วค่าเดียวในการบ่งชี้สภาพการจราจรได้ แต่มักจะพิจารณาถึงลักษณะการกระจายตัวของความเร็วของยานพาหนะแต่ละคันด้วย นอกจากนี้ยังอาจใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วของยานพาหนะแต่ละคันมาพิจารณาก็ได้ซึ่งความเร็วและเวลาในการเดินทางมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในสมการที่ (3)

$$v_{av} = \frac{\delta x}{\delta t} \quad (3)$$

โดย

δx คือระยะทางที่ยานพาหนะเดินทางในช่วงเวลา δt

δt คือระยะเวลาในการเดินทาง



บทที่ 3

การพัฒนาตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเบื้องต้น

บทนี้นำเสนอแนวคิดการประยุกต์ใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจร ภาพรวมของต้นแบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่พัฒนาขึ้นในงานวิทยานิพนธ์นี้ และการทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ เพื่อหาระยะตรวจจับไกลสุด (Maximum detection range) และความเร็วสูงสุด (Maximum speed) ของอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะที่สามารถตรวจจับได้ โดยได้ทำการทดสอบทั้งในสภาพแวดล้อมในเมือง (Urban area) ซึ่งมีสัญญาณรบกวนจากคลื่นความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์จากอุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งผลของการเดินทางของสัญญาณจากหลายเส้นทาง (Multipath propagation) เนื่องจากการสะท้อนและการเลี้ยวเบนจากอาคารสถานที่และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ และในสภาพแวดล้อมชานเมือง (Suburb area) ซึ่งปลอดสัญญาณรบกวนจากคลื่นความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และเป็นพื้นที่เปิดโล่งมีอาคารสถานที่และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ น้อย ทั้งนี้ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของสภาพแวดล้อมดังกล่าวต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ นอกจากนั้นยังได้ทดสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในบริเวณเส้นทางจราจร เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจรในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง

3.1 แนวคิดการประยุกต์ใช้งานตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดการจราจร

เนื่องจากปัญหาการจราจรคับคั่งในเขตเมืองเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในเมืองสำคัญทั่วโลก เช่น ในเขตกรุงเทพมหานคร ปัญหานี้เกิดจากปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการจัดการระบบจราจรที่ไม่ดี และการเกิดปัญหาจากอุบัติเหตุบนท้องถนน ปัญหาการจราจรนี้ทำให้เกิดผลเสียตามขึ้นมากมาย เช่น การสิ้นเปลืองพลังงาน ปัญหามลภาวะทางเสียงและอากาศ และผู้ขับขี่เสียเวลาบนท้องถนนมากเกินไป ปัจจุบันทั่วโลกแก้ปัญหาการจราจรด้วยระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ ซึ่งนำเทคโนโลยีต่างๆมาแก้ไขปัญหานี้ เช่น การใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย การตรวจวัดสภาพจราจรโดยใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิด อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้มีข้อเสีย เช่นการตรวจวัดสภาพการจราจรโดยใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิดซึ่งเป็นเทคโนโลยีการตรวจวัดการจราจรที่ใช้อยู่ในกรุงเทพมหานคร มีข้อเสียคือการเลือกใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ ทำให้การตรวจวัดมีประสิทธิภาพลดลง รวมถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม และบำรุงรักษาอุปกรณ์ในแต่ละจุดค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังมีการเลือกใช้จีพีเอสในการตรวจวัด ซึ่งมีข้อเสียคือระบบจีพีเอสเป็นระบบที่มีความคลาดเคลื่อนสูง อีกทั้งหากต้องติดตั้งจีพีเอสในยานพาหนะทุกคันที่ต้องตรวจสอบ อาจเกิดความยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายสูงอีกด้วย ใน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้เทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในการตรวจวัดสภาพการจราจร เนื่องจากเทคโนโลยีบลูทูธเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นความถี่ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาต และยังเป็นเทคโนโลยีที่ถูกติดตั้งในอุปกรณ์สื่อสารเกือบทุกชนิด เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์หูฟังไร้สาย อุปกรณ์นำทางในรถยนต์ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบลูทูธในการตรวจวัดทำได้โดยการติดตั้งชุดตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธ ซึ่งประกอบด้วยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธใช้ในการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งในยานพาหนะ โดยจะทำการติดตั้งชุดตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธ 2 ชุดตรวจจับ แต่ละชุดตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธจะสามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ต่อเมื่ออุปกรณ์บลูทูธนั้นเข้ามาในระยะการตรวจจับ สิ่งที่ได้จากการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธคือหมายเลขประจำอุปกรณ์ และชื่อของอุปกรณ์บลูทูธ จากนั้นจะมีตารางซึ่งเป็นเวลาที่อุปกรณ์ถูกตรวจจับได้ แสดงในรูปที่ 3.1 และระบบจะทำการเก็บข้อมูลไว้ในเครื่องบริการ ทำการจับคู่อุปกรณ์บลูทูธที่เก็บไว้ในเครื่องบริการ โดยเมื่อพบหมายเลขประจำตัวของอุปกรณ์บลูทูธที่จับคู่กัน ก็จะนำตารางเวลาของอุปกรณ์บลูทูธนั้นที่ตรวจจับได้ โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธแต่ละตัว มาคำนวณหาเวลาที่อุปกรณ์บลูทูธนั้นใช้ในการเดินทางระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ฯ ซึ่งก็คือเวลาที่ยานพาหนะ (ที่มีอุปกรณ์บลูทูธนั้น) ใช้ในการเดินทางนั่นเอง ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการเดินทางสามารถนำมาใช้คำนวณหาความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางได้ เนื่องจากเราทราบระยะทางระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ฯ และจากค่าความเร็วเฉลี่ยเราสามารถบอกได้ถึงสภาพการจราจรบนถนนช่วงนั้น ๆ ได้

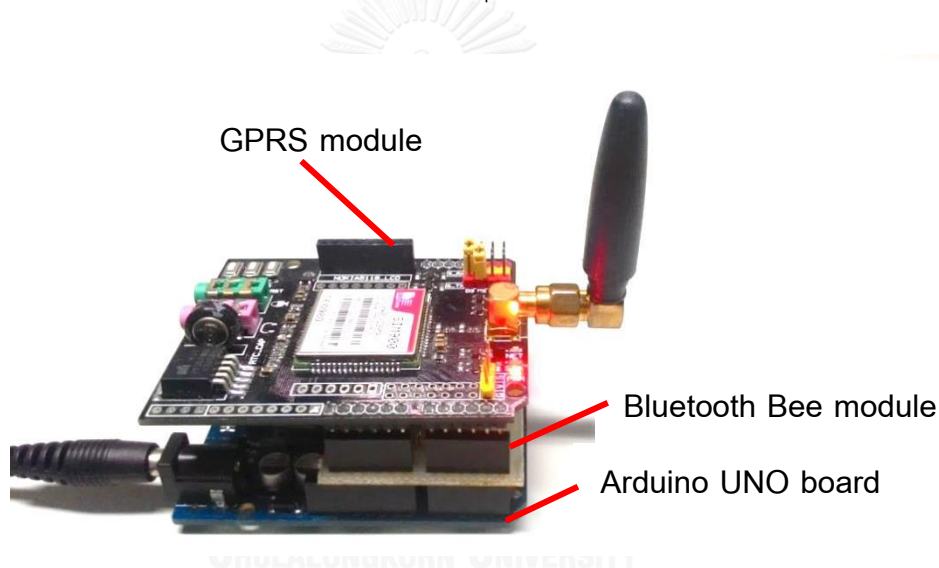


รูปที่ 3.1 : ภาพรวมของระบบตรวจวัดสภาพการจราจรโดยใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

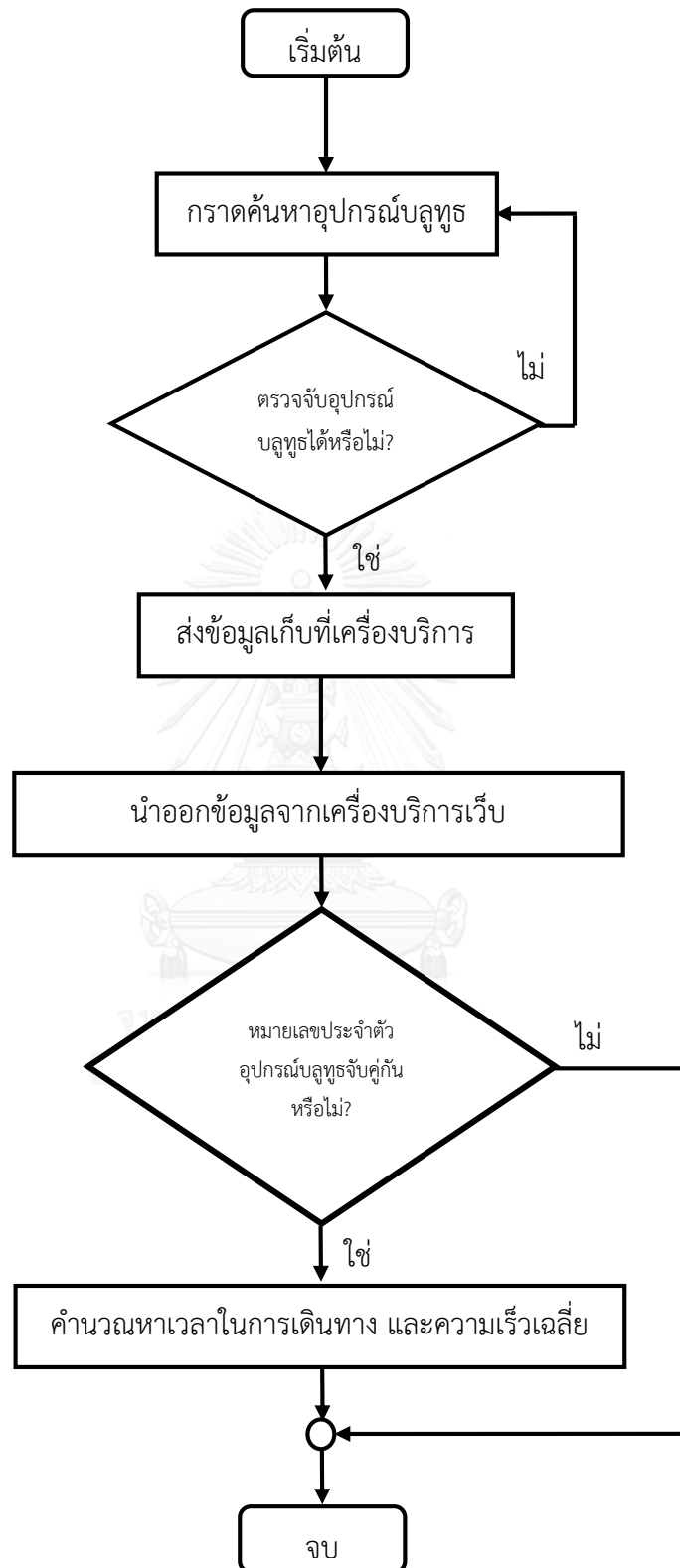
3.2 ภาพรวมของระบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับการตรวจวัดการจราจรแสดงดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน-อูโน (Arduino UNO board) ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 เป็นตัวประมวลผล โมดูลบลูทูธ (Bluetooth module) ที่สื่อสารในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ไร้สายเพื่อตรวจจับและเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือถูกพบพานในยานพาหนะ ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย หมายเลขประจำตัว (ID) และชื่อของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้ และศรเวลา (Time stamp) ณ เวลาที่ตรวจพบอุปกรณ์บลูทูธนั้น ๆ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกบันทึกในการ์ดหน่วยความจำ (Secure digital card) ในรูปแบบไฟล์ไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) การบันทึกข้อมูลศรเวลาอาศัยโมดูลนาฬิกาบอกเวลาจริง (Real-time clock module) ซึ่งประกอบด้วย ไอซี DS1307 ทำหน้าที่ให้ข้อมูลวันและเวลาในปัจจุบัน ได้แก่ วินาที นาที ชั่วโมง วันที่ เดือน และปี (คริสต์ศักราช) โมดูลนาฬิกาเริ่มต้นการทำงานโดยการตั้งเวลาจากการจับสัญญาณนาฬิกาในเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นนาฬิกาจะนับเวลาต่อเนื่องไป โมดูลนาฬิกาทำงานด้วยแบตเตอรี่ ข้อมูลเวลาจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ของบอร์ดอาร์ดูอิโน เพื่อบอกเวลา ณ ขณะที่ตัวรับรู้ตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลแต่ละรายการไปบันทึกในการ์ดหน่วยความจำแยกเป็นแต่ละบรรทัดเพื่อป้องกันการปะปนกันของข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธแต่ละชุดทดสอบแสดงในรูปที่ 3.3 ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ เนื่องจากข้อมูลศรเวลาและหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้จะสะสมและมีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนในตอนเช้าและตอนเย็น ทำให้ต้องมีการพัฒนาวิธีการจัดเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและสามารถรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากได้ โดยการ

ส่งข้อมูลที่เก็บได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไปเก็บไว้ที่เครื่องบริการเว็บ (Web server) ผ่านโครงข่ายระบบจีพีอาร์เอส (General Packet Radio Service : GPRS) โดยจะเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ไมโครซอฟท์เอกซ์เซลเช่นเดียวกัน ข้อมูลที่เก็บในเครื่องบริการเว็บจะถูกนำมาประมวลผลโดยการจับคู่กันของหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้ง ณ จุดต่าง ๆ บนถนน เมื่อพบหมายเลขประจำตัวของอุปกรณ์บลูทูธที่จับคู่กัน ก็จะนำตราเวลาของอุปกรณ์บลูทูธนั้นที่ตรวจจับได้โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธแต่ละตัว มาคำนวณหาเวลาที่อุปกรณ์บลูทูธนั้นใช้ในการเดินทางระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ฯ ซึ่งก็คือเวลาที่ยานพาหนะ (ที่มีอุปกรณ์บลูทูธนั้น) ใช้ในการเดินทางนั่นเอง ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการเดินทางสามารถนำมาใช้คำนวณหาความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางได้ เนื่องจากเราทราบระยะทางระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ฯ และจากค่าความเร็วเฉลี่ยเราสามารถบอกได้ถึงสภาพการจราจรบนถนนช่วงนั้น ๆ ได้



