การประยุกต์ใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4 สำหรับระบบกั้นทางรถไฟ

นายมุหัมมัด มั่นศรัทธา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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.

APPLYING WIRELESS SENSORS NETWORK BASED ON ZIGBEE/IEEE802.15.4 STANDARD FOR RAILWAY CROSSING SYSTEM

Mr. Muhammad Mansattha

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4 สำหรับระบบกั้นทางรถไฟ
โดย	นายมุหัมมัด มั่นศรัทธา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มุหัมมัด มั่นศรัทธา : การประยุกต์ใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4 สำหรับระบบกั้นทางรถไฟ. (APPLYING WIRELESS SENSORS NETWORK BASED ON ZIGBEE/IEEE802.15.4 STANDARD FOR RAILWAY CROSSING SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 112 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee/ IEEE802.15.4 โดยที่งานวิจัยที่ผ่านมานำเสนอระบบกั้นทางรถไฟ โดยใช้ตัวกลางในการสื่อสารที่แตกต่างกัน เช่น เส้นใยแสง สายเคเบิลแกนร่วม และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตัวกลางในการสื่อสารในแต่ละแบบนี้ต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง หรือหากใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องเสียค่าบริการและมีการติดตั้งใช้งานที่ซับซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพราะอุปกรณ์มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และราคาไม่สูงมาก เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลของระบบกั้นทางรถไฟ อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ZigBee ประตูกั้นทางรถไฟ และระบบเฝ้าตรวจ โดยงานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีในกระบวนการจัดเส้นทางของ ZigBee แบบโมด API ซึ่งจะเลือกเส้นทางการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดไปยังโนดปลายทาง ถ้าเส้นทางหลักเกิดขัดข้อง เซนเซอร์โนดก็สามารถเลือกเส้นทางใหม่ได้ โดยโนดแต่ละโนดมีตารางจัดเส้นทาง (Routing table) ที่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดข้างเคียง 2 โนดถัดไปด้วยความน่าจะเป็นที่ลดหลั่นลงไป เพื่อมั่นใจได้ว่าการส่งข้อมูลจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้ นอกจากนี้มีระบบเฝ้าตรวจ โดยจะรับข้อมูลจากเซนเซอร์โนดแบบเวลาจริง เพื่อสามารถรับรู้สถานะข่ายเชื่อมโยง สถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ สถานะประตูกั้นทางรถไฟ และสถานะการทำงานของโนดในระบบ เพื่อให้พนักงานรถไฟที่เฝ้าตรวจอยู่ที่สถานีรถไฟได้ทราบถึงการทำงานของเซนเซอร์โนด เพื่อจะได้แก้ไขจัดการทันทีทันใดเมื่อเห็นว่าเซนเซอร์โนดมีปัญหา ในส่วนของการออกแบบฮาร์ดแวร์นั้น อุปกรณ์ภายในเซนเซอร์โนดจะมีแผงเซลล์สุริยะ (Solar Cell Panel) ที่ออกแบบมา เพื่อให้ระบบมีการจัดการเรื่องพลังงานเอง งานวิจัยนี้สามารถเป็นต้นแบบสำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทยที่จะนำไปพัฒนา ติดตั้งและใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมจริงในอนาคตได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

ปีการศึกษา 2556

5470336121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: ZIGBEE/IEEE802.15.4 / PROTOCOL / API MODE / RAILWAY CROSSING SYSTEM

MUHAMMAD MANSATTHA: APPLYING WIRELESS SENSORS NETWORK BASED ON ZIGBEE/IEEE802.15.4 STANDARD FOR RAILWAY CROSSING SYSTEM. ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL, Ph.D., 112 pp.

This thesis presents a development of an automatic railway crossing system using a wireless sensor network based on ZigBee/IEEE802.15.4 standard. The existing works on automatic railway crossing system apply some technologies such as Fiber Optic, Coaxial Cable, and General Packet Radio Services (GPRS). However, they require high cost in their operation and complex installation. ZigBee allows us to develop a system with low power, low price that is suitable for automatic railway crossing system. We develop a new system that consists of four main parts, i.e. railway detector, ZigBee Wireless Communication Device, railway crossing gate, and monitor system. We propose an optimal recovery path routing algorithm based on ZigBee protocol in API (Application Programming Interface) mode to ensure the reliable data transmission from the source node to the destination node. Each node has two paths connecting to the neighboring nodes, where the transmission probability to the closer neighboring nodes is higher than that to farther nodes. The data are sent by the sensor node to monitor system and are displayed as the status of network link, status of the train detection, status of the railway crossing gate, and status of the sensors node in real time. From the data displayed in the monitor, we can also detect if there are any malfunctions on the sensor nodes. So we can fix the problem immediately. Moreover, the hardware system consists of solar cell panel, charger control unit, and battery storage designed for self- energy management and low power consumption. These features are suitable for installation in real environment. As a prototype of an automatic railway crossing system, the developed system in this project is very useful for further development and application in railway crossing system management in Thailand.

Department:	Electrical Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Electrical Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2013		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา ทำให้นิสิตมีความรู้ ความเข้าใจด้านระบบโทรคมนาคม ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร และ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ ให้คำแนะนำ และคำถามทุกคำถาม เพื่อให้ผู้วิจัยเรียนรู้ถึงรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ทุกประเด็น อีกทั้งยังทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรม สั่งสอน จนทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ความสามารถในการทำงาน และดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างมีความสุข

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆทั้งด้านวิชาการ ด้านสังคมและอื่นๆแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัวเป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือในทุกๆด้าน และคอยให้กำลังใจเมื่อเกิดความท้อแท้

ขอขอบคุณนายณัฐพล มีพันธุ์ นายอัซฮัน จารูเวศ นายฮาฟีส กลีมอ นายซาฟาริ อุจามิ นายอัลลาฮัม รอนิง และนายนูรุดดีน มะนอ ที่ช่วยนำงานวิจัยนี้ไปทดสอบในภาคสนามให้สำเร็จผลด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆน้องๆในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษา และความมีน้ำใจช่วยเหลือซึ่งกันและกัน จนทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ได้สำเร็จสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญภาพ.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

1.6 ลำดับขั้นตอนในงานวิจัย.....3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ระบบกั้นทางรถไฟในปัจจุบัน.....4

2.2 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ.....5

2.3 การสื่อสารของระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติ.....6

2.3.1 การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุตามโพรโทคอล ZigBee.....9

2.3.1.1 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ ZigBee.....9

2.3.1.2 ลักษณะการเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้โพรโทคอล ZigBee.....10

2.3.1.2.1 โครงข่ายแบบดาว (Star Network).....10

2.3.1.2.2 โครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ (Cluster Tree Network).....11

2.3.1.2.3 โครงข่ายแบบเมช (Mesh Network).....11

2.3.1.3 โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee.....12

2.3.2 การสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์โนดตามโพรโทคอล ZigBee แบบโมด API.....14

2.3.2.1 ฟอร์แมตของเฟรมสำหรับการสื่อสาร.....15

2.3.2.1.1 เฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request).....16

หน้า

2.3.2.1.2 เฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status) 19
2.3.2.1.3 เฟรมที่ภาครับ (Receive Packet) 21
2.3.3 ขั้นตอนวิธีการทำงานของโพรโทคอล ZigBee ที่ใช้สื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์โนด 24
2.4 เฝ้าตรวจ (Monitoring) 32
บทที่ 3 รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์ 33
3.1 รายละเอียดโครงสร้างของอุปกรณ์เซนเซอร์โนด 34
3.1.1 โครงสร้างภายในของโนดปลายทาง (Destination node) 34
3.1.2 โครงสร้างภายในของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 (Relay node) 35
3.1.3 โครงสร้างภายในของโนดต้นทาง (Source node) 36
3.2 หน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ 37
3.2.1 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ 37
3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 37
3.2.3 โมดูลสื่อสารไร้สาย ZigBee 39
3.2.4 บอร์ดควบคุมรีเลย์ Relay 2 ช่อง 40
3.1.5 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor Drive) 41
3.3 รายละเอียดโครงสร้างของอุปกรณ์เฝ้าตรวจ 42
3.3.1 โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232 42
บทที่ 4 รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์ 44
4.1 โปรแกรมการสื่อสารระหว่างเซนเซอร์โนดในโครงข่าย 44
4.1.1 โปรแกรมการทำงานของโนดปลายทาง 44
4.1.2 โปรแกรมการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 47
4.1.3 โปรแกรมการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 50
4.1.4 โปรแกรมการทำงานของโนดต้นทาง 53
4.1.5 โปรแกรมรีเซ็ตของระบบ 56
4.2 โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์ 57
4.2.1 การทำงานของโปรแกรมส่วนต่อกราฟฟิกกับผู้ใช้ 59
4.2.2 ฐานข้อมูล 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบ 62
5.1 ทดสอบการทำงานในส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ 62
5.1.1 ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 (ระบบทำงานปกติ) 62
5.1.2 ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงาน) 65
5.1.3 ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงาน) 68
5.2 การทดสอบรับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมใช้งานจริง 71
5.2.1 การทดสอบในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 71
5.2.1.1 ทดสอบระยะทางที่เซนเซอร์โนดส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (RSSI) 72
5.2.1.2 ทดสอบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง(ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 78
5.2.1.3 ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (การรีเซ็ต) ในโมด API ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 79
5.2.2 การทดสอบในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 82
5.2.2.1 ทดสอบระยะทางที่เซนเซอร์โนดส่งข้อมูลได้ โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (RSSI) 82
5.2.2.2 ทดสอบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 89
5.2.1.3 ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (การรีเซ็ต) ในโมด API ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 90
5.2.3 การทดสอบในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) 93
5.2.3.1 ทดสอบระยะทางที่เซนเซอร์โนดส่งข้อมูลได้ โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (RSSI) 93
5.2.3.2 ทดสอบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) 100
5.2.3.3 ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (การรีเซ็ต) ในโมด API ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 101
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 105
6.1 ข้อสรุป 105

หน้า

6.2 ข้อเสนอแนะ 106
รายการอ้างอิง 107
ภาคผนวก........ 108
ภาคผนวก ก แผนภาพ Schematic วงจรที่ออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้........ 109
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ในการประชุมวิชาการ ICSEC 2013........ 111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 112

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2. 1 ฟอร์แมตของเฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request) 16
ตารางที่ 2. 2 ฟอร์แมตของเฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status) 19
ตารางที่ 2. 3 ฟอร์แมตของเฟรม (Receive Packet) 22
ตารางที่ 2. 4 อักษรย่อแทนเซนเซอร์โนด 27
ตารางที่ 4. 1 รายละเอียดส่วนของข้อมูลที่เก็บลงไว้ในฐานข้อมูล 61
ตารางที่ 5. 1 ตารางสรุปลำดับเหตุการณ์ ของเหตุการณ์ที่ 1 64
ตารางที่ 5. 2 ตารางสรุปลำดับเหตุการณ์ ของเหตุการณ์ที่ 2 67
ตารางที่ 5. 3 ตารางสรุปลำดับเหตุการณ์ของเหตุการณ์ที่ 3 70
ตารางที่ 5. 4 ทดสอบรับส่งข้อมูลของ ZigBee ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด 74
ตารางที่ 5. 5 ระยะเวลาการส่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง(ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 79
ตารางที่ 5. 6 ทดสอบรับส่งข้อมูลของ ZigBee ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด 85
ตารางที่ 5. 7 ระยะเวลาการส่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)... 90
ตารางที่ 5. 8 ทดสอบรับส่งข้อมูลของ ZigBee ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด 96
ตารางที่ 5. 9 ระยะเวลาการส่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) . 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2. 1 (ก) เครื่องกั้นทางข้ามรางรถไฟแบบที่ใช้ม่านกั้นถนน (ข) เครื่องหมุนม่านกั้นรถไฟ 4
รูปที่ 2. 2 ประตูกั้นทางรถไฟแบบอัตโนมัติ.. 5
รูปที่ 2. 3 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟแบบใช้เลเซอร์... 5
รูปที่ 2. 4 รูปแบบระบบควบคุมของรถไฟ 6
รูปที่ 2. 5 โครงข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ.. 7
รูปที่ 2. 6 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟพร้อมวิธีการติดตั้งวงจรทางไฟฟ้า 7
รูปที่ 2. 7 ระบบควบคุมข้อมูลและข้อมูลสารสนเทศ 8
รูปที่ 2. 8 ย่านความถี่และช่องสัญญาณของ ZigBee 9
รูปที่ 2. 9 โครงข่ายแบบดาว 11
รูปที่ 2. 10 โครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้... 11
รูปที่ 2. 11 โครงข่ายแบบเมช... 12
รูปที่ 2. 12 โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee 13
รูปที่ 2. 13 รูปแบบ API โมดสำหรับการสื่อสารไร้สายของอุปกรณ์ ZigBee 15
รูปที่ 2. 14 รูปแบบเฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request) 16
รูปที่ 2. 15 เฟรมร้องขอส่งข้อมูล (Transmit Request) จากโปรแกรม Docklight 18
รูปที่ 2. 16 รูปแบบเฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status)... 19
รูปที่ 2. 17 เฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status) จากโปรแกรม Docklight 20
รูปที่ 2. 18 รูปแบบเฟรมที่ภาครับ (Receive Packet).. 21
รูปที่ 2. 19 เฟรมภาครับ (Received) จากโปรแกรม Docklight 23
รูปที่ 2. 20 ขั้นตอนวิธีการส่งข้อมูลของระบบ 26
รูปที่ 3. 1 ภาพรวมของระบบกั้นทางรางรถไฟ... 33
รูปที่ 3. 2 โครงสร้างภายในของโนดปลายทาง 34
รูปที่ 3. 3 โครงสร้างภายในของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2......................... 35
รูปที่ 3. 4 โครงสร้างภายในของโนดต้นทาง... 36
รูปที่ 3. 5 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ (ก) โครงสร้างภายนอก (ข) วงจรภายใน.. 37
รูปที่ 3. 6 AVR ATmega328... 38
รูปที่ 3. 7 ZigBee Pro Series 2 (RPSMA) 50 mW 39
รูปที่ 3. 8 บอร์ดควบคุมรีเลย์ 2 ช่องสัญญาณ พร้อมรายละเอียดการใช้งาน.. 40
รูปที่ 3. 9 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-bridge กระแสตรง 12 โวลต์.. 41
รูปที่ 3. 10 การสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์... 42
รูปที่ 3. 11 โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232 พร้อมวงจร 43

หน้า

รูปที่ 4. 1 แผนผังการทำงานของโนดปลายทาง 45
รูปที่ 4. 2 แผนผังการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 48
รูปที่ 4. 3 แผนผังการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 51
รูปที่ 4. 4 แผนผังการทำงานของโนดต้นทาง 54
รูปที่ 4. 5 แผนผังของโปรแกรมการรีเซ็ต 56
รูปที่ 4. 6 โปรแกรมกราฟฟิกที่แสดงการทำงานของระบบกั้นทางรถไฟ 57
รูปที่ 4. 7 แผนผังโปรแกรมส่วนต่อกราฟิกกับผู้ใช้ 59
รูปที่ 4. 8 รูปแบบข้อมูลแบบ CSV ไฟล์ 60
รูปที่ 5. 1 เหตุการณ์ที่ 1 ในขณะที่เซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบการตรวจจับรถไฟ 63
รูปที่ 5. 2 เหตุการณ์ที่ 1 ในขณะที่เซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟ 64
รูปที่ 5. 3 เหตุการณ์ที่ 2 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบการตรวจจับรถไฟ 66
รูปที่ 5. 4 เหตุการณ์ที่ 2 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟ 67
รูปที่ 5. 5 เหตุการณ์ที่ 3 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบการตรวจจับรถไฟ 69
รูปที่ 5. 6 เหตุการณ์ที่ 3 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟ 70
รูปที่ 5. 7 เส้นทางรางรถไฟเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 71
รูปที่ 5. 8 วิธีการส่งข้อมูลในลักษณะวนลูป 72
รูปที่ 5. 9 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ที่ระยะทางต่างๆใน สภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 75
รูปที่ 5. 10 ตำแหน่งการวางโนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) ในสภาพแวดล้อมจริง 76
รูปที่ 5. 11 ระยะทางที่ ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 77
รูปที่ 5. 12 จำนวนครั้งของการรีเซ็ตในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) 80
รูปที่ 5. 13 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จภายใน 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง).......... 81
รูปที่ 5. 14 เส้นทางรางรถไฟเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 82
รูปที่ 5. 15 วิธีการส่งข้อมูลในลักษณะวนลูป 83
รูปที่ 5. 16 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 86
รูปที่ 5. 17 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทางที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 86
รูปที่ 5. 18 ตำแหน่งการวางโนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) ในสภาพแวดล้อมจริง............ 87
รูปที่ 5. 19 ระยะทางที่ ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาด 88
รูปที่ 5. 20 จำนวนครั้งของการรีเซ็ตในสภาแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 91

หน้า

รูปที่ 5. 21 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จภายใน 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 92
รูปที่ 5. 22 เส้นทางรางรถไฟเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) 93
รูปที่ 5. 23 วิธีการส่งข้อมูลในลักษณะวนลูป.. 94
รูปที่ 5. 24 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดปลายทางและโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) 97
รูปที่ 5. 25 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดต้นทางที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)..................... 97
รูปที่ 5. 26 ตำแหน่งการวางโนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) ในสภาพแวดล้อมจริง 98
รูปที่ 5. 27 ระยะทางที่ ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาด 99
รูปที่ 5. 28 จำนวนครั้งของการรีเซ็ตในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) 102
รูปที่ 5. 29 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จภายใน 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ (Railway Signaling System) เป็นระบบกลไกสัญญาณไฟ หรือระบบคอมพิวเตอร์ ในการเดินขบวนรถไฟเพื่อแจ้งให้พนักงานขับรถไฟ หรือหัวหน้าสถานีทราบสภาพเส้นทางข้างหน้า และตัดสินใจที่จะหยุดรถ ชะลอความเร็ว หรือบังคับทิศทาง ให้การเดินรถดำเนินไปได้อย่างปลอดภัย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ การสับที่กั้นทางรางรถไฟไม่ให้รถยนต์หรือคนผ่านไปในขณะที่รถไฟวิ่งผ่าน จากสถิติพบว่าเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง [1] ซึ่งในปัจจุบันการรถไฟแห่งประเทศไทยต้องใช้พนักงานในการควบคุมระบบรักษาความปลอดภัยนี้ ซึ่งต้องใช้งบประมาณส่วนหนึ่งในการดำเนินการ และบางสถานีไม่มีพนักงานในการควบคุมระบบกั้นทางรางรถไฟ อาจทำให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้

การสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication) สามารถช่วยให้เกิดการสื่อสารระหว่างรถไฟไปยังศูนย์สั่งการของระบบได้ ซึ่งเครื่องลูกข่ายสามารถติดต่อกันเองได้ผ่านระบบแอดฮอก (Ad hoc) เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ได้มาจากเซนเซอร์ (Sensor) หรือเครื่องมือวัด (Instruments) ในหลายสถานการณ์ต้องการส่งข้อมูลจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางที่อยู่ห่างกันเกินกว่าความสามารถในการส่งข้อมูลของสถานีต้นทาง จึงมีความจำเป็นต้องใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณ (Relay Station) เพื่อส่งต่อข้อมูลระหว่างสถานีต้นทางกับสถานีปลายทาง ซึ่งเราสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการสื่อสารไร้สายแอด ฮอกมาใช้ในการเฝ้าตรวจ หรือการตอบสนองที่เร็วขึ้นเพื่อลดอุบัติเหตุ

ปัจจุบันโพรโทคอล ZigBee ที่ใช้อยู่บนมาตรฐาน IEEE802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุย่าน ISM (Industrial Scientific and Medical Bands) มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ประหยัดพลังงาน มีปริมาณข้อมูลที่รับส่งไม่มาก และราคาอุปกรณ์ไม่แพง จึงเห็นว่า ZigBee เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในระบบกั้นทางรางรถไฟ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบ และพัฒนาระบบกั้นทางรางรถไฟอัตโนมัติบนโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee ซึ่งนำเสนอขั้นตอนวิธีการสื่อสารของโพรโทคอล ZigBee แบบโมด API ในกระบวนการจัดเส้นทางตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4
2. พัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเฝ้าตรวจสถานะข่ายเชื่อมโยง (Link Status) สถานะการทำงานของโนดในระบบ (Node Status) สถานะประตู (Gate Status) สถานะไฟแต่ละโนด (Light Status) และสถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ (Sensor Status) แบบเวลาจริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนประกอบหลัก คือ เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ (Detector) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ZigBee (ZigBee Communication) ประตูกั้นทางรถไฟ (Railway Gate) และระบบเฝ้าตรวจ (Monitoring)
2. เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟจะใช้เซนเซอร์แบบอินฟราเรด (Infrared) คือ การทำงานจะตรวจจับด้วยแสง ซึ่งประกอบด้วยชุดส่งเป็นตัวยิงสัญญาณออกไป และมีตัวรับสัญญาณ หากรถไฟวิ่งผ่านจะทำให้สวิตช์ตรวจจับสถานะได้
3. งานวิจัยนี้มีการวางเซนเซอร์โนด 1 มิติ ตามเส้นทางรางรถไฟ ซึ่งมีทั้งหมด 4 โนด ประกอบด้วยโนดต้นทาง (Source) 1 โนด ทำหน้าที่ตรวจจับรถไฟ เพื่อสั่งการให้ประตูกั้นทางรางไฟปิด โนดถ่ายทอดสัญญาณ (Relay) 2 โนด ทำหน้าที่ ส่งต่อข้อมูลไปยังโนดปลายทาง (Destination) และโนดปลายทาง 1 โนด ทำหน้าที่ ตรวจจับรถไฟ เพื่อสั่งการให้ประตูกั้นทางรถไฟเปิด เมื่อรถไฟวิ่งผ่านไปแล้ว ซึ่งมีระยะทางทั้งสิ้น 500-1000 เมตร(ตามสภาพแวดล้อมที่ติดตั้งเซนเซอร์โนด) ซึ่งอุปกรณ์ ZigBee แต่ละตัวมีกำลังส่ง 50 mW และใช้เสาอากาศขนาด 5 dBi
4. งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการสื่อสารของโพรโทคอล ZigBee แบบโมด API (Application Programming Interface) โดยจะออกแบบขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางการส่งข้อมูล เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่โนดต้นทางส่งไปยังโนดปลายทางถูกต้อง และมีความเชื่อถือได้ โดยโนดแต่ละโนดมีเส้นทางที่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดข้างเคียงได้ 2 โนดเท่ากันทุกโนด
5. อุปกรณ์ภายในเซนเซอร์โนดถูกออกแบบมา เพื่อให้ระบบมีการจัดการเรื่องพลังงานเอง และสามารถนำอุปกรณ์ไปติดตั้งในสภาพแวดล้อมจริง โดยมีเซลล์สุริยะ (Solar Panel) เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
6. ประตูกั้นทางรถไฟจะประกอบด้วยชุดของมอเตอร์กระแสตรงขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ความเร็วรอบมอเตอร์ (RPM) อยู่ที่ 5000 r/min และมีอัตราทดเฟือง (rpm:20)
7. มีซอฟต์แวร์ ทำหน้าที่ เฝ้าตรวจ (Monitoring) กระบวนการทำงานของโครงข่าย เช่น เพื่อเฝ้าตรวจสถานะข่ายเชื่อมโยง สถานะการทำงานของโนดในระบบ สถานะประตู สถานะไฟแต่ละโนด และสถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ แบบเวลาจริง เพื่อให้พนักงานรถไฟที่อยู่สถานีได้ทราบถึงกระบวนการทำงานของเซนเซอร์โนด เพื่อจะได้แก้ไขจัดการทันทีทันใด เมื่อเห็นว่าเซนเซอร์โนดมีปัญหา

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการทำงานและการสื่อสารของระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติในรูปแบบต่างๆ
2. ศึกษาโพรโทคอลการส่งข้อมูลของ ZigBee ตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4 ระหว่างเซนเซอร์โนดด้วยกัน และระหว่างเซนเซอร์โนดกับคอมพิวเตอร์
3. เขียนโปรแกรมการส่งข้อมูลของ ZigBee แบบโมด API ลงบนชิปประมวลผล และโปรแกรมกราฟิกบนคอมพิวเตอร์เพื่อให้พนักงานการรถไฟได้ทราบถึงสถานะการทำงานของเซนเซอร์โนด
4. รวบรวมผลการทดสอบ สรุปผล และเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง
2. ได้รับความรู้การสื่อสารและขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee ตามมาตรฐาน IEEE802.15.4

1.6 ลำดับขั้นตอนในงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท

บทที่ 1 กล่าวถึงเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ระบบกั้นทางรถไฟในปัจจุบันพื้นฐานการสื่อสารของโพรโทคอล ZigBee ตามมาตรฐาน IEEE802.15.4 และเสนอรูปแบบขั้นตอนวิธีการสื่อสารในกระบวนการจัดเส้นของ ZigBee

บทที่ 3 กล่าวถึง วิธีออกแบบและโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบกั้นทางรางรถไฟ

บทที่ 4 กล่าวถึง รายละเอียดการทำงานในส่วนของซอฟต์แวร์ของแต่ละเซนเซอร์โนด และของโมดูลต่างๆที่ได้ออกแบบขึ้น

บทที่ 5 กล่าวถึง ผลการทดสอบการทำงานของระบบกั้นทางรางรถไฟที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 6 กล่าวถึง บทสรุปของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และข้อเสนอแนะสำหรับนำไปพัฒนางานวิจัยต่อไป

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบกั้นทางรถไฟในปัจจุบัน

ประตูกั้นทางรถไฟในปัจจุบัน [1] มี 2 แบบ คือ แบบที่ใช้พนักงานควบคุม และแบบที่สามารถทำงานเองโดยอัตโนมัติ ประตูกั้นทางรถไฟแบบที่ใช้พนักงานควบคุมเป็นเครื่องกั้นที่ทำงานโดยใช้พนักงานเป็นผู้ควบคุมการเปิดปิดประตูกั้นทางรถไฟ ประตูกั้นทางรถไฟชนิดนี้มักติดตั้งที่ทางผ่านที่อยู่ใกล้กับสถานีรถไฟ เมื่อถึงเวลาที่รถไฟมาจะมีเจ้าหน้าที่คอยควบคุมระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนประตูกั้นทางรถไฟ ซึ่งอาจเป็นคานกั้นหรือม่านกั้น นอกจากนี้ยังมีระบบที่ใช้แรงงานคนในการทำงานโดยใช้แผงเหล็กกั้นรถไฟหรือใช้ม่านกั้นรถไฟแบบมือหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) และรูปที่ 2.1 (ข)

(ก)

(ข)

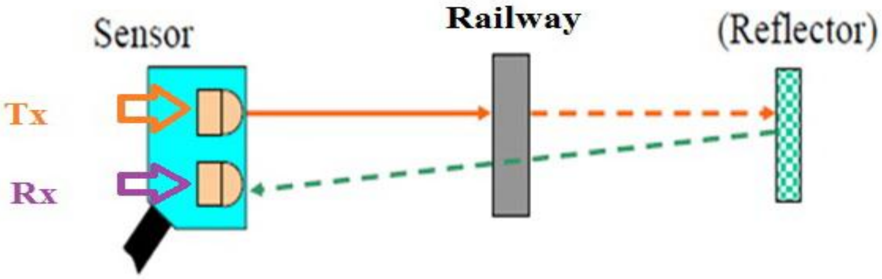
รูปที่ 2. 1 (ก) เครื่องกั้นทางข้ามรางรถไฟแบบที่ใช้ม่านกั้นถนน (ข) เครื่องหมุนม่านกั้นรถไฟ

