

การวิเคราะห์การส่งสัญญาณระยะไกลจากตัวตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สายโดย ที่ความถี่ 433 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อคลื่นเดินทางแบบตรง

An Analysis of Long-range (LoRa) Transmission from Wireless Temperature and Humidity Sensors at Frequency 433 MHz in Line-of-sight Propagation

กฤตยา นาคประสิทธิ์¹ ระพีพัทธ์ วรภักษ์¹ ปุณยสิริ บุญเป็ง¹ และ เอกทัศน์ พฤกษวรรณ^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

krittaya@rmutl.ac.th rapin56_1@rmutl.ac.th p_boonpeng@rmutl.ac.th eakrmutl@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์สัญญาณเครื่องตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สายโดยใช้เทคโนโลยี LoRa เมื่อคลื่นเดินทางแบบตรง (Line-of-sight propagation) เนื่องจากพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ LoRa ในสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ติดตั้งเซนเซอร์ไร้สายเป็นสิ่งสำคัญ การประเมินคุณภาพการส่งสัญญาณจะช่วยรับประกันและทำให้ทราบว่าการส่งสัญญาณข้อมูลของเซนเซอร์จะประสบความสำเร็จหรือไม่ในการวิเคราะห์การส่งสัญญาณของเครื่องตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย จะใช้สมการการส่งสัญญาณแบบฟรีส (Friis's transmission equation) คำนวณหางบประมาณลิงค์ (Link budget) ทำให้ทราบค่า Received signal strength indicator (RSSI) ของเครื่องรับสำหรับกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ในการทดสอบการส่งสัญญาณได้ทำการเปรียบเทียบผลจากการจำลองงบประมาณลิงค์กับผลจากการทดลองการส่งสัญญาณจริงในกรณีคลื่นเดินทางแบบตรง ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ LoRa จากบนสะพานจันทรมอนสุรณ (ข้าวแขก) ถึงสะพานนวรัฐ ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นถึงลักษณะการสูญเสียของสัญญาณในช่องทางสื่อสารจริง และสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี LoRa ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง

คำสำคัญ: LoRa คลื่นเดินทางแบบตรง งบประมาณลิงค์

Abstract

This paper presents an analysis of LoRa transmission from wireless temperature and humidity sensors at frequency 433 MHz in line-of-sight (LOS) propagation. Given the significance of LoRa radio wave propagation behavior in environments where wireless sensor nodes are deployed, evaluating the transmission quality is essential to ensure reliable data communication. The study employed Friis's transmission equation to calculate the link budget and estimate the received signal strength indicator (RSSI) under unobstructed conditions or LOS. A comparative analysis was conducted between the simulated link budget results and real-world transmission experiments under LOS

scenarios. The LoRa radio signal was transmitted from Chansom Memorial Bridge (Khua Khaek) to Nawarat Bridge in Mueang District, Chiang Mai Province. The results are valuable for effectively designing and evaluating the performance of LoRa-based wireless sensor systems in various deployment environments.

Keywords: LoRa, line-of-sight, link budget.

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ได้รับความสนใจและมีความสำคัญอย่างมากในภาคเกษตรและอุตสาหกรรมสมัยใหม่ โดยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหมายถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลการสื่อสารระหว่างเซนเซอร์ไร้สายที่เชื่อมโยงถึงกัน [1] ความสนใจที่เพิ่มขึ้นนี้มีสาเหตุหลักมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและนวัตกรรม ซึ่งส่งผลให้การประยุกต์ใช้ IoT ในทางปฏิบัติขยายตัวมากยิ่งขึ้น ดังนั้น IoT จึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายภาคส่วน เช่น เมืองและอาคารอัจฉริยะ โทรคมนาคม การผลิต การแพทย์ การเกษตร การเงิน และความมั่นคงปลอดภัย เพื่อให้การประยุกต์ใช้เหล่านี้มีประสิทธิภาพ ระบบ IoT จำเป็นต้องมีต้นทุนต่ำ ประหยัดพลังงาน และรองรับการสื่อสารในระยะไกลได้ ข้อกำหนดของการประยุกต์ใช้งานที่อิงกับเทคโนโลยี IoT ได้นำไปสู่การพัฒนาเครือข่ายระยะไกลพลังงานต่ำ (Low Power Wide Area Networks : LPWAN) ซึ่งเทคโนโลยี LoRa (Long-Range) ถือเป็น LPWAN ที่ได้รับความนิยม ช่วยให้อุปกรณ์สามารถทำงานด้วยแบตเตอรี่ได้นาน พร้อมรองรับการสื่อสารที่มีอัตราข้อมูลต่ำในระยะทางไกล [2] - [6]