รูปที่ 3.2 : ส่วนประกอบของต้นแบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ



รูปที่ 3.3 : แผนภาพแสดงการทำงานของระบบตรวจวัดการจราจรโดยใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

3.3 การทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

การทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ ได้แก่ การทดสอบหา ระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และการทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธ เป้าหมายในยานพาหนะที่สามารถตรวจจับได้ โดยได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง สภาพแวดล้อมในเมืองซึ่งมีสัญญาณรบกวนคลื่นความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์จากอุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งผลของการเดินทางของสัญญาณจากหลายเส้นทางเนื่องจากการสะท้อน และการเลี้ยวเบนจากอาคารและสิ่งกีดขวางต่าง ๆ และสภาพแวดล้อมชานเมืองซึ่งมีสัญญาณรบกวน และผลของการเดินทางของสัญญาณจากหลายเส้นทางน้อย เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาพิจารณา ออกแบบโครงสร้างและตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในบริเวณถนน เพื่อใช้ตรวจวัด การจราจรในสภาพใช้งานจริง

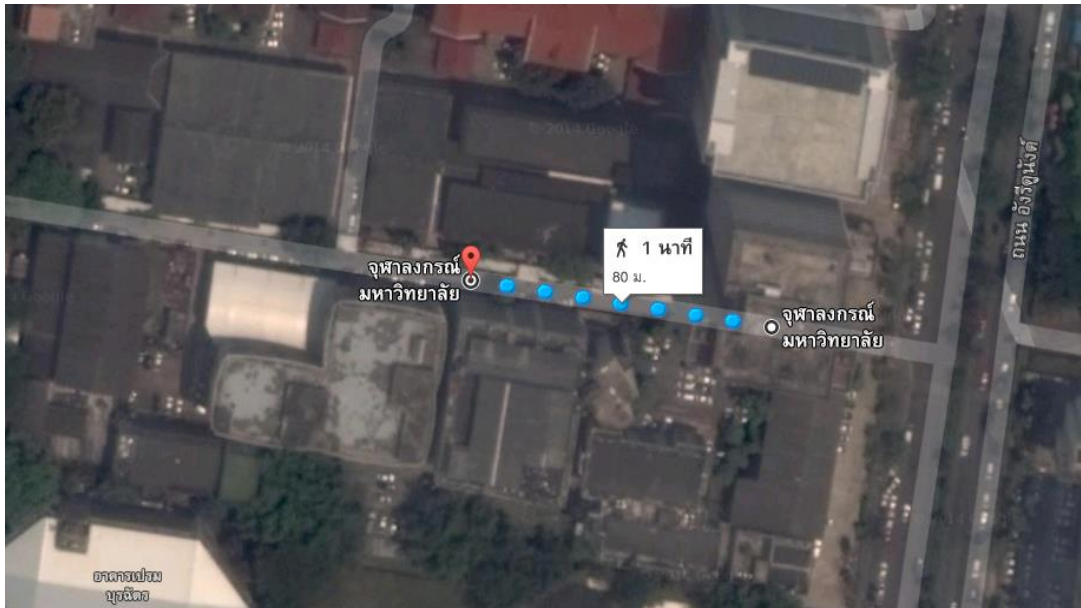
3.3.1 การทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และประเมินตำแหน่งที่เหมาะสมในการ ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และความเหมาะสมกับความกว้างของถนนที่จะนำไปติดตั้งใช้งาน

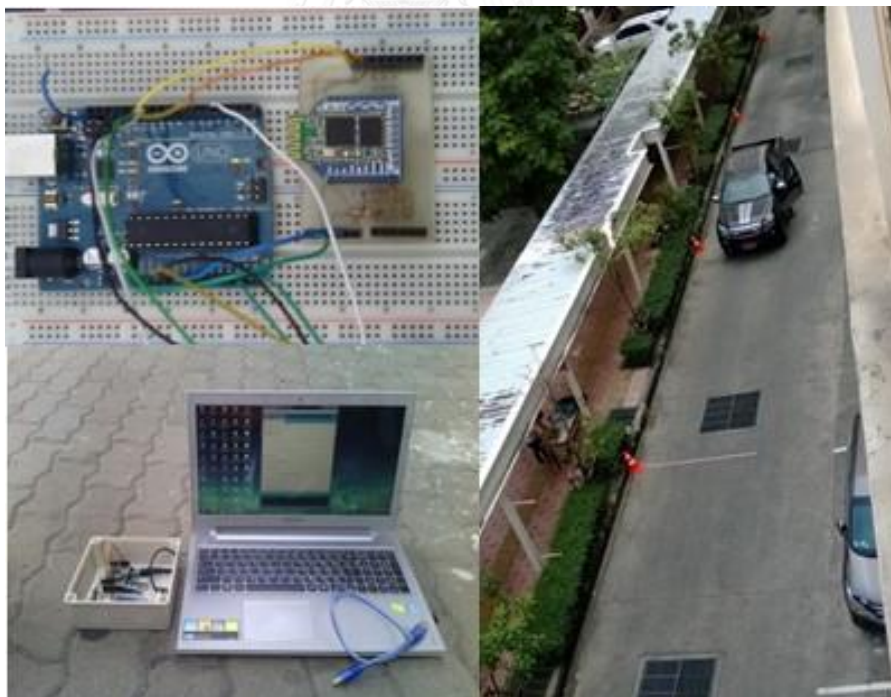
3.3.1.1 การทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบกระทำในสภาพแวดล้อมใช้งานจริงบนถนนภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ซึ่งตั้งอยู่บริเวณในเมือง ในกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในรูปที่ 3.4
2. การทดสอบใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งเปิดการทำงานของบลูทูธจำนวน 5 เครื่อง วางไว้ใน รถยนต์ที่จอดนิ่งอยู่กับที่ ประกอบด้วยทั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นเก่าและโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่น ใหม่ชนิดสมาร์ทโฟน โดยเป็นอุปกรณ์ต่างยี่ห้อและต่างรุ่นประกอบด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่น เก่าและโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นใหม่ชนิดสมาร์ทโฟน เพื่อความหลากหลายของตัวอย่าง อุปกรณ์บลูทูธที่ใช้ในการทดสอบ
3. ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธประกอบด้วยโมดูลบลูทูธที่ติดตั้งบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิ โน้ และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แสดงผลซึ่งได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5
4. การทดลองใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธตรวจจับอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ในรถยนต์ในข้อ 2 ที่ ระยะห่าง 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 และ 10 เมตร ตามลำดับ และบันทึกผลการตรวจจับ ที่ระยะต่าง ๆ ดังกล่าว โดยทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละระยะ



รูปที่ 3.4 : แผนที่แสดงสถานที่ทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด ภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.5 : การทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด ภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

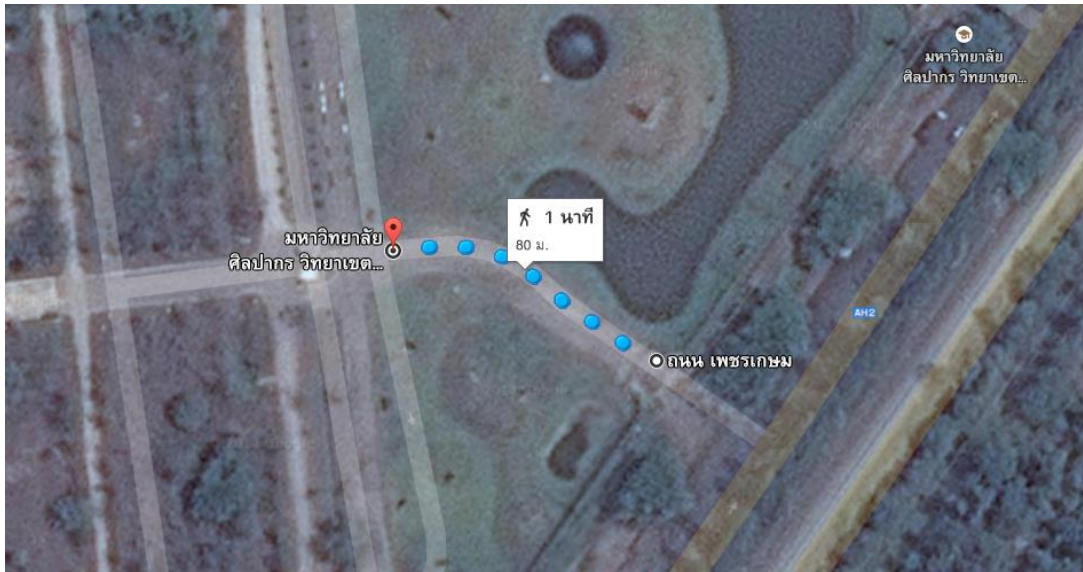
ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.1 ระยะทางไกลสุดที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะจอดนิ่งอยู่กับที่ได้คือระยะ 50 เมตร โดยสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เพียงเครื่องเดียวที่ระยะนี้ ส่วนระยะทางที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีประสิทธิภาพในการตรวจจับอยู่ในเกณฑ์ดีคือระยะ 30 เมตร ซึ่งสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เฉลี่ยประมาณ 68% และระยะที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ได้แก่ระยะ 20 เมตร

ตารางที่ 3.1 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะจอดนิ่งอยู่กับที่ที่ระยะต่างๆภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบ ระยะทาง	จำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถตรวจจับได้ (เครื่อง)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
10 เมตร	5	5	5	5	5
20 เมตร	5	5	5	4	5
30 เมตร	4	3	3	3	4
40 เมตร	2	1	2	1	1
50 เมตร	1	0	1	0	0
60 เมตร	0	0	0	0	0
70 เมตร	0	0	0	0	0
80 เมตร	0	0	0	0	0

3.3.1.2 การทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง

มีขั้นตอนการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง ดังแสดงใน 3.3.1.1 แตกต่างกันเพียงสถานที่ทำการทดสอบเป็นถนนภายในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ตำบลไร่ใหม่พัฒนา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งอยู่ในบริเวณชานเมือง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 – 3.7



รูปที่ 3.6 : แผนที่แสดงสถานที่ทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด บริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี



รูปที่ 3.7 : การทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุด ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3.2 ระยะทางไกลสุดที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่นำมาทดสอบคือ 80 เมตร โดยที่ระยะนี้สามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เพียงเครื่องเดียว ส่วนระยะทางที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีประสิทธิภาพการตรวจจับในเกณฑ์ดีคือระยะ 60 เมตร ซึ่งสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เฉลี่ยประมาณ 64% และระยะที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ 100% ได้แก่ระยะ 30 เมตร

ตารางที่ 3.2 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะจอดนิ่งอยู่กับที่ ที่ระยะต่างๆภายในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

การทดสอบ ระยะทาง	จำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถตรวจจับได้ (เครื่อง)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
10 เมตร	5	5	5	5	5
20 เมตร	5	5	5	5	5
30 เมตร	5	5	5	5	5
40 เมตร	4	4	5	5	4
50 เมตร	5	5	4	5	5
60 เมตร	4	3	4	2	3
70 เมตร	0	2	0	1	0
80 เมตร	0	0	1	0	0

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมืองและในสภาพแวดล้อมชานเมือง พบว่าในสภาพแวดล้อมชานเมือง ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้จำนวนมากกว่าที่ทุก ๆ ระยะทาง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า บริเวณในเมืองมีอาคารและสิ่งกีดขวางต่าง ๆ มาก เป็นผลให้มีการสะท้อนและการเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณจากอาคารและสิ่งกีดขวางเหล่านั้น ส่งผลให้เกิดการเดินทางของสัญญาณจากหลายเส้นทางและทำให้สัญญาณเกิดการลดทอน (Multipath fading) นอกจากนี้ อาจมีสัญญาณรบกวนของคลื่นความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์จากอุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง

ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในบริเวณริมถนน เนื่องจากมาตรฐานถนนในกรุงเทพมหานคร 1 ช่องทางจราจรมีความกว้าง 3.50 เมตร จากระยะทางตรวจจับไกลสุดที่มีประสิทธิภาพที่ระยะ 30 เมตรในสภาพแวดล้อมในเมือง บ่งชี้ว่าสามารถนำตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไปติดตั้งใช้งานบริเวณถนนที่มี 3 ช่องทางจราจรในพื้นที่กรุงเทพมหานครได้นอกจากนั้นผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีระยะตรวจจับไกลสุดประมาณ 80 เมตรในพื้นที่โล่ง

3.3.2 การทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่สามารถตรวจจับได้

3.3.2.1 การทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง

เนื่องจากการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการจราจรบนท้องถนนโดยการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือถูกพกพาในยานพาหนะที่แล่นบนท้องถนนนั้น อุปกรณ์บลูทูธดังกล่าวเคลื่อนที่ไปพร้อมกับยานพาหนะด้วยความเร็วต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจร ดังนั้น จึงมีความจำเป็นในการทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับได้ เพื่อทราบข้อจำกัดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่พัฒนาขึ้น และใช้พิจารณาว่าสามารถนำตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไปติดตั้งใช้งานตรวจวัดการจราจรบนถนนในสภาพแวดล้อมใดได้บ้าง เช่น ในเขตเมือง เขตชานเมือง บนทางด่วน ฯลฯ การทดสอบนี้กระทำบนถนนอังรีดูนังต์ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งเปิดการทำงานของบลูทูธจำนวน 5 เครื่อง ที่ต่างยี่ห้อและต่างรุ่น ประกอบด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นเก่าและโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นใหม่ชนิดสมาร์ทโฟน เช่นเดียวกับการทดลองใน 3.2.1 วางไว้ในรถยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ประมาณเท่ากับ 70, 60, 40 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยทำการทดสอบซ้ำแบบเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง การติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับการทดสอบและการแสดงผลการทดสอบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ แสดงดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 : การทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับได้บนถนนอังรีดูนังต์ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3.3 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะแล่นความเร็วต่าง ๆ บนถนนอังรีดูนังต์ ในเขตกรุงเทพมหานคร

การทดสอบ ความเร็ว	จำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถตรวจจับได้ (เครื่อง)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
20 กิโลเมตร/ชั่วโมง	4	5	5	4	5
40 กิโลเมตร/ชั่วโมง	2	4	3	3	3
60 กิโลเมตร/ชั่วโมง	1	3	3	2	2
70 กิโลเมตร/ชั่วโมง	0	0	0	0	0