ส่วนประตูกั้นทางข้ามรางรถไฟแบบอัตโนมัติ เป็นเครื่องกั้นที่มีคานกั้นปิดถนนในแต่ละเลนโดยอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยระบบนี้จะมีเครื่องนับล้อรถไฟติดตั้งข้างรางรถไฟก่อนถึงจุดตัดประมาณ 700 เมตร 1 ตัว และหลังจุดตัดประมาณ 50 เมตรอีก 1 ตัว เมื่อรถไฟเหยียบแทร็ก ของเครื่องนับล้อตัวแรก เครื่องกั้นก็จะยกคานลงโดยอัตโนมัติและเมื่อรถไฟวิ่งผ่านไปอีก 50 เมตร รถไฟจะเหยียบแทร็กของเครื่องนับล้ออีกตัวหนึ่ง เครื่องกั้นก็จะยกตัวขึ้น ภายใน 10 วินาที [1]

รูปที่ 2. 2 ประตูกั้นทางรถไฟแบบอัตโนมัติ

2.2 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ

งานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า [2] Photo Sensor คือ การทำงานจะตรวจจับด้วยแสง ซึ่งใช้เซนเซอร์แสง (Photo Sensor) ประกอบด้วยชุดส่งเป็นตัวยิงสัญญาณออกไป และมีตัวรับสัญญาณหากรถไฟวิ่งผ่านจะทำให้สวิตช์ตรวจจับสถานะได้ ส่วนหลักการนั้นจะมีการใช้เทคนิคของการตัดแสง



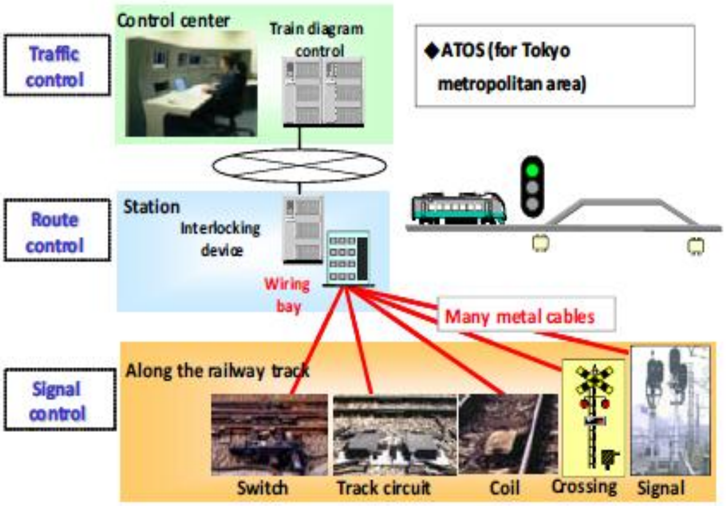
รูปที่ 2. 3 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟแบบใช้เลเซอร์

ตัวเซนเซอร์ (Sensor)	ประกอบด้วย ตัวส่งสัญญาณออกไป ซึ่งจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสงที่เป็นหลอด LED และตัวรับสัญญาณจะใช้ Photo Transistor ซึ่งจะทำงานเป็นสวิตช์ (ปิดและเปิด) กล่าวคือ ถ้าได้รับแสงจาก LED สวิทช์จะปิด และในทางตรงกันข้ามถ้า Photo Transistor ไม่ได้รับแสง สวิทช์จะเปิด
ตัวสะท้อน (Reflector)	เป็นแผ่นสะท้อนที่เป็นแบบ (Polarizing)

2.3 การสื่อสารของระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติ

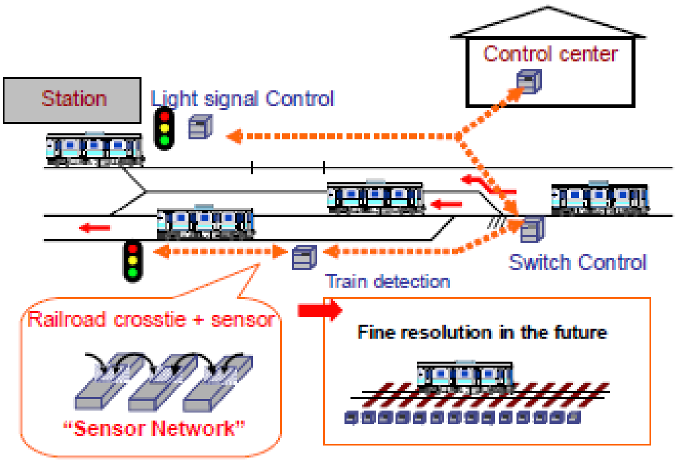
งานวิจัยที่ผ่านมานำเสนอระบบกั้นทางรางรถไฟ โดยใช้ตัวกลางในการสื่อสารที่แตกต่างกัน เช่น เส้นใยแสง (Fiber Optic) สายเคเบิลแกนร่วม (Coaxial Cable) และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GPRS) ในลักษณะที่แตกต่างกันไปในด้านรูปแบบและวิธีการแก้ปัญหา ตัวกลางในการสื่อสารในแต่ละแบบนั้นมีข้อเสียดีและข้อเสียต่างกันไป การใช้เส้นใยแสงระบบการส่งข้อมูลแบบเส้นใยแสงต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง หากใช้สายเคเบิลแกนร่วมก็จะทำให้เกิดความสูญเสียในการส่งผ่าน (Transmission Impairments) เมื่อใช้ระยะทางไกลๆ และต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อให้ระบบส่งข้อมูลได้ หรือหากใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องเสียค่าบริการ งานวิจัยนี้จึงใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee เป็นตัวกลางในการสื่อสาร เพราะอุปกรณ์มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และราคาไม่สูงมาก เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลของระบบกั้นทางรางรถไฟซึ่งปริมาณข้อมูลที่รับส่งมีไม่มากด้วย

งานวิจัย [3] นำเสนอเทคโนโลยีที่เรียกว่า Autonomous Decentralized System (ADS) เป็นระบบกระจายการทำงานให้เป็นอิสระต่อกัน เพื่อให้การทำงานรวดเร็วและสะดวกยิ่งขึ้น โดยระบบจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ระบบควบคุมสัญญาณ (Signal Control) ส่วนนี้เป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ ที่ทำหน้าที่ควบคุมการสับรางของรถไฟ การติดตามรถไฟ และการให้สัญญาณของรถไฟ ซึ่งระบบควบคุมสัญญาณนี้จะเชื่อมต่อไปยัง ระบบควบคุมเส้นทาง (Route Control) ซึ่งเป็นส่วนของซอฟต์แวร์ ทำหน้าที่ควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยจะสื่อสารผ่านตัวกลางสายเคเบิลที่เป็นโลหะและส่งต่อไปยัง ระบบควบคุมจราจร (Traffic Control) เพื่อทำหน้าที่ จัดการเรื่องจราจรของรถไฟเพื่อให้เกิดความปลอดภัยของผู้ใช้และความรวดเร็วในการให้บริการต่อไป ดังรูปที่ 2.4

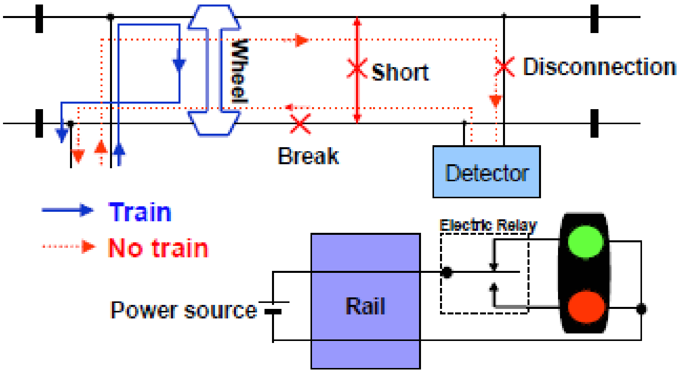


รูปที่ 2. 4 รูปแบบระบบควบคุมของรถไฟ

งานวิจัย [4] นำเสนอการใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายในระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ โดยจะวางเซนเซอร์บนรางรถไฟซึ่งมีระยะทางห่างกันทุกๆ 1 เมตรเพื่อตรวจจับรถไฟ และส่งต่อข้อมูลไปยังสถานีปลายทางหลายๆ ฮอป งานวิจัยนี้ใช้เทคโนโลยี ที่เรียกว่า MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ซึ่งประกอบโครงสร้างทางกลและวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกัน เพื่อใช้เป็นเซนเซอร์และแอคชัวเอเตอร์ โดยผลิตขึ้นด้วยเทคโนโลยีการสร้างระดับไมครอน ซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกันกับกระบวนการที่ใช้ในการผลิต IC (Integrated Circuit) และได้นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ ดังรูปที่ 2.5



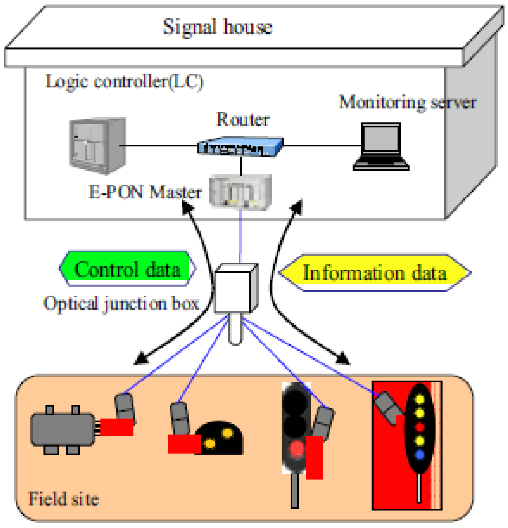
รูปที่ 2. 5 โครงข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ



รูปที่ 2. 6 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟพร้อมวิธีการติดตั้งวงจรทางไฟฟ้า

รูปที่ 2.6 แสดงการตรวจจับรถไฟ ซึ่งรางคู่ของรถไฟประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้า เมื่อล้อรถไฟกระทบกับรางรถไฟที่ประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้าทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปและรีเลย์ก็จะเปลี่ยนไฟสัญญาณต่อไปนอกจากนี้แล้วยังสามารถตรวจจับความเสียหายของรางรถไฟอีกด้วย

งานวิจัย [5] นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีให้การบริการที่มีความเชื่อมั่น (Assurance Technology) ต่อผู้ใช้ ผู้วิจัยได้เสนอการสร้างระบบควบคุมข้อมูลและสารสนเทศในโครงข่ายในระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ เพื่อลดเวลาการเดินทางของรถไฟ และสามารถดำเนินการบริการด้วยความต่อเนื่อง ทำให้ผู้ใช้เกิดการพอใจต่อการบริการ แต่ทั้งนี้เทคโนโลยีให้การบริการที่มีความเชื่อมั่นไม่ได้ใช้เฉพาะในระบบอาณัติสัญญาณรถไฟเท่านั้น ยังรวมถึงภาคอุตสาหกรรมอื่นๆอีกด้วย



รูปที่ 2. 7 ระบบควบคุมข้อมูลและข้อมูลสารสนเทศ

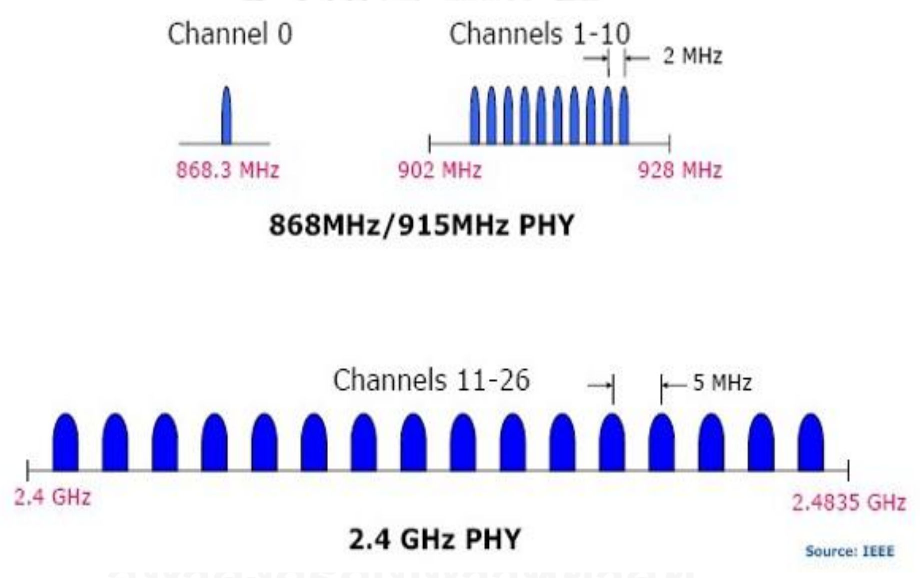
ภายในอาคารควบคุมสัญญาณ (Signal house) ประกอบด้วยลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Logic Controller) ทำหน้าที่ ควบคุมเส้นทางของรถไฟและควบคุมระบบสัญญาณรถไฟ หรือระบบที่กั้นรถไฟ เซิร์ฟเวอร์เฝ้าตรวจ (Monitoring server) ทำหน้าที่ เฝ้าตรวจกระบวนการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟทั้งระบบผ่านทางโครงข่ายเส้นใยแสง ซึ่งในส่วนของข้อมูลสารสนเทศ (Information data) รับมาจากอุปกรณ์สัญญาณไฟจราจร เพื่อส่งข้อมูลควบคุม (Control data) ไปควบคุมระบบที่กั้นรถไฟและระบบสับรางรถไฟต่อไป

งานวิจัย [6] นำเสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเชื่อมต่อระหว่างสถานีต้นทางกับสถานีปลายทาง โดยอยู่ในรูปแบบของจำนวนสถานีเชื่อมโยง ทั้งหมดในระบบ ผลกระทบที่เกิดจากสถานีเชื่อมโยง ในระบบที่เสียบางส่วนและระยะการส่งสัญญาณของสถานีเชื่อมโยงแต่ละตัว ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของการเรียงกันของแต่ละสถานี โดยเฉพาะความน่าจะเป็นที่สถานีต้นทางและสถานีปลายทางสามารถติดต่อกันได้มาจากโครงข่ายไร้สายในรูปแบบ 2 มิติ โดย

ผลจากการวิเคราะห์พิจารณาบนสมมุติฐานของความน่าจะเป็นซึ่งมีการสุ่มของสถานีเชื่อมโยง อย่างสม่ำเสมอซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์ทางทฤษฎีทำได้ง่ายขึ้นแต่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ได้จริง

2.3.1 การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุตามโพรโทคอล ZigBee

การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุตามโพรโทคอล ZigBee มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน จุดมุ่งหมายของมาตรฐาน ZigBee ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท ZigBee Alliance เพื่อใช้สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายในอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ราคาไม่แพง และกินกำลังไฟฟ้าน้อย ทำให้ประหยัดในเรื่องพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่อยู่ในกลุ่มโครงข่ายระยะใกล้ด้วยกัน เช่น Bluetooth และ WiFi ซึ่งโพรโทคอล ZigBee ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะใช้ในระบบควบคุมบ้านอัตโนมัติ ระบบควบคุมในภาคอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ตรวจวัดทางการแพทย์ เป็นต้น โดยโพรโทคอล ZigBee ได้กำหนดย่านความถี่ที่ใช้งาน 3 ย่านความถี่ [7] ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2. 8 ย่านความถี่และช่องสัญญาณของ ZigBee

1. ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ มีอัตรารับส่งข้อมูล 250 kbps
2. ย่านความถี่ 915 MHz มี 10 ช่องสัญญาณ มีอัตรารับส่งข้อมูล 40 kbps
3. ย่านความถี่ 868 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ มีอัตรารับส่งข้อมูล 20 kbps

2.3.1.1 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ ZigBee

1. อุปกรณ์สร้างโครงข่าย (Coordinator) ทำหน้าที่ ตั้งโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล(Personal Area Network (PAN)) ขึ้นมาใหม่ และรับผิดชอบการเข้าร่วมและถอนตัวของอุปกรณ์อื่นๆ

ในโครงข่าย รวมถึง ทำหน้าที่ ติดต่อรับส่งข้อมูลข้ามระหว่างโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล ที่ใช้โพรโทคอล ZigBee เหมือนกัน โดยภายในโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลหนึ่งๆมี Coordinator 1 ตัว

2. เราเตอร์ (Router) ทำหน้าที่ ส่งต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง เนื่องจากอุปกรณ์อยู่ไกลกันเกินกว่าระยะทางที่สามารถติดต่อได้ และจะทวนสัญญาณ เพื่อส่งต่อจากสถานีต้นทางไปยัง สถานีปลายทางได้ แต่ไม่สามารถตั้งโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลขึ้นใหม่ได้เอง
3. อุปกรณ์ปลายทาง (End Device) เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ภายในโครงข่าย สามารถทวนสัญญาณ หรือส่งต่อข้อมูลได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่โครงข่ายที่เลือกใช้งาน

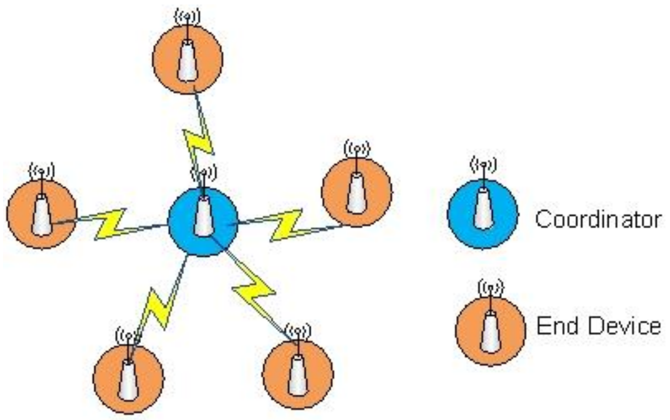
2.3.1.2 ลักษณะการเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้โพรโทคอล ZigBee

มาตรฐาน ZigBee/ IEEE802.15.4 ได้กำหนดไว้ว่าภายในโครงข่ายเดียวกันจะต้องมี Coordinator 1 ตัวเท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ ตั้งโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลขึ้นมาใหม่ และรับผิดชอบเกี่ยวกับการรับเข้าและการถอนตัวของอุปกรณ์ ZigBee ออกจากโครงข่าย ซึ่งการขอเข้าร่วมได้กำหนดไว้ 3 รูปแบบ คือ

2.3.1.2.1 โครงข่ายแบบดาว (Star Network)

โครงข่ายแบบดาว ประกอบด้วย Coordinator เป็นศูนย์กลางการติดต่อภายในโครงข่าย โดยมี End Device ล้อมรอบ เมื่อ End Device โนดหนึ่งต้องการส่งข้อมูลไปยัง End Device อีกโนดหนึ่งจะต้องติดต่อผ่านทาง Coordinator แล้วส่งต่อไปยัง End Device ที่อยู่ปลายทางให้ การจัดการโครงข่ายทั้งหมด เป็นหน้าที่ของ Coordinator ซึ่งจะมีลักษณะความสัมพันธ์แบบแม่กับลูก (Parent and Child) โดย Coordinator เป็นอุปกรณ์แม่ (Parent) และ End Device เป็นอุปกรณ์ลูก (Child) ดังรูปที่ 2.9

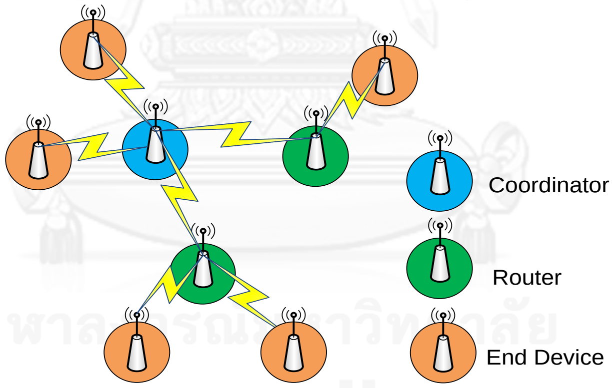
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2. 9 โครงข่ายแบบดาว

2.3.1.2.2 โครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ (Cluster Tree Network)

โครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ จะเป็นลักษณะโครงข่ายเสมือนว่ามีโครงข่ายแบบดาวหลายๆ โครงข่ายมาเชื่อมโยงกัน โดยมี Coordinator 1 ตัวเป็นตัวจัดการทั้งโครงข่าย End Device แต่ละตัวสามารถติดต่อผ่านทาง Coordinator และ Router ได้ ทำให้สามารถเพิ่มระยะทางของโครงข่ายได้ไกลมากขึ้น ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบแม่กับลูก (Child and Parent) ดังรูปที่ 2.10

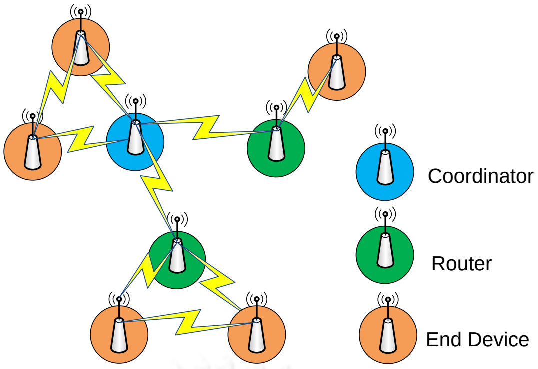


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2. 10 โครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้

2.3.1.2.3 โครงข่ายแบบเมช (Mesh Network)

โครงข่ายแบบเมช จะเป็นลักษณะโครงข่ายมีความคล่องตัวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับโครงข่ายแบบดาวและโครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ End Device สามารถติดต่อกันโดยตรงได้ โดยไม่จำเป็นต้องผ่าน Coordinator และ Router อย่างไรก็ตามโครงข่ายนี้ต้องมี Coordinator 1 ตัว เพื่อทำหน้าที่ สร้างโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลที่อยู่รอบๆ ดังรูปที่ 2.11



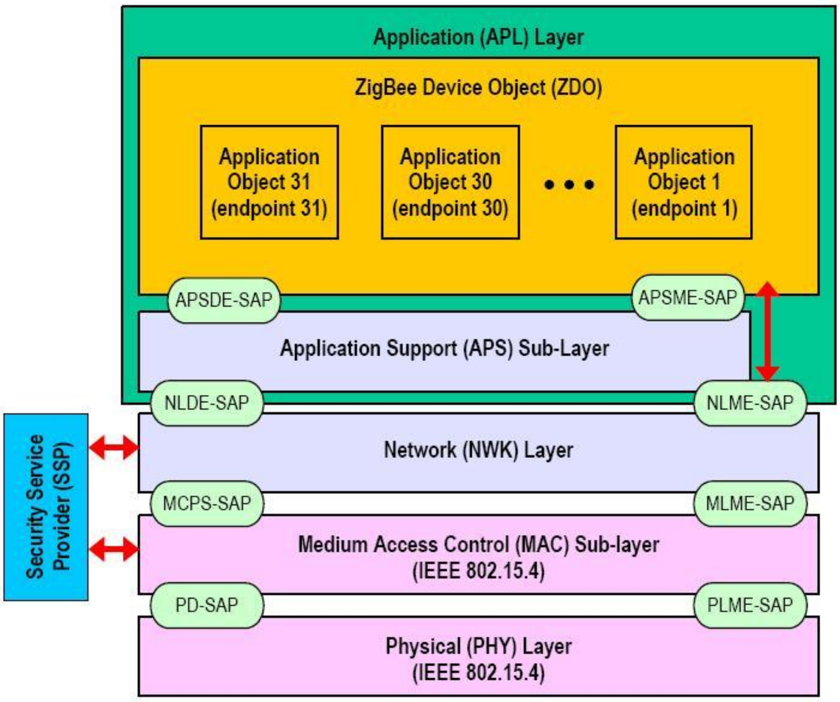
รูปที่ 2. 11 โครงข่ายแบบเมช

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ ที่มีโนดปลายทาง ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ Coordinator โนดต้นทาง ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ End Device และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นอุปกรณ์ Router ซึ่งจะทำหน้าที่ คอยส่งข้อมูลจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง ทำให้เพิ่มระยะทางของโครงข่ายและครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น อีกทั้งโครงข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ มีการจัดการโครงข่ายได้ง่ายกว่าแบบโครงข่ายแบบเมช

2.3.1.3 โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee

ภายในชุดโพรโทคอลของ ZigBee มีองค์ประกอบอยู่เป็นชั้นๆ ประกอบด้วยชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application Layer) ชั้นโครงข่าย (Network Layer) สองชั้นนี้ เป็นส่วนที่บริษัท ZigBee Alliance ได้กำหนดไว้ ตามมาตรฐานของ ZigBee และในชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Medium Access Control หรือ MAC Layer) และชั้นกายภาพ (Physical Layer) เป็นส่วนที่กำหนดตามมาตรฐาน IEEE802.15.4 [7] ดังรูปที่ 2.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2. 12 โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee

1. ชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application Layer)

ชั้นประยุกต์ใช้งาน เป็นชั้นที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้งานมากที่สุด ภายในมีส่วนที่สร้างไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดการทำงานหรือออบเจ็กต์ในลักษณะการตอบสนองได้เอง โดยที่สามารถใส่ชุดคำสั่งสูงสุดได้ถึง 240 ชุดคำสั่งต่ออุปกรณ์ 1 ตัว และภายในชั้นประยุกต์ใช้งาน มีชั้นย่อยสนับสนุนการประยุกต์ใช้งานที่เรียกว่า Application Support Sub Layer ซึ่งแบ่งหน้าที่ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

ส่วนที่ 1 ส่วนที่ดูแลข้อมูล (Application Support Sub-Layer Data Entity : APSDE) ทำหน้าที่สร้าง Overhead เพิ่มเข้าไปและถอด Overhead ออกจากข้อมูล เพื่อช่วยในการติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ภายในชั้นประยุกต์ใช้งานด้วยกัน และจัดการสร้างและถอด Overhead ของข้อมูลที่ถูกส่งมาในลักษณะการสื่อสารแบบที่อยู่แบบกลุ่ม (Group Address) รวมถึงทำหน้าที่ ปฏิเสธข้อมูลที่ได้รับหากข้อมูลนั้นเคยรับมาก่อนหน้านั้นแล้ว

ส่วนที่ 2 ส่วนที่ดูแลด้านการจัดการส่งข้อมูล (Application Support Sub-Layer Management Entity : APSME) มีหน้าที่ เชื่อมต่ออุปกรณ์พร้อมที่จะรับส่งข้อมูลที่เข้าด้วยกันหากอุปกรณ์ทั้งสองต้องการติดต่อสื่อสารกัน จัดการเพิ่มหรือลดอุปกรณ์เข้าและออกจากการสื่อสารแบบที่อยู่แบบกลุ่ม (Group Address) และทำหน้าที่ ติดต่อกับส่วนจัดหาบริการรักษาความปลอดภัย

(Security Service Provider) สำหรับตั้งค่าเปลี่ยนค่ารหัสผ่าน เพื่อใช้ในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่รับส่งกันในโครงข่าย

2. ชั้นโครงข่าย (Network Layer)

ชั้นโครงข่าย เป็นชั้นรองที่อยู่ระหว่างชั้นประยุกต์และชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง ทำหน้าที่ กำหนดที่อยู่ (Address) ให้กับอุปกรณ์ที่เข้าร่วมโครงข่าย และจัดเส้นทางการส่งข้อมูลจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทาง

3. ชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Medium Access Control Layer)

ชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง มีกลไกการทำงานแบบ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูล

4. ชั้นกายภาพ (Physical Layer)

ชั้นกายภาพ เป็นชั้นล่างสุด ข้อมูลที่ส่งไปจะอยู่ในระดับบิต และ ZigBee จะใช้ย่านความถี่ด้วยกัน 3 ย่านความถี่ คือ 868 MHz 915 MHz และ 2.4 GHz การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะ Direct Sequence ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้คลื่นพาห์แบบระบุความถี่ใช้งาน และมีการสร้างบิตข้อมูลสำรอง โดยจะส่งไปพร้อมกับบิตข้อมูล หากบิตข้อมูลเกิดความเสียหายระหว่างการส่งก็สามารถตรวจพบแก้ไขหรือร้องขอให้ส่งใหม่ได้ ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.2 การสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์โนดตามโพรโทคอล ZigBee แบบโมด API

การสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์โนดตามโพรโทคอล ZigBee มีโมดการทำงานแบ่งออกเป็น 2 โมด [7] คือ AT Mode และ API Mode การสื่อสารแบบ AT-Mode คือ ชุดคำสั่งมาตรฐานที่สามารถใช้ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ เช่น โมเด็ม หรืออุปกรณ์ DTE (Data Terminal Equipment) เพื่อโต้ตอบตั้งค่า หรือสั่งงานอุปกรณ์เหล่านั้นให้ทำงานตามที่ต้องการได้โดยง่าย ส่วน API Mode จะมีรูปแบบการใช้งานที่ค่อนค่างจะยุ่งยากมากว่า AT Mode แต่สามารถใช้งานได้ยืดหยุ่นกว่า เช่น การใช้งานคำสั่งรีโมท (Remote) และการควบคุมอินพุทและเอาท์พุท (I/O) ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>ข้อดีของการสื่อสารแบบ AT Mode</u>

1. ใช้งานง่าย
2. สามารถใช้ติดต่อกับอุปกรณ์สื่อสารได้หลากหลาย เช่น โมเด็ม เป็นต้น

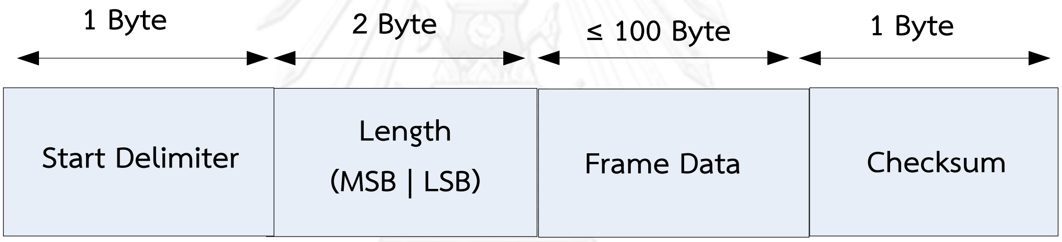
<u>ข้อดีของการสื่อสารแบบ API Mode</u>

1. อุปกรณ์ ZigBee สามารถรับข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท (Input/Output) จากอุปกรณ์ ZigBee หลายๆตัวได้

2. ตัวส่งสามารถรับรู้สถานะการส่งข้อมูลที่ส่งไปยังตัวรับได้ โดยจะมีข้อความตอบรับ (Acknowledgement (ACK)) เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งไปยังตัวรับสำเร็จหรือไม่ และจะมีการส่งข้อมูลซ้ำ (Retries)ไปยังตัวรับ เมื่อตัวส่งไม่ได้รับข้อความตอบรับ
3. ข้อมูลของแพ็กเกตฝั่งตัวรับ (Receive packets (RX)) จะประกอบด้วย ที่อยู่ของโนดต้นทาง และความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (RSSI)
4. ผู้ใช้งานสามารถกำหนดที่อยู่ของอุปกรณ์ ZigBee ได้โดยง่าย
5. แพ็กเกตมีการตรวจสอบของข้อมูลโดยจะมีผลรวม (Checksum) ทำหน้าที่ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่

2.3.2.1 ฟอร์แมตของเฟรมสำหรับการสื่อสาร

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา และนำฟอร์แมตของเฟรมมาประยุกต์ใช้สำหรับการสื่อสารไร้สาย ZigBee แบบโมด API (Application Programming Interface) ตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2. 13 รูปแบบ API โมดสำหรับการสื่อสารไร้สายของอุปกรณ์ ZigBee

เฟรมสำหรับการสื่อสารไร้สาย ZigBee แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request) มีขนาด 33 ไบต์ โดยในเฟรมร้องขอการส่งข้อมูล หนึ่งไบต์แรกเป็นส่วนกั้นเริ่มต้น (Start Delimiter) API โมดจะใช้ 7E เป็นตัวบอกให้รู้ว่านี่คือจุดเริ่มต้นของเฟรม มีขนาด 1 ไบต์ Length คือ จำนวนไบต์ของข้อมูลในเฟรมข้อมูล (Frame Data) และเฟรมข้อมูลมีขนาด 29 ไบต์ คือ คำสั่งและข้อมูลที่ต้องการส่ง ข้อมูลในเฟรมมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตาม Frame Type และ Checksum ทำหน้าที่ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1

2.3.2.1.1 เฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request)

1 Byte	2 Byte	29 Byte	1 Byte
Start Delimiter	Length (MSB | LSB)	Frame Data	Checksum

รูปที่ 2. 14 รูปแบบเฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request)

ตารางที่ 2. 1 ฟอร์แมตของเฟรมร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request)

Frame fields		Offset	Example	Description
Start delimiter		0	7E	
Length		MSB1	00	Number of bytes between the length and the checksum.
		LSB2	1C	
Frame Data	Frame type	3	10	
	Frame ID	4	01	
	64 bit Destination	5	00	Set to the 64 bit address of the destination device. เป็นที่อยู่ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แบบ 64 บิต (โนดปลายทางส่งไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2)
		6	7D	
		7	33	
		8	A2	
		9	00	
		10	40	
		11	9F	
		12	29	
		13	89	
	16 bit destination	14	FF	Set to the 16 bit address of the destination device. เป็นที่อยู่ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แบบ 16 บิต
		15	FE	

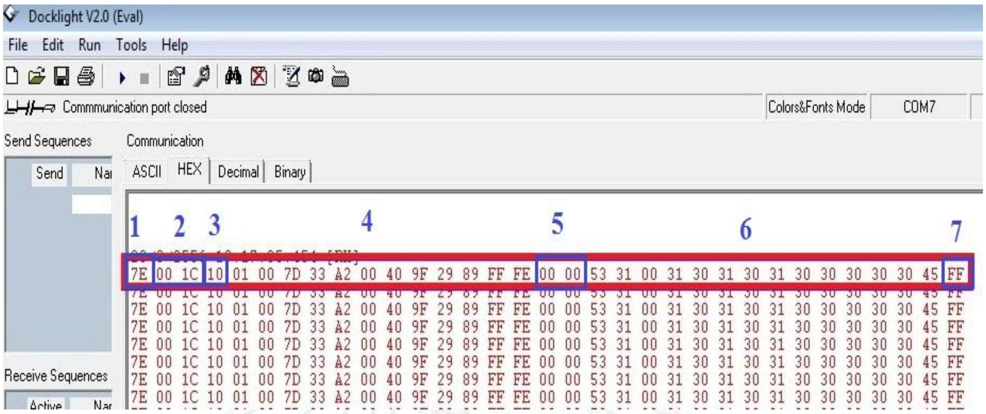
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

<table>
<tr><td rowspan="17"></td><td>Broadcast radius</td><td>16</td><td>00</td><td>Sets maximum number of hops a broadcast transmission can take. If set to 0, the broadcast radius will be set to the maximum hops value.</td></tr>
<tr><td>Options</td><td>17</td><td>00</td><td>Bit field of supported transmission options. Supported values include
01 = Disable ACK
40 = Use the extended transmission
timeout for this destination
All unused and unsupported bits must be set to 0</td></tr>
<tr><td rowspan="14">RF Data</td><td>18</td><td>53</td><td rowspan="14">ข้อมูลที่โนดปลายทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 โดยกำหนดให้
53 คือ อักษร S ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ จุดเริ่มต้น (Start)
31 คือ ตัวเลข 1 ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ มีข้อมูลที่จะส่ง
30 คือ ตัวเลข 0 ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ ไม่มีข้อมูลที่จะส่ง
45 คือ อักษร E ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ จุดสุดท้าย (End)
Offset 19 – 23 คือ สถานะโนด
Offset 24 คือ สถานะไฟ
Offset 25 คือ สถานะประตู
Offset 26 คือ สถานะเซนเซอร์
Offset 27-29 คือ สถานะไฟ
Offset 30 คือ สถานะประตู
โดยอักษรย่อที่กำหนด คือ
Des คือ โนดปลายทาง
R2 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2
R1 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
Src คือ โนดต้นทาง</td></tr>
<tr><td>19</td><td>31 (Des)</td></tr>
<tr><td>20</td><td>00</td></tr>
<tr><td>21</td><td>31 (R1)</td></tr>
<tr><td>22</td><td>30 (R2)</td></tr>
<tr><td>23</td><td>31 (Src)</td></tr>
<tr><td>24</td><td>30 (Des)</td></tr>
<tr><td>25</td><td>31 (Des)</td></tr>
<tr><td>26</td><td>30 (Des)</td></tr>
<tr><td>27</td><td>30 (R1)</td></tr>
<tr><td>28</td><td>30 (R2)</td></tr>
<tr><td>29</td><td>30 (Src)</td></tr>
<tr><td>30</td><td>30 (Src)</td></tr>
<tr><td>31</td><td>45</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Checksum		32	FF	Sum of bytes from offset 3 to this byte.

โปรแกรม Docklight สำหรับรับข้อมูล (เฟรมร้องขอส่งข้อมูล) ที่เป็นแบบพอร์ทอนุกรม (RS232)



รูปที่ 2. 15 เฟรมร้องขอส่งข้อมูล (Transmit Request) จากโปรแกรม Docklight

1. ส่วนกั้นเริ่มต้น (Start Delimiter) โมด API จะใช้ 7E เป็นตัวบอกให้รู้ว่านี่คือจุดเริ่มต้นของเฟรม
2. ความยาว (Length) มีค่า 00 1C คือ ความยาวของจำนวนไบต์ของเฟรมข้อมูล (Frame Data)
3. ชนิดเฟรม (Frame Type) มีค่า 10 คือ ชนิดของเฟรมร้องขอการส่งข้อมูล
4. ที่อยู่โนดปลายทาง (Destination address) 64 บิต และ 16 บิต
5. Broadcast radius & Options กำหนดให้เป็น 00 00
6. ข้อมูลที่ต้องการส่ง (RF Data) สถานะโนด (Node Status) สถานะเซนเซอร์ (Sensor Status) สถานะไฟ (Light Status) ของทุกๆโนด สถานะประตู (Railway Gate Status) ที่โนดปลายทาง โดยค่า 30 หมายถึง ไม่มีข้อมูลที่จะส่งไป และ31 หมายถึง มีข้อมูลที่จะส่งไป
7. ผลรวม (Checksum) มีค่า FF ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่

2.3.2.1.2 เฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status)

1 Byte	2 Byte	7 Byte	1 Byte
Start Delimiter	Length (MSB | LSB)	Frame Data	Checksum

รูปที่ 2. 16 รูปแบบเฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status)

เฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status) มีขนาด 11 ไบต์ โดยในเฟรมสถานะการส่งข้อมูลของ ZigBee หนึ่งไบต์แรกเป็นส่วนกั้นเริ่มต้น (Start Delimiter) API โมดจะใช้ 7E เป็นตัวบอกให้รู้ว่านี่คือจุดเริ่มต้นของเฟรมมีขนาด 1 ไบต์ Length คือ จำนวนไบต์ของข้อมูลในเฟรมข้อมูล (Frame Data) และเฟรมข้อมูลมีขนาด 7 ไบต์ คือ คำสั่งและข้อมูลที่ต้องการส่งข้อมูลในเฟรมมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตาม Frame Type และ Checksum ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2

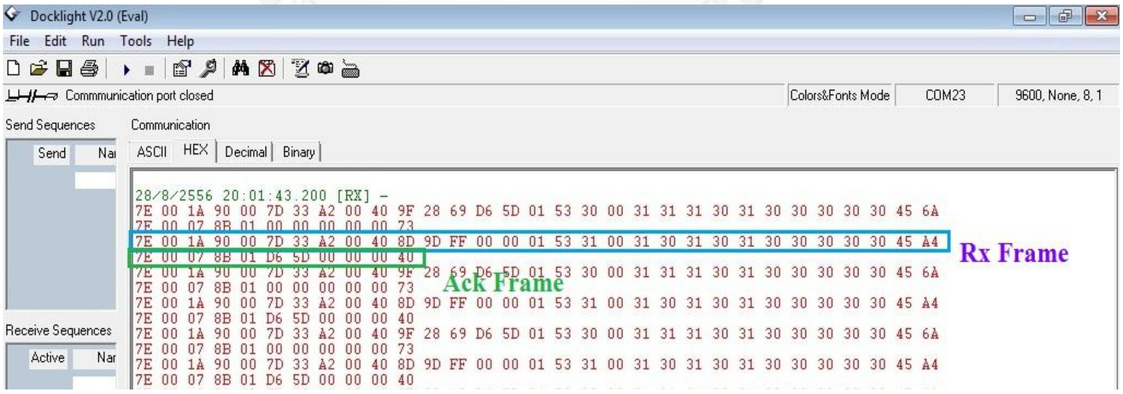
ตารางที่ 2. 2 ฟอร์แมตของเฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status)

Frame fields		Offset	Example	Description
Start delimiter		0	7E	
Length		MSB 1	00	Number of bytes between the length and the checksum.
		LSB 2	07	
Frame Data	Frame type	3	8B	
	Frame ID	4	01	
	16-bit address destination	5	D6	Set to the 16 bit address of the destination device. เป็นที่อยู่ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แบบ 16 บิต
		6	5D	
	Transmit retry count	7	00	The number of application transmission retries that took place.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	Delivery status	8	00	00 = Success 01 = MAC ACK failure 02 = CCA failure 15 = Invalid destination endpoint 21 = Network ACK failure 22 = Not joined to network 23 = Self-addressed 24 = Address not found 25 = Route not found
	Discovery status	9	00	00 = No discovery overhead 01 = Address discovery 02 = Route discovery 03 = Address and route 40 = Extend timeout discovery
Checksum		10	40	Sum of bytes from offset 3 to this byte.

โปรแกรม Docklight สำหรับรับข้อมูล (เฟรมสถานะการส่งข้อมูล) ที่เป็นแบบพอร์ทอนุกรม (RS232)



รูปที่ 2. 17 เฟรมสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status) จากโปรแกรม Docklight

<u>เฟรมสถานะการส่งข้อมูล (สีเขียว)</u>

1. ส่วนกั้นเริ่มต้น (Start Delimiter) โมด API จะใช้ 7E เป็นตัวบอกให้รู้ว่านี่คือจุดเริ่มต้นของเฟรม
2. ความยาว (Length) มีค่า 00 07 คือ ความยาวของจำนวนไบต์ของข้อมูลในเฟรม (Frame Data) คือ คำสั่งและข้อมูลที่ต้องการส่ง
3. ชนิดเฟรม (Frame Type) มีค่า 8B คือ ชนิดของเฟรมตอบรับ
4. Frame ID มีค่า 01 ในโมด API มีค่า 01 ส่วนในโมด AT มีค่า 00
5. ที่อยู่โนดปลายทาง (Destination address) 16 บิต
6. จำนวนครั้งการส่ง (Transmit retry) มีค่า 00
7. สถานะการส่งข้อมูล (Delivery status) มีค่า 00 คือ ส่งข้อมูลสำเร็จ
8. Discovery status มีค่า 00 คือ No discovery overhead
9. ผลรวม (Checksum) มีค่า 40 ทำหน้าที่ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่

2.3.2.1.3 เฟรมที่ภาครับ (Receive Packet)

1 Byte	2 Byte	27 Byte	1 Byte
Start Delimiter	Length (MSB | LSB)	Frame Data	Checksum

รูปที่ 2. 18 รูปแบบเฟรมที่ภาครับ (Receive Packet)

เฟรมที่ภาครับ (Receive Packet) มีขนาด 31 ไบต์ โดยในเฟรมเฟรมที่ภาครับ หนึ่งไบต์แรกเป็นส่วนกั้นเริ่มต้น (Start Delimiter) API โมดจะใช้ 7E เป็นตัวบอกให้รู้ว่านี่คือ จุดเริ่มต้นของเฟรมมีขนาด 1 ไบต์ Length คือ จำนวนไบต์ของข้อมูลในเฟรมข้อมูล (Frame Data) ซึ่งเฟรมข้อมูลมีขนาด 27 ไบต์ คือ คำสั่งและข้อมูลที่ต้องการส่ง หรือข้อมูลที่รับมา ข้อมูลในเฟรมมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตาม Frame Type และ Checksum ทำหน้าที่ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.3

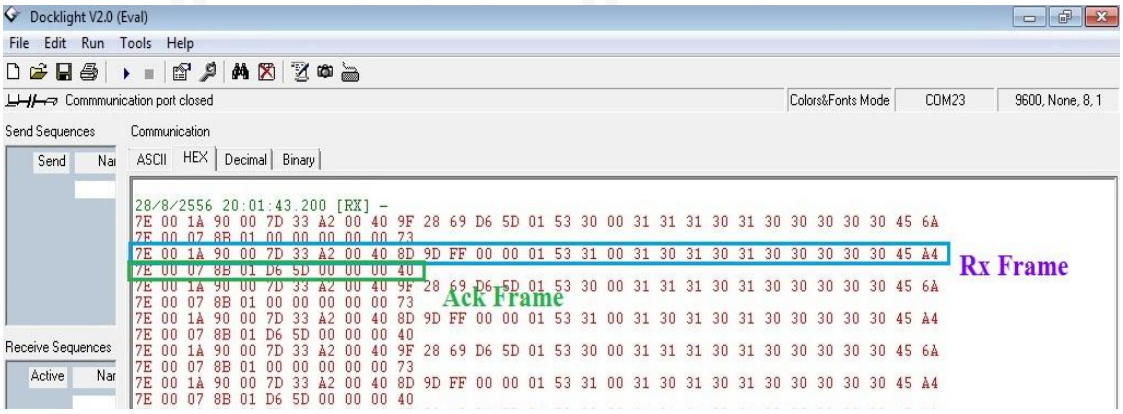
ตารางที่ 2. 3 ฟอร์แมตของเฟรม (Receive Packet)

<table>
<tr><td colspan="2">Frame fields</td><td>Offset</td><td>Example</td><td>Description</td></tr>
<tr><td colspan="2">Start delimiter</td><td>0</td><td>7E</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Length</td><td>MSB 1</td><td>00</td><td rowspan="2">Number of bytes between the length and the checksum.</td></tr>
<tr><td>LSB 2</td><td>1A</td></tr>
<tr><td rowspan="18">Frame Data</td><td>Frame type</td><td>3</td><td>90</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="10">64 bit Destination address</td><td>4</td><td>00</td><td rowspan="10">64-bit address of sender.
เป็นที่อยู่ของผู้ส่งเฟรมร้องข้อข้อมูล คือ โนดปลายทาง แบบ 64 บิต
(ซึ่งวัดข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1)</td></tr>
<tr><td>5</td><td>7D</td></tr>
<tr><td>6</td><td>33</td></tr>
<tr><td>7</td><td>A2</td></tr>
<tr><td>8</td><td>00</td></tr>
<tr><td>9</td><td>40</td></tr>
<tr><td>10</td><td>8D</td></tr>
<tr><td>11</td><td>9D</td></tr>
<tr><td>12</td><td>89</td></tr>
<tr><td>13</td><td>FF</td></tr>
<tr><td rowspan="2">16-bit Source network address</td><td>13</td><td>00</td><td rowspan="2">16-bit address of sender
เป็นที่อยู่ของโนดปลายทาง แบบ 16 บิต</td></tr>
<tr><td>14</td><td>00</td></tr>
<tr><td>Receive options</td><td>15</td><td>01</td><td>01 = Packet acknowledged.
02 = Packet was a broadcast packet.
20 = Packet encrypted with APS encryption
40 = Packet was sent from an end device.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Received data</td><td>16</td><td>53</td><td rowspan="2">ข้อมูลที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งไปยังโนดปลายทาง โดยกำหนดให้</td></tr>
<tr><td>17</td><td>31 (Des)</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

		18	00	53 คือ อักษร S ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ จุดเริ่มต้น (Start)
		19	31 (R1)	31 คือ ตัวเลข 1 ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ มีข้อมูลที่จะส่ง
		20	30 (R2)	
		21	31 (Src)	30 คือ ตัวเลข 0 ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ ไม่มีข้อมูลที่จะส่ง
		22	30 (Des)	45 คือ อักษร E ในเลขฐานสิบหก (HEX) ที่กำหนดให้ คือ จุดสุดท้าย (End)
		23	31 (Des)	
		24	30 (Des)	Offset 17 – 21 คือ สถานะโนด
		25	30 (R1)	Offset 22 คือ สถานะไฟ
		26	30 (R2)	Offset 23 คือ สถานะประตู Offset 24 คือ สถานะตรวจจับรถไฟ
		27	30 (Src)	Offset 25-27 คือ สถานะไฟ
		28	30 (Src)	Offset 28 คือ สถานะตรวจจับรถไฟ
		29	45	โดยอักษรย่อที่กำหนด คือ Des คือ โนดปลายทาง R2 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 R1 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 Src คือ โนดต้นทาง
Checksum		30	A4	Sum of bytes from offset 3 to this byte.

โปรแกรม Docklight สำหรับรับข้อมูล (เฟรมภาครับ) ที่เป็นแบบพอร์ทอนุกรม (RS232)



รูปที่ 2. 19 เฟรมภาครับ (Received) จากโปรแกรม Docklight

<u>เฟรมภาครับ (สีฟ้า)</u>

1. ส่วนกั้นเริ่มต้น (Start Delimiter) โมด API จะใช้ 7E เป็นตัวบอกให้รู้ว่านี่คือจุดเริ่มต้นของเฟรม
2. ความยาว (Length) มีค่า 00 1A คือ ความยาวของจำนวนไบต์ของเฟรมข้อมูล (Frame Data)
3. ชนิดเฟรม (Frame Type) มีค่า 90 คือ ชนิดของเฟรมภาครับ
4. ที่อยู่โนดปลายทาง (Destination address) 64 บิต และ 16 บิต คือ ที่อยู่ของผู้ส่งเฟรมข้อมูล
5. Receive options มีค่า 01 หมายถึง มีการตอบรับ
6. ข้อมูลที่ต้องการส่ง (RF Data) สถานะโนด (Node Status) สถานะเซนเซอร์ (Sensor Status) สถานะไฟ (Light Status) ของทุกๆโนด สถานะประตู (Railway Gate Status) ที่โนดปลายทาง โดยค่า 30 หมายถึง ไม่มีข้อมูลที่จะส่งไป และ31 หมายถึง มีข้อมูลที่จะส่งไป
7. ผลรวม (Checksum) มีค่า 31 ทำหน้าที่ ทำหน้าที่ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่

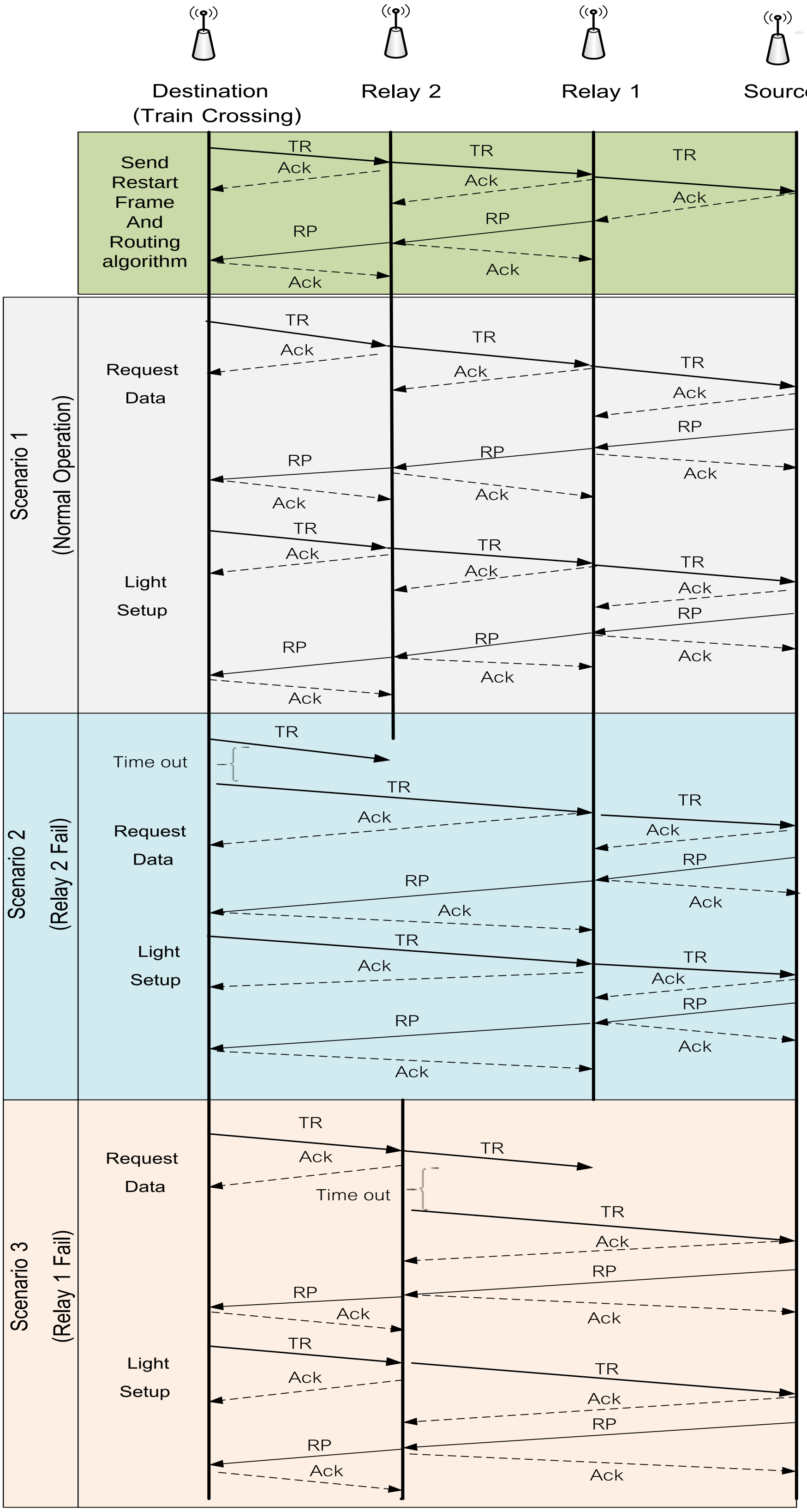
2.3.3 ขั้นตอนวิธีการทำงานของโพรโทคอล ZigBee ที่ใช้สื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์โนด

ขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางการส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนด เพื่อส่งต่อข่าวสาร (Message) จากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้โพรโทคอลจัดเส้นทางแบบ Proactive เพราะการจัดเส้นทางลักษณะนี้สามารถส่งข่าวสารได้ทันที เมื่อมีความต้องการในการส่งไปยังโนดอื่นในโครงข่าย เนื่องจากทราบเส้นทางที่จะใช้ส่งล่วงหน้าอยู่แล้ว จึงสามารถส่งข้อมูลไปตามเส้นทางนั้นได้ทันที โดยข่าวสาร (Message) ประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือ ข่าวสารร้องขอการส่งข้อมูล (Transmit Request (TR)) คือ ส่วนของข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง หรือจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ข่าวสารสถานะการส่งข้อมูล (Transmit Status (TS)) ทำหน้าที่ แจ้งสถานะการส่งข้อมูลว่าสำเร็จหรือไม่ และข่าวสารที่ภาครับ (Receive Packet (RP)) คือ ข้อมูลที่ภาครับ รับข้อมูลได้

ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่นำเสนอ เป็นขั้นตอนการสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์โนดที่มีการจัดเส้นทางแบบแอดฮอก (Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV)) ที่มีลักษณะเป็นแบบฮอปต่อฮอป (Hop-by-Hop) เซนเซอร์โนดแต่ละโนดมีตารางจัดเส้นทาง (Routing Table) ไปยังโนดข้างเคียงภายในโครงข่าย เส้นทางส่งข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในตารางจัดเส้นทาง ซึ่งโนดที่อยู่ใกล้ที่สุดจะเป็นเส้นทางแรกที่ถูกเลือกส่งข้อมูลเป็นลำดับแรก กรณีโนดที่ใกล้ที่สุดไม่สามารถส่งต่อข้อมูลได้ก็จะส่งต่อข้อมูลไปยังโนดถัดไปแทน ซึ่งเซนเซอร์โนดแต่ละโนดจะแลกเปลี่ยนข้อมูลทุกเวลา เพื่อตรวจสอบสถานะข่ายเชื่อมโยงของการติดต่อกันระหว่างโนดต้นทางกับโนดปลายทาง ซึ่งขั้นตอนวิธีการส่งข้อมูล

ของระบบสื่อสาร จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกโนดปลายทางจะร้องขอข้อมูลตรวจจับรถไฟจากเซนเซอร์โนดต้นทาง เพื่อสั่งการให้ประตูปิด ขั้นตอนที่สองเป็นการส่งข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังเซนเซอร์โนดต้นทาง เพื่อกำหนดสถานะไฟ (ประตูเปิดหรือปิด) แต่ละโนดในโครงข่ายดังรูปที่ 2.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2. 20 ขั้นตอนวิธีการส่งข้อมูลของระบบ