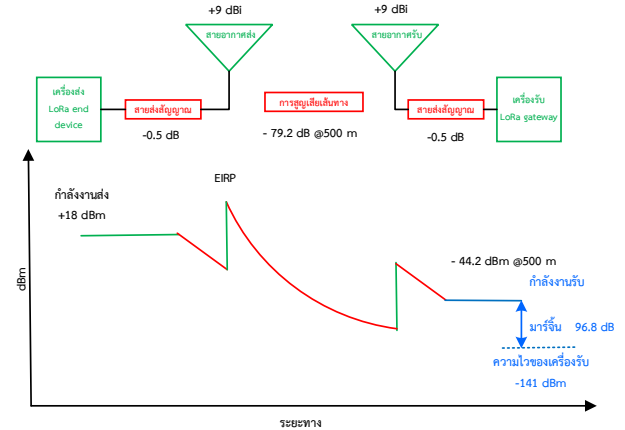
ท้องถิ่นจังหวัดเชียงใหม่เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนถึงความหลากหลายทางสภาพภูมิประเทศที่ซับซ้อน รวมถึงเป็นเมืองที่มีศักยภาพด้านการท่องเที่ยวระดับโลก การนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการพัฒนาเป็นเมืองอัจฉริยะจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Long Range Radio (LoRa) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีศักยภาพสูงในการส่งข้อมูลในระยะทางไกลโดยใช้พลังงานต่ำ มาใช้กับเครื่องตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับในพื้นที่ที่อาจมีสิ่งกีดขวางต่อการส่งสัญญาณ การประเมินผล

รูปที่ 2 ผังงานการทำงานส่วนของ LoRa Gateway (ตัวรับข้อมูล)

3. ผลการทดลอง

สำหรับการทดลองการส่งสัญญาณของเครื่องตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นไร้สายด้วยเทคโนโลยี LoRa ผู้วิจัยได้บันทึกข้อมูลพารามิเตอร์การส่งสัญญาณ โดยสนใจค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ค่าการสูญเสียเส้นทาง (Path loss) ในกรณีส่งคลื่นแบบเส้นตรง ที่ความถี่ 433 MHz ระยะทาง 500 เมตร ทำการทดสอบส่งข้อมูลจาก LoRa End Device (ตัวส่งข้อมูล) ไปหา LoRa Gateway (ตัวรับข้อมูล) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบตามรูปที่ 3 และรูปที่ 4

จากการคำนวณหาค่า First Fresnel Zone ของเครื่องตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นไร้สายด้วยเทคโนโลยี LoRa ที่ใช้คลื่น 433 MHz และต้องการระยะทางในการส่งและรับข้อมูล ที่ 500 เมตร จึงมีค่ารัศมีของ First Fresnel Zone อยู่ที่ 9.28 เมตร แต่การทดสอบในครั้งนี้ จะใช้ค่ารัศมีของ First Fresnel Zone เพียง 60% ของ 9.28 เมตร ซึ่งเท่ากับ 6 เมตร โดยประมาณ และทำการทดสอบจากบนสะพานจันทร์สมอนุสรณ์ (ข้าวแขก) ถึงสะพานนวรัฐ ตามรูปที่ 5 ผลการจำลองงบประมาณลิงก์แสดงไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 6 ค่าการสูญเสียสายส่งสัญญาณทั้งด้านส่งและด้านรับมีค่าเท่ากันคือ 0.5 dB



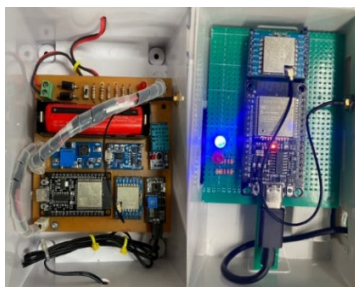
รูปที่ 6 ไดอะแกรมงบประมาณลิงก์ (Link budget) ของการส่งสัญญาณตัวตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย ที่ความถี่ 433 MHz

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลจาก LoRa End Device ไปยัง LoRa Gateway โดยมีความสูง 6 เมตรเท่ากัน เมื่อคลื่นเดินทางแบบตรง ทำการทดสอบ 10 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 10 วินาที

ครั้งที่	RSSI (dBm)	Path Loss (dBm)	SNR (dB)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)
1	-88.0	107.0	8.0	27.6	61.0
2	-84.0	103.0	9.5	27.6	61.0
3	-82.0	101.0	9.5	27.6	61.0
4	-86.0	105.0	8.3	27.6	61.0
5	-87.0	106.0	8.5	27.6	61.0
6	-85.0	104.0	8.8	27.6	61.0
7	-88.0	107.0	7.8	27.6	61.0
8	-86.0	105.0	8.5	27.6	61.0
9	-87.0	106.0	8.5	27.6	61.0
10	-86.0	105.0	8.0	27.6	61.0
ค่าเฉลี่ย	-85.9	105.0	8.5	27.6	61.0