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่าเมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไม่สามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ได้เลย ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เฉลี่ยประมาณ 40% ส่วนที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีประสิทธิภาพการตรวจจับดี

พอสมควร โดยสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เฉลี่ยประมาณ 60% และที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทั้งหมด

3.3.2.2 การทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมือง

พื้นที่ทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมืองได้แก่ บริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ปลอดภัยจากคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ การทดสอบใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งเปิดการทำงานบลูทูธจำนวน 5 เครื่อง ที่ต่างยี่ห้อและต่างรุ่น เช่นเดียวกับการทดลองใน 3.3.2.1 วางไว้ในรถยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ประมาณเท่ากับ 70, 60, 40 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยทำการทดสอบซ้ำแบบเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง การติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับการทดสอบและการแสดงผลการทดสอบผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ แสดงดังในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 : การทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับได้ บนถนนบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ 3.4 : ผลการทดสอบการตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในรถยนต์ขณะแล่นความเร็วต่าง ๆ
 ในบริเวณมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

การทดสอบ ความเร็ว	จำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถตรวจจับได้ (เครื่อง)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
20 กิโลเมตร/ชั่วโมง	4	5	5	4	5
40 กิโลเมตร/ชั่วโมง	5	4	5	5	5
60 กิโลเมตร/ชั่วโมง	4	3	5	4	5
70 กิโลเมตร/ชั่วโมง	3	2	4	2	2

จากผลการทดสอบซึ่งแสดงในตารางที่ 3.4 พบว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในรถยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงถึง 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยสามารถตรวจจับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เฉลี่ยประมาณ 50% จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมในเมืองและชานเมืองพบว่า ความเร็วสูงสุดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับได้ในสภาพแวดล้อมชานเมืองสูงกว่าสภาพแวดล้อมในเมือง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เนื่องจากสภาพแวดล้อมในเมืองมีอาคารสถานที่และสิ่งกีดขวางมากกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการเดินทางจากหลายเส้นทาง (Multipath fading) และอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสามารถตรวจจับได้มีค่าน้อยกว่าความเร็วสูงสุดในสภาพแวดล้อมชานเมืองซึ่งเป็นพื้นที่เปิดโล่ง

จากผลการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำไปติดตั้งใช้งานเพื่อตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธต่าง ๆ ภายในยานพาหนะที่แล่นบนท้องถนนภายในเขตพื้นที่เมืองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเส้นทางจราจรโดยทั่วไปมีความเร็วจำกัดไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจะลดลงอีกด้วย

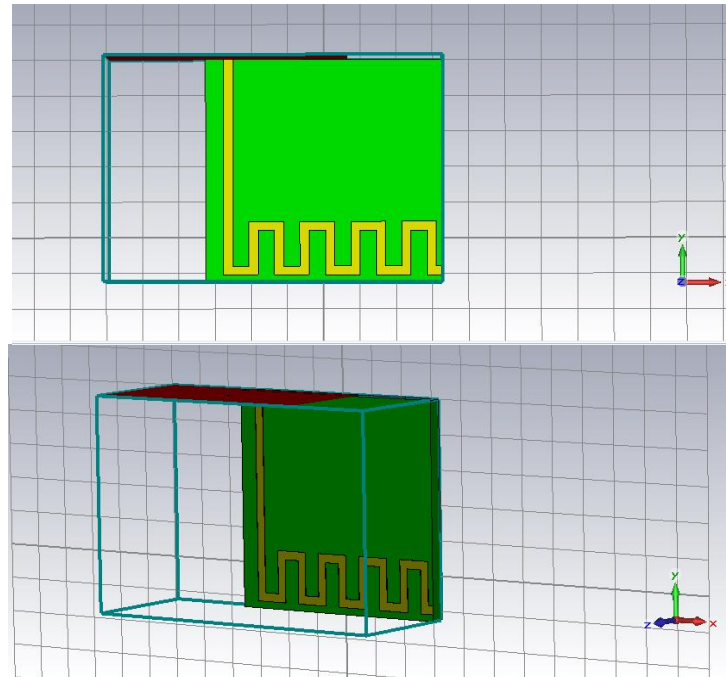
3.4 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่เหมาะสมในบริเวณเส้นทาง

จรรยาจร

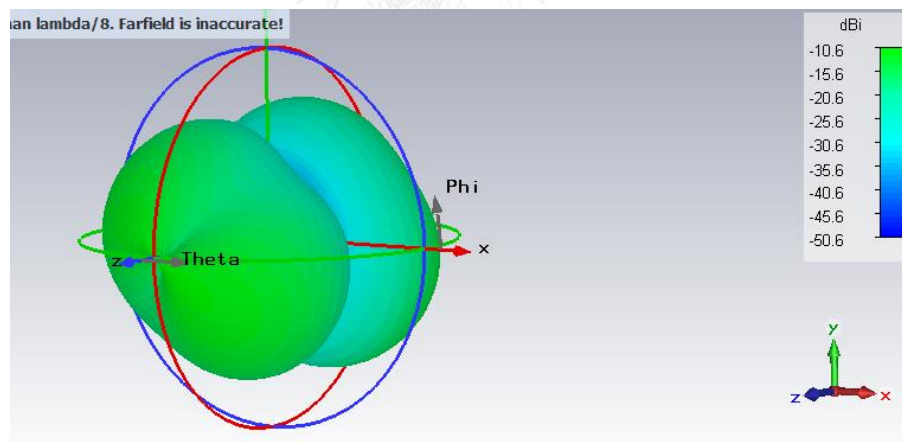
จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธใน 3.3 พบว่าหากนำตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมาติดตั้งในสภาพแวดล้อมในเมือง เช่นในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จะมีปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธทั้งที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ลดลง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในเมืองมีอาคาร สิ่งปลูกสร้าง และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการเดินทางของสัญญาณจากหลายเส้นทาง การติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในตำแหน่งที่เหมาะสม จะช่วยลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ดังนั้น จึงได้ทำการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในตำแหน่งต่าง ๆ ในบริเวณเส้นทางจรรยาจร เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีประสิทธิภาพในการตรวจจับสูงสุด โดยในการทดสอบแต่ละตำแหน่งได้ทำการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ 2 ชุดเพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบผลการทดสอบซึ่งกันและกัน

ลักษณะการจัดวางตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่เหมาะสมในการติดตั้งแต่ละตำแหน่งถูกกำหนดโดยแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยจะต้องให้ลำคลื่นหลัก (Main beam) ของสายอากาศมีทิศทางครอบคลุมเส้นทางการจราจรที่ต้องการตรวจวัด แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ใช้อ้างอิงในวิทยานิพนธ์นี้ได้จากการคำนวณโดยการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการจำลองและแก้ปัญหาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ระเบียบวิธีการหาผลตอบของสมการปริพันธ์ (Integral equation)

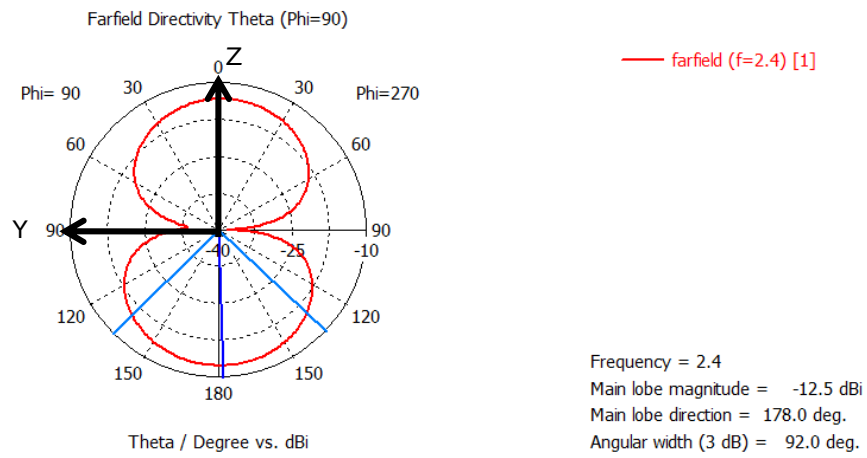
สายอากาศที่ใช้ในตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเป็นสายอากาศชนิดโมโครสตริบ แบบจำลองของสายอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำเร็จรูปแสดงดังในรูปที่ 3.10 การสร้างแบบจำลองประกอบด้วยกรวดโครงสร้างของสายอากาศ เลือกชนิดของแผ่นตัวนำและวัสดุฐานรอง และปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศตามที่ระบุในเอกสารข้อมูลคุณสมบัติของอุปกรณ์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม และคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งแสดงผลดังในรูปที่ 3.11 ในทางปฏิบัติ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศมักแสดงผลในระนาบสองมิติเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ โดยระนาบหลักในที่นี้ประกอบด้วยระนาบ Y-Z (มุมมองด้านบนของสายอากาศ) ระนาบ X-Z (มุมมองด้านข้างของสายอากาศ) และระนาบ X-Y (มุมมองด้านหน้าของสายอากาศ) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.12-3.14 ตามลำดับ



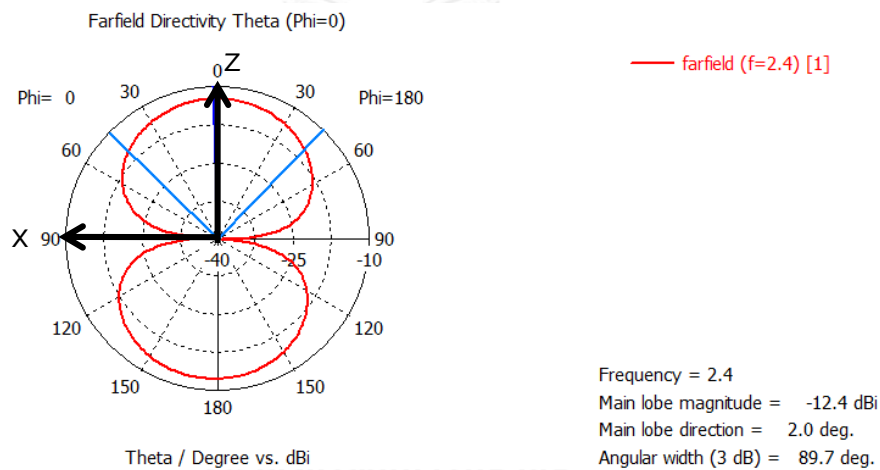
รูปที่ 3.10 : แบบจำลองสายอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำเร็จรูป



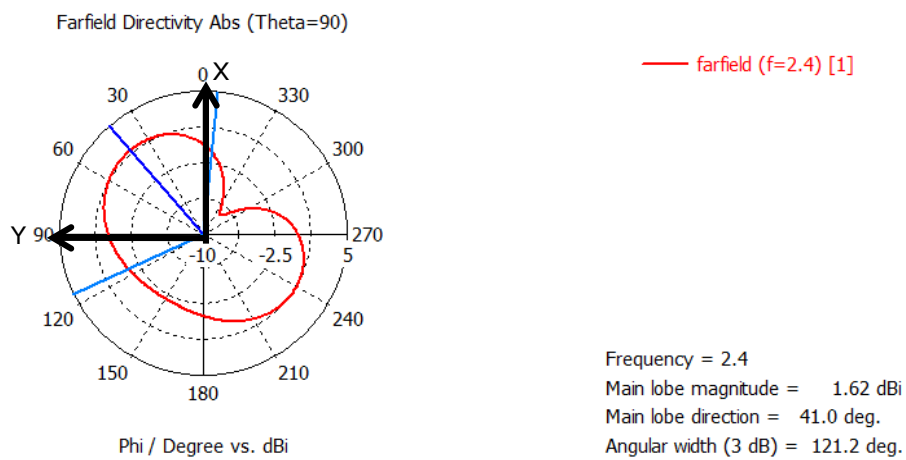
รูปที่ 3.11 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสามมิติ



รูปที่ 3.12 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ Y-Z



รูปที่ 3.13 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ X-Z



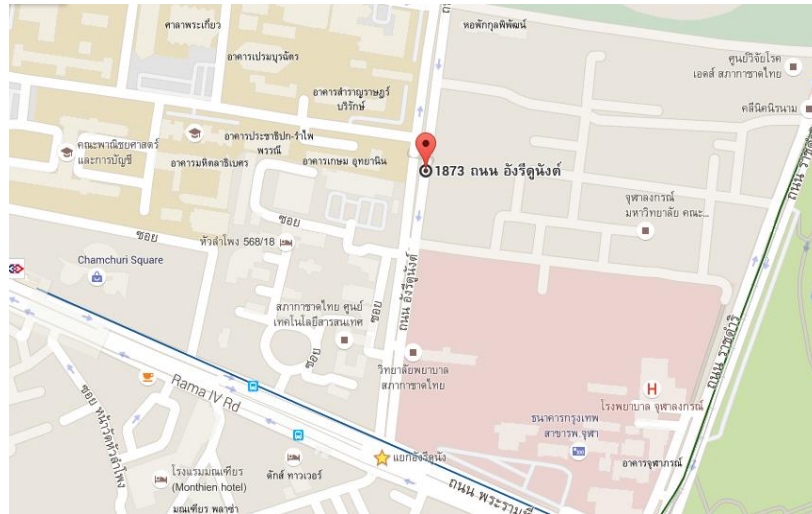
รูปที่ 3.14 : แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ X-Y

จากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพลังงานส่วนใหญ่ของสายอากาศแผ่กระจายออกไปในทิศทางด้านบนของสายอากาศ (หรือแกน Z) ซึ่งเป็นทิศทางของลำคลื่นหลัก (Main beam) ดังนั้น ลักษณะการจัดวางตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจึงควรจัดวางให้ทิศทางด้านบนของสายอากาศ (หรือแกน Z) ชี้ไปยังเส้นทางจราจร เพื่อให้สัญญาณมีความแรงมากที่สุดในทิศทางดังกล่าว และส่งผลให้การตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธบนท้องถนนมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งไม่ควรหันทิศทางในแนวแกน X และ Y ไปยังเส้นทางจราจร เพราะเป็นทิศของลำคลื่นศูนย์ (Null) ซึ่งมีปริมาณการแผ่พลังงานต่ำมาก