ข้อมูลจะอยู่ในรูปของเลขฐาน 16 ซึ่งจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 รูปแบบ คือ เฟรมร้องขอข้อมูล เฟรมภาครับ และเฟรมตอบรับ ทิศทางการสื่อสารของเซนเซอร์โนดจะใช้เครื่องหมาย -> แทนการส่งข้อมูลจากซ้ายไปขวา และ <- แทนการส่งข้อมูลจากขวาไปซ้าย และใช้อักษรย่อแทนเซนเซอร์โนดดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 อักษรย่อแทนเซนเซอร์โนด

อักษรย่อ	แทน
Des	Destination
R2	Relay 2
R1	Relay 1
Src	Source
Com	Computer (Monitoring)

กระบวนการสื่อสารมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนเริ่มต้นการทำงานของระบบ เริ่มต้นจากโนดปลายทางส่งเฟรมเริ่มต้นไปยังโนดต้นทาง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Des -> R2 โนดปลายทางเริ่มส่งเฟรมเริ่มต้นไปยังโนดต้นทางโดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

Des <- R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับเฟรมเริ่มต้นที่ส่งมาจากโนดปลายทางพร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดปลายทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งต่อเฟรมเริ่มต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับเฟรมเริ่มต้นพร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 -> Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อข้อมูลไปยังโนดต้นทาง

R1 <- Src โนดต้นทางได้รับเฟรมเริ่มต้นพร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดปลายทางโดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

2. ขั้นตอนการร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟที่โนดต้นทาง โดยจะร้องข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Des -> R2 โนดปลายทางเริ่มส่งเฟรมร้องขอข้อมูลไปยังโนดต้นทางโดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Des <- R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับเฟรมร้องขอข้อมูลที่ส่งมาจากโนดปลายทางพร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดปลายทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ส่งต่อเฟรมร้องขอข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับเฟรมร้องขอข้อมูลพร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 -> Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อข้อมูลไปยังโนดต้นทาง

R1 <- Src โนดต้นทางได้รับเฟรมร้องขอข้อมูลพร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 <- Src โนดต้นทางส่งข้อมูลสถานะการตรวจจับรถไฟ ที่เซนเซอร์โนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R1 -> Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดต้นทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

Des <- R2 โนดถ่ายทอดสัญญาที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟไปยังโนดปลายทาง

Des -> R2 โนดปลายทางได้รับข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

3. สถานะการอ่านเซนเซอร์ที่โนดต้นทาง เพื่อตรวจจับรถไฟ แบ่งออกเป็น 2 กรณี พบรถไฟและไม่พบรถไฟ

3.1 กรณีที่ไม่พบรถไฟ โนดต้นทางจะส่งข้อมูลไปยังโนดปลายทางให้เปิดประตู หลังจากนั้นโนดปลายทางจะตอบกลับข้อมูลสถานะประตูที่เปิดไปยังโนดต้นทางพร้อมสั่งให้ทุกๆโนดแสดงสถานะไฟแดง

Des -> R2 ประตูที่โนดปลายทางเปิด พร้อมสั่งให้แสดงเป็นไฟแดง และจะส่งข้อมูลสถานะประตูไปยังทุกโนดจนถึงโนดต้นทางให้แสดงไฟสีแดงโดยจะเริ่มส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

Des <- R2 เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีแดง และจะส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดปลายทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ส่งต่อข้อมูลสถานะประตูไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีแดง และจะส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 -> Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อข้อมูลสถานะประตูไปยังโนดต้นทาง

R1 <- Src โนดต้นทางได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีแดง พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 <- Src โนดต้นทางส่งข้อมูลสถานะไฟสีแดงที่โนดต้นทางแสดงไปยังโนดปลายทางโดยผ่านเซนเซอร์โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R1 -> Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดต้นทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง และได้เพิ่มสถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ลงไปในเฟรมข้อมูลด้วย โดยจะส่งไปยังโนดปลายทาง

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง และข้อมูลสถานะไฟแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

Des <- R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง สถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และได้เพิ่มสถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ลงไปในเฟรมข้อมูลด้วย โดยจะส่งไปยังโนดปลายทาง

Des -> R2 โนดปลายทางได้รับข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง สถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และข้อมูลสถานะไฟแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

Des -> Com โนดปลายทางส่งข้อมูลสถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ สถานะไฟ สถานะประตู และสถานะข่ายเชื่อมโยงไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อให้พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟเฝ้าสังเกต

3.2 กรณีพบรถไฟ โนดต้นทางจะส่งข้อมูลไปยังโนดปลายทางให้สั่งปิดประตูกั้นทางรถไฟ พร้อมแจ้งเตือนให้ผู้สัญจรบนถนนได้รับทราบ หลังจากนั้นโนดปลายทางจะตอบกลับข้อมูลสถานะประตูที่ปิด ไปยังโนดต้นทางพร้อมสั่งให้ทุกๆโนดแสดงสถานะไฟเขียว

Des -> R2 ประตูที่โนดปลายทางปิด พร้อมสั่งให้แสดงไฟเป็นสีเขียว และจะส่งข้อมูลสถานะประตูไปยังทุกโนดจนถึงโนดต้นทางให้แสดงไฟสีเขียวโดยจะเริ่มส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

Des <- R2	เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีเขียว และจะส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดปลายทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ
R2 -> R1	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ส่งต่อข้อมูลสถานะประตูไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
R2 <- R1	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีเขียว และจะส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ
R1 -> Src	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อข้อมูลสถานะประตูไปยังโนดต้นทาง
R1 <- Src	โนดต้นทางได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีเขียว พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ
R1 <- Src	โนดต้นทางส่งข้อมูลสถานะไฟสีเขียวที่โนดต้นทางแสดงไปยังโนดปลายทางโดยผ่านเซนเซอร์โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
R1 <- Src	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลสถานะไฟสีเขียวของโนดต้นทาง พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดต้นทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ
R2 <- R1	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลสถานะไฟสีเขียวของโนดต้นทาง และได้เพิ่มสถานะไฟสีเขียวของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ลงไปในเฟรมข้อมูลด้วย โดยจะส่งไปยังโนดปลายทาง
R2 -> R1	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะไฟสีเขียวของโนดต้นทาง และข้อมูลสถานะไฟเขียวของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ
Des <- R2	โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะไฟสีเขียวของโนดต้นทาง สถานะไฟสีเขียวของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และได้เพิ่มสถานะไฟสีเขียวของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ลงไปในเฟรมข้อมูลด้วย โดยจะส่งไปยังโนดปลายทาง
Des -> R2	โนดปลายทางได้รับข้อมูลสถานะไฟสีเขียวของโนดต้นทาง สถานะไฟสีเขียวของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และข้อมูลสถานะไฟเขียวของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ
Des -> Com	โนดปลายทางส่งข้อมูลสถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ สถานะไฟ สถานะประตู และสถานะข่ายเชื่อมโยงไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อให้พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟเฝ้าสังเกต
Des -> R2	หลังจากนั้นที่โนดปลายทางจะมีเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ เมื่อพบรถไฟ (โบกี้สุดท้าย) ก็จะสั่งให้ประตูเปิด โดยจะหน่วงเวลาเปิดประตูกั้นทางรถไฟ 10 วินาที โนดปลายทางจะส่งข้อมูลสถานะประตูที่เปิดไปยังทุกโนดจนถึงโนดต้นทาง และจะแสดงไฟสีแดง โดยจะเริ่มส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Des <- R2 เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีแดง และจะส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดปลายทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ส่งต่อข้อมูลสถานะประตูไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1ได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีแดง และจะส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 -> Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อข้อมูลสถานะประตูไปยังโนดต้นทาง

R1 <- Src โนดต้นทางได้รับข้อมูลสถานะประตูก็จะแสดงไฟสีแดง พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R1 <- Src โนดต้นทางส่งข้อมูลสถานะไฟสีแดงที่โนดต้นทางแสดงไปยังโนดปลายทางโดยผ่านเซนเซอร์โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

R1 <- Src โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดต้นทาง เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

R2 <- R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง และได้เพิ่มสถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ลงไปในเฟรมข้อมูลด้วย โดยจะส่งไปยังโนดปลายทาง

R2 -> R1 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง และข้อมูลสถานะไฟแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ

Des <- R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง สถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และได้เพิ่มสถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ลงไปในเฟรมข้อมูลด้วย โดยจะส่งไปยังโนดปลายทาง

Des -> R2 โนดปลายทางได้รับข้อมูลสถานะไฟสีแดงของโนดต้นทาง สถานะไฟสีแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และข้อมูลสถานะไฟแดงของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 พร้อมส่งเฟรมตอบรับไปยังโนดสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อยืนยันว่าส่งข้อมูลสำเร็จ ถือเป็นการสิ้นสุดขั้นตอน

Des -> Com โนดปลายทางส่งข้อมูลสถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ สถานะไฟ สถานะประตู และสถานะข่ายเชื่อมโยงไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อให้พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟเฝ้าสังเกต

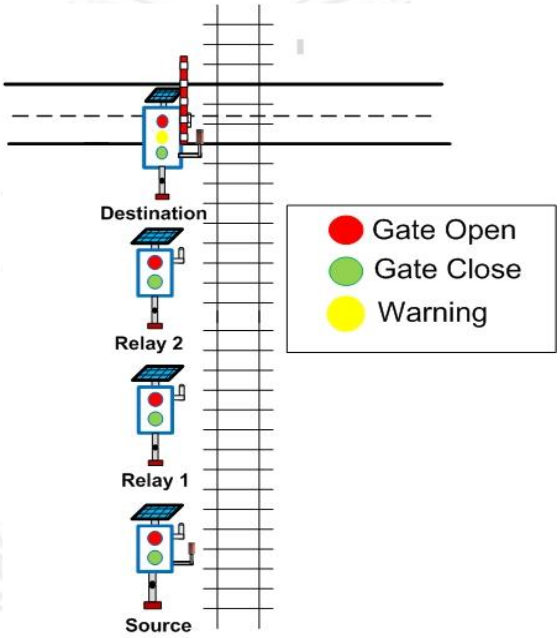
2.4 เฝ้าตรวจ (Monitoring)

ระบบการเฝ้าตรวจจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายเซนเซอร์โนด โดยจะรับข้อมูลจากโนดปลายทาง พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟสามารถรับรู้สถานะข่ายเชื่อมโยง การส่งข้อมูลของแต่ละเซนเซอร์โนดในโครงข่าย โดยจะแสดงไฟ (สถานะประตู) เส้นทางการส่งมูล และตำแหน่งของรถไฟแบบเวลาจริง เพื่อให้พนักงานรถไฟที่เฝ้าตรวจอยู่ที่สถานีรถไฟได้ทราบถึงการทำงานของเซนเซอร์โนด เพื่อจะได้แก้ไขจัดการทันทีทันใดเมื่อเห็นว่าเซนเซอร์โนดมีปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนประกอบหลัก คือ คือ เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ (Detector) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ZigBee (ZigBee Communication) ประตูกั้นทางรถไฟ (Railway Crossing Gate) และระบบเฝ้าตรวจ (Monitoring) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3. 1 ภาพรวมของระบบกั้นทางรางรถไฟ

Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้มีการวางเซนเซอร์โนดเป็นเส้นตรง 1 มิติตามเส้นทางรางรถไฟ ซึ่งมีทั้งหมด 4 โนด ประกอบด้วยโนดต้นทาง 1 โนด ทำหน้าที่ คอยตรวจจับรถไฟ เพื่อสั่งให้ประตูกั้นทางข้ามรางรถไฟปิด โนดถ่ายทอดสัญญาณ 2 โนด ทำหน้าที่ ส่งต่อข้อมูลจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง และโนดปลายทาง 1 โนด ทำหน้าที่ ตรวจจับรถไฟ (โบกี้สุดท้าย) เพื่อสั่งให้ประตูกั้นทางรถไฟเปิด เมื่อรถไฟได้ผ่านไปแล้ว [8] ซึ่งมีระยะทางทั้งสิ้น 600-1000 เมตร (ตามสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง) โดยเซนเซอร์โนดแต่ละโนดสามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดข้างเคียงได้ 2 โนดติดต่อกัน

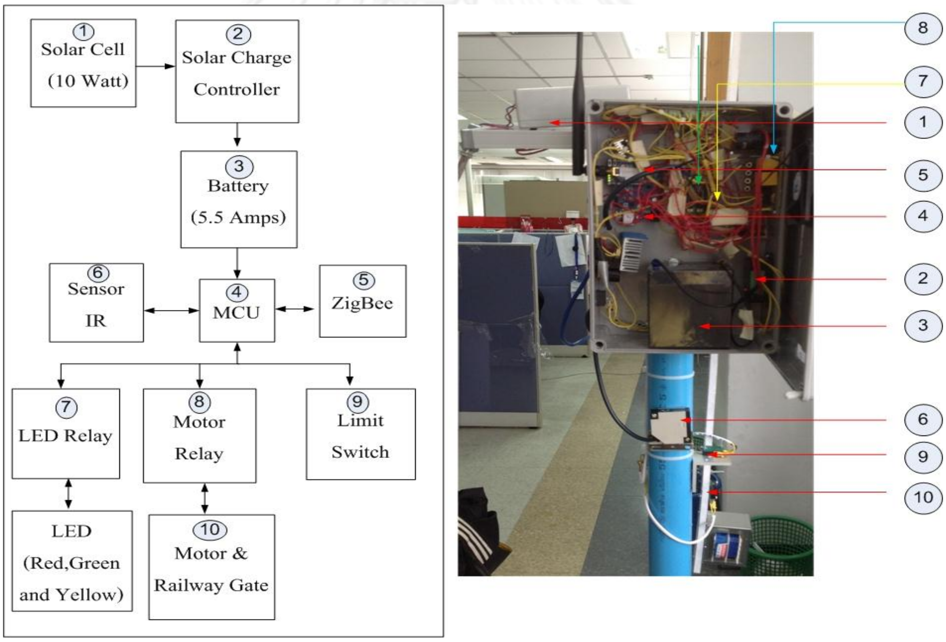
การทำงานของระบบกั้นทางรางรถไฟ เริ่มจากเมื่ออุปกรณ์อินฟราเรดที่โนดต้นทางตรวจจับรถไฟได้ ก็จะส่งคำสั่งไปยังโนดปลายทางผ่านทางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ให้ปิดประตูกั้นทางรถไฟ โดยมีไฟแสดงสถานะของประตูกั้นทางรถไฟแสดงในแต่ละโนด

ทั้งนี้ เพื่อต้องการให้พนักงานขับรถไฟได้ทราบถึงสถานะประตูกั้นทางรถไฟว่าเปิดหรือปิดอยู่ เพื่อให้พนักงานขับรถไฟได้วางแผนการเดินรถไฟให้ปลอดภัย โดยกำหนดให้ไฟสีแดง หมายถึง ประตูกั้นทางรถไฟเปิด และไฟสีเขียว หมายถึง ประตูกั้นทางรถไฟปิด กรณีแสดงด้วยไฟสีเขียวผู้ขับรถไฟจะขับด้วยความเร็วคงที่ และกรณีแสดงด้วยไฟสีแดงผู้ขับรถไฟจะเบรกรถไฟให้หยุด ซึ่งอาจเป็นเพราะการส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดเกิดผิดพลาดหรือเซนเซอร์โนดเสียจึงไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังโนดปลายทางได้ ระบบนี้จึงออกแบบ เพื่อให้คนขับรถไฟมั่นใจได้ว่าสถานะประตูกั้นทางรถไฟเป็นอย่างไร เพื่อให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้มากขึ้น

3.1 รายละเอียดโครงสร้างของอุปกรณ์เซนเซอร์โนด

อุปกรณ์ภายในเซนเซอร์โนดถูกออกแบบมาเพื่อ ให้ระบบมีการจัดการเรื่องพลังงานเอง อุปกรณ์ใช้พลังงานต่ำ และสามารถนำอุปกรณ์ไปติดตั้งในสภาพแวดล้อมจริง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 โครงสร้างภายในของโนดปลายทาง (Destination node)



รูปที่ 3. 2 โครงสร้างภายในของโนดปลายทาง

โครงสร้างภายในโนดปลายทางจะประกอบด้วย

① เซลล์สุริยะ (Solar Panel) มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ ทำหน้าที่ แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า มีขนาดกำลังไฟฟ้า 10 วัตต์

② อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Controller) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดและเก็บประจุไฟฟ้าในขณะชาร์จไฟฟ้า

③ แบตเตอรี่ รองรับกระแสไฟฟ้าสูงสุด 5.5 แอมแปร์ มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์

④ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นบอร์ด Arduino SMD

⑤ โมดูลไร้สาย ZigBee [6] รับส่งข้อมูลแบบไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz มีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 250 kbps มีกำลังส่ง 50 mW เสาอากาศขนาด 5 dBi

⑥ เซนเซอร์แบบอินฟราเรด (Infrared Sensor) สำหรับตรวจจับรถไฟ

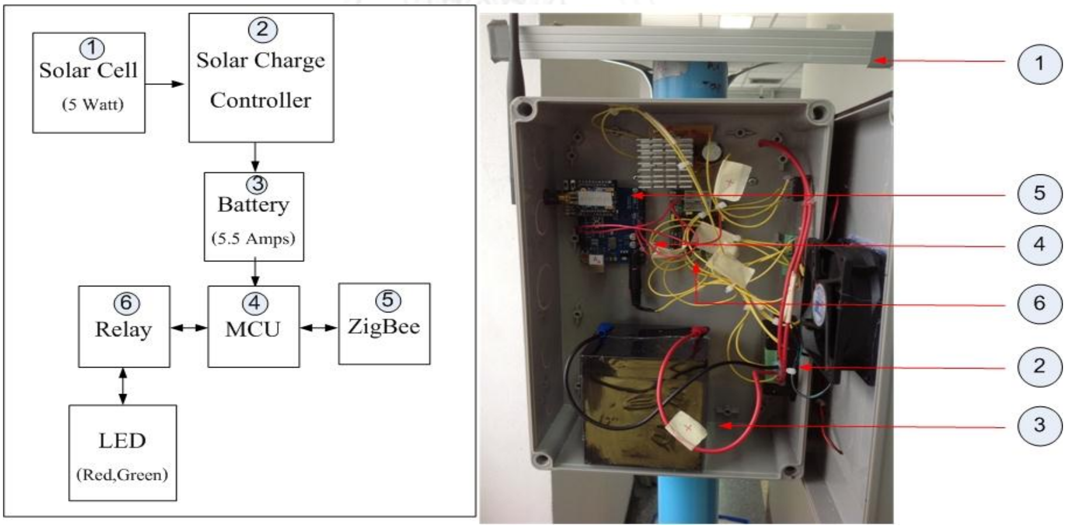
⑦ บอร์ดควบคุม Relay 2 ช่องสัญญาณ ทำหน้าที่ ควบคุมเปิดและปิดไฟแดงไฟเขียวและไฟเหลือง

⑧ วงจรขับมอเตอร์ (Motor Drive Circuit) ทำหน้าที่ ควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ เพื่อเปิดและปิดประตูกั้นทางรถไฟ

⑨ ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) ทำหน้าที่ สวิทซ์ตัดวงจรเพื่อสั่งงานให้มอเตอร์ทำงานหรือหยุดการทำงาน

⑩ ชุดมอเตอร์กระแสตรงและประตูกั้นทางรถไฟ

3.1.2 โครงสร้างภายในของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 (Relay node)



รูปที่ 3. 3 โครงสร้างภายในของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

โครงสร้างภายในโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะประกอบด้วย

① เซลล์สุริยะ (Solar Panel) มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ ทำหน้าที่ แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า มีขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์

② อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Controller) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดและเก็บประจุไฟฟ้าในขณะชาร์จไฟฟ้า

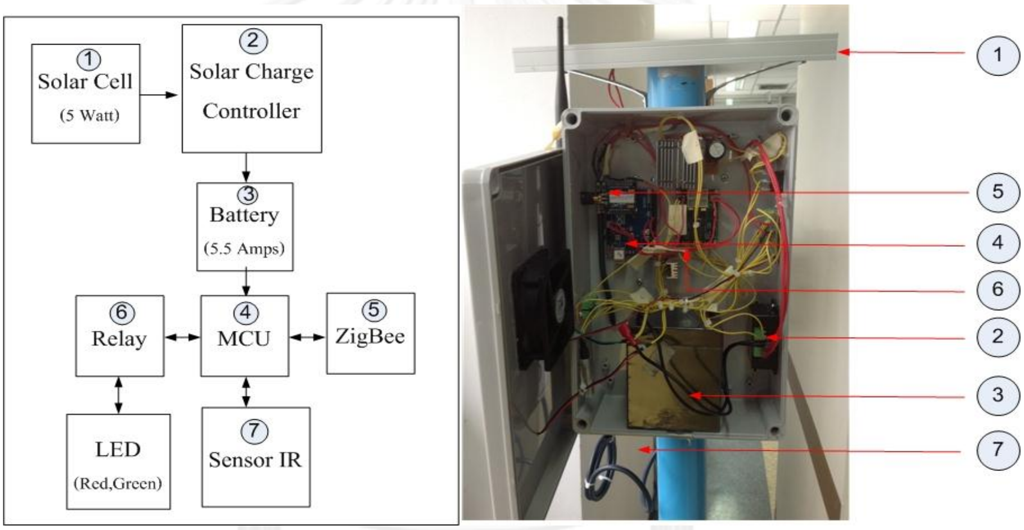
③ แบตเตอรี่ รองรับกระแสไฟฟ้าสูงสุด 5.5 แอมแปร์ มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์

④ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นบอร์ด Arduino SMD

⑤ โมดูลไร้สาย ZigBee [6] รับส่งข้อมูลแบบไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz มีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 250 kbps มีกำลังส่ง 50 mW เสาอากาศขนาด 5 dBi

⑥ บอร์ดควบคุม Relay 2 ช่องทำหน้าที่ ควบคุมเปิดและปิดไฟแดงและไฟเขียว

3.1.3 โครงสร้างภายในของโนดต้นทาง (Source node)



รูปที่ 3. 4 โครงสร้างภายในของโนดต้นทาง

โครงสร้างภายในโนดต้นทางประกอบด้วย

① เซลล์สุริยะ (Solar Panel) แรงดันไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ ทำหน้าที่ แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า มีขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์

② อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Controller) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดและเก็บประจุไฟฟ้าในขณะชาร์จไฟฟ้า

③ แบตเตอรี่ รองรับกระแสไฟฟ้าสูงสุด 5.5 แอมแปร์ มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์

④ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นบอร์ด Arduino SMD

⑤ โมดูลไร้สาย ZigBee [6] รับส่งข้อมูลแบบไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz มีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 250 kbps มีกำลังส่ง 50 mW เสาอากาศขนาด 5 dBi

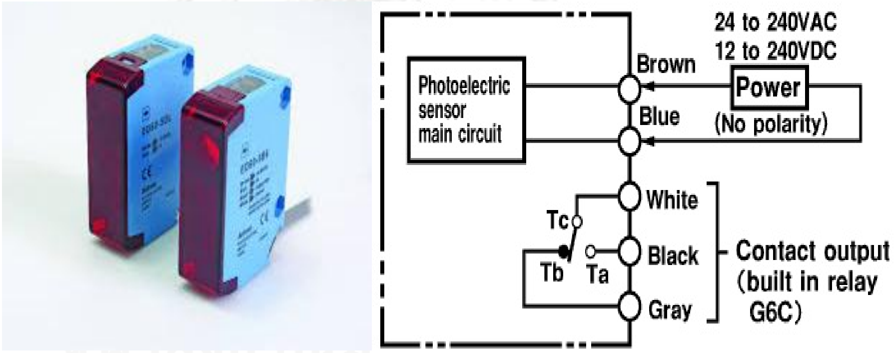
⑥ บอร์ดควบคุม Relay 2 ช่องทำหน้าที่ ควบคุมเปิดและปิดไฟแดงและไฟเขียว

⑦ เซนเซอร์แบบอินฟราเรด (Infrared Sensor) สำหรับ ตรวจจับรถไฟ

3.2 หน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

3.2.1 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ

งานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ที่ เรียกว่า Infrared Sensor คือ การทำงานจะตรวจจับด้วยแสง ซึ่งใช้เซนเซอร์แสง (Photo Sensor) ประกอบด้วยชุดส่ง เป็นตัวยิงสัญญาณออกไป และจะมีตัวรับสัญญาณหากรถไฟวิ่งผ่านจะทำให้สวิตช์ตรวจจับสถานะได้ ส่วนหลักการนั้นจะมีการใช้เทคนิคของการตัดแสงหรือจะใช้เทคนิคของการสะท้อนแสง เอาท์พุทที่ออกจากเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟจะเป็นสัญญาณรีเลย์เอาท์พุท (Relay Output) คือ สถานะหนึ่ง (1) จะให้หน้าสัมผัสปกติปิด (Closed Contact) และสถานะศูนย์ (0) จะให้หน้าสัมผัสปกติเปิด (Open Contact) ส่วนการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นให้เอาเอาท์พุทที่ออกจากเซนเซอร์มาเชื่อมต่อกับภาคอินพุทที่เป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย [9]



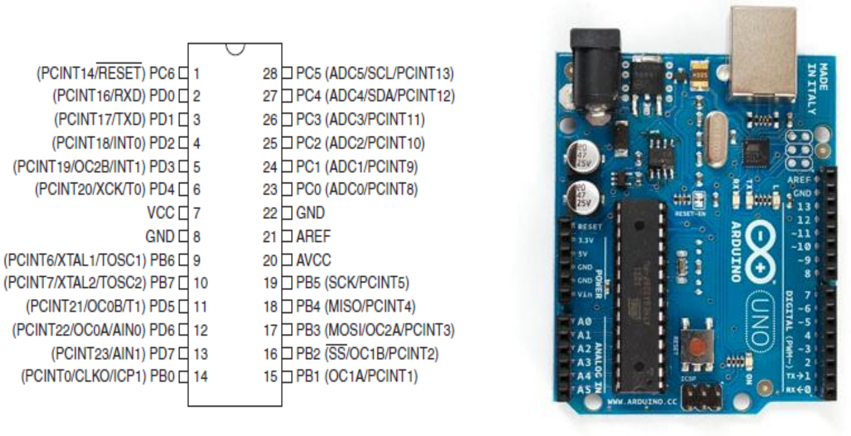
(ก) (ข)

รูปที่ 3. 5 เซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ (ก) โครงสร้างภายนอก (ข) วงจรภายใน

3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เป็นบอร์ด [10] Arduino SMD ที่มีตัวประมวลผล ATmega 328 ขนาดหน่วยความจำของโปรแกรม 32 กิโลไบต์ ประมวลผลข้อมูลแบบ 8 บิต ซึ่งเหมาะสมที่จะทำหน้าที่ ควบคุมและประมวลผลการทำงานของโมดูลสื่อสารไร้สาย ZigBee ควบคุมมอเตอร์ และควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ นอกจากนี้ยังออกแบบมา เพื่อสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ เช่น ระบบกั้นทางรถไฟอัตโนมัติ และระบบควบคุมภายในบ้าน เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นหนึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEL มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Advanced RISC architecture) คือ หนึ่งคำสั่งทำงานใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก (One Instructions in a Single Clock Cycle) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม ในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์ เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงความประสิทธิภาพที่เท่ากัน



รูปที่ 3. 6 AVR ATmega328

คุณลักษณะของไมโครคอนโทรเลอร์ AVR Atmega328 เป็นดังนี้

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
2. สถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบสูงสุดแบบ RISC (Advanced RISC)
3. มีคำสั่งการทำงานมากกว่า 131 คำสั่ง โดยมีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา (1 MIP/1MHz)
4. มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว
5. มีความเร็วในการทำงาน 1 MIPS ต่อ 1 MHz และมากถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ที่ 16 MHz
6. มีหน่วยความจำ ROM แบบ Flash ขนาด 32 กิโลไบต์ (เขียน/ลบ ได้ 10,000 ครั้ง)
7. มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1024 ไบต์ (เขียน/ลบได้ 100,000 ครั้ง)
8. มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 2 กิโลไบต์
9. มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้งแบบ 8 บิตและ 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์
10. มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟต์แวร์ (Watchdog Timer with On-Chip Oscillator)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

11. มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulator) ทั้งหมดจำนวน 4 ช่อง
12. มีโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) ขนาด 10 บิต 8 ช่องสัญญาณ
13. มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนะล็อก (Analog Desmparator)
14. การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือแบบ RS232 SPI (Serial Peripheral Interface) และแบบ I2C
15. ใช้แรงดันไฟฟ้า 4.5-5.5 โวลต์

3.2.3 โมดูลสื่อสารไร้สาย ZigBee

โมดูลสื่อสารไร้สาย ZigBee [7] เป็นโมดูล รับส่งข้อมูลแบบไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz แบบ Half Duplex ตามมาตรฐานโพรโทคอล ZigBee/IEEE 802.15.4 ใช้พลังงานต่ำที่ 3.3 โวลต์ มีอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล 250 kbps มีกำลังส่งสูงถึง 50 mW จึงสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดถึง 1.5 กิโลเมตร ในระยะไม่มีสิ่งกีดขวาง การเชื่อมต่อระหว่าง ZigBee กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะใช้ขาส่ง (Tx) ของ ZigBee ต่อกับขารับ (Rx) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และขารับ (Rx) ของ ZigBee ต่อกับขาส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมไฟเลี้ยง (+VCC) 3.3 โวลต์ และกราวด์ (GND)

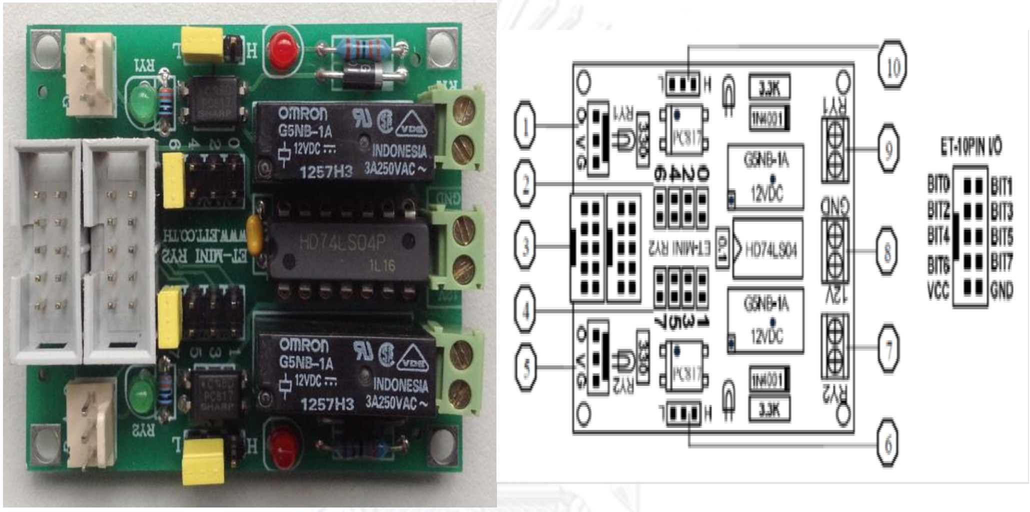
รูปที่ 3. 7 ZigBee Pro Series 2 (RPSMA) 50 mW

โมดูล ZigBee ที่ใช้ในในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. อัตราส่งข้อมูล 250 Kbps และใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz
2. มีทอพอโลยี (Topology) ในการเชื่อมต่อหลายแบบ เช่น Star, Peer to Peer, Mesh
3. ใช้พลังงานต่ำ
4. รับส่งข้อมูลได้ไกลถึง 1.5 กิโลเมตร ในระดับสายตา (Line of Sight) หากมีสิ่งกีดขวางระยะการรับส่งข้อมูลจะลดลงตามสภาพแวดล้อม [7]
5. มีกำลังส่ง 50 มิลลิวัตต์ และขนาดสายอากาศ 5 dBi

3.2.4 บอร์ดควบคุมรีเลย์ Relay 2 ช่อง

บอร์ดควบคุมรีเลย์ (Relay) ทำหน้าที่ ควบคุมการเปิด-ปิดของไฟ (เขียว หรือแดง) โดยใช้หลักการหน้าสัมผัส การที่จะให้รีเลย์ทำงานก็ต้องจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ (12 โวลต์) ตามรายละเอียดของอุปกรณ์ของทางผู้ผลิตที่แตกต่างออกไป เพราะเมื่อป้อนไฟให้กับตัวรีเลย์ อุปกรณ์จะทำให้หน้าสัมผัสติดกันกลายเป็นวงจรปิด และเมื่อไม่ได้จ่ายไฟให้อุปกรณ์ อุปกรณ์ก็จะกลายเป็นวงจรเปิด รายละเอียดของอุปกรณ์ดังแสดงรูปที่ 3.7



รูปที่ 3. 8 บอร์ดควบคุมรีเลย์ 2 ช่องสัญญาณ พร้อมรายละเอียดการใช้งาน

รายละเอียดการใช้งานของอุปกรณ์ควบคุมรีเลย์ 2 ช่องสัญญาณ [11]

① ขั้วต่อสัญญาณควบคุมรีเลย์ 1 (RY1) โดยตรง กำหนดให้ (O = signal Control, V = 5 V, G = Ground) โดยจะต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

② Jumper เลือกบิตสัญญาณควบคุมรีเลย์ 1 (บิต 0, 2, 4, 6) จากขั้วต่อ ET-10 PIN

③ ขั้วต่อ (ET-10 PIN x 2 ขนานกัน) สัญญาณควบคุมรีเลย์ 1 และรีเลย์ 2 โดยเลือกบิตสัญญาณควบคุมได้จาก Jumper หมายเลข 2 และ 4

④ Jumper เลือกบิตสัญญาณควบคุมรีเลย์ 2 (บิต 1, 3, 5, 7) จากขั้วต่อ ET-10 PIN

⑤ ขั้วต่อสัญญาณควบคุมรีเลย์ 2 (RY2)โดยตรง ไม่ผ่าน Jumper กำหนดให้ (O = signal Control ,V = 5 V,G = Ground) โดยจะต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

⑥ Jumper เลือกระดับของสัญญาณควบคุมรีเลย์ 2 ถ้าควบคุมควบคุมรีเลย์ 2 ด้วยตรรกะ 0 (Logic 0) ก็ให้ตั้งค่ามาด้าน L (Low) ถ้าควบคุมด้วยตรรกะ 1 (Logic 1) ก็ให้ตั้งค่ามาด้าน H (High)

⑦ ขั้วต่อสวิตช์เอาท์พุทรีเลย์ 2 (Output RY2) สำหรับต่อไปใช้งานควบคุมไฟแสดงสถานะ (แดง) โดยหน้าสัมผัส (Contact) รองรับกระแสได้ 3 แอมแปร์ ที่ระดับแรงดันสูงสุด 125 VAC/30 VDC

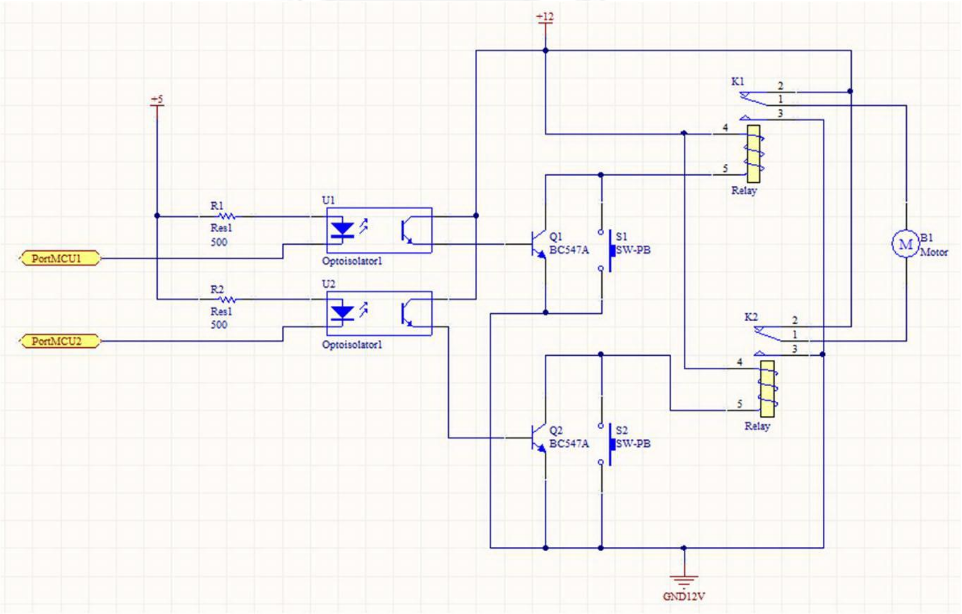
⑧ ขั้วต่อไฟเลี้ยงของรีเลย์บนบอร์ด ที่แรงดัน 12 VDC และขนาดกระแส 1 แอมแปร์

⑨ ขั้วต่อสวิตช์เอาท์พุทรีเลย์ 1 สำหรับต่อไปใช้งานควบคุมไฟแสดงสถานะ (เขียว) โดยหน้าสัมผัสรองรับกระแสได้ 3 แอมแปร์ ที่ระดับแรงดันสูงสุด 125 VAC/30 VDC

⑩ Jumper เลือกระดับของสัญญาณควบคุมรีเลย์ 1 ถ้าควบคุมรีเลย์ 1 ด้วยตรรกะ 0 ก็ให้ตั้งค่ามาด้าน L ถ้าควบคุมด้วยตรรกะ 1 ก็ให้ตั้งค่ามาด้าน H

3.1.5 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor Drive)

วงจรขับและควบคุมมอเตอร์สามารถควบคุมทั้งความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เป็นกระแสตรงได้ เพื่อไปควบคุมการเปิดและปิดประตูกั้นทางรถไฟ งานวิจัยนี้จะใช้วงจรขับแบบ H-Bridge ขนาดกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ การทำงานของวงจรนี้จะเอาหลักการของรีเลย์และมอสเฟต มาใช้งานร่วมกัน โดยใช้รีเลย์เป็นตัวกลับทางหมุนของมอเตอร์ และใช้มอสเฟต เป็นตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ [12]



รูปที่ 3. 9 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-bridge กระแสตรง 12 โวลต์

1.ส่วนที่ทำหน้าที่ขับมอเตอร์

ส่วนที่ทำหน้าที่ขับมอเตอร์จะใช้มอสเฟต เป็นตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยมอสเฟต (Q1 , Q2) และสวิทช์ (S1,S2) ถูกต่อแบบบริดจ์ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านมอเตอร์สามารถกลับ

ทิศทางได้ เมื่อ Q1 และ S2 นำกระแสไฟฟ้าจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา และมอเตอร์จะหมุนในทิศทางตรงกันข้าม ถ้า Q2 และ S1 นำกระแสไฟฟ้า

2.ส่วนควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

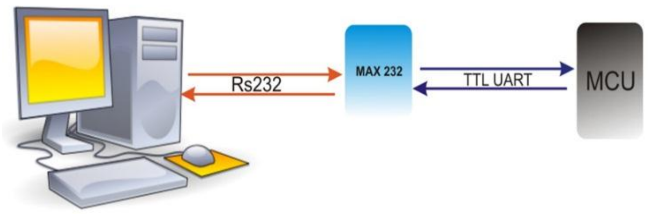
การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะใช้รีเลย์ โดยในวงจรจะประกอบด้วย รีเลย์ 2 ตัว คือ รีเลย์ (Relay 1) และรีเลย์ (Relay 2) ในส่วนของมอเตอร์ที่เป็นโหลด ขั้วบวกจะต่อกับขาร่วม (Common (C)) ของรีเลย์ 1 และขั้วลบจะต่อกับขาร่วม (C) ของรีเลย์ 2 โดยที่ขาหน้าสัมผัสปกติเปิด (Normal Open (NO)) ของรีเลย์ 1 และรีเลย์ 2 จะต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ (12 V) และขาหน้าสัมผัสปิด (Normal Close (NC)) จะต่อลงกราวด์

เมื่อรีเลย์ 1 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดการดึงดูดให้ขา No และขา C ของรีเลย์ 1 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายผ่านเข้าสู่ขั้วบวกของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของรีเลย์ 2 ซึ่งต่ออยู่กับ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก จึงทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ส่วนการกลับทิศทางของมอเตอร์การทำงานจะคล้ายๆกัน โดยให้รีเลย์ 2 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดการดึงดูดให้ขา No และขา C ของรีเลย์ 2 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายผ่านเข้าสู่ขั้วลบของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของรีเลย์ 1 ซึ่งต่ออยู่กับ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ จึงทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

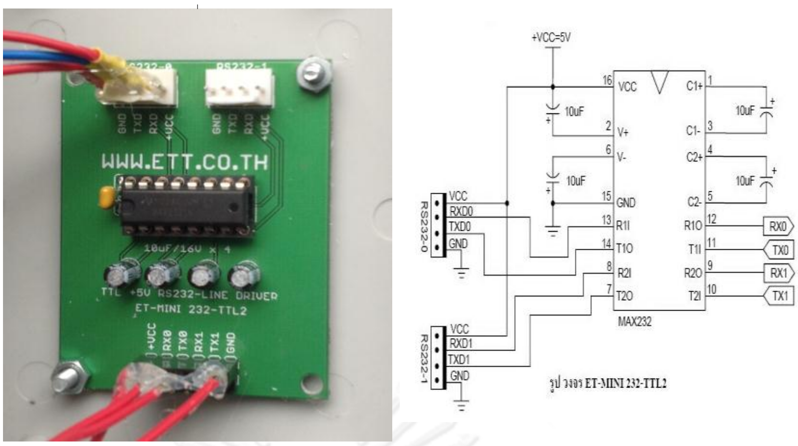
3.3 รายละเอียดโครงสร้างของอุปกรณ์เฝ้าตรวจ

3.3.1 โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232

การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทลเลอร์กับคอมพิวเตอร์นั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้สัญญาณที่เป็นแบบ TTL (Transistor-Transistor Logic) ในการสื่อสารกัน ดังนั้น เมื่อต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีพอร์ทเป็นแบบ RS232 (Serial port) เป็นมาตรฐานอยู่แล้ว จะใช้ IC MAX 232 ปรับระดับแรงดันให้อยู่ในระดับเดียวกัน ดังรูปที่ 3.9 ข้างล่างนี้



รูปที่ 3. 10 การสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3. 11 โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232 พร้อมวงจร

โมดูล TTL เป็น RS232 [13] ทำงานที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งจะทำหน้าที่ เปลี่ยนระดับสัญญาณทางไฟฟ้าของขาสัญญาณรับ-ส่งข้อมูลแบบ TTL ของไมโครคอนโทรเลอร์ให้เป็นระดับสัญญาณทางไฟฟ้าแบบ RS232 ที่ระดับแรงดัน ±12 โวลต์ ซึ่งในโมดูลนี้จะสามารถต่อใช้งานได้ 2 ช่องสัญญาณ โดยที่ขั้วต่อทางด้านอินพุทจะต้องต่อขาส่ง (Tx) และขารับ (Rx) ของโมดูลเข้ากับขาส่ง (Tx) และขารับ (Rx) ของไมโครคอนโทรเลอร์ตามลำดับ ส่วนขาไฟเลี้ยงวงจร (+VCC) และกราวด์ (GND) ก็ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงของไมโครคอนโทรเลอร์ได้เลย ในส่วนขั้วต่อทางด้านเอาท์พุท (Output) ถ้าต่ออินพุท (Input) เข้ามาทางช่องสัญญาณไหนก็ให้ต่อเอาท์พุทของช่องสัญญาณนั้นไปใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของระบบกั้นทางรถไฟแบบอัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมการสื่อสารระหว่างเซนเซอร์โนดในโครงข่าย และโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

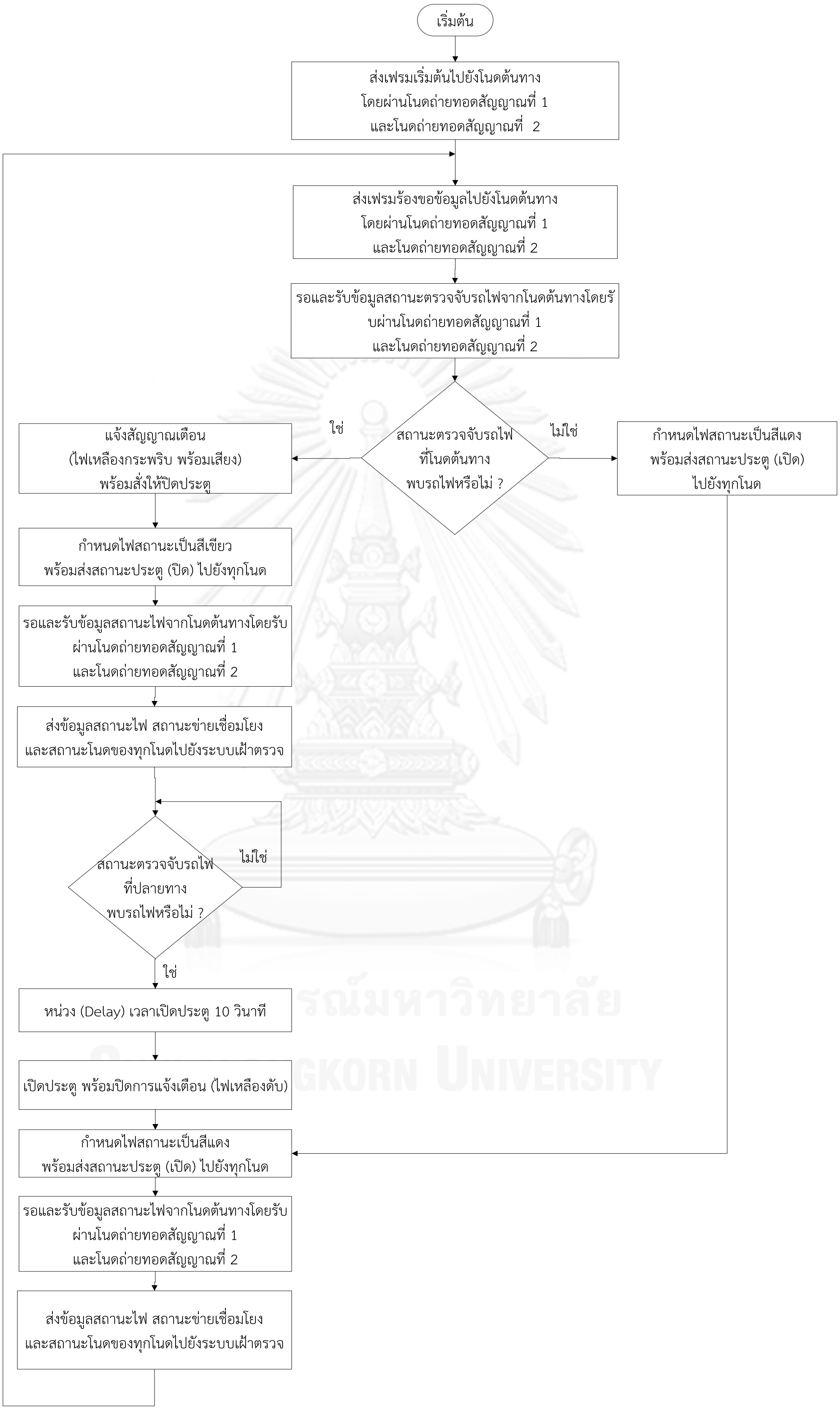
4.1 โปรแกรมการสื่อสารระหว่างเซนเซอร์โนดในโครงข่าย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบซอฟต์แวร์ เพื่อให้ระบบสื่อสารมีความเชื่อถือได้ในการส่งข้อมูล และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1 โปรแกรมการทำงานของโนดปลายทาง

การทำงานของโนดปลายทาง (Destination node) ในโครงข่าย ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แม่ข่าย (Coordinator) ซึ่งจะคอยควบคุมและจัดการการทำงานของเซนเซอร์โนดภายในโครงข่าย ขั้นตอนทำงานของโนดปลายดังรูปที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4. 1 แผนผังการทำงานของโนดปลายทาง

ขั้นตอนการทำงานของโนดปลายทางดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เริ่มแรกโนดปลายทางเริ่มส่งเฟรมเริ่มต้น (Restart frame) ไปยังโนดต้นทาง เพื่อสั่งให้ระบบทำงานโดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดปลายทางส่งเฟรมเริ่มต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทน ถ้าโนดปลายทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้อีก ให้โนดปลายทางรีเซ็ต (Reset) ระบบผ่านทางซอฟต์แวร์ เพื่อให้ระบบทำงานใหม่ ซึ่งการรีเซ็ตให้กระทำก็ต่อเมื่อโนดปลายทางไม่ได้รับข้อมูลนานเกินกว่า 8 วินาที (Watchdog)
2. หลังจากนั้นโนดปลายทางจะส่งเฟรมร้องขอข้อมูลไปยังโนดต้นทาง เพื่อร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟจากโนดต้นทาง โดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดปลายทางส่งเฟรมร้องขอข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทน ถ้าโนดปลายทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้อีก ให้โนดปลายทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
3. โนดปลายทางจะรอรับข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่1 ซึ่งสถานะตรวจจับรถไฟแบ่งออกเป็น2 กรณีด้วยกัน คือ พบรถไฟและไม่พบรถไฟ

<u>กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ</u>

1. ไฟสีเหลืองที่โนดปลายทางจะกระพริบ พร้อมกับมีเสียงแจ้งเตือน เพื่อให้ผู้ที่สัญจรผ่านถนนได้รับทราบว่ารถไฟกำลังมา และ หลังจากนั้น 5 วินาที ประตูกั้นทางรถไฟก็จะปิดลง เพื่อไม่ให้ผู้สัญจรผ่าน พร้อมกำหนดให้สถานะไฟเป็นสีแดง (ประตูปิด)
2. เมื่อประตูกั้นทางรถไฟปิด โนดปลายทางก็จะส่งคำสั่งสถานะประตูไปยังทุกโนดจนถึงโนดต้นทาง เพื่อให้ทุกโนดแสดงไฟสีแดง โดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดปลายทางส่งคำสั่งสถานะประตูไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทน ถ้าโนดปลายทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้อีกให้โนดปลายทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
3. โนดปลายทางจะรอรับข้อมูลสถานะไฟทุกๆโนดในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เมื่อโนดปลายทางได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟของทุกโนด ไปยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป
4. หลังจากนั้นเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟที่โนดปลายทาง จะตรวจจับรถไฟ (โบกี้สุดท้าย) เพื่อสั่งให้ประตูกั้นทางรถไฟเปิด โดยจะหน่วงเวลาเปิดประตูกั้นทางรถไฟ 10 วินาที และปิดการแจ้งเตือน (ไฟเหลือง) และแสดงไฟสีเขียว

5. เมื่อประตูกั้นทางรถไฟเปิด โนดปลายทางก็จะส่งคำสั่งสถานะประตูไปยังทุกโนดจนถึงโนดต้นทาง เพื่อสั่งให้ทุกโนดแสดงไฟสีแดง โดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรกถ้าโนดปลายทางส่งคำสั่งสถานะประตูไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทน ถ้าโนดปลายทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้อีก ให้โนดปลายทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
6. โนดปลายทางจะรอรับข้อมูลสถานะไฟทุกๆโนด ในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เมื่อโนดปลายทางได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานการณ์ทำงานของโนด (Node status) ของทุกโนดไปยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป

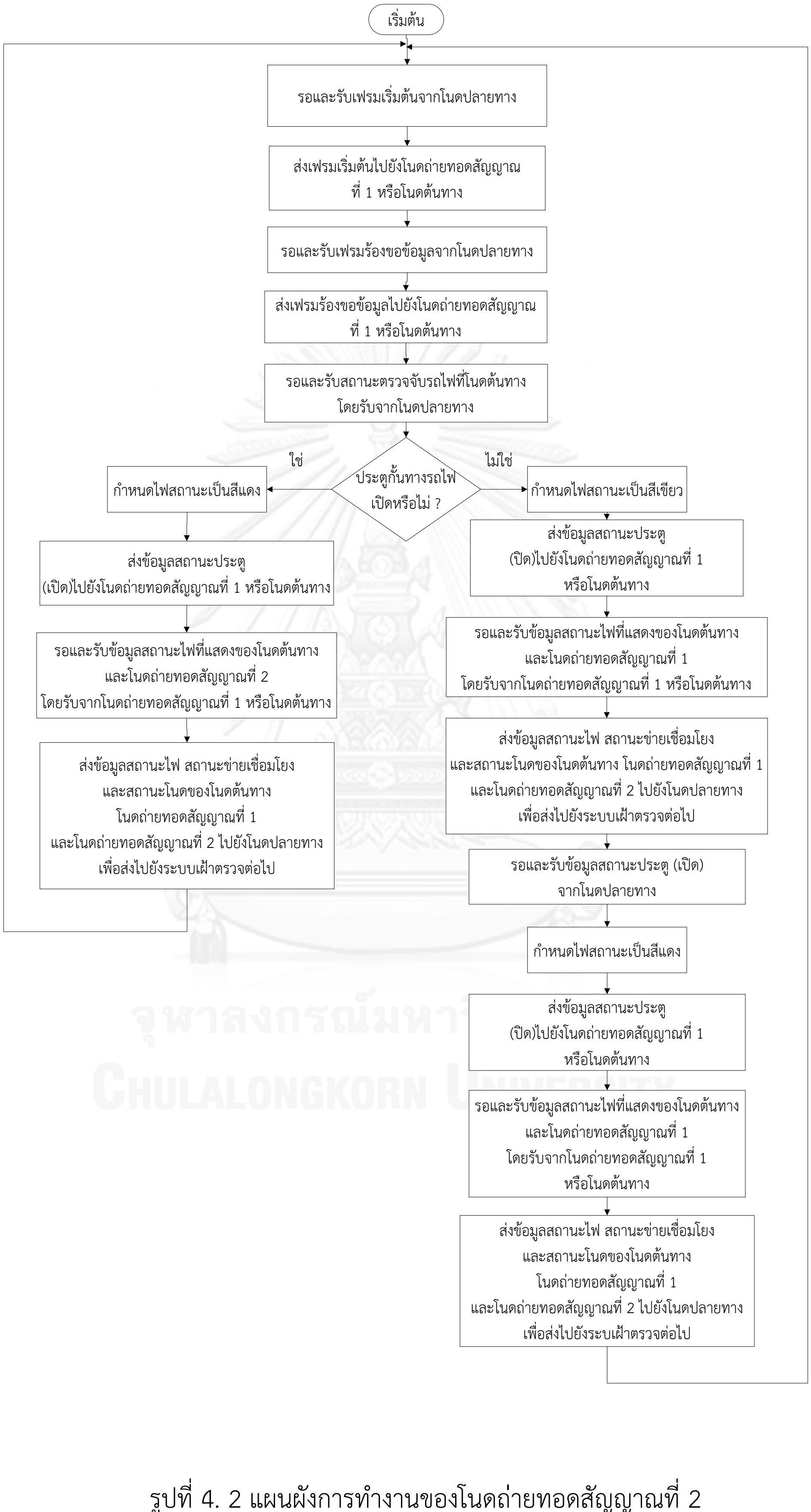
<u>กรณีโนดต้นทางไม่พบรถไฟ</u>

1. ประตูกั้นทางรถไฟเปิด พร้อมกำหนดให้สถานะไฟเป็นสีแดง (ประตูเปิด)หลังจากนั้น โนดปลายทางก็จะส่งคำสั่งสถานะประตูที่เปิดไปยังทุกโนดจนถึงโนดต้นทาง เพื่อให้ทุกโนดแสดงไฟสีแดง โดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดปลายทางส่งคำสั่งสถานะประตูไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทน ถ้าโนดปลายทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้อีก ให้โนดปลายทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
2. โนดปลายทางจะรอรับข้อมูลสถานะไฟทุกๆโนดในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เมื่อโนดปลายทางได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานการณ์ทำงานของโนด (Node status) ของทุกโนด ไปยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 โปรแกรมการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

การทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 (Relay 2 node) ในโครงข่าย ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง (Router) ซึ่งจะจัดเส้นทางและส่งต่อข้อมูลของเซนเซอร์โนดภายในโครงข่าย ขั้นตอนทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 2 แผนผังการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2

ขั้นตอนการทำงานของโนดปลายทางดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 รอเฟรมเริ่มต้นจากโนดปลายทาง เมื่อได้รับเฟรมเริ่มต้นแล้วก็จะส่งต่อไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งเฟรมเริ่มต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดต้นทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
2. รอและรับข้อมูลสถานะเริ่มต้นการทำงานของเซนเซอร์โนดต้นทาง และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
3. ส่งต่อข้อมูลสถานะเริ่มต้นการทำงานของเซนเซอร์โนดต้นทาง โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดปลายทาง
4. รอและรับเฟรมร้องขอข้อมูลจากโนดปลายทาง และจะส่งต่อไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1ส่งเฟรมร้องขอข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดต้นทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
5. รอและรับข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟที่โนดต้นทาง จากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดต้นทาง และจะส่งต่อข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟไปยังโนดปลายทาง ซึ่งสถานะตรวจจับรถไฟแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ พบรถไฟและไม่พบรถไฟ

<u>กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ</u>

6. กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะรอและรับคำสั่งสถานะประตู (ปิด) จากโนดปลายทาง พร้อมจะแสดงไฟสีเขียว
7. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ก็จะส่งต่อข้อมูลสถานะประตู (ปิด) และคำสั่งให้แสดงสถานะไฟเป็นสีเขียว ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะประตู (ปิด)ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดต้นทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
8. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะรอรับข้อมูลสถานะไฟที่แสดงไว้ทุกโนด ในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดต้นทาง เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนด (Node status) ของทุกโนดไปยังโนดปลายทาง เพื่อส่งต่อไปยังยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป
9. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะรอและรับข้อมูลสถานะประตู (เปิด) จากโนดปลายทางพร้อมจะแสดงไฟเป็นสีแดง และจะส่งต่อสถานะประตู (เปิด) และคำสั่งให้แสดงสถานะไฟเป็นสีแดง

ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะประตู (เปิด)ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดต้นทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง

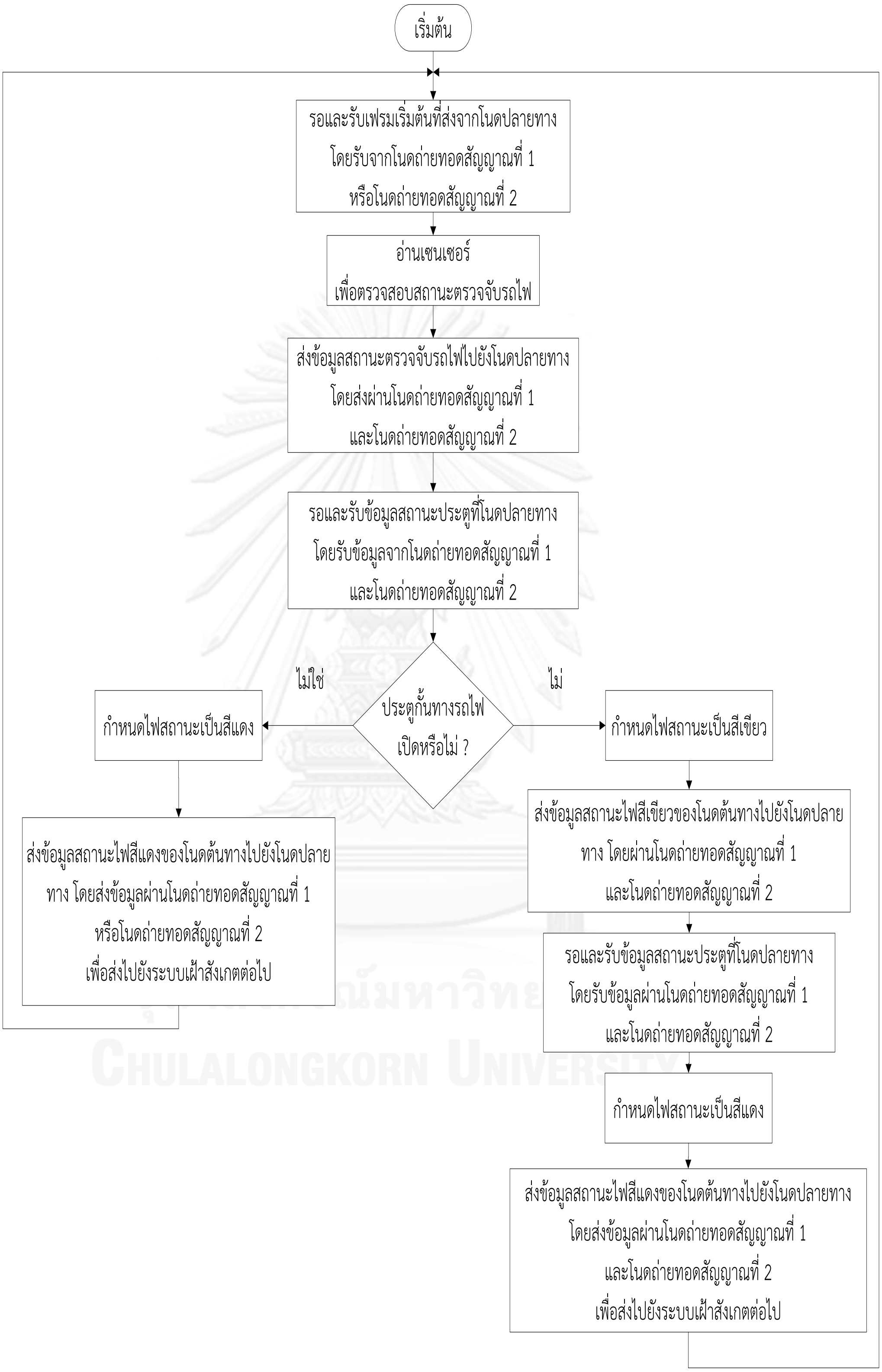
10. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะรอรับข้อมูลสถานะไฟที่แสดงไว้ทุกโนด ในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดต้นทาง เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนด (Node status) ของทุกโนดไปยังโนดปลายทาง เพื่อส่งต่อไปยังยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป

<u>กรณีโนดต้นทางไม่พบรถไฟ</u>

11. กรณีไม่พบรถไฟ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะรอและรับข้อมูลสถานะประตู (เปิด) จากโนดปลายทาง พร้อมจะแสดงไฟเป็นสีแดง และจะส่งต่อสถานะประตู (เปิด) และคำสั่งให้แสดงสถานะไฟเป็นสีแดงไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งข้อมูลสถานะประตู (เปิด)ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดต้นทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
12. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะรอรับข้อมูลสถานะไฟที่แสดงไว้ทุกโนด ในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดต้นทาง เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนด (Node status) ของทุกโนดไปยังโนดปลายทาง เพื่อส่งต่อไปยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป

4.1.3 โปรแกรมการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

การทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1 node) ในโครงข่าย ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง (Router) ซึ่งจะจัดเส้นทางและส่งต่อข้อมูลของเซนเซอร์โนดภายในโครงข่าย ขั้นตอนทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4. 3 แผนผังการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1

ขั้นตอนการทำงานของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รอเฟรมเริ่มต้นจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทาง เมื่อได้รับเฟรมเริ่มต้นแล้ว ก็จะส่งต่อไปยังโนดต้นทาง ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อเฟรมเริ่มต้นไปยังโนดต้นทางไม่ได้ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
2. รอและรับข้อมูลสถานะเริ่มต้นการทำงานของเซนเซอร์โนดต้นทาง
3. ส่งข้อมูลสถานะเริ่มต้นการทำงานของเซนเซอร์โนดต้นทาง และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทาง
4. รอและรับเฟรมร้องขอข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทาง และจะส่งต่อไปยังโนดต้นทาง ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้ ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
5. รอและรับข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟจากโนดต้นทางจาก และจะส่งต่อข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทาง สถานะตรวจจับรถไฟแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ พบรถไฟและไม่พบรถไฟ

<u>กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ</u>

1. กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะรอและรับคำสั่งสถานะประตู (ปิด) จากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทาง พร้อมจะแสดงไฟสีเขียว
2. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ก็จะส่งต่อข้อมูลสถานะประตู (ปิด) และคำสั่งให้แสดงสถานะไฟเป็นสีเขียวไปยังโนดต้นทาง ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้ ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
3. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะรอรับข้อมูลสถานะไฟที่แสดงของโนดต้นทาง ในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดต้นทาง เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status)สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนด (Node status) ของโนดต้นทาง และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลข้างต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดปลายทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งไปยังโนดปลายทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
4. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะรอและรับข้อมูลสถานะประตู (เปิด) จากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทาง พร้อมจะแสดงไฟเป็นสีแดง และจะส่งต่อสถานะประตู (เปิด) และคำสั่งให้แสดงสถานะไฟเป็นสีแดงไปยังโนดต้นทาง ถ้าโนด

ถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งต่อไปยังโนดต้นทางไม่ได้ ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง

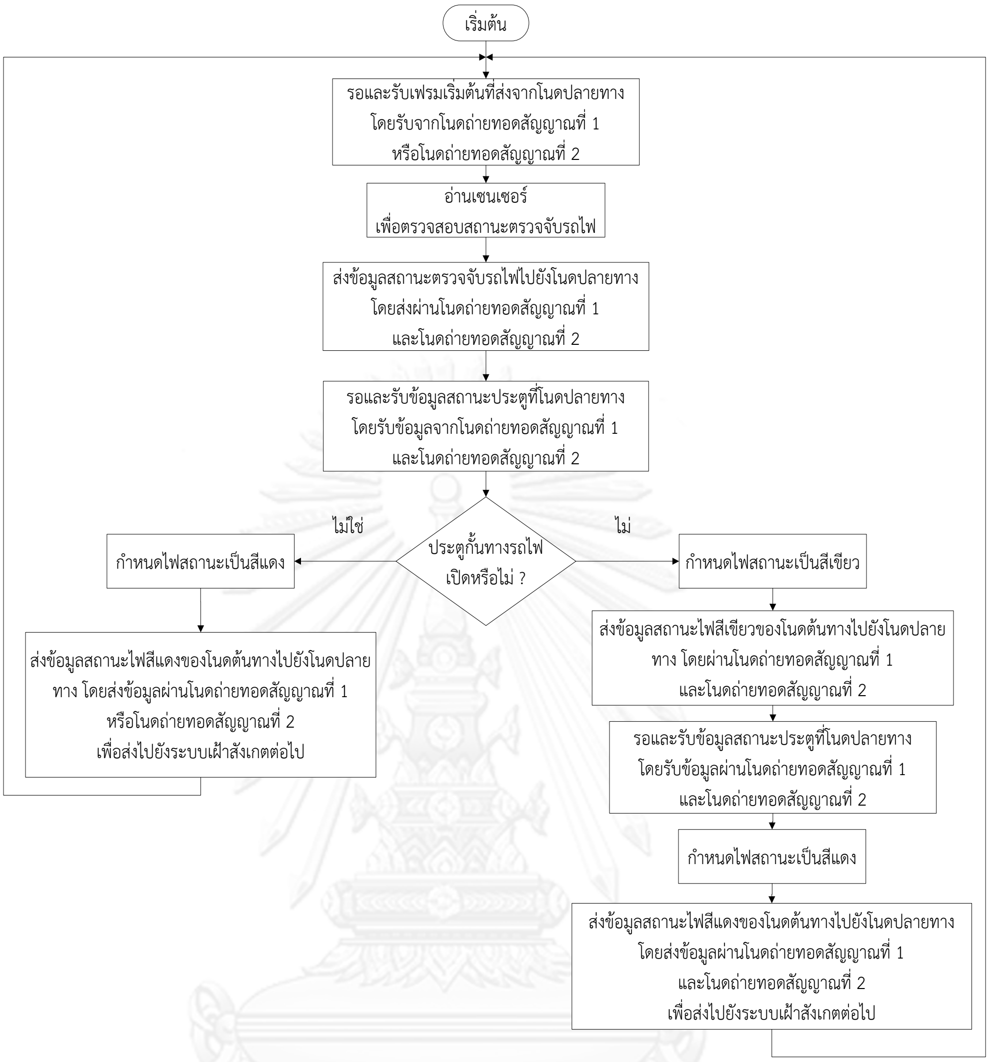
5. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะรอรับข้อมูลสถานะไฟที่แสดงไว้ทุกโนด ในโครงข่าย โดยจะรับจากโนดต้นทาง เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลแล้วก็จะต่อส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status)สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานการณ์ทำงานของโนด (Node status) ของโนดต้นทางและโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลข้างต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดปลายทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งไปยังโนดปลายทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง

<u>กรณีโนดต้นทางไม่พบรถไฟ</u>

1. กรณีไม่พบรถไฟ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะรอและรับข้อมูลสถานะประตู (เปิด) จากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดปลายทางพร้อมจะแสดงไฟเป็นสีแดง และจะส่งต่อสถานะประตู (เปิด) และคำสั่งให้แสดงสถานะไฟเป็นสีแดงไปยังโนดต้นทาง ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งไปยังโนดต้นทางไม่ได้ ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
2. โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะรอรับข้อมูลสถานะไฟที่แสดงของโนดต้นทาง โดยจะรับจากโนดต้นทาง เมื่อโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานการณ์ทำงานของโนด (Node status) ของโนดต้นทางและโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งข้อมูลข้างต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดปลายทางแทน ถ้าโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ส่งไปยังโนดปลายทางไม่ได้อีก ให้โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 รีเซ็ต (Reset) ตัวเองข้อมูลข้างต้นโนดปลายทางจะส่งต่อไปยังยังระบบเฝ้าตรวจ (Monitor) และเก็บข้อมูลต่อไป

4.1.4 โปรแกรมการทำงานของโนดต้นทาง

การทำงานของโนดต้นทาง (Source node) ในโครงข่าย ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ปลายทาง (End device) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูลในระบบโครงข่าย หรือส่งต่อข้อมูลได้ โดยขึ้นอยู่กับโครงข่ายที่เลือกใช้งาน ขั้นตอนทำงานของโนดต้นทางดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4. 4 แผนผังการทำงานของโนดต้นทาง

ขั้นตอนการทำงานของโนดต้นทางดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โนดต้นทางจะรอรับเฟรมเริ่มต้นที่ส่งมาจากโนดปลายทาง โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เพื่อกำหนดให้ทุกโนดเริ่มทำงาน
2. โนดต้นทางจะส่งข้อมูลสถานะเริ่มทำงานของตัวเองไปยังโนดปลายทาง โดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดต้นทางส่งข้อมูลสถานะเริ่มทำงานไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แทน ถ้าโนดต้นทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้อีก ให้โนดต้นทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
3. โนดต้นทางจะรอเฟรมร้องขอข้อมูลจากโนดปลายทาง โดยจะรับเฟรมร้องขอข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จากนั้นที่โนดต้นทางก็จะอ่านเซนเซอร์เพื่อตรวจจับรถไฟ และส่งสถานะตรวจจับรถไฟไปยังโนดปลายทาง

โดยจะส่งผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดต้นทางส่งข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แทน ถ้าโนดต้นทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้อีก ให้โนดต้นทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง สถานะตรวจจับรถไฟแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ พบรถไฟและไม่พบรถไฟ

<u>กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ</u>

1. กรณีที่โนดต้นทางพบรถไฟ ประตูที่โนดปลายทางก็จะปิด โนดต้นทางจะรอเฟรมและรับคำสั่งจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ที่ส่งมาจากโนดปลายทาง พร้อมจะแสดงไฟสีเขียว (ประตูปิด)
2. โนดต้นทางก็จะส่งต่อข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนด (Node status) ของตัวเองไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นลำดับแรก ถ้าโนดต้นทางส่งข้อมูลข้างต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แทน ถ้าโนดต้นทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้อีก ให้โนดต้นทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง
3. โนดต้นทางจะรอและรับข้อมูลสถานะประตู (เปิด) จากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 พร้อมจะแสดงไฟเป็นสีแดง
4. โนดต้นทางจะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนดต้นทาง (Node status) ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นลำดับแรกถ้าโนดต้นทางส่งข้อมูลข้างต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้ก็จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แทน ถ้าโนดต้นทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้อีก ให้โนดต้นทาง รีเซ็ต (Reset) ตัวเอง

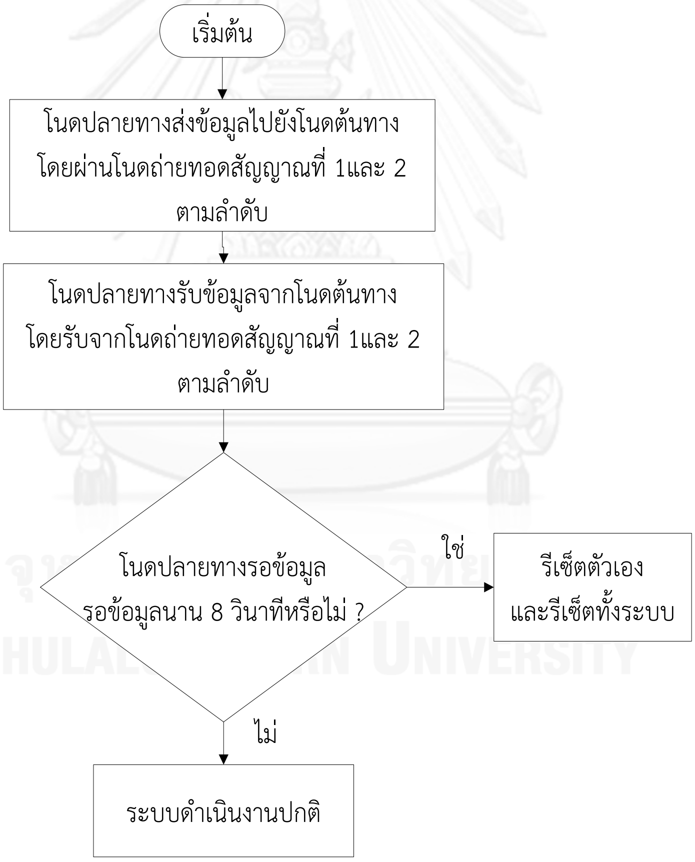
<u>กรณีโนดต้นทางพบรถไฟ</u>

1. กรณีไม่พบรถไฟ โนดต้นทางจะรอและรับข้อมูลสถานะประตู (เปิด) จากโนดปลายทาง โดยจะรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 พร้อมจะแสดงไฟเป็นสีแดง (ประตูเปิด)
2. โนดต้นทางจะส่งข้อมูลสถานะไฟ (Light status) สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) และสถานะการทำงานของโนดต้นทาง (Node status) ไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 เป็นลำดับแรกถ้าโนดต้นทางส่งข้อมูลข้างต้นไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ได้ก็

จะส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทน ถ้าโนดต้นทางส่งไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ได้อีก ให้โนดต้นทางรีเซ็ต (Reset) ตัวเอง

4.1.5 โปรแกรมรีเซ็ตของระบบ

ในงานวิจัยระบบกั้นทางรางรถไฟนี้ ระบบต้องทำงานตลอดเวลา เพราะถ้าระบบเกิดเหตุขัดข้อง หรือเกิดการผิดพลาดของอุปกรณ์ (Hardware) หรือเกิดจากความผิดพลาดในการส่งข้อมูล เช่น อาจจะมีสัญญาณรบกวน (Noise) เข้ามารบกวนทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ค้าง (ไม่สามารถทำงาน)ได้ เมื่อเกิดการค้างของอุปกรณ์ ระบบจะมีการรีเซ็ต (Reset) ของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบซอฟต์แวร์ (Software Reset) เกิดขึ้น ผ่านทาง Watchdog โดยมีการจำกัดเวลา (Time out) ไม่เกิน 8 วินาที ทั้งนี้เพื่อให้ระบบทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ดังรายละเอียดรูปที่ 4.5



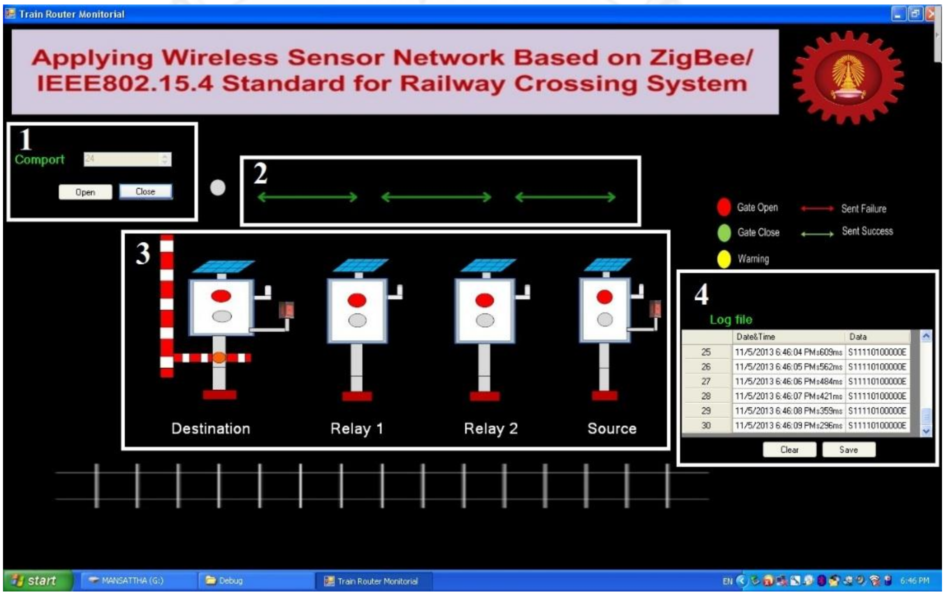
รูปที่ 4. 5 แผนผังของโปรแกรมการรีเซ็ต

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมรีเซ็ตของระบบ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โนดปลายทางจะส่งข้อมูล (เฟรมเริ่มต้น เฟรมร้องขอข้อมูล หรือเฟรมข้อมูล) อันใดอันหนึ่งส่งไปยังโนดต้นทาง โดยจะส่งข้อมูลผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
2. โนดปลายทางจะรอและรับข้อมูลที่ส่งจากโนดต้นทาง โดยรับจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 หรือโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โดยถ้ารอข้อมูลนานเกินกว่า 8 วินาที ให้โนดปลายทางรีเซ็ตตัวเอง พร้อมส่งข้อมูลไปรีเซ็ตโนดในระบบทั้งหมด ถ้าข้อมูลที่รับได้ไม่เกิน 8 วินาที ระบบก็จะทำงานปกติ
3. ลักษณะการรีเซ็ตตัวเองของโนดทุกโนดในระบบ จะทำลักษณะเดียวกันกับโนดปลายทาง กล่าวคือ ถ้าไม่ได้รับข้อมูลเกินกว่า 8 วินาที ระบบก็จะรีเซ็ตตัวเองโดยอัตโนมัติ

4.2 โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์เป็นส่วน ที่ทำหน้าที่ติดต่อกับพนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟ ในการรับคำข้อมูลการทำงานของเซนเซอร์โนดในระบบ การพัฒนาโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์นี้พัฒนาโดยใช้ชุดโปรแกรม Visual Studio 2012 โดยโครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ



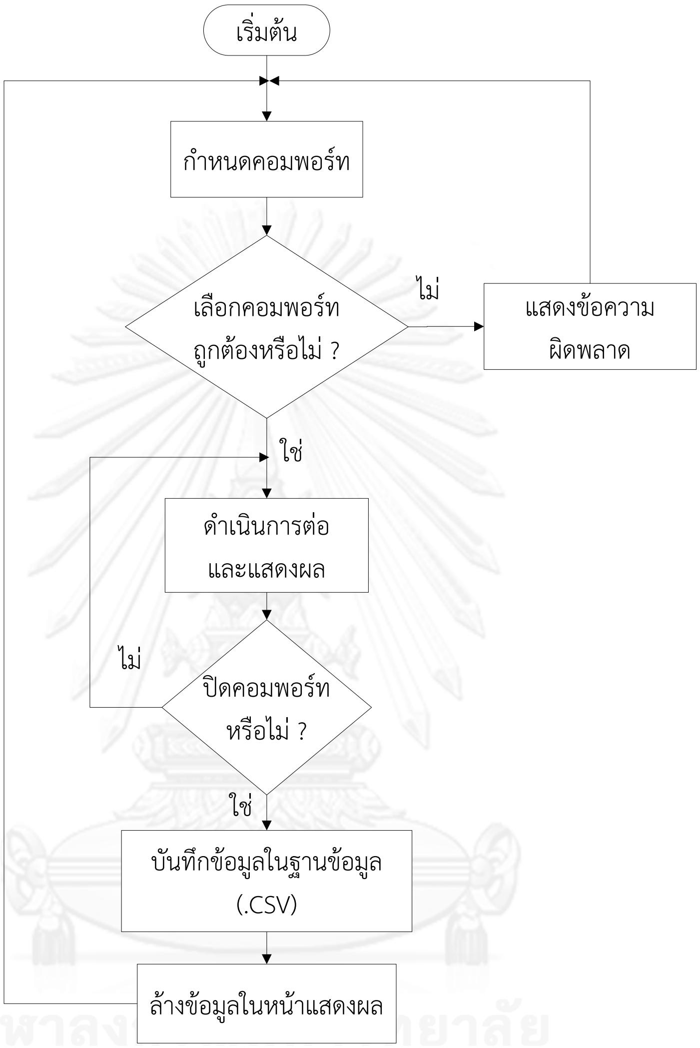
รูปที่ 4. 6 โปรแกรมกราฟฟิกที่แสดงการทำงานของระบบกั้นทางรถไฟ

รายละเอียดอของโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

1. ส่วนเชื่อมต่อกับเซนเซอร์โนด (โนดปลายทาง) โดยจะรับข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรม RS232
2. เส้นทางการส่งข้อมูล กำหนดให้ดังนี้ คือ ลูกศรสีแดง หมายถึง เส้นทางขาดการเชื่อมต่อ หรือ ส่งข้อมูลไม่ได้ และลูกศรสีเขียว หมายถึง เส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อได้ หรือเส้นทางส่งข้อมูลได้สำเร็จ
3. ส่วนที่แสดงการทำงานของสถานะประตูกั้นทางรถไฟ (เปิดและปิด) สถานะไฟของแต่ละเซนเซอร์โนด (สีแดง สีเขียว) และสถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟที่โนดต้นทางและโนดปลายทาง (ถ้าพบรถไฟเซนเซอร์จะมีไฟ (แดง) แสดง ถ้าไม่พบรถไฟเซนเซอร์จะไม่มีไฟแสดง)
4. ส่วนของฐานข้อมูล จะเก็บสถิติการทำงานของเซนเซอร์โนด ซึ่งประกอบด้วย วันเดือนปี เวลา การส่งข้อมูล ข้อมูลสถานะประตู สถานะข่ายเชื่อมโยง และสถานะไฟของแต่ละเซนเซอร์โนด โดยจะรับข้อมูลแบบเวลาจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.1 การทำงานของโปรแกรมส่วนต่อกราฟฟิกกับผู้ใช้



