

วารสารวิชาการ
กสทช.
ประจำปี 2563

NBTC
JOURNAL
2020

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง
กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

Office of the National Broadcasting and Telecommunications Commission



การพัฒนาระบบตรวจสอบ การใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุ คมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ

DEVELOPMENT OF RADIO FREQUENCY DETECTION SYSTEM FOR LOW-POWER RF TRANSCEIVERS

ประโยชน์ คำสวัสดิ์¹, รังสรรค์ วงศ์สรรค์² และ อาทิตย์ ศรีแก้ว³

Prayoth Kumsawat¹, Rangsan Wongsan² and Arthit Srikaew³

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000^{1 และ 2}

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000³

School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand^{1 and 2}

School of Electrical Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand³

Corresponding E-mail : prayoth@sut.ac.th

Received Date	August 5, 2018
Revised Date	August 24, 2018
Accepted Date	October 29, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การพัฒนาระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำแบบเคลื่อนที่ได้และทำงานแบบเวลาจริงโดยใช้สายอากาศแบบแอ็กทิฟในการรับสัญญาณ และตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและอุปกรณ์รับสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย ผู้วิจัยประยุกต์ใช้อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกและเข็มทิศดิจิทัลที่ติดตั้งบนสายอากาศและใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมในการคำนวณหาจุดตัดของทิศทางสายอากาศเพื่อใช้ระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดการรบกวนที่เกิดขึ้น ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่พัฒนาขึ้นถูกติดตั้งบนรถยนต์สำหรับตรวจสอบคลื่นความถี่จำนวน 4 คันเพื่อการใช้งานในลักษณะของเครือข่ายตรวจวัดคลื่นความถี่วิทยุแบบไร้สาย เครือข่ายดังกล่าวสามารถใช้ในการตรวจหาการรบกวนทางความถี่ในพื้นที่ใด ๆ ที่ได้รับการร้องขอให้ตรวจสอบ โดยระบบจะส่งผลการตรวจวัดทั้งหมดไปยังฐานข้อมูลแบบเวลาจริงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G/4G จึงทำให้สามารถใช้ระบบดังกล่าวในการตรวจสอบแหล่งกำเนิดการรบกวนได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถใช้ตรวจจับแหล่งกำเนิดการรบกวนที่สมมุติขึ้นได้อย่างแม่นยำตรง ทำให้สามารถนำระบบนี้ไปใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาการรบกวนที่อาจจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ : ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ การรบกวนทางความถี่ ฐานข้อมูลแบบเวลาจริง

Abstract

This article presents the development of real-time mobile frequency monitoring system for low power transmitters by using an active directional antenna for detecting signals and wireless sensor network to cooperate and compute information. The proposed system can check the frequency usage by using the spectrum analyzer and the WiFi receiver. By utilizing global positioning system devices, digital compasses mounted on the directional antenna and the triangular theory, the intersection of the antenna direction for determining the location of the source of the interference can then be calculated. The frequency monitoring systems developed in this research were installed on four vehicles which can collaborate as a RF measuring sensor network. This network can be used to detect frequency interferences in any areas that have been requested for inspection. With availability of 3G/4G mobile network in the inspection area, all vehicles can synchronize the captured data to the real-time database. The source of interference can be conveniently and efficiently investigated. Experimental results show that the designed system can accurately detect the assumed interference source. This system can desirably be used to detect and solve problems of frequency interference that may increase in the future.

Keywords : Radio frequency detection system, Low-power RF transceivers, Radio frequency interference, Real-time database

บทนำ

ในปัจจุบัน แนวโน้มของการใช้อุปกรณ์ไร้สายในด้านต่าง ๆ มีจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีโอกาสเกิดการรบกวนทางความถี่วิทยุได้มากขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์สื่อสารข้างเคียงจนไม่สามารถใช้งานได้ ตัวอย่าง เช่น ปัญหาการรบกวนจากอุปกรณ์ไร้สายที่ติดตั้งภายในอาคารไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมอาคารอัตโนมัติสัญญาณไฟฟ้าในกรุงเทพมหานคร จนทำให้เกิดการล่าช้าของขบวนรถไฟฟ้าและส่งผลกระทบต่อผู้โดยสารเป็นจำนวนมาก (สุพจน์ เจริญวุฒิ, 2561) ดังนั้นการมีเครื่องมือตรวจสอบการรบกวนที่มีความแม่นยำตรงจะช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ซึ่งมีหน้าที่ตามกฎหมายในการบริหารคลื่นความถี่ และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากการรบกวนในระดับรุนแรง โดยสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) มีหน้าที่ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ เพื่อสนับสนุนข้อมูลในการบริหารคลื่นความถี่ทั้งหมดในประเทศไทย ในปัจจุบันสำนักงาน กสทช. มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่สำคัญ ได้แก่ สถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุระบบควบคุมระยะไกล

รถตรวจสอบและหาทิศทางวิทยุ (Radio direction finder) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analyzer) เครื่องวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และเครื่องรับคลื่นความถี่ (Receiver) ซึ่งผลที่วัดได้จากเครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการบังคับใช้ตามเงื่อนไขการอนุญาตและตามประกาศ กสทช. ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวินิจฉัยและแก้ไขปัญหาการใช้คลื่นความถี่ที่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน

การจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อการใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ คลื่นความถี่ที่ต้องได้รับใบอนุญาต และคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องได้รับใบอนุญาต โดยคลื่นความถี่แบบที่ไม่ต้องได้รับใบอนุญาตจะกำหนดให้ใช้กำลังส่งต่ำและไม่คุ้มครองการรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้น และหากเกิดปัญหาการรบกวนทางความถี่วิทยุ (Radio frequency interference) และมีการร้องขอให้ตรวจสอบ สำนักงาน กสทช. จำเป็นต้องทราบตำแหน่งของสถานที่เกิดการรบกวนอย่างชัดเจน เพื่อให้สามารถทำการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีการรบกวนเกิดขึ้นของเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำและเป็นคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องได้รับใบอนุญาต เช่น การรบกวนจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wireless access point, WAP) และไม่ทราบตำแหน่งของอุปกรณ์ WAP ที่ชัดเจนนั้น ผู้ตรวจสอบอาจจะต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างมากในการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาดังกล่าว

ในการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องในฐานข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ ที่มีการใช้งานหรือมีการวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า หัวข้อดังกล่าวที่เกี่ยวข้องโดยตรงมีการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารและในฐานข้อมูลสากลต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย พบว่าในปี 2007 Brush, A., (2007) ได้แนะนำและทบทวนเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการวัดกำลังคลื่นความถี่วิทยุที่มีความถี่สูง และเพื่อให้ผลการวัดอยู่ในหน่วยมาตรฐานที่กำหนด ต่อมาในปี 2010 Ali, A...et al, (2010) ได้นำเสนอการวิเคราะห์สัญญาณ WiFi เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นภายในอาคาร แต่ก็ไม่ได้ชัดเจนในเรื่องของการวัดระดับของสัญญาณจากระยะไกล ในปี 2015 Depatla, S., (2015) ได้นำเสนอผลงานวิจัยโดยการใช้วิธีการวัดระดับความเข้มของสัญญาณ WiFi เพื่อใช้นับจำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่จำกัดขนาดหนึ่งโดยพิจารณาจากระดับของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงจากการเดินตัดผ่านสัญญาณ WiFi ที่ถูกส่งออกไป ต่อมาในปี 2017 Kristiyana, S...et al, (2017) ได้นำเสนอการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดความถี่วิทยุโดยใช้หลักการล้อมรอบแหล่งกำเนิดที่อยู่กึ่งกลางรูปสามเหลี่ยมที่เกิดจากเส้นทางของการตรวจจับสัญญาณของเครื่องค้นหาทิศทางคลื่นวิทยุ (Radio Direction Finder: RDF) จำนวน 3 เครื่องซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเข้ามาทำการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งของแหล่งที่มา จากนั้นนำผลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ตั้งจริงของแหล่งกำเนิด และพบว่าวิธีการนี้ให้ค่าความผิดพลาดเชิงตำแหน่งประมาณ 3.3 เมตร และ 3.2 เมตรของเส้นรุ้ง (Latitude) และเส้นแวง (Longitude) ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ดังกล่าว พบว่าผลงานที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับสัญญาณของคลื่นความถี่สูงที่มีกำลังต่ำอีกส่วนหนึ่งที่นำเสนอในรูปแบบเอกสารทางเทคนิค (Technical documents) หรือเอกสารรายละเอียดทางเทคนิค (Specification sheets) ประกอบการใช้งานเครื่องมือของบริษัทผู้ผลิต เช่น National instruments และโดยส่วนใหญ่เป็นเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (National instruments, 2020) บทความนี้แนะนำการพัฒนา ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำโดยใช้หลักการเครือข่ายเซนเซอร์

ตรวจวัดคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Measuring Sensors Network: RFMSN) และเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor networks) และการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ WiFi ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาการรบกวนจากเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่อาจจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ตามแนวโน้มของการใช้งานอุปกรณ์ไร้สายที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

วัตถุประสงค์และวิธีการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ โดยใช้ Radio frequency measuring sensors network เพื่อรับสัญญาณจากเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำมาทำการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ และส่งข้อมูลผลการตรวจวัดไปประมวลผลในระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud computing) และใช้ฐานข้อมูลแบบเวลาจริง (Real-time database)
3. เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้จากโครงการทั้งหมดมาทำการสร้างระบบต้นแบบที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ตรงตามความต้องการของสำนักงาน กสทช. ที่กำหนดระยะทางในการวัดตรวจสอบเครื่องวิทยุคมนาคม หรือเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุได้ไม่ต่ำกว่า 100 เมตร
4. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่ได้พัฒนาขึ้น ได้แก่ การตรวจสอบตำแหน่ง ความถี่ และระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องวิทยุคมนาคม หรือเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้กำลังส่งต่ำที่ถูกส่งออกมานอกตำแหน่งที่ตั้ง

กรอบแนวคิดและวิธีการศึกษา

ปัญหาหลักในการวัดสัญญาณคลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำคือ การที่ไม่สามารถทำการวัดตรวจสอบจากระยะไกลได้ เนื่องจากอุปกรณ์แหล่งกำเนิดของการส่งสัญญาณดังกล่าวมีกำลังส่งต่ำมาก วิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ต้องนำอุปกรณ์เครื่องมือวัด ได้แก่ สายอากาศ (Antenna) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เข้าไปตรวจวัดในบริเวณที่ใกล้กับอุปกรณ์ที่คาดว่าจะเป็แหล่งกำเนิดการรบกวนให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามข้อมูลผลการวัดสัญญาณจำนวนมากที่ได้จากเครื่องมือวัดดังกล่าวจะไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ในระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ได้เลย สามารถทำได้เพียงพื้นที่เฉพาะจุดเท่านั้น อีกทั้งไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หรือแสดงผลลัพท์ในภาพรวมให้ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้มีส่วนในการวางแผนตัดสินใจหรือพิจารณาได้โดยตรงหรือ

แบบเวลาจริง ดังนั้นแนวความคิดในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ จึงได้เริ่มต้นพิจารณาหลักการในการแก้ปัญหา โจทย์นี้ไว้เป็นเบื้องต้น ดังนี้

1. เนื่องจากเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำและอุปกรณ์ประกอบการวัดที่จำเป็นบางชิ้นมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นต้องกำหนดจำนวนชุดอุปกรณ์ต้นแบบของระบบให้มีจำนวนไม่มากนัก
2. ออกแบบให้ชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำแต่ละชุด สามารถนำไปใช้ในการวัดตรวจสอบสัญญาณในพื้นที่ใด ๆ ที่กำหนดได้อย่างอิสระ สามารถทำงานร่วมกันในลักษณะของเครือข่ายภายในพื้นที่ที่กำหนด รวมถึงสามารถรับ-ส่งข้อมูลมายังศูนย์กลางเพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลในขั้นตอนสุดท้าย จึงต้องใช้หลักการทำงานในลักษณะของ Radio frequency measuring sensor network และเทคโนโลยีฐานข้อมูลแบบเวลาจริง
3. ชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำแต่ละชุด จะต้องสามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายตำแหน่งการวัดตรวจสอบได้อย่างสะดวก และสามารถติดตามสถานะของการใช้คลื่นความถี่ที่เป็นเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ประกอบบนรถยนต์โมบาย (Mobile vehicle) เพื่อการเคลื่อนย้ายที่รวดเร็ว
4. ชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำแต่ละชุด นอกจากจะทำหน้าที่ในการวัดตรวจสอบสัญญาณการใช้คลื่นความถี่ใช้งานตามที่กำหนดแล้ว ต้องสามารถทำหน้าที่ค้นหาทิศทางและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณตามความถี่ที่ระบุได้ โดยใช้อุปกรณ์ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global positioning system; GPS) และเข็มทิศดิจิทัล (Digital compass) ในการระบุทิศทาง
5. การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อรองรับข้อมูลที่ถูกส่งผ่านมาจากชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ ต้องถูกนำมาบริหารจัดการเพื่อการวิเคราะห์และได้ข้อมูลผลลัพธ์สุดท้ายตามที่สำนักงาน กสทช. ต้องการ และสามารถนำมาแสดงผลบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile device) และอุปกรณ์แสดงผลต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมโทรคมนาคม

ผลการศึกษา

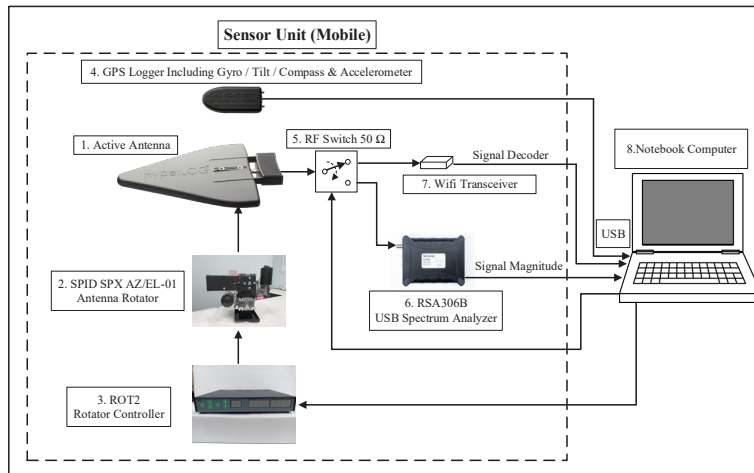
หัวข้อนี้จะกล่าวถึง รายละเอียดของการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ ทั้งในด้านของระบบฮาร์ดแวร์และด้านซอฟต์แวร์ จากนั้นจะกล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในพื้นที่การใช้งานจริง

การออกแบบฮาร์ดแวร์ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ

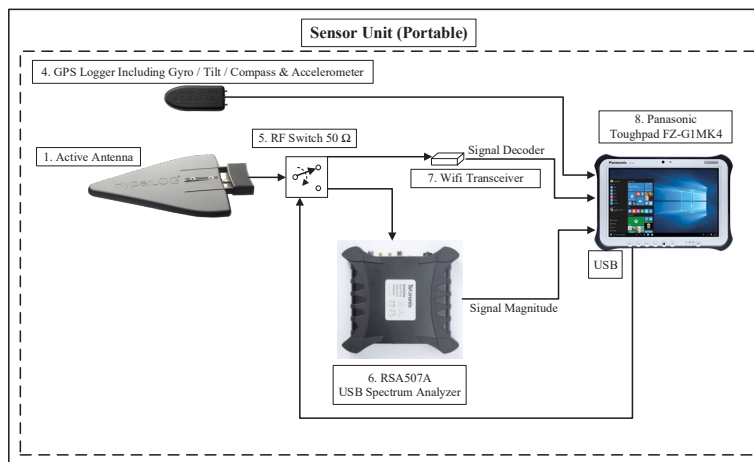
แผนภาพการออกแบบระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่ติดตั้งบนรถยนต์โมบายและสำหรับการใช้งานแบบหิ้วถือแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่สำคัญและหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ ดังนี้

1. สายอากาศทิศทางแบบ แอ็กทิฟ (Active directional antenna) สายอากาศทิศทางแบบแอ็กทิฟที่ใช้ในโครงการนี้คือ AARONIA รุ่น Hyper LOG 3080X มีความถี่การทำงานตั้งแต่ 380 MHz ถึง 8.0 GHz มีอัตราขยายเท่ากับ 45 dBi เป็นตัวรับสัญญาณคลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ
2. ตัวหมุนสายอากาศ (Antenna rotator) ทำหน้าที่ควบคุมสายอากาศแบบแอ็กทิฟให้หมุนในระนาบมุมกวาดตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา และในระนาบมุมยกตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา
3. ชุดควบคุมตัวหมุนสายอากาศ (Rotator controller) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมมอเตอร์สำหรับหมุนสายอากาศตามทิศทางที่ต้องการ โดยสามารถทำการควบคุมได้ผ่านซอฟต์แวร์ระบบที่พัฒนาขึ้น
4. อุปกรณ์ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก เข็มทิศดิจิทัลและตัววัดความเร่งสามแกน (GPS Logger including Gyro, Tilt, Compass and accelerometer) ทำหน้าที่ในการบอกตำแหน่งของสายอากาศ การชี้ทิศทางของสายอากาศและแนวการวางตัวของสายอากาศในสามแกน (Yaw, Roll, Pitch)
5. สวิตช์สองทางย่านความถี่วิทยุ (2-Way RF switch) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสลับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศเข้ากับเครื่องมือวัด ทำให้สามารถเลือกโหมดการตรวจสอบคลื่นความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในการอ่านค่าความถี่และค่ากำลังของสัญญาณ หรือเลือกโหมดการตรวจสอบคลื่นความถี่โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย (WiFi receiver module) ในการถอดรหัสข้อมูลและวิเคราะห์รายละเอียดของสัญญาณดังกล่าวได้
6. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analyzer) ทำหน้าที่วิเคราะห์ความถี่และระดับของสัญญาณที่เกิดการแพร่แปลกล้อมที่รับได้จากสายอากาศ โดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่ใช้ในโครงการนี้สามารถทำการวิเคราะห์สัญญาณความถี่วิทยุย่าน 9 kHz ถึง 6.2 GHz
7. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย (WiFi transceiver module) ทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูลเพื่อตรวจหา Service set identifiers (SSID) และหมายเลข MAC address ซึ่งเป็นตัวเลขฐานสิบหกจำนวน 12 หลักที่ติดตั้งอยู่ภายในอุปกรณ์เครือข่ายและมีค่าเฉพาะในแต่ละอุปกรณ์ รวมถึงการวิเคราะห์รายละเอียดอื่น ๆ ของสัญญาณที่สายอากาศแบบแอ็กทิฟรับเข้ามาได้

8. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook computer) ทำหน้าที่เป็นสถานีใช้งาน (Workstation) สำหรับการควบคุมระบบ RFMSN และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ติดตั้งในรถยนต์โมไบล์ โดยจะติดตั้งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อการอ่านข้อมูลการตรวจวัดและการควบคุม ตลอดจนการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นก่อนจะส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลแบบเวลาจริง



ภาพที่ 1 แผนภาพของระบบ RF measuring sensors สำหรับใช้งานในรถยนต์โมไบล์



ภาพที่ 2 แผนภาพของระบบ RF measuring sensor สำหรับใช้งานแบบหิ้วถือ

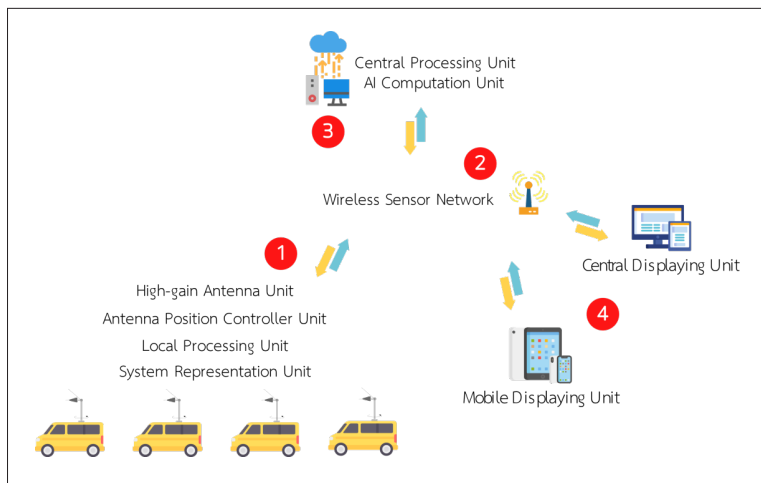
สำหรับระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำสำหรับการใช้งานแบบหิ้วถือ มีหน้าที่การทำงานเหมือนกับระบบบนรถยนต์โมไบล์ แตกต่างกันเพียงอุปกรณ์ที่ใช้มีความทนทานสูง กะทัดรัดและเคลื่อนย้ายสะดวก ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แท็บเล็ตแบบทนทานสูง (Panasonic toughpad FZ-G1MK4) และใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (RSA507A USB spectrum analyzer) ที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณความถี่วิทยุย่าน 9 kHz ถึง 7.5 GHz ซึ่งมีย่านการตรวจวัดที่กว้างกว่าของรถยนต์โมบาย ระบบดังกล่าวนี้จะถูกใช้งานในกรณีที่ต้องการเข้าถึงแหล่งกำเนิดให้ใกล้ที่สุด เพื่อยืนยันตำแหน่งที่มาของคลื่นที่ตรวจจับได้จากระบบ RFMSN ในกรณีที่รถยนต์โมไบล์ไม่สามารถเข้าถึงได้

การออกแบบซอฟต์แวร์ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ

แผนภาพการออกแบบซอฟต์แวร์ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำแสดงในภาพที่ 3 โดยการทำงานขององค์ประกอบหลัก 4 ส่วนที่สำคัญตามหมายเลขที่แสดงในภาพที่ 3 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การทำงานของฮาร์ดแวร์ในส่วนของโหนดตรวจวัดสัญญาณคลื่นวิทยุ ทำหน้าที่ในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ โดยใช้หลักการของสายอากาศทิศทางแบบแอ็กทิฟและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับตรวจหาแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดการรบกวนหรือเป้าหมาย (Target) สายอากาศจะติดตั้งอยู่บนชุดควบคุมที่สามารถทำการหมุนรอบได้ 360 องศา ระบบฮาร์ดแวร์ดังกล่าวจะติดตั้งอยู่บนรถยนต์โมไบล์จำนวน 4 คัน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปเป้าหมายต่าง ๆ ได้อย่างไม่จำกัดระยะทาง อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติงานจริงนั้น ลักษณะที่ตั้งของอาคารเป้าหมายอาจมีลักษณะของภูมิประเทศหรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน อาจมีความยากง่ายในการนำรถยนต์โมบายเข้าถึงตำแหน่งไม่เท่ากัน ข้อดีของระบบนี้คือสามารถแยกรถยนต์โมไบล์จำนวน 4 คัน ให้เข้าทำการตรวจสอบตำแหน่ง ความถี่ และระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่เป็นเป้าหมายได้พร้อมกันคราวละ 2 คันเป็นอย่างน้อย ตัวอย่าง เช่น กรณีที่เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำอาจถูกติดตั้งอยู่ชิดด้านใดด้านหนึ่งของอาคารหรือมีพื้นที่เข้าถึงเพียงด้านเดียว การใช้รถยนต์โมบายเพียงสองคันก็สามารถตรวจสอบพบได้
2. เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) รถยนต์โมไบล์แต่ละคันจะมีความทำงานในลักษณะของเครือข่ายไร้สายเพื่อร่วมกันค้นหาทิศทางและตำแหน่งของเป้าหมายเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำในพื้นที่ที่ต้องการ ซึ่งจะเรียกว่า โหมดการทำงานร่วมกัน (Cooperative mode) โดยจะมีการส่งข้อมูลผลการตรวจวัดที่ได้จากรถยนต์โมไบล์แต่ละคันไปยังหน่วยประมวลผลกลางผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ 3G/4G นอกจากนี้ ระบบยังสามารถทำงานในโหมดเดี่ยว (Single mode) หรือใช้งานแบบอิสระได้

3. หน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit) การประมวลผลข้อมูลเชิงปัญญาประดิษฐ์ (AI computation unit) ระบบที่ออกแบบขึ้นจะประกอบด้วยส่วนของซอฟต์แวร์ประมวลผลกลาง และส่วนประมวลผลเชิงปัญญาประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ เมื่อมีข้อมูลป้อนให้ระบบได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น ผลลัพธ์จากการประมวลผลดังกล่าวสามารถใช้ในการสร้างภาพข้อมูลการใช้งานความถี่บนพื้นที่เป้าหมาย (Heat map) จากฐานข้อมูลแบบเวลาจริงที่ได้ออกแบบขึ้น
4. เทคโนโลยีการแสดงผลและการเฝ้าระวังบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ในการบริหารจัดการแสดงผลการดำเนินการของระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ ประกอบไปด้วยการแสดงผลที่ศูนย์กลางควบคุม (Central displaying unit) ที่ซึ่งมีการติดตั้งหน่วยแสดงผลสำหรับการติดตามสถานะและข้อมูลการดำเนินการของระบบ รวมถึงการแสดงผลบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile displaying unit) เพื่ออำนวยความสะดวกในการติดตามสถานะการทำงานของระบบได้แบบเวลาจริง

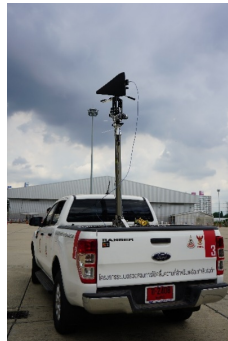


ภาพที่ 3 การทำงานของระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ

ผลการติดตั้งฮาร์ดแวร์ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ

การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ RF measuring sensor networks สำหรับใช้งานในรถยนต์โมโบลแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจะสังเกตเห็นสายอากาศ ตัวหมุนสายอากาศ และชุดควบคุมการหมุนติดตั้งอยู่ด้านหลังรถยนต์