ตำแหน่งตัวเลือกที่ทำการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ ได้แก่ บริเวณข้างถนนและบนสะพานลอย เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สะดวกในการติดตั้งใช้งานจริง โดยในการทดสอบทำการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่เหมือนกันทุกประการจำนวน 2 ชุดที่ตำแหน่งดังกล่าวทั้งสอง และทำการทดสอบตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะบนท้องถนนพร้อมกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองชุด เส้นทางจราจรที่ทำการทดสอบได้แก่ ถนนอังรีดูนังต์ช่วงบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และถนนนราธิวาสราชนครินทร์ เหตุผลที่เลือกสองเส้นทางนี้เพราะตัดผ่านสถานที่สำคัญหลายแห่ง และมีการจราจรคับคั่ง

3.4.1 การทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนน

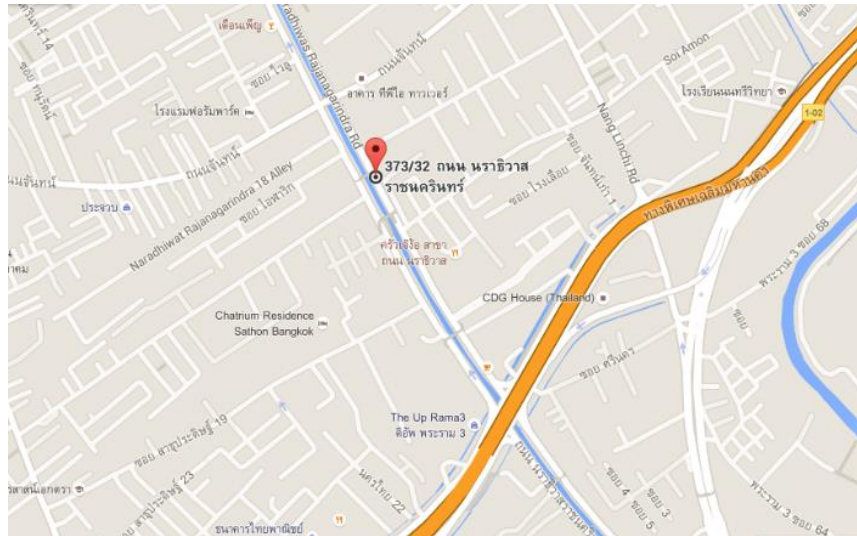
การทดสอบนี้ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนที่ระยะความสูง 1 เมตรจากพื้น โดยเลือกเส้นทางจราจร 2 เส้นทาง ได้แก่ ถนนอังรีดูนังต์บริเวณหน้าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ตรงข้ามคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.15-3.16 และถนนนราธิวาสราชนครินทร์ บริเวณปากซอยจันทร์เก่า 10 ดังแสดงในรูปที่ 3.17-3.18 โดยทำการทดสอบในช่วงเย็น ตั้งแต่เวลา 15.30 น. ถึง 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง



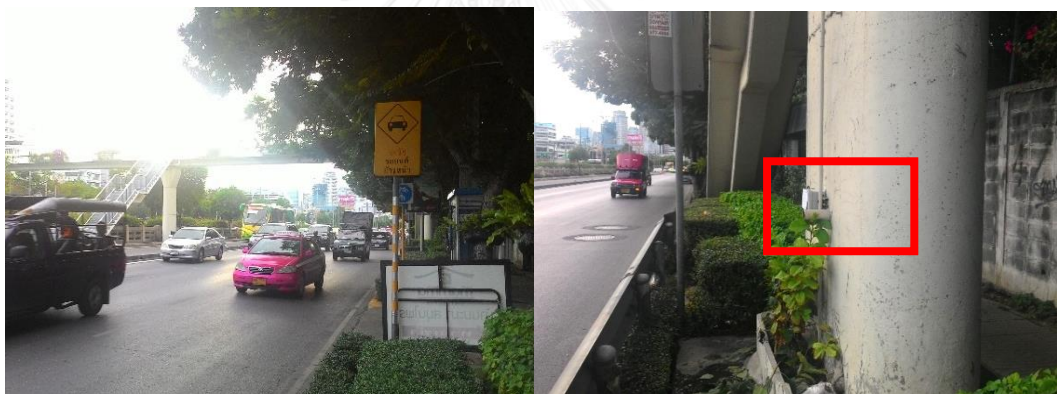
รูปที่ 3.15 : สถานที่ติดตั้งและทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนอังรีดูนังต์ บริเวณหน้า
โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์



รูปที่ 3.16 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนอังรีดูนังต์



รูปที่ 3.17 : สถานที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์



รูปที่ 3.18 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนนราธิวาสราชนครินทร์

ผลการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนในช่วงเย็น ตั้งแต่เวลา 15.30 น. ถึง 18.00 น. พบว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งข้างถนนอัจฉริยะดังกล่าวสามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ 24 ตัวในการทดสอบครั้งแรก และ 22 ตัวในการทดสอบครั้งที่สอง ส่วนตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งข้างถนนนราธิวาสราชนครินทร์สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ 15 ตัวในการทดสอบครั้งแรก และ 19 ตัวในการทดสอบครั้งที่สอง

จากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพลังงานส่วนใหญ่ของสายอากาศแผ่กระจายออกไปในทิศทางด้านบนของสายอากาศ ดังนั้น ลักษณะการจัดวางตัวรับรู้

ประเภทบลูทูธจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการตรวจจับ โดยต้องจัดวางให้ทิศทางด้านบนของสายอากาศ ซึ่งเป็นทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ไปยังเส้นทางจราจร

3.4.2 การทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอย

การทดสอบนี้ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอยบริเวณถนนอังรีดูนังต์ หน้าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ตรงข้ามคณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และบนสะพานลอยบริเวณถนนราชมรรคาในนครินทร์ ปากซอยจันทร์เก่า 10 ดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยทำการทดสอบในช่วงเย็น ตั้งแต่เวลา 15.30 น. ถึง 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง โดยติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในลักษณะยื่นออกจากสะพานลอย และจัดวางตัวให้ด้านบนของสายอากาศของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธชี้ลงไปยังเส้นทางจราจร ดังแสดงในรูปที่ 3.18-3.19



รูปที่ 3.19 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอยบริเวณถนนอังรีดูนังต์



รูปที่ 3.20 : ตำแหน่งในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนสะพานลอยบริเวณถนนราธิวาสราชนครินทร์

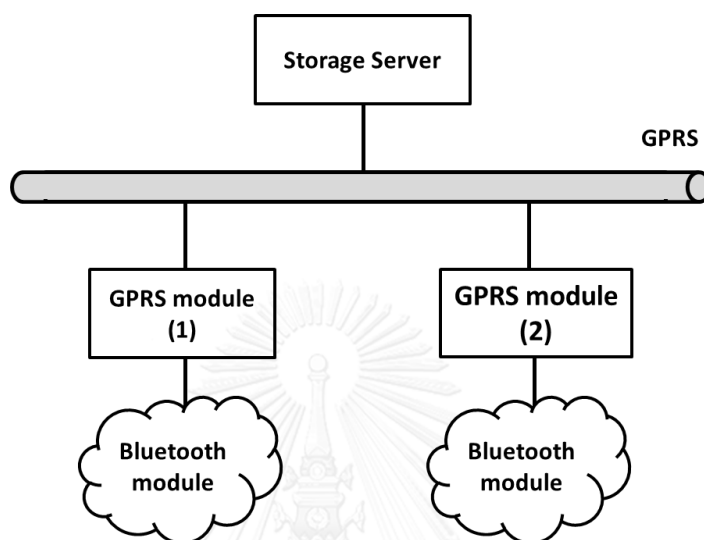
ผลการทดสอบพบว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบนสะพานลอยบริเวณถนนอังรีดูนังต์สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ 7 ตัวในการทดสอบครั้งแรก และ 5 ตัวในการทดสอบครั้งที่สอง ส่วนตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบนสะพานลอยบริเวณถนนราธิวาสราชนครินทร์สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ 3 ตัวในการทดสอบครั้งแรก และไม่สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้เลยในการทดสอบครั้งที่สอง

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนและบนสะพานลอยในเวลาเดียวกัน พบว่าการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณข้างถนนมีประสิทธิภาพในการตรวจจับดีกว่า โดยสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากสะพานลอยมีความสูง 4.5 เมตร ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบนสะพานลอยจึงอยู่ห่างจากเส้นทางจราจรมากกว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบริเวณข้างถนนที่ระยะความสูง 1 เมตรจากพื้น ซึ่งอยู่ใกล้เส้นทางจราจรมากกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพในการตรวจจับของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบริเวณข้างถนนจึงสูงกว่ากรณีที่ติดตั้งบนสะพานลอย

บทที่ 4

การพัฒนาตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ เพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพการจราจร

4.1 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 4.1 : สถาปัตยกรรมระบบงานวิทยานิพนธ์

ภาพรวมของระบบตรวจวัดการจราจรโดยใช้โครงข่ายตัวรับรู้ประเภทบลูทูธแสดงดังรูปที่ 4.1 หลักการทำงานของระบบอาศัยการทำงานของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธต่าง ๆ ที่ติดตั้งหรือถูกพกพาในยานพาหนะที่เล่นบนเส้นทางจราจร ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจะส่งข้อมูลหมายเลขประจำตัวและชื่อของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจพบไปเก็บที่หน่วยเก็บข้อมูล (Storage server) ผ่านโครงข่าย GSM (Global System for Mobile Communications) โดยใช้บริการรับส่งข้อมูลแบบ GPRS (General Packet Radio Service) เชื่อมต่อผ่านทางโมดูลจีพีอาร์เอส (GPRS module) ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลหมายเลขประจำตัวและชื่อของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้จะถูกบันทึกไว้พร้อมกับประทับตราเวลาในรูปแบบตาราง หลังจากนั้นจะทำการจับคู่ข้อมูลอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธแต่ละชุดที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ บนเส้นทางจราจรเพื่อคำนวณหาเวลาในการเดินทางและความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ในทางปฏิบัติ ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธอาจตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธแต่ละตัวได้มากกว่าหนึ่งครั้ง ในขณะที่เคลื่อนที่เข้ามาภายในระยะการตรวจจับ โดยเฉพาะในกรณีที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ชะลอตัวทำให้อาจได้ข้อมูลอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจพบซ้ำซ้อนเกิดขึ้น ในกรณีนี้จะใช้ข้อมูลเวลาแรกที่สามารถ

ตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ ณ จุดแรกบนเส้นทางจราจร และเวลาสุดท้ายที่สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธนั้นได้ ณ จุดที่สองบนเส้นทางเดียวกัน มาคำนวณหาเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ

ขั้นตอนการคำนวณหาระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนที่ตรวจวัดกระทำโดยการนำหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองชุด มาจับคู่กัน สำหรับหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์บลูทูธที่ไม่สามารถจับคู่ได้ก็จะถูกทิ้งไปและไม่นำมาคิด หลังจากนั้นก็จะคำนวณหาระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะระหว่าง 2 จุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ โดยคำนวณจากผลต่างของตราเวลา ณ ขณะที่ตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ที่แต่ละจุด ดังสมการที่ (1)

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1)$$

โดยที่

Δt คือระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะระหว่างจุดติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

t_1 คือเวลาที่อุปกรณ์บลูทูธถูกตรวจจับได้ ณ จุดแรก

t_2 คือเวลาที่อุปกรณ์บลูทูธถูกตรวจจับได้ ณ จุดที่สอง

ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนที่ตรวจวัดสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างระยะทางระหว่างจุดตรวจวัดทั้งสองและเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ดังสมการที่ (2)

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2)$$

โดยที่

v_{av} คือความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะ

Δx ระยะทางระหว่างจุดตรวจวัดทั้งสอง

Δt เวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างจุดตรวจวัดทั้งสอง

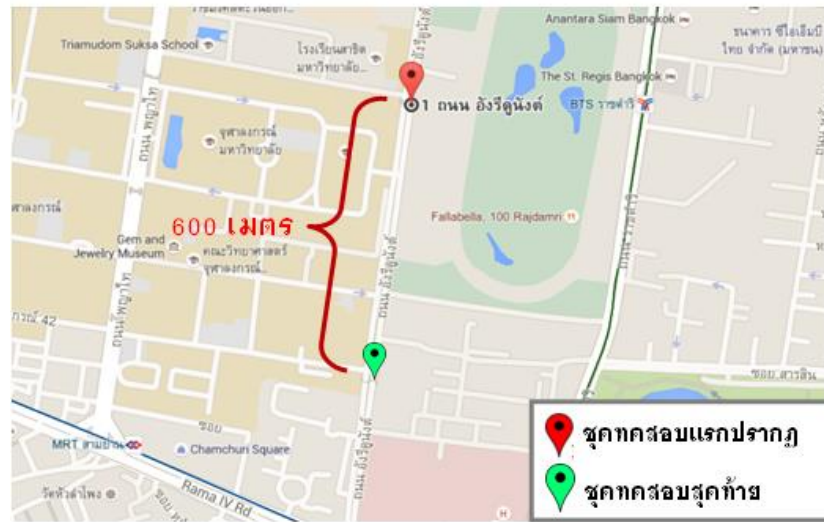
ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย ซึ่งประกอบด้วยหมายเลขช่วงถนน (Road segment ID) ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ และสภาพการจราจรบนช่วงถนนนั้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ

4.2 ผลการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในถนนจริง

การทดสอบโดยการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจำนวน 2 ชุดบนเส้นทางจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือถูกพกพาในยานพาหนะ และนำข้อมูลการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ได้ไปคำนวณเป็นสารสนเทศการจราจร จากผลการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบริเวณถนน ที่นำเสนอในบทที่ 3 นำไปสู่ข้อสรุปในการเลือกติดตั้งตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธบริเวณข้างถนนซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพการตรวจจับสูงสุด

4.2.1 การทดสอบบนถนนอังรีดูนังต์

การทดสอบนี้ได้ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจำนวน 2 ชุดบนถนนอังรีดูนังต์ช่วงบริเวณที่ผ่านจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื่องจากถนนอังรีดูนังต์ตัดผ่านสถานที่สำคัญหลายแห่ง ได้แก่ ศูนย์การค้าสยามพารากอน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน ฯลฯ ผ่านไปยังถนนพระราม 1 โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธชุดแรกติดตั้งบริเวณหน้าราชกรีฑาสโมสร และตัวรับรู้ประเภทบลูทูธชุดที่สองติดตั้งบริเวณหน้าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ระยะห่างระหว่างจุดติดตั้งทั้งสองเท่ากับ 600 เมตร การทดสอบและเก็บข้อมูลกระทำในวันทำงาน ในช่วงเย็นตั้งแต่เวลา 16.00 น. ถึง 19.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่คนส่วนใหญ่เดินทางกลับบ้าน เวลาในการเดินทางที่คำนวณได้เป็นระยะเวลาเดินทางของยานพาหนะบนถนนอังรีดูนังต์จากจุดแรกที่หน้าราชกรีฑาสโมสรถึงจุดที่สองที่หน้าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ แผนที่แสดงตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองจุดแสดงดังรูปที่ 4.2 และภาพตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในสถานที่จริงแสดงในรูปที่ 4.3



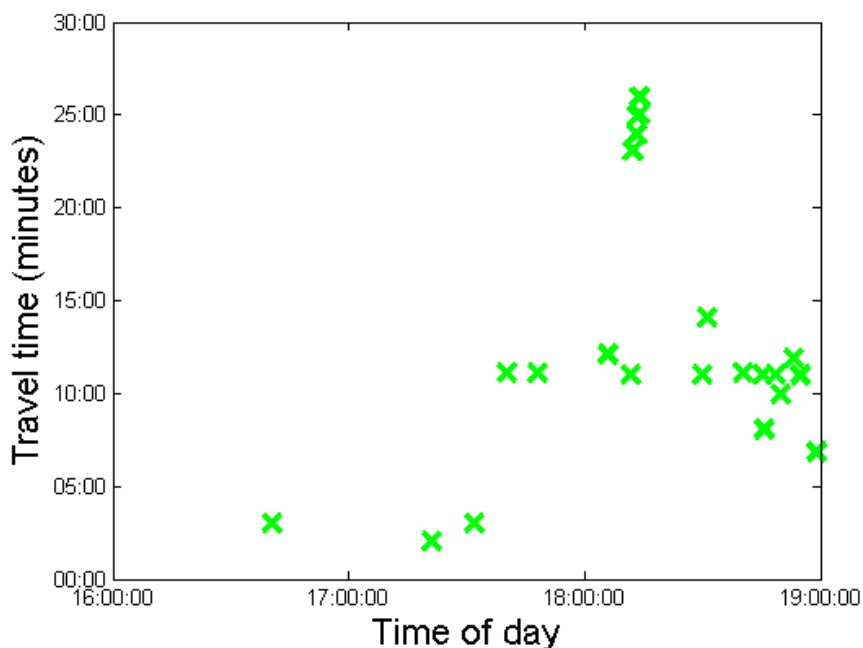
รูปที่ 4.2 : แผนที่การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบตรวจจับมลพิษบริเวณถนนอังรีดูนังต์



รูปที่ 4.3 : ตำแหน่งในการติดตั้งชุดทดสอบตัวรับรู้ประเภทมลพิษบนถนนอังรีดูนังต์

4.2.1.1 ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ

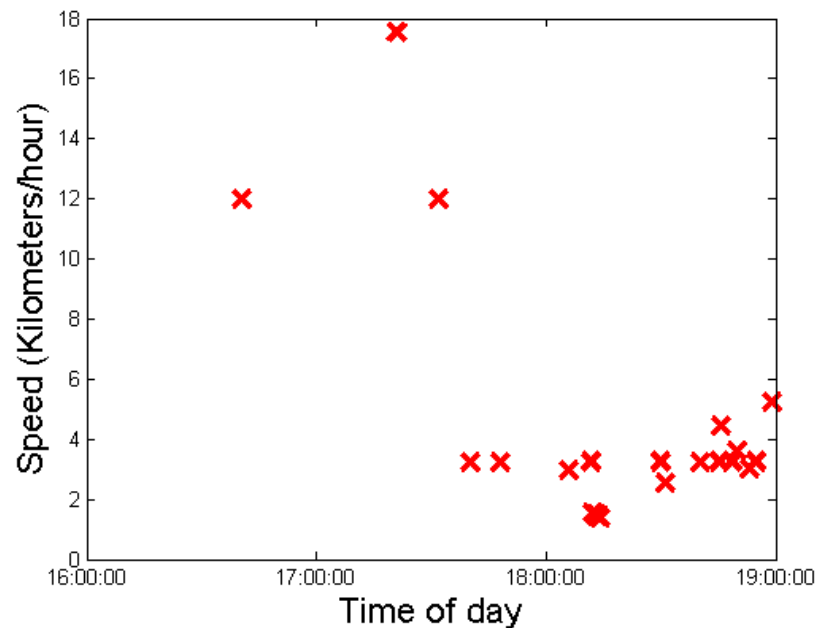
รูปที่ 4.4 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของยานพาหนะในช่วงถนนอังรีดูนังต์ระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทมลพิษ 2 จุด เป็นระยะทาง 600 เมตร ในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 19.00 น. โดยเครื่องหมายกากบาทแต่ละอันแสดงข้อมูลระยะเวลาที่คำนวณได้จากอุปกรณ์มลพิษที่ตรวจจับได้และสามารถจับคู่ได้แต่ละตัว จากผลการทดสอบสามารถจับคู่อุปกรณ์มลพิษได้ทั้งหมด 22 อุปกรณ์ จากผลที่ได้พบว่าในช่วงเวลาระหว่าง 17.30 น. ถึง 19.00 น. ยานพาหนะใช้เวลาในการเดินทางโดยเฉลี่ยนานกว่าช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 17.30 น. แสดงถึงสภาพการจราจรที่ค่อนข้างคับคั่งในช่วงเวลาดังกล่าว นอกจากนี้ ยานพาหนะใช้เวลาเคลื่อนที่บนช่วงถนนที่ทดสอบในระยะทาง 600 เมตรนานที่สุดประมาณ 26 นาที และใช้น้อยที่สุดประมาณ 2 นาที



รูปที่ 4.4 : ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนอังรีดูนังต์ จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

4.2.1.2 ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

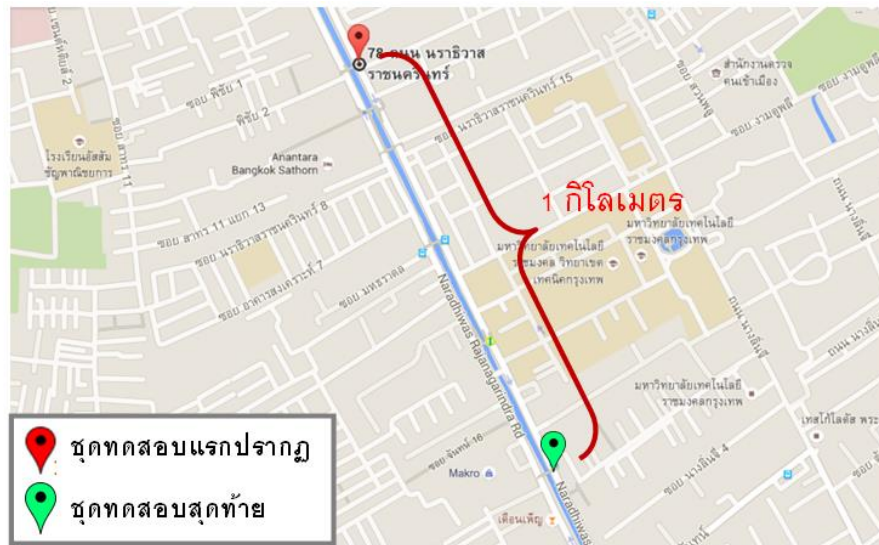
ผลการคำนวณความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะในช่วงถนนอังรีดูนังต์ระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ 2 จุด ซึ่งมีระยะทาง 600 เมตร ในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 19.00 น. แสดงในรูปที่ 4.5 โดยเครื่องหมายกากบาทแต่ละอันแสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้จากข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางของอุปกรณ์บลูทูธแต่ละตัวใน 4.2.1.1 ผลที่ได้พบว่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนอังรีดูนังต์ช่วงที่ทดสอบในช่วงเวลา 17.30 น. ถึง 19.00 น. มีค่าน้อยกว่า 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 17.30 น. ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 12-18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดในช่วงระยะเวลาที่ทดสอบประมาณ 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.5 : ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนอังรีดูนังต์ จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

4.2.2 การทดสอบบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์

การทดสอบนี้ได้ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจำนวน 2 ชุดบริเวณถนนนราธิวาสราชนครินทร์ ช่วงระหว่างถนนสาทรและถนนจันทร์ เนื่องจากถนนนราธิวาสราชนครินทร์ตัดผ่านถนนเส้นสำคัญหลายสาย ได้แก่ ถนนสาทร ถนนจันทร์ ถนนพระราม 3 และถนนรัชดาภิเษก อีกทั้งยังมีสถานที่สำคัญในบริเวณใกล้เคียง เช่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ และเซ็นทรัลพระราม 3 โดยระยะห่างระหว่างจุดติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองเท่ากับ 1 กิโลเมตร ชุดแรกติดตั้งบริเวณใกล้กับสถานีรถโดยสารประจำทางด่วนพิเศษ หรือบีอาร์ที (BRT) สถานีอาคารสงเคราะห์ ส่วนชุดที่สองติดตั้งที่บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 16.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันทำงาน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การจราจรคับคั่งเนื่องจากเป็นช่วงเวลาเดินทางกลับบ้านของคนส่วนใหญ่ แผนที่แสดงตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองจุดแสดงดังรูปที่ 4.6 และภาพตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในสถานที่จริงแสดงในรูปที่ 4.7



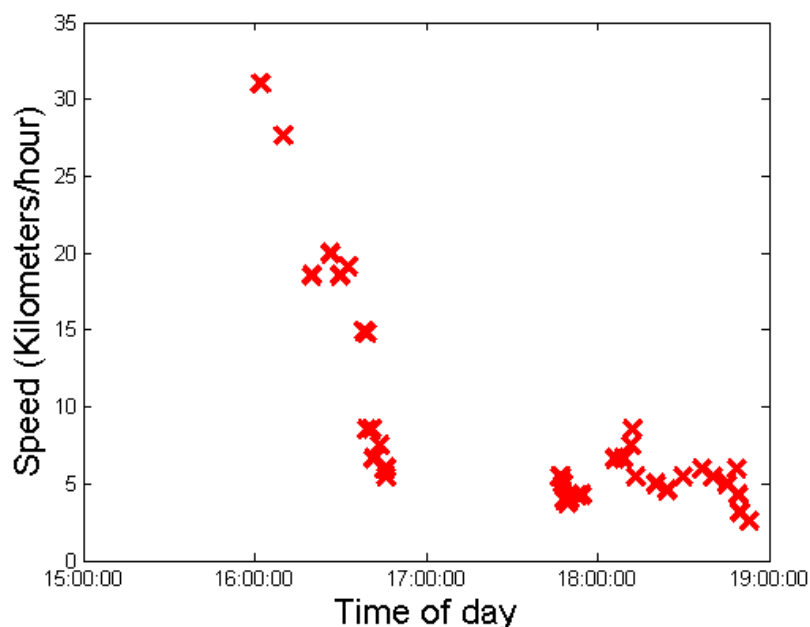
รูปที่ 4.6 : แผนที่การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบตรวจจับบลูทูธบริเวณถนนนราธิวาสราชนครินทร์



รูปที่ 4.7 : ตำแหน่งในการติดตั้งชุดทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์

4.2.2.1 ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ

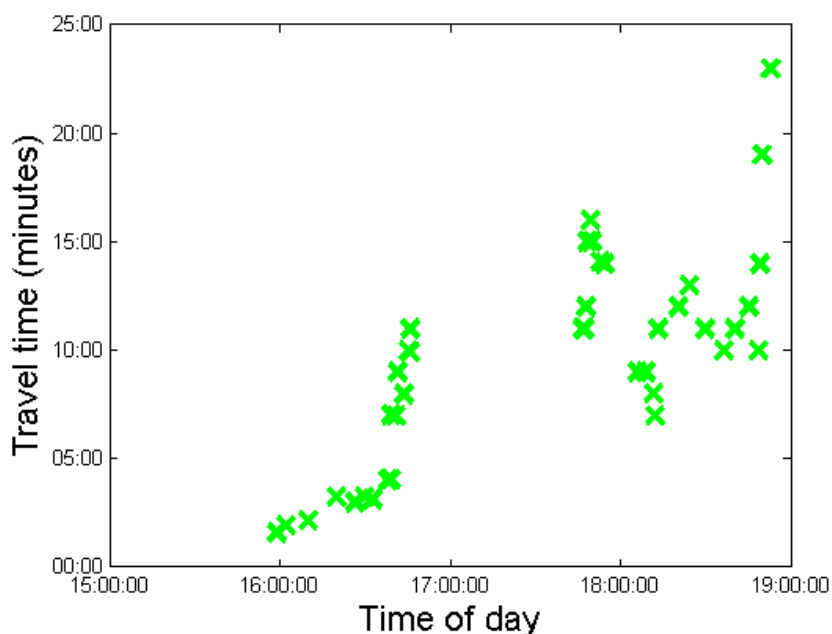
รูปที่ 4.8 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนนราธิวาสราชนครินทร์ ในระยะทาง 1 กิโลเมตร ระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ 2 จุด ในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 19.00 น. โดยกากบาทสีแดงแต่ละอันแสดงข้อมูลที่คำนวณจากอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้และสามารถจับคู่ได้แต่ละตัว จากผลการทดสอบสามารถจับคู่อุปกรณ์บลูทูธได้ 39 อุปกรณ์จากผลที่ได้พบว่าในช่วงเวลาระหว่าง 17.30 น. ถึง 19.00 น. ยานพาหนะใช้เวลาในการเดินทางโดยเฉลี่ยนานกว่าช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 17.30 น. แสดงถึงสภาพการจราจรที่ค่อนข้างคับคั่งในช่วงเวลาดังกล่าวนอกจากนั้น ยานพาหนะใช้เวลาเคลื่อนที่บนช่วงถนนที่ทดสอบในระยะทาง 1 กิโลเมตรนานที่สุดประมาณ 23 นาที และใช้น้อยที่สุดประมาณ 2 นาที