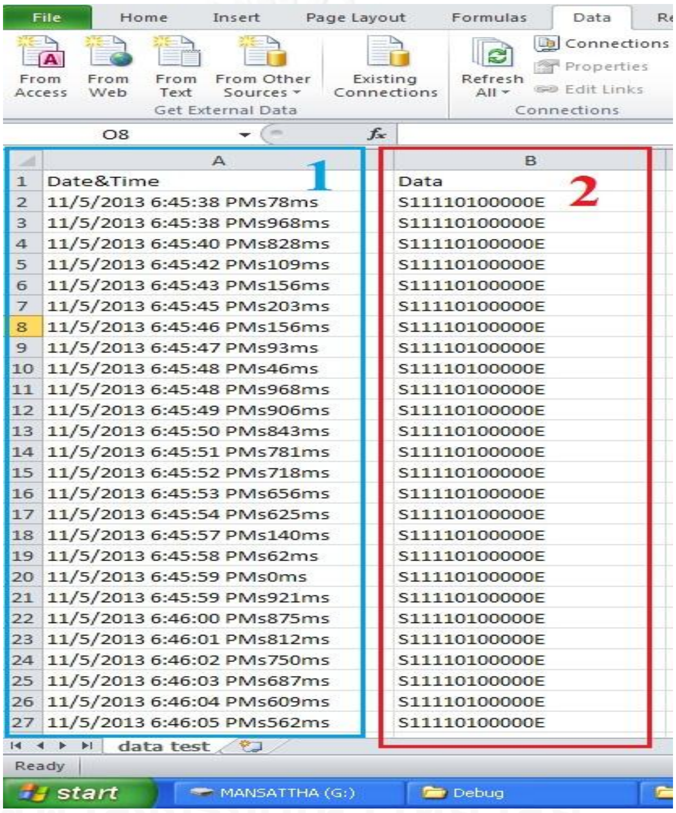
รูปที่ 4. 7 แผนผังโปรแกรมส่วนต่อกราฟิกกับผู้ใช้

การทำงานของโปรแกรมส่วนต่อกราฟฟิกกับผู้ใช้

1. ระบบเฝ้าตรวจจะให้เลือกคอมพอร์ทที่ติดต่อกับอุปกรณ์ โดยถ้าเลือกคอมพอร์ทผิด ก็จะแสดงข้อความผิดพลาด ถ้าเลือกคอมพอร์ทถูกก็จะดำเนินการต่อและแสดงผลต่อไป
2. หลังจากที่พนักงานการรถไฟจะปิดโปรแกรม โปรแกรมก็จะถามว่าปิดคอมพอร์ทหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะดำเนินการต่อไป ถ้าใช่โปรแกรมจะบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลต่อไป
3. โปรแกรมจะล้างหน้าจอในหน้าแสดงผล เพื่อแสดงข้อมูลใหม่เมื่อเปิดโปรแกรมครั้งต่อไป

4.2.2 ฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูล เพื่อกำหนดรูปร่างของข้อมูลให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์และความต้องการของผู้ใช้งาน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการจัดการกับข้อมูล โดยจะเก็บข้อมูลในรูปแบบ CSV (Comma Separated Values) ไฟล์ ซึ่งข้อมูลถูกที่บันทึกจะประกอบด้วย วันเดือนปี เวลาการส่งข้อมูล สถานะการทำงานของเซนเซอร์โนดทุกโนด สถานะตรวจจับรถไฟ (โนดต้นทางและโนดปลายทาง) สถานะประตูกั้นทางรถไฟ (โนดปลายทาง) และสถานะไฟ (เขียวหรือแดง) ของทุกโนด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4. 8 รูปแบบข้อมูลแบบ CSV ไฟล์

ส่วนของข้อมูลประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก คือ

1. เป็นส่วนของวันเดือนปี และเวลาที่ส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในระบบ โดยจะรับข้อมูลจากโนดปลายทางผ่านพอร์ทอนุกรม (RS232)
2. ส่วนของข้อมูลที่รับจากเซนเซอร์โนดปลายทาง โดยมีทั้งหมด 13 ไบท์ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4. 1 รายละเอียดส่วนของข้อมูลที่เก็บลงไว้ในฐานข้อมูล

ลำดับไบท์	รายละเอียด
1	จุดเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล กำหนดให้เป็นตัวอักษร S (Start)
2-5	สถานะโนด (ทำงานหรือไม่ทำงาน) ตัวเลข 1 คือ โนดทำงาน และตัวเลข 0 ไม่ทำงาน โดยเรียงจาก โนดปลายทาง โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดต้นทาง
6-7	ไบท์ที่ 6 คือ สถานะไฟ (เขียวหรือแดง) ของโนดปลายทาง ตัวเลข 1 คือ ไฟสีเขียว และตัวเลข 0 คือไฟสีแดง ไบท์ที่ 7 คือ สถานะประตูกั้นทางรถไฟ (เปิดหรือปิด) ของโนดปลายทาง ตัวเลข 1 คือ ประตูกั้นทางรถไฟปิด และตัวเลข 0 คือประตูกั้นรถไฟเปิด
8	สถานะตรวจจับรถไฟ (พบรถไฟหรือไม่พบรถไฟ) ของโนดปลายทาง ตัวเลข 1 คือ พบรถไฟ และตัวเลข 0 คือ ไม่พบรถไฟ
9-11	สถานะไฟ (เขียวหรือแดง) ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1และโนดต้นทาง ตามลำดับ ตัวเลข 1 คือ ไฟสีเขียว และตัวเลข 0 คือไฟสีแดง
12	สถานะตรวจจับรถไฟ (พบรถไฟหรือไม่พบรถไฟ) ของโนดต้นทาง ตัวเลข 1 คือ พบรถไฟ และตัวเลข 0 คือ ไม่พบรถไฟ
13	จุดสิ้นสุดของเฟรมข้อมูล กำหนดให้เป็นตัวอักษร E (End)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

5.1 ทดสอบการทำงานในส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

ในระบบเฝ้าตรวจ (Monitoring) จะประกอบด้วยเซนเซอร์โนด 4 โนด ได้แก่ โนดปลายทาง จะมีประตูกั้นทางรถไฟ ไฟเขียวไฟแดง (สถานะประตู) ไฟเหลือง (แจ้งเตือนให้ผู้สัญจรทางถนนได้รับทราบ) และเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 จะมีไฟเขียวไฟแดง และโนดต้นทางจะมีไฟเขียวไฟแดง และเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ โดยในระบบเฝ้าตรวจจะมีลูกศรสีเขียวและสีแดง ซึ่งหมายถึงสถานะข่ายเชื่อมโยง และเส้นทางการส่งข้อมูล สีเขียว หมายถึง สถานะข่ายเชื่อมโยงทำงานปกติ ส่วนสีแดง หมายถึง สถานะข่ายเชื่อมโยงไม่สามารถส่งข้อมูลได้ ซึ่งข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์โนดจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลแบบเวลาจริง (Real Time) ระบบการเฝ้าตรวจจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายเซนเซอร์โนด โดยจะรับข้อมูลจากโนดปลายทาง พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟสามารถรับรู้สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) ของการส่งข้อมูลของแต่ละเซนเซอร์โนดในโครงข่าย โดยจะแสดงสถานะไฟ (สีเขียวหรือสีแดง) เส้นทางการส่งมูล และตำแหน่งของรถไฟแบบเวลาจริง เพื่อให้พนักงานรถไฟที่เฝ้าตรวจอยู่ที่สถานีรถไฟได้ทราบถึงการทำงานของเซนเซอร์โนด เพื่อจะได้แก้ไขจัดการทันทีทันใดเมื่อเห็นว่าเซนเซอร์โนดมีปัญหา

5.1.1 ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 (ระบบทำงานปกติ)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 (ระบบทำงานปกติ) และแสดงผลการทำงานบนระบบเฝ้าตรวจได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือในการทดสอบ
1. เซนเซอร์โนด 4 โนด ที่โปรแกรมตามขั้นตอนวิธีการทำงานเรียบร้อยแล้ว
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232
4. โปรแกรม C# ที่โปรแกรมและออกแบบไว้

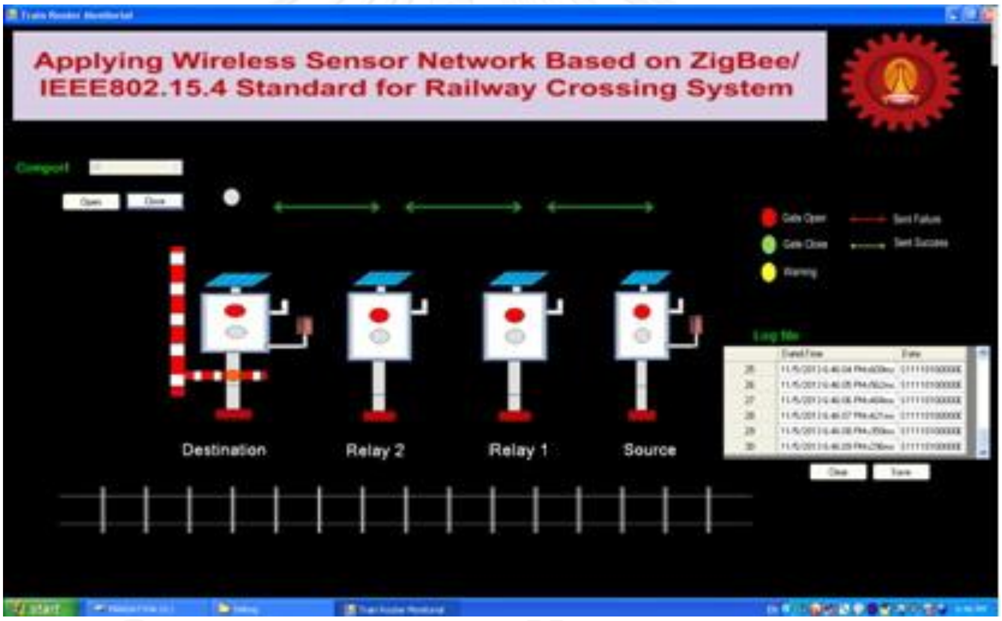
วิธีการทดสอบ
1. วางเซนเซอร์โนดทั้ง 4 โนดตามรางรถไฟ ตามระยะทางที่ได้ทดสอบไว้ในหัวข้อการทดสอบที่ 5.2
2. ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 นี้ระบบจะทำงานปกติโดยไม่มีโนดใดโนดหนึ่งเสียภายในโครงข่าย เส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งจากโนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดปลายทางในที่สุด

3. ที่ระบบเฝ้าตรวจ (Monitoring) การทำงานจะเริ่มจากกดปุ่มเปิดคอมพอร์ต (Open Comport) ระบบก็จะแสดงข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์โนดแบบเวลาจริง ข้อมูลที่ได้จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลต่อไป

ผลการทดสอบ

<u>กรณีเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบรถไฟ</u>

การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 นี้ระบบจะทำงานปกติโดยไม่มีโนดใดโนดหนึ่งเสียภายในโครงข่าย เส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งจากโนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดปลายทางในที่สุด เริ่มแรกเซนเซอร์โนดต้นทางจะไม่พบการตรวจจับรถไฟทำให้ประตูกั้นทางรถไฟเปิด เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสถานะเป็นสีแดง (ประตูเปิด) และข่ายเชื่อมโยงเป็นสีเขียวทุกข่ายเชื่อมโยงดังแสดงในรูปที่ 5.1

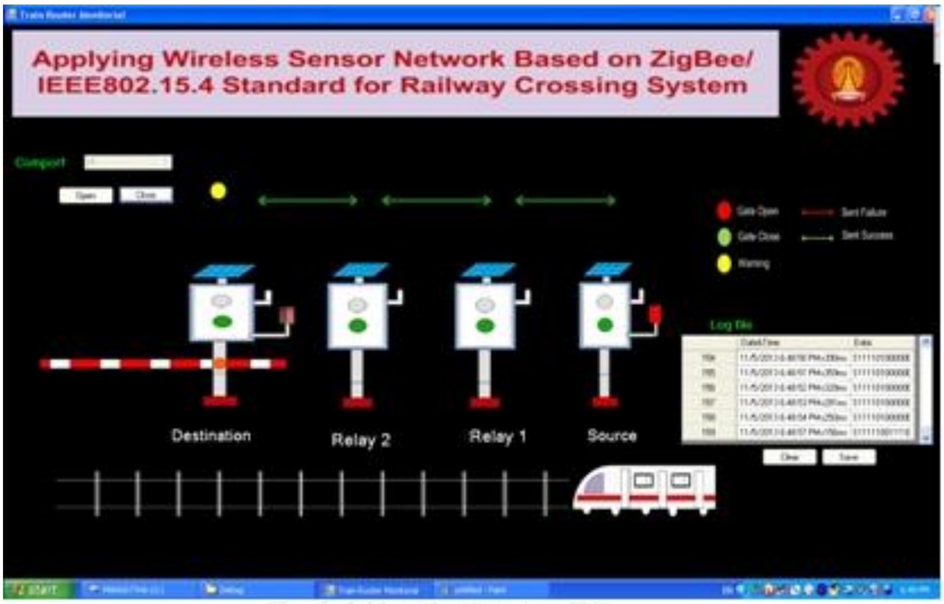


CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 5. 1 เหตุการณ์ที่ 1 ในขณะที่เซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบการตรวจจับรถไฟ

<u>กรณีเซนเซอร์โนดต้นทางพบรถไฟ</u>

การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 เมื่อเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟทำให้ประตูกั้นทางรถไฟปิด เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสถานะเป็นสีเขียว (ประตูปิด) และข่ายเชื่อมโยงเป็นสีเขียวทุกข่ายเชื่อมโยงดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5. 2 เหตุการณ์ที่ 1 ในขณะที่เซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟ

ตารางที่ 5. 1 ตารางสรุปลำดับเหตุการณ์ ของเหตุการณ์ที่ 1

สถานะตรวจจับรถไฟ (Sensor status)		สถานะประตู (Gate status)	สถานะโนด (Node status)				สถานะไฟ (Light status)			
			Des	R2	R1	Src	Des	R2	R1	Src
โนดต้นทาง	ไม่พบรถไฟ	เปิด	✓	✓	✓	✓	R	R	R	R
	พบรถไฟ	ปิด	✓	✓	✓	✓	G/Y	G	G	G
โนดปลายทาง	ไม่พบรถไฟ	ปิด	✓	✓	✓	✓	G/Y	G	G	G
	พบรถไฟ	เปิด	✓	✓	✓	✓	R	R	R	R

หมายเหตุ : กำหนดให้ตัวอักษรย่อ

Des คือ โนดปลายทาง (Destination) R คือ สีแดง (Red)

R1 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1) G คือ สีเขียว (Green)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

R2 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 2)

Src คือ โนดต้นทาง (Source)

✓ คือ โนดทำงาน

X คือ โนดไม่ทำงาน

O คือ ไฟดับ (Off)

Y คือ สีเหลือง (Yellow)

G/Y คือ สีเขียวกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

R/Y คือ สีแดงกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

O/Y คือ ไฟดับกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจในเหตุการณ์ที่ 1 พบว่า กรณีที่ไม่พบรถไฟ เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสีแดง ข่ายเชื่อมโยงสามารถติดต่อกันทุกโนด และประตูกั้นทางรถไฟเปิด เพื่อให้รถยนต์วิ่งข้ามทางรถไฟได้ และในกรณีที่พบรถไฟเซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสีเขียว ข่ายเชื่อมโยงสามารถติดต่อกันทุกโนด และประตูกั้นทางรถไฟปิด ซึ่งตรงตามแผนที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

5.1.2 ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงาน)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงาน) และแสดงผลการทำงานบนระบบเฝ้าตรวจได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด ที่โปรแกรมตามขั้นตอนวิธีการทำงานเรียบร้อยแล้ว
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232
4. โปรแกรม C# ที่โปรแกรมและออกแบบไว้

วิธีการทดสอบ

1. วางเซนเซอร์โนดทั้ง 4 โนดตามรางรถไฟ ตามระยะทางที่ได้ทดสอบไว้หัวข้อการทดสอบที่ 5.2
2. ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 นี้จะมีโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงานทำให้เซนเซอร์โนดข้างเคียง (โนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1) ไม่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ จึงทำให้โนดปลายทางจะเชื่อมต่อกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทนซึ่งเป็นเส้นทางสำรองภายในโครงข่าย ทำให้เส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งจากโนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และข้ามไปยังโนดปลายทางในที่สุด

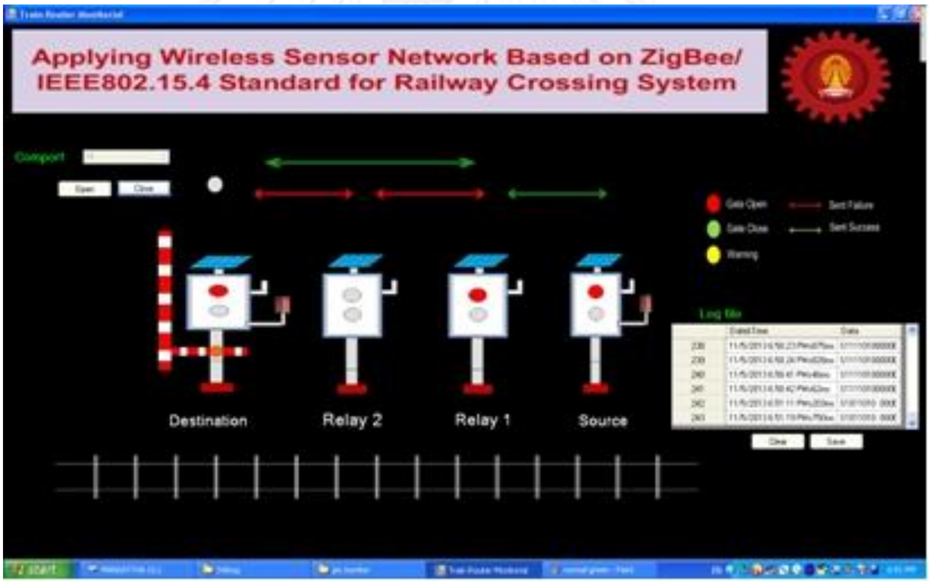
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ที่ระบบเฝ้าตรวจ (Monitoring) การทำงานจะเริ่มจากกดปุ่มเปิดคอมพอร์ต (Open Comport) ระบบก็จะแสดงข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์โนดแบบเวลาจริง ข้อมูลที่ได้จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลต่อไป

ผลการทดสอบ

<u>กรณีเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบรถไฟ</u>

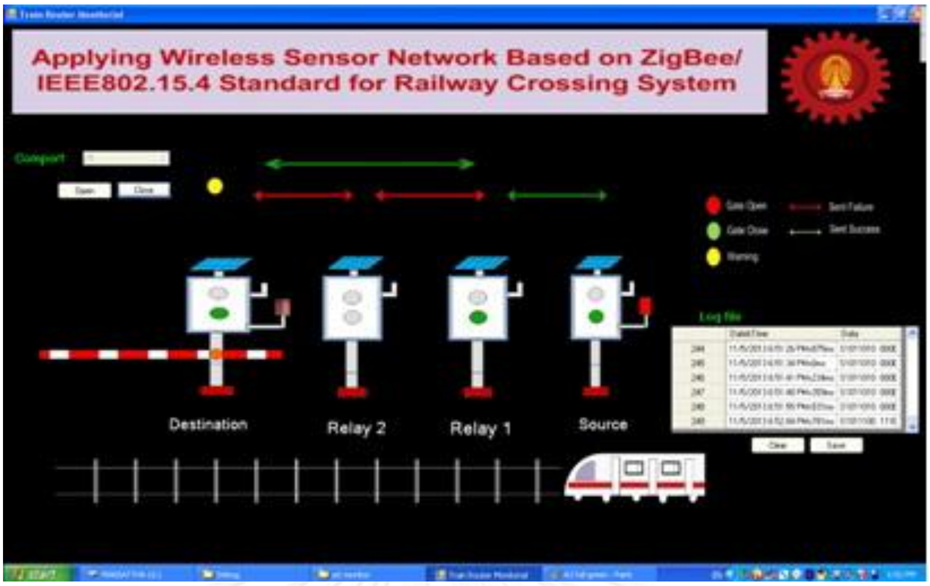
การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 นี้จะมีโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงานทำให้เซนเซอร์โนดข้างเคียง (โนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1)ไม่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ จึงทำให้โนดปลายทางจะเชื่อมต่อกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แทนซึ่งเป็นเส้นทางสำรองภายในโครงข่าย ทำให้เส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งจากโนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และข้ามไปยังโนดปลายทางในที่สุด เริ่มแรกเซนเซอร์โนดต้นทางจะไม่พบการตรวจจับรถไฟทำให้ประตูกั้นทางรถไฟเปิด เซนเซอร์โนดในโครงข่ายจะแสดงไฟสถานะเป็นสีแดง (ประตูเปิด) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไฟสถานะจะดับ ตามรูปที่ 5.3



รูปที่ 5. 3 เหตุการณ์ที่ 2 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบการตรวจจับรถไฟ

<u>กรณีเซนเซอร์โนดต้นทางพบรถไฟ</u>

การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 เมื่อเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟทำให้ประตูกั้นทางรถไฟปิด เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสถานะเป็นสีเขียว (ประตูปิด) พร้อมไฟสีเหลือง (สำหรับแจ้งเตือนที่โนดปลายทาง) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไฟสถานะจะดับ ตามรูปที่ 5.4



รูปที่ 5. 4 เหตุการณ์ที่ 2 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟ

ตารางที่ 5. 2 ตารางสรุปลำดับเหตุการณ์ ของเหตุการณ์ที่ 2

สถานะตรวจจับรถไฟ (Sensor status)		สถานะประตู (Gate status)	สถานะโนด (Node status)				สถานะไฟ (Light status)			
			Des	R2	R1	Src	Des	R2	R1	Src
โนดต้นทาง	ไม่พบรถไฟ	เปิด	✓	X	✓	✓	R	O	R	R
	พบรถไฟ	ปิด	✓	X	✓	✓	G/Y	O	G	G
โนดปลายทาง	ไม่พบรถไฟ	ปิด	✓	X	✓	✓	G/Y	O	G	G
	พบรถไฟ	เปิด	✓	X	✓	✓	R	O	R	R

หมายเหตุ : กำหนดให้ตัวอักษรย่อ

Des คือ โนดปลายทาง (Destination) R คือ สีแดง (Red)

R1 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1) G คือ สีเขียว (Green)

R2 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 2) O คือ ไฟดับ (Off)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Src คือ โนดต้นทาง (Source)

✓ คือ โนดทำงาน

X คือ โนดไม่ทำงาน

Y คือ สีเหลือง (Yellow)

G/Y คือ สีเขียวกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

R/Y คือ สีแดงกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

O/Y คือ ไฟดับกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจ ในเหตุการณ์ที่ 2 พบว่า กรณีที่ไม่พบรถไฟ ประตูกั้นทางรถไฟจะเปิด เพื่อให้รถยนต์วิ่งข้ามทางรถไฟได้ เซนเซอร์โนดในโครงข่ายจะแสดงไฟสถานะเป็นสีแดง (ประตูเปิด) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไฟสถานะจะดับ กรณีที่พบรถไฟ ประตูกั้นทางรถไฟปิด เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสถานะเป็นสีเขียว (ประตูปิด) พร้อมไฟสีเหลือง (สำหรับแจ้งเตือนที่โนดปลายทาง) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไฟสถานะจะดับ ซึ่งตรงตามแผนที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

5.1.3 ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงาน)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงาน) และแสดงผลการทำงานบนระบบเฝ้าตรวจได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด ที่โปรแกรมตามขั้นตอนวิธีการทำงานเรียบร้อยแล้ว
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โมดูลเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL เป็น RS232
4. โปรแกรม C# ที่โปรแกรมและออกแบบไว้

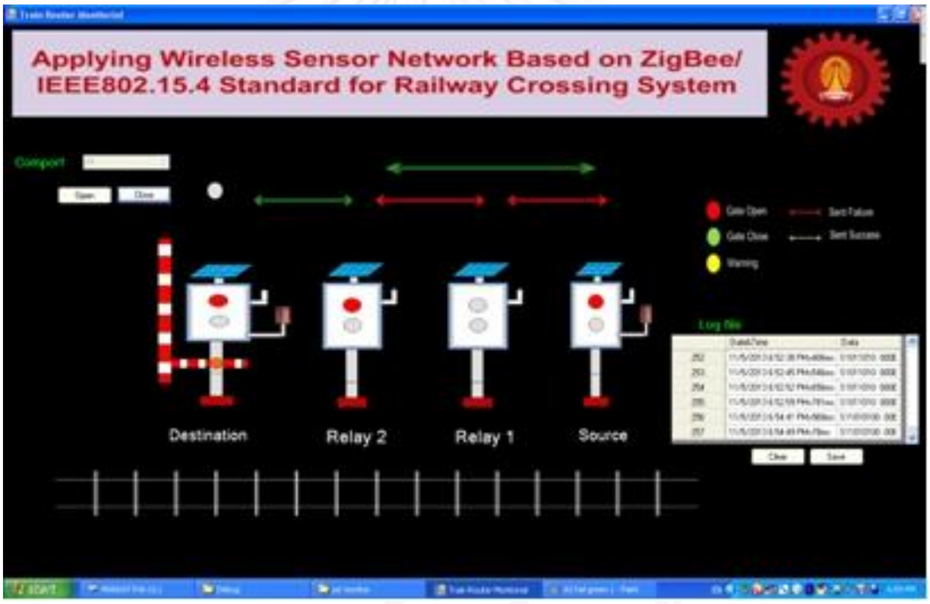
วิธีการทดสอบ

1. วางเซนเซอร์โนดทั้ง 4 โนดตามรางรถไฟ ตามระยะทางที่ได้ทดสอบไว้หัวข้อการทดสอบที่ 5.2
2. การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 นี้จะมีโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงานทำให้เซนเซอร์โนดข้างเคียง (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทาง) ไม่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้ จึงทำให้โนดต้นทางจะเชื่อมต่อกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แทนซึ่งเป็นเส้นทางสำรองภายในโครงข่าย ทำให้เส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งจากโนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และไปยังโนดปลายทางในที่สุด
3. ที่ระบบเฝ้าตรวจ (Monitoring) การทำงานจะเริ่มจากกดปุ่มเปิดคอมพอร์ต (Open Comport) ระบบก็จะแสดงข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์โนดแบบเวลาจริง ข้อมูลที่ได้จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลต่อไป

ผลการทดสอบ

<u>กรณีเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบรถไฟ</u>

การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 นี้จะมีโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงานทำให้เซนเซอร์โนดข้างเคียง (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทาง)ไม่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ได้ จึงทำให้โนดต้นทางจะเชื่อมต่อกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แทนซึ่งเป็นเส้นทางสำรองภายในโครงข่าย ทำให้เส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งจากโนดต้นทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และไปยังโนดปลายทางในที่สุดเริ่มแรกเซนเซอร์โนดต้นทางจะไม่พบการตรวจจับรถไฟทำให้ประตูกั้นทางรถไฟเปิด เซนเซอร์โนดในโครงข่ายจะแสดงไฟสถานะเป็นสีแดง (ประตูเปิด) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไฟสถานะจะดับตามรูปที่ 5.5



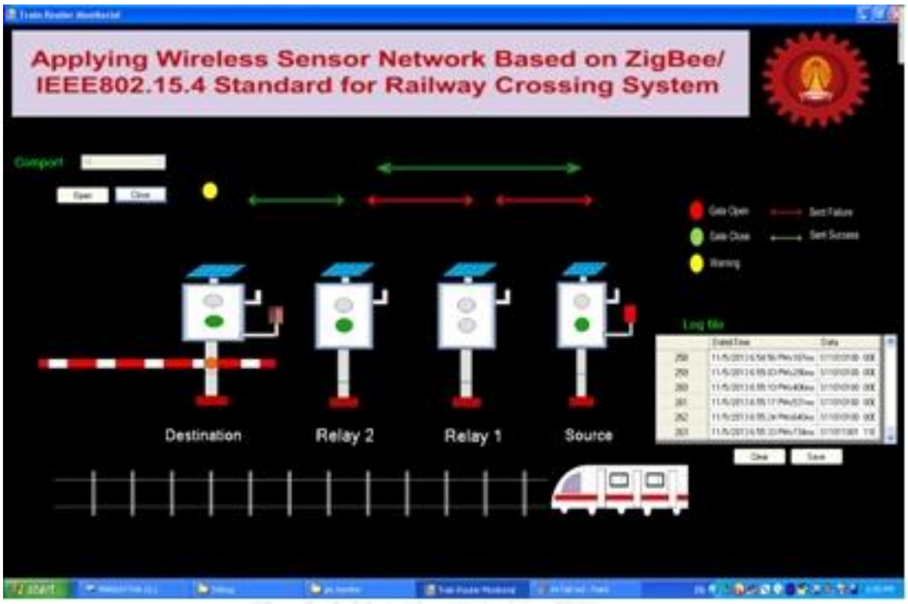
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5. 5 เหตุการณ์ที่ 3 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางไม่พบการตรวจจับรถไฟ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>กรณีเซนเซอร์โนดต้นทางพบรถไฟ</u>