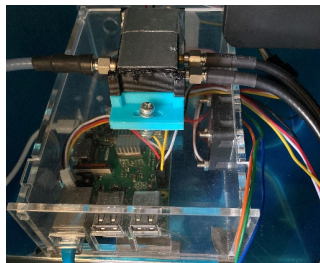
โมบายล์ โดยเสาโลหะที่ใช้ในการยกให้สายอากาศสูงขึ้นมีการขับเคลื่อนด้วยนิวแมติก (Pneumatic mast) สามารถยกสายอากาศให้สูงขึ้นไปได้ถึง 10 เมตร ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สามารถรับสัญญาณได้ชัดเจนและไกลมากยิ่งขึ้น ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม สวิตช์สองทางย่านความถี่วิทยุ เครื่องคอมพิวเตอร์ และจอภาพการแสดงผลจะติดตั้งอยู่ภายในตัวรถยนต์โมบายล์เพื่อความสะดวกในการใช้งานจริง



(ก) การติดตั้งสายอากาศบนรถยนต์โมบายล์



(ข) สายอากาศและตัวหมุนสายอากาศ



(ค) ไมโครคอนโทรลเลอร์และ RF switch



(ง) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



(จ) อุปกรณ์รับสัญญาณโทรศัพท์ 3G/4G



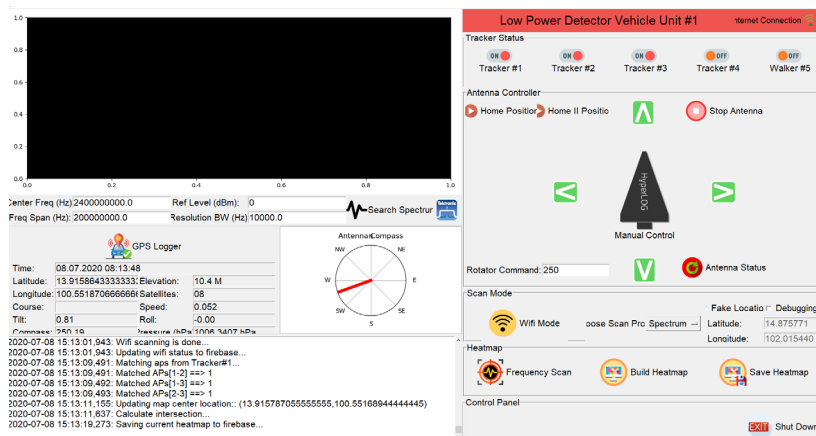
(ฉ) เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมจอภาพแสดงผล

ภาพที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ RF measuring sensors สำหรับใช้งานในรถยนต์โมบายล์

ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ

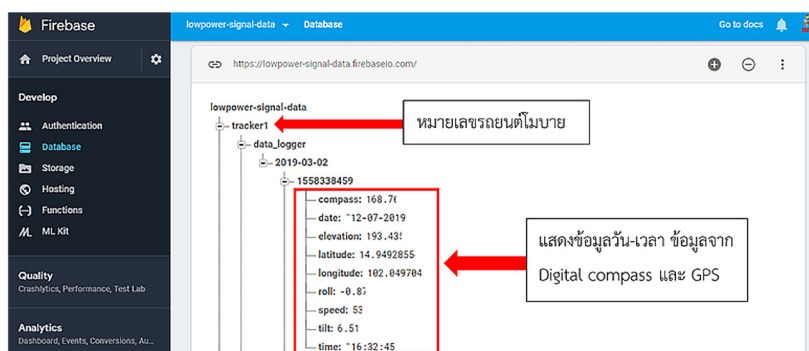
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอ ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะถูกติดตั้งบนรถยนต์โมโตโบล์ที่มีทั้งหมด 4 คัน สามารถเคลื่อนที่ทำงานร่วมกันผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อระบุตำแหน่งของเป้าหมาย หรือสามารถแยกทำงานเป็นอิสระกันเดียวได้ ผลการออกแบบซอฟต์แวร์ดังกล่าวสรุปได้ ดังนี้

1. ซอฟต์แวร์ประมวลผลตรวจหาแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่เป้าหมายบนรถยนต์โมโตโบล์ มีแพลตฟอร์ม (Platform) การทำงานสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows และมีระบบการรักษาความปลอดภัยตามการอนุญาตและรับรองความถูกต้อง (Authorization and authentication-based security) โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิกตามมาตรฐานของวินโดวส์ (GUI-based native windows application) ทำงานบนหน้าจอแสดงผลแบบคู่เพื่อขยายขอบเขตการใช้งาน ซอฟต์แวร์ให้มีความสะดวก ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นแสดงในภาพที่ 5 โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญคือสามารถอ่านข้อมูลสเปกตรัมความถี่ที่รับได้จากสายอากาศพร้อมทำการวิเคราะห์หารายละเอียดของแหล่งกำเนิดความถี่เป้าหมาย โดยทำการอ่านข้อมูลโดยตรงจากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และมีการประมวลผลรูปแบบของสัญญาณที่ตรวจจับได้ด้วยหลักการทางปัญญาประดิษฐ์ รวมทั้งมีส่วนควบคุมการหมุนสายอากาศร่วมกับการใช้ข้อมูลแนวการวางตัวของรถยนต์โมโตโบล์จากเข็มทิศดิจิทัลเพื่อระบุทิศทางที่ถูกต้อง ซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถทำการสื่อสารกับระบบ RFMSN ภายในรถยนต์โมโตโบล์และเชื่อมต่อข้อมูลที่เกี่ยวข้องไปยังหน่วยประมวลผลกลางเพื่ออัปเดตข้อมูลที่จำเป็นในการประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากรถยนต์โมโตโบล์คันอื่น ๆ ในการนำทาง (Navigation) เข้าสู่เป้าหมาย



ภาพที่ 5 ซอฟต์แวร์ประมวลผลตรวจหาแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่เป้าหมายบนรถยนต์โมโตโบล์