4. สรุปและอภิปราย

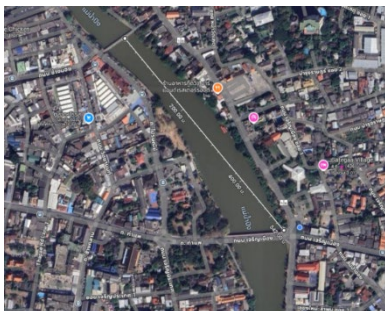
จากการทดลองส่งสัญญาณจาก LoRa End Device ไปยัง LoRa Gateway ในกรณีคลื่นเดินทางแบบตรง พบว่าผลที่ได้จากการจำลองงบประมาณลิงก์กับผลจากการทดลองการส่งสัญญาณจริงมาเปรียบเทียบกัน ค่ากำลังงานรับที่ได้จากงบประมาณลิงก์มีค่า -44.2 dBm ค่า RSSI ที่วัดได้จากการใช้งานจริง มีค่าเฉลี่ย -85.9 dBm โดยผลจากการทดสอบวัดสัญญาณแสดงให้เห็นถึงลักษณะการสูญเสียของสัญญาณในช่องทางสื่อสารจริงในทางปฏิบัติมีมากกว่าทางทฤษฎี 41.7 dB ที่ความถี่ 433 MHz ระยะทาง 500 m ซึ่งค่าที่แตกต่างนี้เป็นผลมาจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น multipath fading การดูดกลืนคลื่นสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมในเส้นทางที่คลื่นเดินทาง การดูดกลืนคลื่นสัญญาณของน้ำจากแม่น้ำ การสูญเสียจากหัวต่อสายนำสัญญาณและหัวต่อสายอากาศ รวมถึงสายอากาศโมโนโพลที่



รูปที่ 3 อุปกรณ์ภายในกล่อง LoRa End Device และ LoRa Gateway



รูปที่ 4 LoRa End Device และ LoRa Gateway



รูปที่ 5 สถานที่ทดสอบ ในสภาพแวดล้อมที่ไร้สิ่งกีดขวาง คลื่นเดินทางแบบตรงที่ระยะทาง 500 เมตร

ซึ่งมาติดตั้งใช้งานจริงอาจจะไม่ได้มีค่าอัตราขยายตามคุณสมบัติที่ระบุไว้ งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี LoRa ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณ นายธนติ ไม่มีชื่อสกุล นายไม้ม ไม่มีชื่อสกุล และนางสาวนันท์นภัส บุญเทียม นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่ช่วยเหลือในการบันทึกผลการทดลองในโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour and E. -H. M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129551-129583, 2019.
- [2] A. Almarhabi, A. J. Aljohani, and M. Moinuddin, "LoRa and High-Altitude Platforms: Path Loss, Link Budget and Optimum Altitude," *2020 8th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS)*, Kuching, Malaysia, 2021, pp. 1-6.
- [3] P. Uarchoojitt, S. Pothongkham, T. Kongnarong, W. Boonsong, C. Samakee and T. Inthasuth, "The Communication Link Analysis of ZigBee Mesh Networks Using Received Signal Strength Indicator (RSSI) for the Agricultural Slope Environment," *2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, Singapore, 2023, pp. 1-4
- [4] Y. Onykienko, P. Popovych, R. Yaroshenko, A. Mitsukova, A. Beldyagina and Y. Makarenko, "Using RSSI Data for LoRa Network Path Loss Modeling," *2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 576-580.
- [5] D. Dinev, A. Haka, V. Aleksieva and H. Valchanov, "Analysis of LoRa RSSI Data Using Simulations and Real Devices," *2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-4.
- [6] A. K. Pashchenko and A. A. Bombizov, "Estimating Data Transmission Range in a Wooded Area via the Lora Channel," *2022 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, Tomsk, Russian Federation, 2022, pp. 1-4.

- [7] CircuitState, "Interfacing RA-01/RA-02 (SX1278) LoRa Modules with ESP32 using Arduino," CircuitState Electronics Tutorials, Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.circuitstate.com/tutorials/interfacing-ra-01-ra-02-sx1278-lora-modules-with-esp32-using-arduino/>



กฤตยา นาคประสิทธิ์ สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมสายอากาศ การสื่อสารไร้สาย



ระพีพันธ์ วรภักษะ สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมสายอากาศ



บุญยสิริ บุญเป็ง สำเร็จปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์



เอกทัศน์ พงกขวรรณ สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมไมโครเวฟ การออกแบบวงจรความถี่สูง