รูปที่ 4.8 : ระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะบนช่วงถนนนราธิวาสราชนครินทร์ จากการเก็บข้อมูลโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

4.2.2.2 ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

ผลการคำนวณความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะในช่วงถนนนราธิวาสราชนครินทร์ระหว่างจุดที่ติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ 2 จุด ซึ่งมีระยะทาง 1 กิโลเมตร ในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 19.00 น. แสดงในรูปที่ 4.9 โดยเครื่องหมายกากบาทแต่ละอันแสดงข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้จากข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางของอุปกรณ์บลูทูธแต่ละตัวใน 4.2.2.1 ผลที่ได้พบว่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์ช่วงที่ทดสอบในช่วงเวลา 17.30 น. ถึง 19.00 น. มีค่าน้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 17.30 น. ความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงจากประมาณ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในช่วงแรก จนถึงประมาณ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในช่วงท้าย ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.9 : ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนราธิวาสราชนครินทร์จากการเก็บข้อมูลโดย
ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ

4.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้กับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จาก มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย

ในหัวข้อ 4.2 แสดงผลการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในสภาพแวดล้อมจริงบนถนน
อังรีดูนังต์และถนนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อเก็บข้อมูลจราจรและนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลเป็น
สารสนเทศการจราจร ได้แก่ เวลาในการเดินทางของยานพาหนะและความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ
เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากตัวรับรู้
ประเภทบลูทูธ จึงทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจร
อัจฉริยะไทย โดยการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในเส้นทางและช่วงเวลาเดียวกัน
ข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยอยู่ในรูปแบบเอกซ์เอ็มแอล
(Extensible Markup Language : XML) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยข้อมูลส่วนที่นำมาใช้ในการ
เปรียบเทียบ ได้แก่

1. dateTime คือเวลาของข้อมูลแสดงในรูปแบบ YYYY-MM-DD HH:MM:SS โดยอ้างอิงเวลา
ในประเทศไทย
2. locCode คือรหัสตำแหน่งบนท้องถนนในกรุงเทพมหานคร สามารถค้นหารหัสได้ที่
loctabla.longdo.com ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ถนนอังรีดูนังต์ ซึ่งใช้ข้อมูลจากช่วง

ถนนมีรหัสตำแหน่ง 27007 และ 27006 ส่วนถนนนราธิวาสราชนครินทร์ ใช้ข้อมูลจากช่วงถนนมีรหัสตำแหน่ง 28004 และ 29007 แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

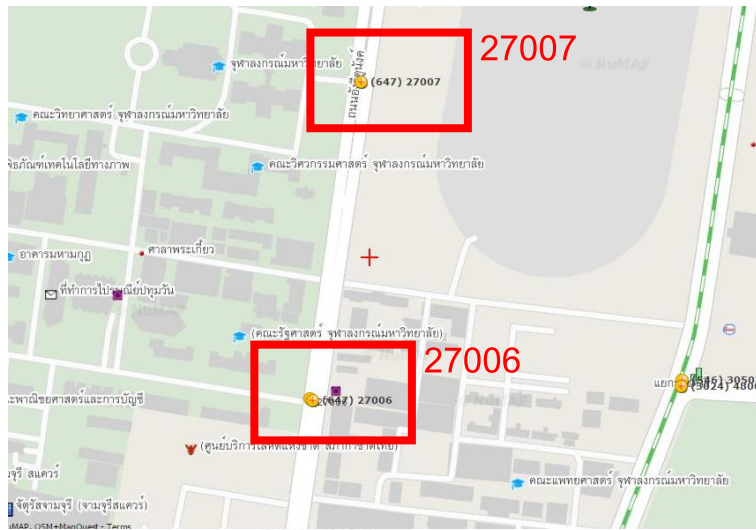
3. Quantity คือการแสดงสถานะการจราจรบนถนนเส้นนั้นๆ โดยแบ่งสถานะการจราจรออกเป็น 3 ระดับได้แก่
 - หมายเลข 1 หมายถึงสภาพการจราจรเบาบาง ความเร็วของยานพาหนะมากกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงด้วยเส้นสีเขียวในแผนที่
 - หมายเลข 2 หมายถึงสภาพการจราจรหนาแน่น ความเร็วของยานพาหนะ 15-25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงด้วยเส้นสีเหลืองในแผนที่
 - หมายเลข 3 หมายถึงสภาพการจราจรคับคั่ง ความเร็วของยานพาหนะน้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงด้วยเส้นสีแดงบนแผนที่
4. UnitOfMeasure คือจำนวนของยานพาหนะที่ติดตั้งระบบระบุพิกัดบนพื้นโลก เครื่องที่ในช่วงถนน
5. LinkSpeed คือความเร็วของยานพาหนะในช่วงถนน มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง
6. Description คือชื่อของรหัสตำแหน่งบนแผนที่

```

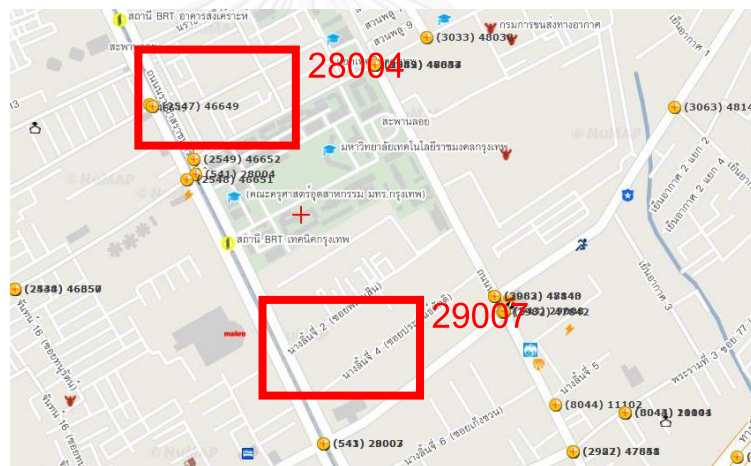
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <TrafficStatus>
  - <TrafficMessage>
    - <Preamble>
      <eventId>I8530676734</eventId>
      <dateTime>2015-06-10 17:30:02</dateTime>
      <resultOf>0</resultOf>
    </Preamble>
    - <Location>
      <Version>2.0</Version>
      - <Segment>
        - <From>
          <locCode>27007</locCode>
          <offset>260</offset>
          <direction>negative</direction>
        </From>
        - <To>
          <locCode>27006</locCode>
          <offset>0</offset>
          <direction>positive</direction>
        </To>
      </Segment>
    </Location>
    - <Event>
      <EventCode>A12</EventCode>
      <QuantType>51</QuantType>
      <Quantity>3</Quantity>
      <UnitOfMeasure>0</UnitOfMeasure>
      <LinkSpeed>10</LinkSpeed>
    </Event>
    - <Temporal>
      <StartAt>2015-06-10 17:30:02</StartAt>
      <Period>0</Period>
      <UnitOfMeasure>dyn</UnitOfMeasure>
    </Temporal>
    <Description>Henri Dunant Rd.,H,Political Science Chula,Chulalongkorn University</Description>
  </TrafficMessage>

```

รูปที่ 4.10 : รูปแบบข้อมูลสารสนเทศการจราจรจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย

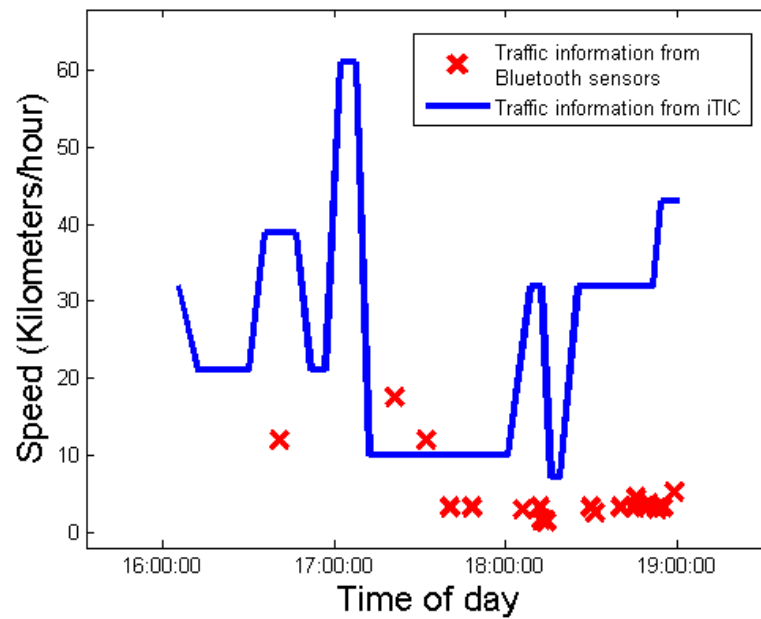


รูปที่ 4.11 : แผนที่แสดงตำแหน่งช่วงถนนรหัส 27007 และ 27006 บนถนนอังรีดูนังต์



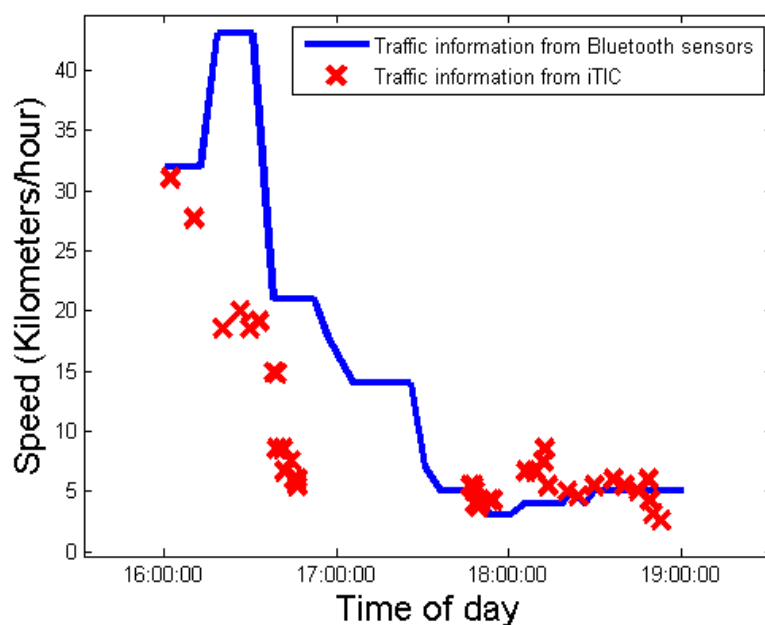
รูปที่ 4.12 : แผนที่แสดงตำแหน่งช่วงถนนรหัส 28004 และ 29007 บนถนนนราธิวาสราชนครินทร์

ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนอังรีดูนังต์ ระหว่างตำแหน่งรหัส 27007 ชื่อตำแหน่งถนนอังรีดูนังต์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และตำแหน่งรหัส 27006 ชื่อตำแหน่งถนนอังรีดูนังต์ คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 : ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนอังรีดูนังต์ช่วงที่ทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนนราธิวาสราชนครินทร์ ระหว่างตำแหน่งรหัส 28004 ชื่อตำแหน่งซอยนราธิวาสราชนครินทร์ 10 ถนนนราธิวาสราชนครินทร์ ถึงตำแหน่งรหัส 29007 ชื่อตำแหน่งทางแยกถนนจันทร์ตัดถนนนราธิวาสราชนครินทร์ แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 : ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์ช่วงที่

ทดสอบ

จากผลการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนเส้นทางจราจรทั้งสองเส้นทางดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ข้างต้น พบว่าข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธและที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แม้ว่าค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากสองแหล่งไม่ได้เท่ากันทุกจุด ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากความผิดพลาดในการวัดระยะทางระหว่างจุดติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองจุด เนื่องจากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีรัศมีการตรวจจับที่กว้างพอสมควร โดยจากการทดสอบในบทที่ 3 พบว่าระยะตรวจจับที่มีประสิทธิภาพดีในสภาพแวดล้อมในเมืองเท่ากับ 20-30 เมตร ดังนั้น ณ ขณะที่อุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะถูกตรวจพบโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ ยานพาหนะอาจไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่เข้าใกล้ตัวรับรู้ฯ มากที่สุดพอดี จึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการระบุระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ระหว่างจุดที่อุปกรณ์บลูทูธถูกตรวจพบสองจุด ซึ่งในการคำนวณความเร็วเฉลี่ยใช้ระยะทางระหว่างจุดติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธทั้งสองจุดในการคำนวณ ดังนั้นจึงอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนของความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ นอกจากนั้น ความแตกต่างของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากทั้งสองแหล่ง อาจเกิดจากจำนวนตัวแทนยานพาหนะบนท้องถนนที่ถูกตรวจวัดอาจไม่เท่ากัน จำนวนยานพาหนะที่ถูกตรวจวัดโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธขึ้นกับจำนวนอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือถูกพบภายในยานพาหนะและเปิดใช้งาน ส่วนข้อมูลจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยใช้วิธีการตรวจวัดโดยใช้ 2 วิธีการโดยมูลนิธิทำหน้าที่เป็นศูนย์รวบรวมข้อมูลสารสนเทศจราจรจากภาครัฐและภาคเอกชน ซึ่งข้อมูล

ดังกล่าวได้รวบรวมมาจากหลากหลายแหล่ง โดยเฉพาะข้อมูลจากการติดตั้งจีพีเอส ได้แก่ข้อมูล จีพีเอสที่ติดตั้งในรถแท็กซี่ และจีพีเอสจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ ข้อมูลจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่ติดตั้งอยู่บริเวณสี่แยกจากกรุงเทพมหานคร รวมถึงข้อมูลจากหน่วยงานอื่นๆ นอกจากนี้ข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่เผยแพร่ได้เพิ่มเติมรายละเอียด เหตุการณ์ต่างๆ เช่น กิจกรรม หรือ อุบัติเหตุ เพื่อให้ผู้รับข้อมูลสามารถตัดสินใจการเดินทางได้อย่างถูกต้อง (ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลเส้นสีจราจรคือข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งจีพีเอส และกล้องโทรทัศน์วงจรปิดเท่านั้น) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธบนท้องถนนในวิทยานิพนธ์นี้แล้ว ข้อมูลที่ประมวลผลจากการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธมีความแน่นอนกว่า เนื่องจากข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้มาเกิดจากการคำนวณจากอุปกรณ์บลูทูธที่อยู่บนท้องถนนจริง แต่เนื่องจากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีข้อจำกัดบางอย่างที่ทำให้ผลการทดลองขาดหายไปเนื่องจากไม่สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ แต่ถ้าในอนาคตจะนำข้อมูลสารสนเทศการจราจรไปรวมประมวลผลกับกรรมวิธีอื่นๆ ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์กับผู้ต้องการข้อมูล