- ซอฟต์แวร์ประมวลผลกลาง (Central processing) มีแพลตฟอร์มการทำงานสำหรับบริการบนคลาวด์ (Cloud-based services) ซึ่งมีความพร้อมสำหรับเทคโนโลยี AI และ Big Data สำหรับใช้งานเพื่อการประมวลผลข้อมูล การบริหารจัดการข้อมูลและระบบรักษาความปลอดภัยข้อมูล รวมทั้งมีฐานข้อมูลแบบเวลาจริงที่เรียกว่า Google firebase โดยมีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อความปลอดภัย ในขณะที่การรับ-ส่งข้อมูล คุณลักษณะที่สำคัญของซอฟต์แวร์ประมวลผลกลางคือ สามารถทำการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบ RFMSN บนรถยนต์โมไบล์แต่ละคัน สามารถประมวลผลและประสานการทำงาน (Synchronize) เพื่อให้รถยนต์โมไบล์ทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ไปแสดงผลยังส่วนแสดงผลต่าง ๆ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลในระหว่างการปฏิบัติงานจริง รวมถึงสามารถทำการจัดเก็บข้อมูลผลการตรวจวัดทั้งหมดไว้บนฐานข้อมูลของสำนักงาน กสทช. ซึ่งเป็นหน่วยงานผู้ดูแลหนุ่่นวิจัย เพื่อให้สามารถรองรับการพัฒนาในด้านการบริหารคลื่นความถี่และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น AI และ Big Data ในอนาคตอันใกล้นี้ รูปภาพฐานข้อมูลแบบเวลาจริง Google firebase แสดงในภาพที่ 6

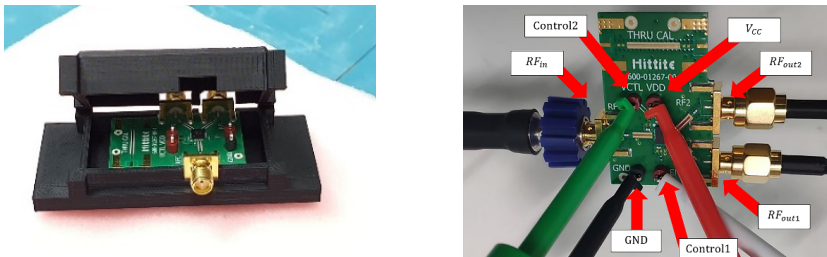


ภาพที่ 6 ฐานข้อมูลแบบเวลาจริง Google firebase

- ซอฟต์แวร์แสดงผลข้อมูลและการปฏิบัติการของรถยนต์โมไบล์ มีแพลตฟอร์มสำหรับการแสดงแบบ Web application สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ Smart TV และอุปกรณ์เคลื่อนที่ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการติดตามดูข้อมูลขณะปฏิบัติการ คุณลักษณะที่สำคัญของซอฟต์แวร์นี้คือ สามารถแสดงผลข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ บนหน้าจออุปกรณ์แสดงผลแบบเวลาจริงในขณะปฏิบัติงานของรถยนต์โมไบล์ทั้งหมด สามารถปรับรูปแบบการแสดงผลสุดท้ายตามที่ผู้ใช้งานต้องการ เนื่องจากใช้เทคโนโลยีการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงกราฟิก (Graphic user interface) ทำให้สามารถทำการแสดงผลและเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

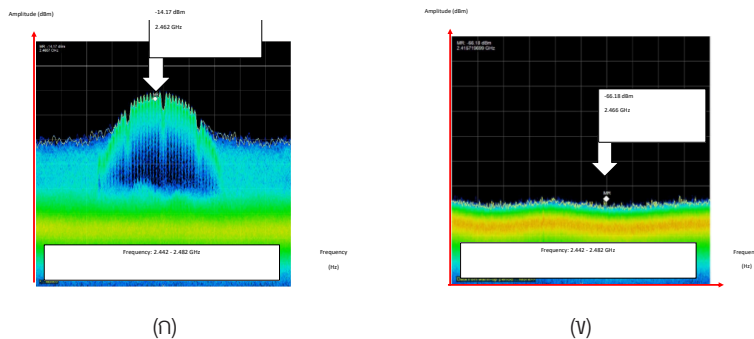
ผลการทดสอบการควบคุม RF switch ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

หัวข้อนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอ ผลการทดสอบการควบคุมสวิตช์สองทางย่านความถี่วิทยุหรือ RF switch ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการทดสอบอุปกรณ์ในระบบตรวจวัดสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้สายอากาศทิศทางแบบแอ็กทิฟรับสัญญาณเข้ามาในระบบและทำการควบคุม RF switch โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายรูปภาพอุปกรณ์ RF switch ดังกล่าวแสดงดังในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 สวิตช์สองทางย่านความถี่วิทยุและการเชื่อมต่อ

กรณีที่ใช้ RF switch สลับสัญญาณเพื่อเลือกวิธีการตรวจสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและใช้โปรแกรม SignalVU-PC ในการวิเคราะห์และแสดงผลจะพบว่า มีภาพสเปกตรัมของสัญญาณปรากฏขึ้นดังแสดงในภาพที่ 8 (ก) ส่วนในกรณีที่ใช้ RF switch สลับสัญญาณเพื่อเลือกวิธีการตรวจสอบโดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สายในการวิเคราะห์หา SSID และหมายเลข MAC address จะพบว่าไม่มีภาพสเปกตรัมของสัญญาณใด ๆ ปรากฏขึ้นในโปรแกรม SignalVU-PC ดังแสดงผลในภาพที่ 8 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า RF switch สามารถสลับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทิศทางแบบแอ็กทิฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ



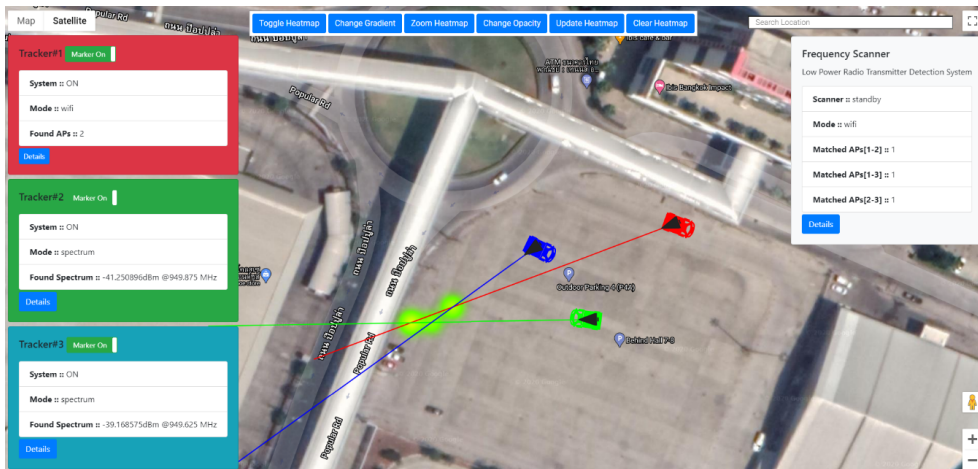
ภาพที่ 8 สเปกตรัมความถี่ (ก) เมื่อทำการตรวจสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในการอ่านค่าความถี่และกำลังของสัญญาณ และ (ข) เมื่อใช้อุปกรณ์รับสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย

ผลการทดสอบการใช้งานจริง

ในการทดสอบการใช้งานจริงของระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยใช้ระบบ RFMSN ที่ติดตั้งบนรถยนต์โมไบล์ทำการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่เป้าหมายเพื่อทำการตรวจหาแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่จากเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ แต่อาจมีการส่งกำลังที่สูงเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด และสร้างการรบกวนต่อระบบสื่อสารอื่นที่ได้รับการคุ้มครอง โดยแหล่งกำเนิดดังกล่าวถูกกำหนดให้ติดตั้งอยู่ภายในอาคาร และส่งสัญญาณไปรบกวนต่ออุปกรณ์อื่นที่อยู่ภายนอกอาคาร ในการทดสอบดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ WAP ยี่ห้อ WAVLINK รุ่น AC600 ในการสร้างสถานการณ์เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณออกมารบกวนอุปกรณ์อื่นภายนอกอาคาร โดยทำการติดตั้งในอาคารวิจัยมันสำปะหลังภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย บริเวณชั้น 1 (ความสูงจากระดับพื้นดินประมาณ 4.9 เมตร) ใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz channel 11 (2.451-2.473 GHz) จากนั้นทำการกระจายสัญญาณ โดยใช้สายอากาศโมโนโพล (Monopole antenna) ที่ติดตั้งมากับตัวอุปกรณ์และสายอากาศวีวอลดี (Vivaldi antenna) ซึ่งมีอัตราขยายสูงกว่าสายอากาศโมโนโพล โดยมีเหตุผลเพื่อสร้างสถานการณ์ให้เสมือนกับการส่งสัญญาณออกมาภายนอกอาคารด้วยกำลังส่งที่แตกต่างกัน และเมื่อถูกตรวจวัดด้วยระบบ RFMSN ที่นำเสนอแล้วจะให้ผลในการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งของแหล่งกำเนิดและรถยนต์มีความใกล้เคียงกันหรือไม่ การออกแบบการทดสอบความแม่นยำของระยะทางในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ใช้รถยนต์โมไบล์ที่ติดตั้งอุปกรณ์การวัดครบถ้วนจำนวน 2 คัน เริ่มต้นทำการวัดที่ระยะห่างจากตัวอาคารตั้งแต่ 20 เมตรจนถึง 150 เมตร และนำผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยแสดงค่ากำลังของคลื่นความถี่วิทยุที่รับได้ในหน่วย dBm จากการตรวจวัดที่ระยะห่างจากตัวอาคารที่แตกต่างกันและที่ระยะทางเดียวกันแต่อุปกรณ์ WAP ที่ถูกสมมติให้เป็นแหล่งกำเนิดมีการกระจายสัญญาณออกมาภายนอกอาคารด้วยกำลังส่งที่แตกต่างกัน ค่าระดับกำลังของคลื่นความถี่วิทยุที่รับได้แต่ละครั้ง และแต่ละระยะที่ทำการวัดทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าที่ระยะทาง 100 เมตร (ตามที่กำหนด) จากตัวอาคาร หรือที่ระยะ 100.11 เมตร จากตำแหน่งติดตั้งแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ตรวจวัดได้มีความถี่ 2.462 GHz ซึ่งเป็นความถี่กลาง (Center frequency) ของสัญญาณ WiFi ช่องที่ 16 โดยการส่งสัญญาณผ่านทางสายอากาศโมโนโพลออกมา ซึ่งระบบการตรวจสอบของโครงการวิจัยฯ นี้ สามารถวัดระดับของสัญญาณที่วัดได้จากรถยนต์คันที่ 1 และ 2 มีค่าประมาณ -28.6 dBm และ -28.2 dBm ตามลำดับ และหากเคลื่อนรถยนต์ถอยห่างออกไปครั้งละ 10 เมตร จนถึง 150 เมตร ระดับของสัญญาณที่วัดได้จะอยู่ที่ -33 dBm และ -32.6 dBm ตามลำดับ หลังจากนั้นผู้วิจัยยังได้นำรถยนต์โมไบล์ไปทดสอบการใช้งานจริงในพื้นที่ตามที่สำนักงาน กสทช. ผู้ดูแลหนุ่่นวิจัยเป็นผู้กำหนด นิยามของพื้นที่ เช่น กรณีที่แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่เป้าหมายอยู่ในอาคารขนาดใหญ่และมีประชากรกลุ่มใหญ่ ได้ทำการทดสอบที่สำนักงาน กสทช. ซอยพหลโยธิน 8 และโรงแรมรามา การ์เด็นส์ ถนนวิภาวดีรังสิต ส่วนในกรณีที่ เป็นอาคารสูงของสำนักงานที่มีพื้นที่ติดกับเส้นทางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนซึ่งเคยถูกคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.45 GHz รบกวน ผู้วิจัยได้ใช้พื้นที่ด้านหน้าของโรงแรม I Bangkok impact ซึ่งบริเวณด้านหน้าของโรงแรมมีสะพานลอยสำหรับสัญจร (Cover way) ยกระดับสูงจากพื้นดินและมีความยาวมากเพียงพอที่จะเทียบเคียงกับเส้นทางรถไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ในการตรวจหาแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคารได้อย่างแม่นยำมากที่สุดนั้น จะต้องมีการใช้ฐานข้อมูลแบบเวลาจริงเพื่อให้เกิดการประมวลผล การแสดงผลข้อมูลและการรายงานผลการปฏิบัติการของรถยนต์โมไบล์แต่ละคันแบบเวลาจริง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานในรถยนต์โมไบล์ดังกล่าว รับทราบถึงสถานะการทำงานของตนเองในเวลานั้น ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