4.4 การประเมินสารสนเทศการจราจรจากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเทียบกับสารสนเทศจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย

จากผลการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในถนนจริง บนเส้นทางจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือพกพาในยานพาหนะ และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาสารสนเทศการจราจร อันประกอบด้วยระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ และความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะ และนำความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของยานพาหนะไปเปรียบเทียบกับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย นอกจากผลการเปรียบเทียบดำเนินไปในแนวทางเดียวกัน และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจึงทำการประเมินระบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในหลายแง่มุม

4.4.1 จำนวนแหล่งข้อมูล (Data point) บนท้องถนน

จากการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ในถนนจริงใช้เวลาในการทดสอบ 4 ชั่วโมง โดยการติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจำนวน 2 จุดติดตั้งบนท้องถนน และแต่ละจุดติดตั้งจะทำการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือพกพาในยานพาหนะที่เข้ามาในระยะตรวจจับของตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธ โดยในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธบนถนนจริงนั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยไปพร้อมกัน เพื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนแหล่งข้อมูลบนท้องถนน โดยข้อมูลจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยนั้นได้ข้อมูลสารสนเทศการจราจรจากการติดตั้งอุปกรณ์ระบบระบุพิกัดบนพื้นโลกบนรถโดยสารส่วนบุคคล ร่วมกับข้อมูลจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เปิด

การทำงานของโปรแกรมสำเร็จประยุกต์ (Application) ของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย โปรแกรมสำเร็จประยุกต์ดังกล่าวจะทำการส่งพิกัด และข้อมูลความเร็วของยานพาหนะขณะนั้นไปที่เครื่องบริการมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย จากนั้นจะทำการจัดการข้อมูลที่ได้โดยการแบ่งความเร็วของยานพาหนะลงบนช่วงถนน ส่วนของข้อมูลจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยที่ใช้ในการเปรียบเทียบแหล่งข้อมูลคือ UnitOfMeasure ในหัวข้อที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบในช่วงเวลาทำการทดสอบคือในช่วงเวลาทำการทดสอบ 4 ชั่วโมงบนถนนอังรีดูนังต์นั้นจำนวนแหล่งข้อมูลที่ได้จากระบบระบุพิกัดบนพื้นโลกนั้นมีจำนวน 3 จุด ส่วนบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์มีจำนวนแหล่งข้อมูลจากระบบระบุพิกัดบนพื้นโลกจำนวน 2 จุด หากในช่วงเวลานั้นไม่มีแหล่งข้อมูลจากระบบระบุพิกัดบนพื้นโลกที่ติดตั้งในยานพาหนะผ่านเข้ามาในช่วงถนนแล้ว มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยจะทำการประเมินสภาพการจราจรโดยใช้ภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดในการประเมิน เมื่อเทียบกับจำนวนแหล่งข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธซึ่งมีจำนวนแหล่งข้อมูลในแต่ละชุดทดสอบประมาณ 90 จุดบนถนนอังรีดูนังต์ และประมาณ 120 จุดบนถนนนราธิวาสราชนครินทร์ จากผลการเปรียบเทียบแหล่งข้อมูลแสดงให้เห็นว่าข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธมีความถูกต้องแม่นยำกว่า เนื่องจากแหล่งข้อมูลมีจำนวนมากกว่า

4.4.2 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธบนท้องถนน

ในการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจำนวน 2 จุดติดตั้งบนท้องถนน และแต่ละชุดติดตั้งจะทำการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือพกพาในยานพาหนะที่เข้ามาในระยะตรวจจับของตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธ ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ 1 จุดติดตั้งประกอบด้วย บลูทูธโมดูล จีพีอาร์เอสโมดูล บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน้ และแบตเตอรี่จ่ายพลังงาน ราคาของอุปกรณ์ทั้งหมดในชุดตัวรับรู้ประเภทบลูทูธและกล่องที่ใช้ในการติดตั้งประมาณ 3,000 บาท แต่ถ้าต้องการเก็บข้อมูลแบบออฟไลน์หรือเก็บข้อมูลโดยใช้การ์ดความจำราคาของอุปกรณ์ทั้งหมดในชุดตัวรับรู้ประเภทบลูทูธและกล่องที่ใช้ในการติดตั้งประมาณ 1,300 บาท ซึ่งถ้าทำการเปรียบเทียบกับระบบของมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทยซึ่งทำการติดตั้งระบบระบุพิกัดบนพื้นโลกในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลจำนวน 500 คัน และยังมีค่าใช้จ่ายในดูแลและซ่อมบำรุงในแต่ละเดือน นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดบนถนน ซึ่งมีราคาสูงมากต่อจุดติดตั้ง จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่คุ้มค่า และได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องด้วย

4.4.3 การวัดค่าความแรงสัญญาณ (Received Signal Strength Indication : RSSI)

เพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ สามารถเพิ่มรายละเอียดที่เป็นประโยชน์จากการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือพกพาในยานพาหนะที่เข้ามาในระยะตรวจจับ

ของตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธ โดยนอกจากข้อมูลการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธบนท้องถนน ประกอบด้วย หมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ และชื่ออุปกรณ์บลูทูธแล้วยังสามารถเพิ่มค่าความแรงสัญญาณของ อุปกรณ์บลูทูธได้ด้วย ค่าความแรงของสัญญาณเป็นค่าที่วัดความเข้มของสัญญาณที่ปล่อยออกมาจาก อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย สามารถนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ที่อยู่ภายในระยะตรวจจับ หาก ค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้ติดลบเป็นจำนวนน้อย แสดงว่าระดับความเข้มของสัญญาณที่ปล่อย ออกมานั้นมีค่ามาก แต่ถ้าหากค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้ติดลบมากแสดงว่าระดับความเข้มของ สัญญาณที่ปล่อยออกมานั้นมีค่าน้อย และเพื่อเพิ่มความถูกต้องให้กับตัวรับรู้ประเภทบลูทูธนั้น ใน ขั้นตอนการจับคู่หมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ หากอุปกรณ์บลูทูธถูกตรวจจับได้หลายครั้งจะทำการ เลือกละหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ที่มีค่าความแรงสัญญาณมากมาทำการจับคู่ เพื่อลดความผิดพลาดใน การคำนวณสารสนเทศการจราจร



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาและทดสอบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธซึ่งเป็นอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายตามมาตรฐาน Bluetooth/IEEE802.15.1 ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อทำหน้าที่ตรวจวัดสภาพการจราจร โดยการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือถูกพกพาในยานพาหนะที่แล่นในเส้นทางจราจร ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปประมวลผลเป็นสารสนเทศการจราจร ได้แก่ เวลาในการเดินทางของยานพาหนะ และความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธประกอบด้วยโมดูลบลูทูธที่ทำงานโดยรับคำสั่งจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน้ และโมดูลจีพีอาร์เอสที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย GSM ด้วยบริการ GPRS เพื่อส่งข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไปเก็บบันทึกและประมวลผลที่เครื่องบริการเว็บ โดยข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ไมโครซอฟท์เอกซ์เซล ประกอบด้วย หมายเลขประจำตัวและชื่อของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้ และตราเวลา ณ ขณะที่ตรวจพบอุปกรณ์บลูทูธนั้น ๆ

ในบทที่ 3 ได้นำเสนอการทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบหาระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเมื่ออุปกรณ์บลูทูธที่ถูกตรวจจับอยู่ในยานพาหนะที่จอดอยู่หนึ่ง และทำการทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธภายในยานพาหนะที่สามารถตรวจจับได้ ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างสภาพแวดล้อมในเมือง ซึ่งอาจมีสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์จากอุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง และรายล้อมไปด้วยอาคารสถานที่และสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการเดินทางของสัญญาณจากหลายเส้นทาง และสภาพแวดล้อมชานเมือง ซึ่งปราศจากสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และเป็นพื้นที่เปิดโล่ง จากผลการทดสอบพบว่าระยะตรวจจับไกลสุดของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในสภาพแวดล้อมในเมืองเท่ากับ 50 เมตร และในสภาพแวดล้อมชานเมืองเท่ากับ 80 เมตร ส่วนผลการทดสอบหาความเร็วสูงสุดของอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะที่สามารถตรวจจับได้ในสภาพแวดล้อมในเมืองเท่ากับ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในสภาพแวดล้อมชานเมืองเท่ากับ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบหาดำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบตัวรับรู้ประเภทบลูทูธในสภาพแวดล้อมจริงบริเวณท้องถนนในเขตกรุงเทพมหานคร โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งติดตั้งบริเวณข้างถนนและบนสะพานลอย ในบริเวณถนนอังรีดูนังต์และถนนนราธิวาสราชนครินทร์ ผลการทดสอบพบว่าตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบริเวณข้างถนนตรวจพบอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะได้มากกว่าตัวรับรู้

ประเภทบลูทูธที่ติดตั้งบนสะพานลอยซึ่งมีความสูงประมาณ 4.5 เมตร ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งบนสะพานลอยอยู่ห่างจากช่องทางจราจรมากกว่าตำแหน่งติดตั้งบริเวณข้างถนน อีกทั้งสัญญาณส่วนหนึ่งถูกลดทอนโดยกล่องที่ใส่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับลดลง

ในบทที่ 4 ได้ทำการทดสอบติดตั้งตัวรับรู้ประเภทบลูทูธจำนวน 2 ชุดบนถนนในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อตรวจจับและเก็บข้อมูลอุปกรณ์บลูทูธที่อยู่ในยานพาหนะที่แล่นบนถนน และนำข้อมูลที่ได้ออกไปประมวลผลเป็นสารสนเทศการจราจร ได้แก่ เวลาในการเดินทางของยานพาหนะ และความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนช่วงถนนที่ทำการทดสอบ และนำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลสารสนเทศการจราจรที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูลสภาพการจราจรที่ตรวจวัดโดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นความสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากทั้งสองแหล่งมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แม้ว่าค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะมีความคลาดเคลื่อนกันบ้าง ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างได้อธิบายในบทที่ 4 นอกจากนี้ มีบางช่วงเวลาที่ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไม่สามารถตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธในยานพาหนะได้ ทำให้ข้อมูลในช่วงเวลานั้นขาดหายไปเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย และในส่วนของ การประเมินระบบวัดสภาพการจราจรที่ใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ สามารถประเมินในหลายแง่มุม เช่น การวัดค่าความแรงสัญญาณ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวรับรู้อุปกรณ์บลูทูธบนท้องถนน และจำนวนแหล่งข้อมูลบนท้องถนน ซึ่งเมื่อสรุปภาพรวมแล้วตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะสมในการสร้างสารสนเทศการจราจร

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพการจราจรโดยใช้ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้นในอนาคต ได้แก่

1. การติดตั้งสายอากาศแบบภายนอก (External antenna) ที่มีอัตราขยาย (Gain) สูงกว่าสายอากาศภายในตัว (On-board antenna) เพื่อเพิ่มสมรรถนะของตัวรับรู้ประเภทบลูทูธให้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธได้ระยะทางไกลขึ้น
2. การใช้โครงข่ายสื่อสารทางเลือกอื่นในการส่งข้อมูลจากตัวรับรู้ประเภทบลูทูธไปยังเครื่องบริการเว็บส่วนกลาง ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และ/หรือ มีค่าใช้จ่ายน้อยลง
3. ใช้ค่าความแรงสัญญาณที่ได้จากการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธเป็นค่าในการเลือกหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์บลูทูธมาทำการจับคู่เพื่อลดค่าความผิดพลาดในการคำนวณหาสารสนเทศการจราจร

4. เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดใหม่ที่สามารถประมวลผลได้เร็วสำหรับทำหน้าที่ประมวลผลระหว่างตัวรับรู้ประเภทบลูทูธ และจีพีอาร์เอสโมดูล เพื่อลดระยะเวลาในการประมวลผลและส่งข้อมูลในแต่ละครั้ง
5. การพัฒนาขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการจับคู่อุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจจับได้โดยตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ติดตั้ง ณ จุดต่าง ๆ และการคำนวณระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะและความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น
6. การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ (Application program) ที่มีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface) ที่มีการแสดงผลที่เข้าใจง่าย และผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและสะดวกเร็วขึ้น



รายการอ้างอิง

1. Levy, J.I., J.J. Buonocore, and K. Von Stackelberg, *Evaluation of the public health impacts of traffic congestion: a health risk assessment*. Environmental Health, 2010. **9**(65): p. 1-12.
2. Kurdi, H.A., *Review of Closed Circuit Television (CCTV) Techniques for Vehicles Traffic Management*.
3. Kurdi, H.A. *Survey on Traffic Control using Closed Circuit Television (CCTV)*. in *The International Conference on Digital Information Processing, E-Business and Cloud Computing (DIPECC2013)*. 2013. The Society of Digital Information and Wireless Communication.
4. Pattara-Atikom, W., P. Pongpaibool, and S. Thajchayapong. *Estimating road traffic congestion using vehicle velocity*. in *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*. 2006. IEEE.
5. Padmavathi, G., D. Shanmugapriya, and M. Kalaivani, *A study on vehicle detection and tracking using wireless sensor networks*. Wireless Sensor Network, 2010. **2**(02): p. 173.
6. Sringiwai, K., et al., *RFID-based travel time estimation: development case in Bangkok*. 15th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, 2010: p. 139-146.
7. Panichpapiboon, S. and W. Pattara-Atikom. *An analysis of GPS sampling rates required in travel time estimation*. in *Vehicular Networking Conference (VNC), 2009 IEEE*. 2009. IEEE.
8. Kumar, S.V., L. Vanajakshi, and S.C. Subramanian. *A model based approach to predict stream travel time using public transit as probes*. in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE*. 2011. IEEE.
9. Simon, H. and H. Robert. *Bluetooth tracking without discoverability*. in *Proceedings of the 4th international symposium on location and context awareness*. 2009.