อภิปรายผล

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและการใช้งานจริง เริ่มจากทดสอบการควบคุม RF switch ในการสลับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่รับได้จากสายอากาศพบว่า RF switch สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้งานจริงระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำที่พัฒนาขึ้น ดังมีผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 โดยแสดงค่ากำลังที่รับได้จากการตรวจวัดที่ระยะห่างจากตัวอาคารในระยะต่าง ๆ กัน โดยสมมติให้อุปกรณ์ WAP เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ จากนั้นคำนวณหาระยะห่างของแหล่งกำเนิดโดยใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ RFMSN และใช้เครื่องมือวัดและซอฟต์แวร์ประมวลผลที่ติดตั้งบนรถยนต์โมไบล์ตรวจหาค่าความถี่ และระดับความแรงของสัญญาณที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่เป้าหมาย จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวที่ติดตั้งบนรถยนต์โมไบล์ทั้งสองคันสามารถตรวจวัดระดับของสัญญาณที่วัดได้จะอยู่ที่ -33 dBm และ -32.6 dBm ตามลำดับที่ระยะทดสอบ 150 เมตร ได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าระดับสัญญาณที่วัดได้มีค่าค่อนข้างสูงตามมาตรฐานสัญญาณ WiFi ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากระดับของสัญญาณที่ถูกส่งออกมามีความแรงมากขึ้น ระบบที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถปฏิบัติการได้ไกลมากกว่า 150 เมตร อย่างแน่นอน และการคำนวณหาระยะห่างของแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ที่สมมุติขึ้นแทนเครื่องวิทยุโทรคมนาคม พบว่ามีความใกล้เคียงกับระยะทางจริงมาก โดยมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1 เมตร นอกจากนี้ผลการทดสอบเพื่อตรวจหาการส่งคลื่นความถี่จากอุปกรณ์กระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สายที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคารในพื้นที่ที่กำหนด พบว่าระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวสามารถตรวจหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่นั้นได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 9 ซอฟต์แวร์แสดงผลข้อมูลการปฏิบัติการในพื้นที่เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 1 ระดับกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดและรถยนต์โมบิล์แตกต่างกัน

ระยะห่างจาก อาคาร (เมตร)	รถยนต์โมบายคันที่ 1			รถยนต์โมบายคันที่ 2		
	สายอากาศ โมไบโฟว (dBm)	สายอากาศ วียอลดี (dBm)	ระยะห่างจาก แหล่งกำเนิด (เมตร)	สายอากาศ โมไบโฟว (dBm)	สายอากาศ วียอลดี (dBm)	ระยะห่างจาก แหล่งกำเนิด (เมตร)
20.00	-12.5	-7.2	20.54	-12.0	-6.8	20.54
30.00	-16.4	-8.0	30.37	-16.0	-7.6	30.37
40.00	-20.8	-9.8	40.28	-20.6	-9.5	40.28
50.00	-22.4	-10.6	50.22	-22.0	-10.0	50.22
60.00	-23.8	-12.8	60.18	-23.5	-12.1	60.18
70.00	-25.0	-15.0	70.16	-24.8	-14.8	70.16
80.00	-27.2	-17.0	80.14	-27.0	-16.5	80.14
90.00	-28.0	-17.8	90.12	-27.5	-17.0	90.12
100.00	-28.6	-18.4	100.11	-28.2	-18.2	100.11
110.00	-29.4	-19.2	110.10	-29.2	-19.2	110.10
120.00	-31.0	-20.6	120.09	-30.8	-20.4	120.09
130.00	-31.8	-21.5	130.08	-31.4	-21.6	130.08
140.00	-32.2	-22.0	140.08	-32.0	-22.0	140.08
150.00	-33.0	-23.0	150.07	-32.6	-22.8	150.07

ข้อสรุป

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้กำลังส่งต่ำ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบ RF measuring sensors network สำหรับใช้งานบนรถยนต์สำหรับการตรวจสอบในพื้นที่ทั่วไป และระบบที่สามารถใช้งานได้แบบหิ้วถือสำหรับพื้นที่ที่รถยนต์ไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยมีการใช้สายอากาศทิศทางแบบแอ็กทิฟและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในการวิเคราะห์ความถี่และค่ากำลังของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดการรบกวน นอกจากนี้ยังมีการใช้สวิตซ์สองทางย่านความถี่วิทยุในการสลับสัญญาณให้สามารถเชื่อมต่อสัญญาณที่รับได้เข้ากับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม หรือเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย ทำให้สามารถเลือกโหมดการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดการรบกวนได้อย่างสะดวก รวดเร็วผ่าน Graphic user interface ของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยยังได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกและเข็มทิศดิจิทัลที่ติดตั้งอยู่บนสายอากาศทิศทางแบบแอ็กทิฟ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งและทิศทางของแหล่งกำเนิดการรบกวน ในระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีการใช้ฐานข้อมูลแบบเวลาจริง และการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆบนแพลตฟอร์ม Google firebase ซึ่งฐานข้อมูลดังกล่าวจะทำให้การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง

ส่วนต่าง ๆ ของระบบ และการแสดงผลขณะทำการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่เป็นไปในรูปแบบเวลาจริง ผู้วิจัยยังได้ประยุกต์ใช้เทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ค่ากำลังของสัญญาณ และใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมในการคำนวณหาจุดตัดของทิศทางสายอากาศ วิธีการดังกล่าวส่งผลให้ระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดการรบกวนหรือคลื่นความถี่เป้าหมายที่อยู่ในระยะไกลมากกว่า 100 เมตรได้อย่างถูกต้อง ทำให้สามารถนำระบบดังกล่าวนี้ไปใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาการรบกวนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อาจเพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

- สุพจน์ เจริญวุฒิ. (2561). ทางออกสำหรับบีทีเอส. ค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2563 จาก <https://www.chula.ac.th/cuinside/10792/>
- Ali, A. H., Razak, M. R. A., Hidayab, M., Azman, S. A., Jasmin, M. Z. M., & Zainol, M. A. (2010). Investigation of indoor WIFI radio signal propagation. Paper presented at the 2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA) Retrieved March 30, 2020 from <https://ieeexplore.ieee.org/document/5679486>
- Brush, A. S. (2007). Measurement of microwave power - A review of techniques used for measurement of high-frequency RF power. Retrieved March 30, 2020 from <https://ieeexplore.ieee.org/document/4213147>
- Depatla, S., Muralidharan, A., & Mostofi, Y. (2015). Occupancy Estimation Using Only WiFi Power Measurements. Retrieved May 14, 2020 from <https://ieeexplore.ieee.org/document/7102673>
- Kristiyana, S., Susanto, A., Sunarno, S., & Hidayat, R. (2017). The Radio Frequency Source Position Finder Based on The Triangle-Centroid-Algorithm. Retrieved May 18, 2020 from https://www.researchgate.net/publication/320469670_The_Radio_Frequency_Source_Position_Finder_Based_on_The_Triangle-Centroid-Algorithm
- National Instruments (2020). Introduction to Wireless LAN Measurements From 802.11a to 802.11ac. Retrieved May 3, 2020 from http://download.ni.com/evaluation/rf/Introduction_to_WLAN_Testing.pdf