10. Ahmed, H., et al. *A wireless mesh network-based platform for ITS*. in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. 2008. IEEE.
11. Agrawal, L. and D. Toshniwal. *Smart Phone Based Indoor Pedestrian Localization System*. in *Computational Science and Its Applications (ICCSA), 2013 13th International Conference on*. 2013. IEEE.
12. Subhan, F. and H.B. Hasbullah. *Minimizing discovery time in bluetooth networks using localization techniques*. in *Information Technology (ITSim), 2010 International Symposium in*. 2010. IEEE.
13. Utsch, P. and T. Liebig. *Monitoring microscopic pedestrian mobility using bluetooth*. in *Intelligent Environments (IE), 2012 8th International Conference on*. 2012. IEEE.
14. Versichele, M., et al. *Intelligent event management with bluetooth sensor networks*. in *Intelligent Environments (IE), 2012 8th international conference on*. 2012. IEEE.
15. Friesen, M., et al., *Vehicular Traffic Monitoring Using Bluetooth Scanning Over a Wireless Sensor Network*. *Electrical and Computer Engineering, Canadian Journal of*, 2014. **37**(3): p. 135-144.
16. Friesen, M., et al. *Vehicular traffic monitoring using Bluetooth*. in *Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2013 26th Annual IEEE Canadian Conference on*. 2013. IEEE.
17. Klinkusoom, L., C. Aswakul, and P. Janpugdee, *Bluetooth Sensors for Vehicular Traffic Monitoring*. *The 29th International Technical Conference on Circuit/Systems Computers and Communication (ITC-CSCC) 2014*.
18. Stange, H., et al. *Analytical workflow of monitoring human mobility in big event settings using bluetooth*. in *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL international workshop on indoor spatial awareness*. 2011. ACM.
19. Shorey, R. and B.A. Miller. *The Bluetooth technology: merits and limitations*. in *Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on*. 2000. IEEE.
20. Schelkunoff, S.A. and H.T. Friis, *Antennas: theory and practice*. Vol. 639. 1952: Wiley New York.

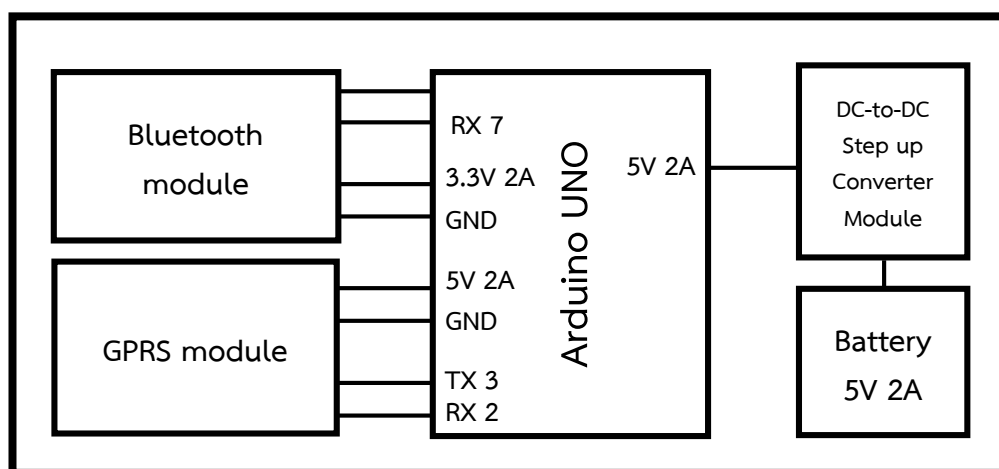




ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก : รายละเอียดอุปกรณ์ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธสำหรับตรวจวัดสภาพจราจร



ตัวรับรู้ประเภทบลูทูธที่ออกแบบและพัฒนาในงานวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน้-อูโน่ (Arduino UNO) ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 เป็นตัวประมวลผล ทำหน้าที่รับข้อมูลจากโมดูลบลูทูธและส่งผ่านข้อมูลไปยังโมดูลจีพีอาร์เอส รวมทั้งทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ให้โมดูลบลูทูธ และแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ให้โมดูลจีพีอาร์เอส

2. โมดูลบลูทูธ (Bluetooth module) เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ตามมาตรฐานบลูทูธคลาส 2 มีสายอากาศชนิดไมโครสริปติดตั้งภายในตัว ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ไร้สายเพื่อตรวจจับและเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์บลูทูธที่ติดตั้งหรือถูกพกพาในยานพาหนะ โดยข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยหมายเลขประจำตัวและชื่อของอุปกรณ์บลูทูธ

3. โมดูลจีพีอาร์เอส (GPRS module) ที่เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายในย่านความถี่ 1800 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้บริการรับส่งข้อมูลแบบจีพีอาร์เอสบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีเอสเอ็ม (GSM) มีสายอากาศโมโนโพลชนิดติดตั้งภายนอก ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน้-อูโน่ไปยังเครื่องบริการเว็บ

4. โมดูลสำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงสุดถึง 50 โวลต์ สำหรับการใช้งานในตัวรับรู้ประเภทบลูทูธนี้เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 5 โวลต์เป็น 12 โวลต์สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูอิโน้-อูโน่

5. แบตเตอรี่ มีความจุ 10,000 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง จ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์

ภาคผนวก ข : โปรแกรมหลัก

โปรแกรมคำสั่งบลูทูธโมดูลให้ทำการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธในระยะตรวจจับ และจีพีอาร์เอสโมดูลทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับ ประทับด้วยหมายเลขประจำอุปกรณ์บลูทูธ และชื่ออุปกรณ์ไปยังเครื่องบริการ โดยทำงานผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโน้

```

1. #include <SoftwareSerial.h> //Software Serial Port
2. #include <avr/wdt.h>
3. #define RxD 7
4. #define TxD 6
5. #define DEBUG_ENABLED 1
6.
7. char recvChar;
8. String recvBuf;
9. //String recvAddr;
10. //String recvInq;
11.
12. SoftwareSerial blueToothSerial(RxD,TxD);
13.
14. SoftwareSerial mySerial(2, 3);
15.
16. void setup()
17. {
18.   mySerial.begin(19200);
19.
20.   wdt_enable(WDTO_8S);
21.   wdt_reset();
22.   Serial.begin(19200);
23.   pinMode(0, INPUT);
24.   pinMode(1, OUTPUT);
25.   setupBlueToothConnection();
26.   delay(1000);
27.   Serial.flush();
28.   blueToothSerial.flush();
29. }
30.
31. void loop()
32. {
33.   wdt_reset();
34.   httpPost();
35.   if (blueToothSerial.available())
36.   {
37.     // Serial.println("available1");
38.     recvChar = blueToothSerial.read();
39.
40.     Serial.print(recvChar);
41.     mySerial.println(recvChar);
42.     recvBuf += recvChar;
43.   }
44. }
45.
46. void setupBlueToothConnection()
47. {
48.   //Serial.println("Setup");
49.   blueToothSerial.begin(9600); //Set Bluetooth to 38400

```

```

50. blueToothSerial.print("\r\n+STWMOD=1\r\n");//set bluetooth to master mode
51. blueToothSerial.print("\r\n+STNA=MyBTname\r\n");//set bluetooth name
52. delay(2000); // This delay is required.
53. blueToothSerial.flush();
54. blueToothSerial.print("\r\n+INQ=1\r\n");
55. delay(1000); // This delay is required.
56. }
57.
58. void httpPost()
59. {
60.   mySerial.println("AT+CREG=1");
61.   mySerial.println("AT+SAPBR=3,1,\"Contype\", \"GPRS\"");
62.   mySerial.println("AT+SAPBR=3,1,\"APN\", \"TRUE-
H INTERNET\"); //need to put your provider's APN here
63.   mySerial.println("AT+SAPBR=3,1,\"USER\", \"true\");
64.   mySerial.println("AT+SAPBR=3,1,\"PWD\", \"true\");
65.   mySerial.println("AT+SAPBR=1,1");
66.   mySerial.println("AT+HTTPINIT");
67.   mySerial.println("AT+HTTPPARA=\"URL\", \"http://api.pushingbox.com\"); //w
eb address to send data to
68.   mySerial.println("AT+HTTPPARA=\"ID\", \"v1FC94691DE44630\");
69.   mySerial.println("AT+HTTPDATA=18,10000");
70.   mySerial.println(recvChar);
71.   mySerial.println("AT+HTTPACTION=1"); //POST the data
72.   mySerial.println("AT+HTTPTERM=1"); //terminate http
73. }
74.

```



ภาคผนวก ค : โปรแกรมคำนวณสารสนเทศการจราจร

โปรแกรมทำการจับคู่หมายเลขประจำตัวอุปกรณ์บลูทูธที่สามารถตรวจจับได้จากตัวรับรู้ อุปกรณ์บลูทูธ จากนั้นทำการคำนวณระยะเวลาในการเดินทาง และความเร็วเฉลี่ยของอุปกรณ์บลูทูธ ที่ติดตั้งหรือพกพาในยานพาหนะ โดยแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟ

```

1. clear all
2. close all
3. clc
4.
5. in = importdata('C:\Users\wifun\Dropbox\count2_filter.xlsx');
6. out = importdata('C:\Users\wifun\Dropbox\count2_FIND.xlsx');
7. itic = importdata('C:\Users\wifun\Dropbox\itic 28004-29007cut.xlsx');
8.
9. itic_time = itic.textdata;
10. itic_speed = itic.data;
11.
12. col_id_in = []; col_id_lost=[]; col_id_inout = []; time_df = [];
13. col_first_time_in = []; col_last_time_out = []; col_lost_car_time_in = [];
14. time_df_sec = []; time_df_min =[]; time_df_hr=[];
15. lost_car = 0; chk_out = 0; chk_in = 0;
16. col_itic_time = []; col_itic_speed=[];
17.
18. % Itic data
19. for i = 1: size(itic_speed, 1)
20.
21. col_itic_time = [col_itic_time;datenum(itic_time(i+1,1),'yyyy-mm-
    dd HH:MM:SS')];
22.
23. col_itic_speed = [col_itic_speed itic_speed(i,1)];
24.
25. end
26.
27. % Real data
28. for i = 2: size(in, 1)
29.
30. if strcmp(in(i,1),col_id_in)==0;
31.
32. change_time_in = datenum(in(i,2),'mm/dd/yyyy HH:MM:SS');
33.
34. col_id_in = [col_id_in;in(i,1)];
35.
36. chk_in = chk_in+1;
37.
38. for j = 2: size(out, 1)
39.
40. if strcmp(in(i,1),out(j,1))==1;
41.
42. last_time = out(j,2);
43.
44. change_time_out = datenum(last_time , 'mm/dd/yyyy HH:MM:SS');
45.
46. col_time = diff([change_time_in change_time_out]);
47.
48. chk_out = chk_out+1;
49.

```

```

50. else
51.
52. end
53.
54. end
55.
56. else
57.
58. end
59.
60. if chk_out == 0 && chk_in == 1
61.
62. col_id_lost = [col_id_lost;in(i,1)];
63.
64. col_lost_car_time_in = [col_lost_car_time_in;in(i,2)];
65.
66. lost_car = lost_car+1;
67.
68. elseif  chk_out ~= 0
69.
70. col_id_inout = [col_id_inout;in(i,1)];
71.
72. col_first_time_in = [col_first_time_in;in(i,2)];
73.
74. col_last_time_out = [col_last_time_out;last_time];
75.
76. time_df = [time_df col_time];
77.
78. tt_time_sec = [str2num(datestr(col_time,'SS'))+(str2num(datestr(col_time,'MM
    '))*60)+(str2num(datestr(col_time,'HH'))*3600)];
79. tt_time_min = [(str2num(datestr(col_time,'SS'))*(1/60))+(str2num(datestr(col
    _time,'MM')))+(str2num(datestr(col_time,'HH'))*60)];
80. tt_time_hr = [(str2num(datestr(col_time,'SS'))*(1/3600))+(str2num(datestr(co
    l_time,'MM'))*(1/60))+(str2num(datestr(col_time,'HH')))];
81.
82. time_df_sec = [time_df_sec tt_time_sec];
83. time_df_min = [time_df_min tt_time_min];
84. time_df_hr = [time_df_hr tt_time_hr];
85.
86. else
87.
88. end
89.
90. chk_out = 0; chk_in = 0; col_time = [];
91.
92. end
93.
94. time_df(1,1) = 0.0011;
95. plot_data = datenum(datestr(time_df,'HH:MM:SS'), 'HH:MM:SS');
96. tran_d = datenum(col_first_time_in,'mm/dd/yyyy HH:MM:SS');
97. velo_km_hr = 1./time_df_hr;
98.
99. figure(1)
100. plot(tran_d,plot_data,'xg','markersize',12,'linewidth',3)
101. datetick('x','HH:MM:SS')
102. datetick('y','MM:SS')
103. xlabel('Time of day','fontsize',16)
104. ylabel('Travel time (minutes)','fontsize',16)
105.
106. figure(2)
107. plot(tran_d,velo_km_hr,'xr','markersize',12,'linewidth',3);
108. datetick('x','HH:MM:SS')

```

```
109.     xlabel('Time of day','fontsize',16)
110.     ylabel('Speed (Kilometers/hour)','fontsize',16)
111.
112.     figure(3)
113.     plot(tran_d,velo_km_hr,'xr','markersize',12,'linewidth',3); datetick(
    'x','HH:MM:SS')
114.     hold on;
115.     plot(col_itic_time,col_itic_speed,'b-
    ','markersize',12,'linewidth',3)
116.     datetick('x','HH:MM:SS')
117.     xlabel('Time of day','fontsize',16)
118.     ylabel('Speed (Kilometers/hour)','fontsize',16)
119.     legend('Traffic information from Bluetooth sensors','Traffic informat
    ion from iTIC')
```



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ลดาวัลย์ กลิ่นกุสุม เกิดเมื่อวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดปทุมธานี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ในปีการศึกษา 2554 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2557

บทความทางวิชาการ

[1] Klinkusoom, L., Aswakul, C., Junpugdee, P. Bluetooth Sensors for Vehicular Traffic Monitoring. The 29th International Technical Conference on Circuit/Systems Computers and Communication (ITC-CSCC) 2014.