การทดสอบรับส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 เมื่อเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟทำให้ประตูกั้นทางรถไฟปิด เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสถานะเป็นสีเขียว (ประตูปิด) พร้อมไฟสีเหลือง (สำหรับแจ้งเตือนที่โนดปลายทาง) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไฟสถานะจะดับตามรูปที่ 5.6



รูปที่ 5. 6 เหตุการณ์ที่ 3 ในขณะเซนเซอร์โนดต้นทางพบการตรวจจับรถไฟ

ตารางที่ 5. 3 ตารางสรุปลำดับเหตุการณ์ของเหตุการณ์ที่ 3

สถานะตรวจจับรถไฟ (Sensor status)		สถานะประตู (Gate status)	สถานะโนด (Node status)				สถานะไฟ (Light status)			
			Des	R2	R1	Src	Des	R2	R1	Src
โนดต้นทาง	ไม่พบรถไฟ	เปิด	✓	✓	X	✓	R	R	O	R
	พบรถไฟ	ปิด	✓	✓	X	✓	G/Y	G	O	G
โนดปลายทาง	ไม่พบรถไฟ	ปิด	✓	✓	X	✓	G/Y	G	O	G
	พบรถไฟ	เปิด	✓	✓	X	✓	R	R	O	R

หมายเหตุ : กำหนดให้ตัวอักษรย่อ

Des คือ โนดปลายทาง (Destination) R คือ สีแดง (Red)

R1 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1) G คือ สีเขียว (Green)

R2 คือ โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 2) O คือ ไฟดับ (Off)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

Src คือ โนดต้นทาง (Source)

✓ คือ โนดทำงาน

X คือ โนดไม่ทำงาน

Y คือ สีเหลือง (Yellow)

G/Y คือ สีเขียวกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

R/Y คือ สีแดงกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

O/Y คือ ไฟดับกับสีเหลืองแสดงพร้อมกัน

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจ ในเหตุการณ์ที่ 2 พบว่า กรณีที่ไม่พบรถไฟประตูกั้นทางรถไฟเปิด เพื่อให้รถยนต์วิ่งข้ามทางรถไฟได้เซนเซอร์โนดในโครงข่ายจะแสดงไฟสถานะเป็นสีแดง (ประตูเปิด) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไฟสถานะจะดับ กรณีที่พบรถไฟประตูกั้นทางรถไฟปิด เซนเซอร์โนดทุกโนดจะแสดงไฟสถานะเป็นสีเขียว (ประตูปิด) พร้อมไฟสีเหลือง (สำหรับแจ้งเตือนที่โนดปลายทาง) ยกเว้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไฟสถานะจะดับ ซึ่งตรงตามแผนที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้พนักงานการรถไฟที่ประจำอยู่ที่สถานีรถไฟได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

5.2 การทดสอบรับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมใช้งานจริง

5.2.1 การทดสอบในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

<u>สภาพแวดล้อมการทดสอบ</u>

สภาพแวดล้อมในการทดสอบบริเวณเส้นรางรถไฟสายตะวันออก ช่วงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนศรีอยุธยาไปจนถึงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนราชวิถี ใกล้ๆกับโรงพยาบาลรามาธิบดี และมหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งมีระยะทางทั้งหมด 900 เมตร มีสภาพแวดล้อมเป็นพื้นที่โล่งตามแนวเส้นทางรางรถไฟ

(ก) สภาพแวดล้อมจริงบริเวณรางรถไฟ (ข) ระยะทางที่วัดใน Google Maps

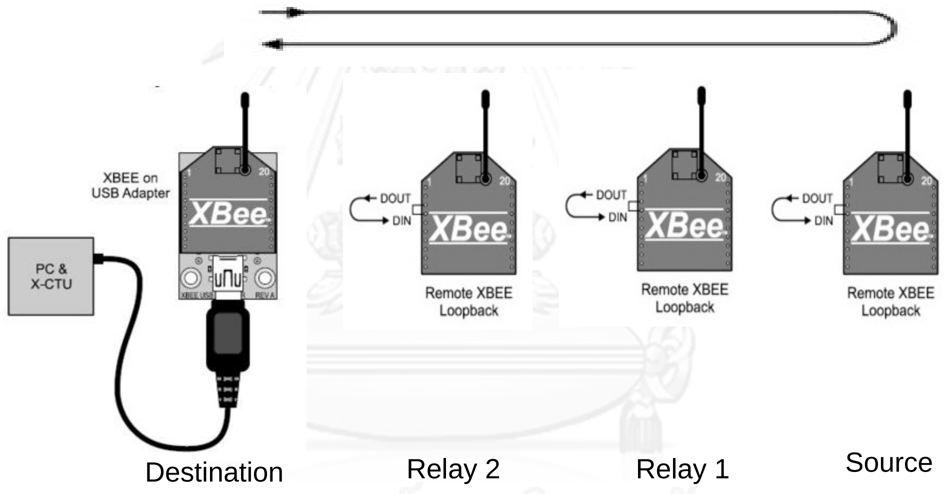
รูปที่ 5. 7 เส้นทางรางรถไฟเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

5.2.1.1 ทดสอบระยะทางที่เซนเซอร์โนดส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (RSSI)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบระยะทางที่เซนเซอร์โนดสามารถส่งข้อมูลได้ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ เพื่อกำหนดตำแหน่งและวางเซนเซอร์โนดให้มีความเชื่อถือได้

เครื่องมือในการทดสอบ

1. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
2. ไมโครคอนโทรเลอร์ และโมดูล ZigBee พร้อมแบตเตอรี่ 12 โวล์ต 4 ชุด
3. โปรแกรม X-CTU สำหรับกำหนดค่า ZigBee และรับค่า RSSI
4. ตลับเมตร



รูปที่ 5. 8 วิธีการส่งข้อมูลในลักษณะวนลูป

วิธีการทดสอบ

1. เริ่มแรกจะวางโนดปลายทางบริเวณจุดตัดข้ามรางรถไฟ โดยโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะค่อยๆห่างจากโนดปลายทางเป็นระยะทางทุกๆ 50 เมตร โดยเริ่มจาก 50 เมตรแรกจนถึงระยะทางที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่สามารถรับข้อมูลจากโนดปลายทางได้ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่ง ข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จากนั้นโนดปลายทางก็จะรับข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จ พร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด

2. เมื่อได้ระยะทางส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แล้ว ก็จะวางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ให้อยู่ในช่วงระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โดยจะวางไว้ที่จุดกึ่งกลางของระยะห่างระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
3. เมื่อได้ตำแหน่งของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แล้ว ลำดับถัดไปก็จะพิจารณาการวางตำแหน่งของโนดต้นทาง โดยทดสอบส่งข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง เพื่อหาระยะทางที่โนดต้นทางไม่สามารถรับข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง จากนั้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ก็จะรับข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดโนดต้นทางทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จพร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด
4. เมื่อได้ตำแหน่งครบทั้ง 4 โนดแล้ว ลำดับถัดไปก็จะพิจารณาการวางตำแหน่งของทุกโนดตามระยะทางที่ได้จากข้อ 1-3 โดยทดสอบส่งข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันและหาระยะทางที่โนดปลายทางสามารถส่งข้อมูลไปยังโนดต้นทางได้โดยไม่มีความผิดพลาด การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดปลายทาง ผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และสิ้นสุดที่โนดต้นทาง จากนั้นโนดปลายทางก็จะรับข้อมูล ที่ถูกส่งจากโนดต้นทางโดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จพร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด
5. การทดสอบนี้จะส่งแพ็กเกตจำนวนทั้งหมด 1000 แพ็กเกต โดย 1 แพ็กเกตจะประกอบด้วย 35 ไบต์ ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง โดยจะมีการจำกัดเวลา (Time out) ของการส่งข้อมูลไม่เกิน 8 วินาที กำหนดให้โนดปลายทาง (Destination) มีอักษรย่อ Des โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 (Relay 2) มีอักษรย่อ R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1) มีอักษรย่อ R1 และโนดต้นทาง (Source) มีอักษรย่อ Src และกำหนดให้ -> คือ ทิศการส่งข้อมูลจากซ้ายไปขวา

ผลการทดสอบ

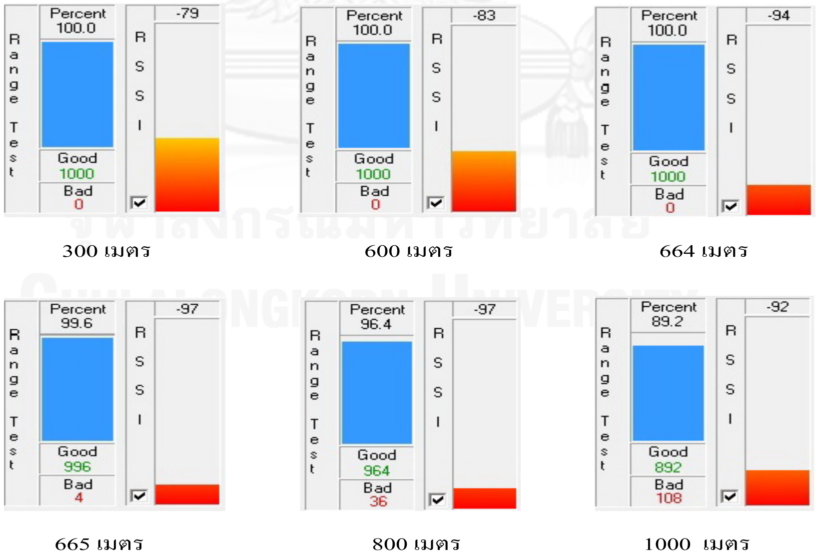
ตารางที่ 5. 4 ทดสอบรับส่งข้อมูลของ ZigBee ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด

ระยะทาง (เมตร)	จำนวนแพ็กเกตที่รับได้ (Received Packet)			จำนวนแพ็กเกตที่สูญหาย (Lost Packet)			เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่รับได้ (Percentage of Received Packet (%))			ความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (dBm)	
	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R2	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src
50	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-62	-63
100	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-67	-65
150	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-73	-75
200	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-75	-75
250	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-75	-76
300	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-75	-78
350	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-75	-78
400	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-77	-79
450	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-77	-78
500	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-78	-79
550	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-81	-80
600	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-83	-83
650	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-91	-85
664	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-96	-87
665	996	994	1000	4	6	0	99.6	99.4	100	-97	-87
700	985	987	1000	15	13	0	98.5	98.7	100	-96	-92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

750	979	972	1000	21	28	0	97.9	97.2	100	-97	-95
800	964	958	1000	36	42	0	96.4	95.8	100	-97	-95
850	955	947	1000	45	53	0	95.5	94.7	100	-98	-97
900	942	939	1000	58	61	0	94.2	93.9	100	-98	-97
950	937	923	1000	63	77	0	93.7	92.3	100	-98	-98
996	915	919	1000	85	81	0	91.5	91.9	100	-97	-98
997	901	913	991	99	87	9	90.1	91.3	99.1	-98	-98
1000	892	904	983	108	96	17	89.2	90.4	98.3	-98	-98

จากตารางที่ 5.4 ทำให้ทราบว่า การส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 664 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 664 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และการส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 996 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด โดยจะนำผลการทดสอบนี้ไปกำหนดการวางโนดที่ตำแหน่งดังกล่าว เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดปลายทางไปยังโนดต้นทางมีความถูกต้อง และเชื่อถือได้



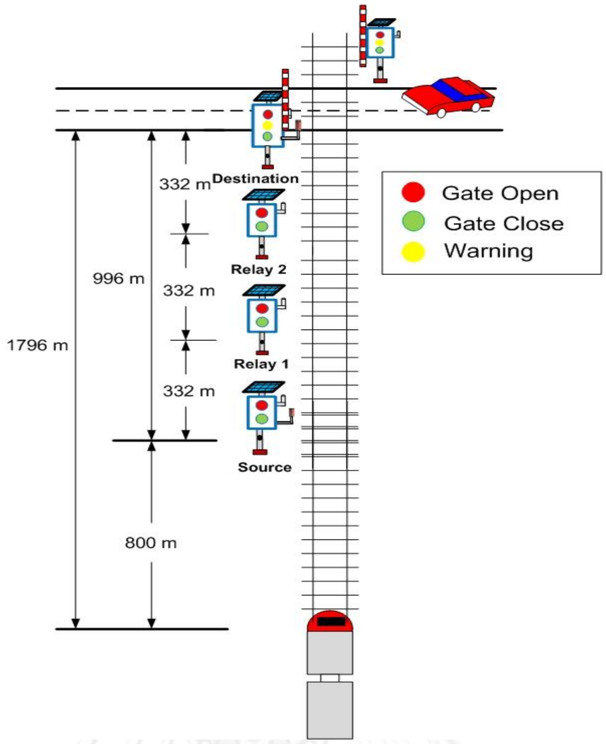
รูปที่ 5. 9 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ที่ระยะทางต่างๆในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

จากรูปที่ 5.9 จะแสดงเปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่รับได้ (Percentage of Received Packet (%)) โดย Good หมายถึง จำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และ Bad หมายถึง จำนวนแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จ พร้อมวัดค่าความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ที่ระยะทางต่างๆ พบว่า ที่ระยะทาง 664 เมตร เป็นระยะทางไกลที่สุดที่โนด 2 โนด (โนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทาง) สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และที่ระยะทาง 665 เมตร พบว่ามีแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จมีจำนวน 4 แพ็กเกต โดยจะส่งจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด 1000 แพ็กเกจ และทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้งด้วยกัน

รูปที่ 5. 10 ตำแหน่งการวางโนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) ในสภาพแวดล้อมจริง

ผลจากการทดสอบในตาราง 5.4 ทำให้ทราบระยะทางที่แน่นอนและตำแหน่งการวางโนดของแต่ละโนด เริ่มแรกจะวางโนดปลายทางตรงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนศรีอยุธยา ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้น โดยจะทดสอบกับรถไฟสายตะวันออก ซึ่งรถไฟจะเดินทางมาจากสถานีบางซื่อซึ่งจะผ่านจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนศรีอยุธยา โดยมีสถานีพญาไท เป็นสถานีลำดับถัดไป ขั้นตอนต่อไปจะวางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดต้นทาง โดยจะวางโนดห่างจากโนดปลายทางเป็นระยะทาง 332 เมตร 664 เมตร และ 996 เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะหันไปในทิศทางจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนราชวิถี ใกล้ๆกับโรงพยาบาลรามาธิบดี

สรุปผลการทดสอบ



รูปที่ 5. 11 ระยะทางที่ ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

จากการทดสอบการส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) ที่ระยะทางต่างๆ พบว่า การส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 664 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด ที่ระยะทาง 664 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และการส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 996 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด กรณีที่รถไฟต้องจอดที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟ เพื่อรับผู้โดยสาร เช่น สถานีพญาไท เป็นต้น ก่อนที่รถไฟจะถึงโนดต้นทาง คนขับรถไฟจะมองเห็นไฟ (แดง) ที่ระยะทาง 800 เมตร [1] ทำให้ระยะเบรกของรถไฟมีระยะทางทั้งสิ้น 1,796 เมตร (ระยะของเซนเซอร์โนด บวกกับระยะทางที่คนขับรถไฟมองเห็นไฟแดง) ทำให้คนขับรถไฟสามารถหยุดรถไฟทันก่อนถึงจุดตัดรางรถไฟได้ กรณีที่รถไฟไม่จอดที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟ ก่อนที่รถไฟจะถึงโนดต้นทาง คนขับรถไฟก็สามารถมองเห็นไฟ (แดง) ที่ระยะทาง 800 เมตร ทำให้คนขับรถไฟต้องชะลอความเร็วลง เมื่อไฟสถานะประตูที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นสีเขียว (ประตูปิด) รถไฟก็จะทำความเร็วเดินรถต่อไป โดยสภาพแวดล้อมที่ทดสอบนี้มีความเข้มสัญญาณในย่านเดียวกันกับ ZigBee (2.4 GHz) มีค่า -79 dBm ซึ่งการทดสอบนี้สามารถนำไปใช้กับเส้นทางโค้ง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) ได้ เพราะมีสภาพแวดล้อมและระยะทางใกล้เคียง

กันมาก ทั้งนี้จะนำผลการทดสอบดังกล่าวไปกำหนดการวางโนดที่ตำแหน่งดังกล่าว เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.1.2 ทดสอบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง(ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) เพื่อให้ทันต่อการเปิดปิดประตูกั้นทางรถไฟ และทันต่อการแจ้งเตือน ในขณะที่รถไฟเดินทางจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง

เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โปรแกรม C# ที่ออกแบบ และกำหนดการรับส่งข้อมูลให้แสดงเวลาจริง

วิธีการทดสอบ

1. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 (โนดทำงานปกติ) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง
2. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงาน) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง
3. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงาน) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5. 5 ระยะเวลาการส่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง(ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

เหตุการณ์	เวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) (msec)
เหตุการณ์ที่ 1	936.35
เหตุการณ์ที่ 2	643.64
เหตุการณ์ที่ 3	638.91

จากผลการทดสอบเวลาการส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) พบว่า เหตุการณ์ที่ 2 และเหตุการณ์ที่ 3 มีเวลาในการส่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 643.64 มิลลิวินาที และ 638.91 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยกว่าเหตุการณ์ที่ 1 (936.35 มิลลิวินาที) เพราะในการส่งข้อมูลของเหตุการณ์ที่ 2 และเหตุการณ์ที่ 3 จะส่งข้อมูลผ่าน 3 โนดในขณะที่เหตุการณ์ที่ 1 จะส่งข้อมูลผ่าน 4 โนด ทำให้เวลาในการประมวลผลน้อยลง กล่าวคือ ระบบจะประมวลผล 3 โนดจากทั้งหมด 4 โนด ทำให้มีเวลาในการส่งข้อมูลเร็วขึ้น ในขณะที่เหตุการณ์ที่ 1 โนดทุกโนดจะประมวลผลทั้งหมด ทำให้เวลาส่งข้อมูลมากขึ้น

สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบนี้สรุปได้ว่า เมื่อเซนเซอร์โนดใดโนดหนึ่งเสีย (เหตุการณ์ที่ 2 หรือเหตุการณ์ที่ 3) ระบบกั้นทางข้ามรางรถไฟที่ออกแบบขึ้นมานี้ก็ยังสามารถทันต่อการเปิดปิดประตูกั้นทางข้ามรางรถไฟ และแจ้งเตือนก่อนที่รถไฟจะมาถึงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟได้

5.2.1.3 ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (การรีเซ็ต) ในโมด API ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบจำนวนการรีเซ็ตของระบบในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) เพื่อทดสอบโปรแกรมการทำงานของ ZigBee กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในโมด API และสามารถแก้ไขความผิดปกติของฮาร์ดแวร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

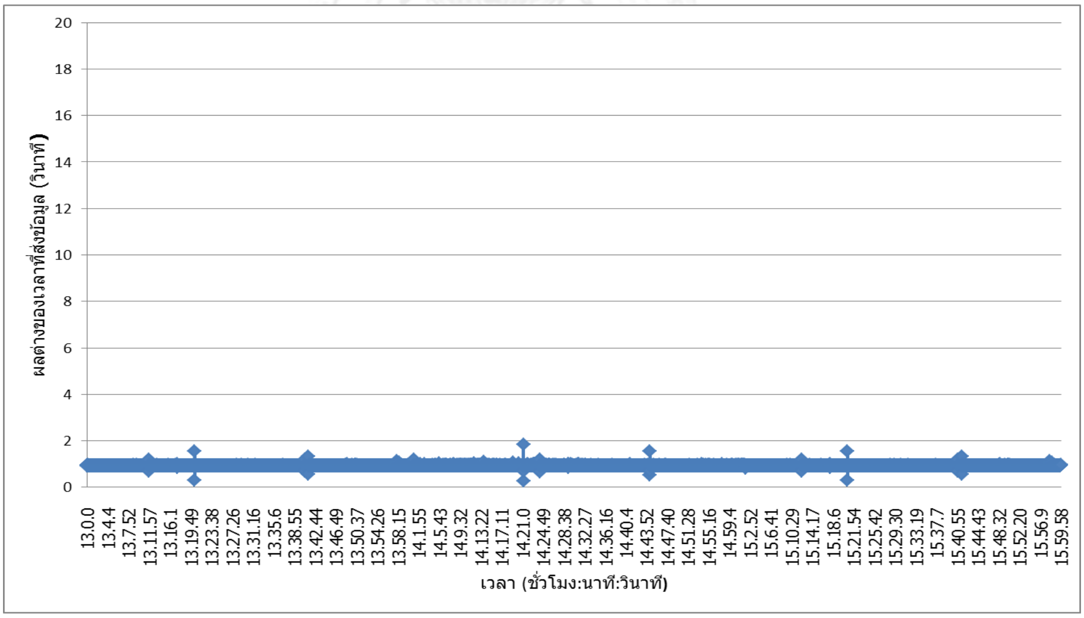
เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โปรแกรม C# ที่ออกแบบ และกำหนดการรับส่งข้อมูลให้แสดงเวลาจริง

วิธีการทดสอบ

1. วางและติดตั้งเซนเซอร์โนดตามตำแหน่งที่ทดสอบไว้ในหัวข้อ 5.2.1.1 พร้อมเปิดเซนเซอร์โนดทุกโนด โดยโนดปลายทางจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล (สถานะรถไฟ สถานะประตู และสถานะไฟ) ของทุกโนดในระบบ โดยจะทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
2. นำผลการทดลองที่ได้ เพื่อหาเวลาในขณะรีเซ็ตของเซนเซอร์โนดพร้อมวิเคราะห์ผลการทดลอง และหาสาเหตุของปัญหาที่ระบบเกิดการรีเซ็ตเพื่อแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

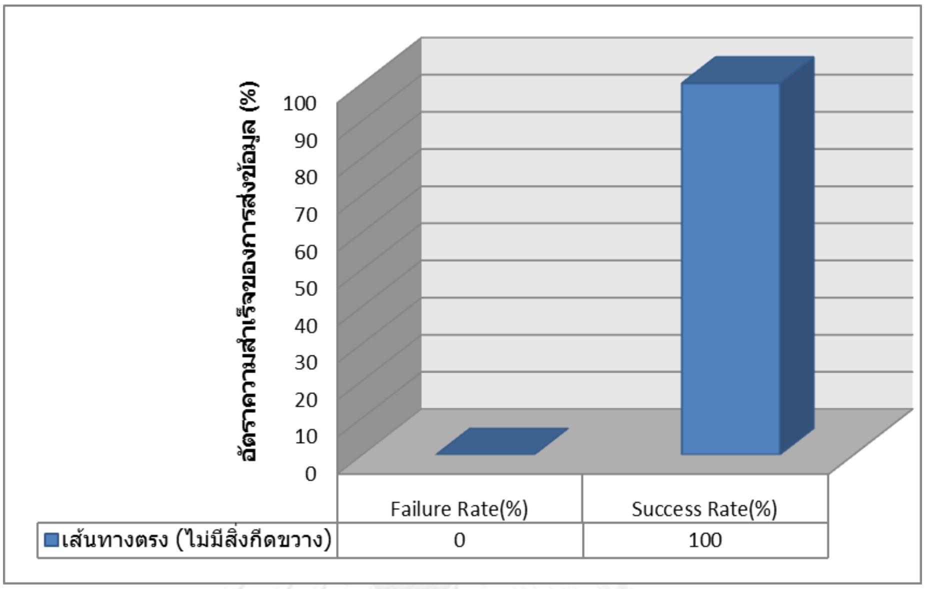
ผลการทดสอบ



รูปที่ 5. 12 จำนวนครั้งของการรีเซ็ตในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.12 เป็นกราฟการทดสอบการรีเซ็ต (กำหนด Time out ของการสื่อสารไม่เกิน 8 วินาที) ของระบบ โดยแกน Y คือ ผลต่างของเวลาที่ส่งข้อมูล (วินาที) กล่าวคือการส่งข้อมูลแต่ละแพ็กเกตจะมีเวลาเป็นของตัวเอง โดยแพ็กเกตที่เวลา (t+1) จะลบด้วยแพ็กเกตที่เวลา (t) ซึ่งถ้าเกินกว่า 8 วินาที หมายถึง ระบบเกิดการรีเซ็ตเกิดขึ้น ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 วินาที

หมายถึง ระบบจะไม่เกิดการรีเซ็ต และแกน X คือ เวลาที่ได้ทดสอบ โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 13.00 นาฬิกา จนถึงเวลา 16:00 นาฬิกา เป็นเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง พบว่า ระบบไม่มีการรีเซ็ตเกิดขึ้น



รูปที่ 5. 13 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จภายใน 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

จากผลการทดสอบ ในรูป 5.13 ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปแผนภูมิแท่ง โดยให้แกน Y คือ อัตราความสำเร็จของการส่งข้อมูล (%) และแกน X คือ อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ (Success Rate) และอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ (Failure Rate) โดยทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์) พบว่า มีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเท่ากับ 100 % และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จเท่ากับ 0 % ซึ่งเทียบจากจำนวนแพ็กแกตทั้งหมด 11,470 แพ็กเกต (ทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์))

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการรีเซ็ตของระบบในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) โดยทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์) พบว่าการรีเซ็ตของระบบไม่เกิดขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะ สภาพแวดล้อมที่ไปทดสอบไม่มีวัตถุมาบดบังสัญญาณ ทำให้ความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้มีค่าสูง เมื่อนำเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyzer) พบว่า สภาพแวดล้อมที่ไปทดสอบมีสัญญาณรบกวนในย่านความถี่เดียวกันกับ ZigBee (2.4 GHz) มีค่า -79 dBm

5.2.2 การทดสอบในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

<u>สภาพแวดล้อมการทดสอบ</u>

สภาพแวดล้อมในการทดสอบบริเวณเส้นรางรถไฟสายตะวันออก สถานีรถไฟพญาไท ซึ่งติดกับสถานีรถไฟฟ้า (BTS) พญาไท ซึ่งมีระยะทางยาวทั้งหมด 900 เมตร มีสภาพแวดล้อมเป็นบ้านเรือนที่มีผู้คนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น และมีต้นไม้กีดขวางตลอดริมทางรถไฟ

รูปที่ 5. 14 เส้นทางรางรถไฟเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

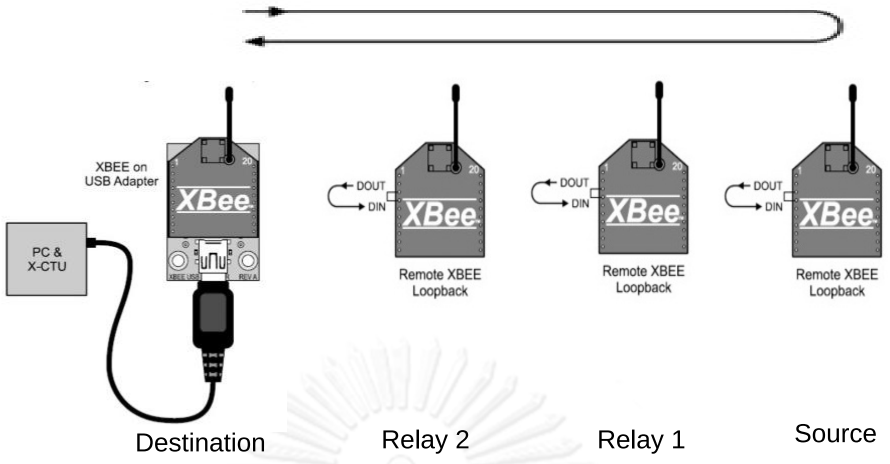
5.2.2.1 ทดสอบระยะทางที่เซนเซอร์โนดส่งข้อมูลได้ โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (RSSI)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบระยะทางที่เซนเซอร์โนดสามารถส่งข้อมูลได้ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) โดยไม่มีความผิดพลาด และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ เพื่อกำหนดตำแหน่งและวางเซนเซอร์โนดให้มีความเชื่อถือได้

เครื่องมือในการทดสอบ

1. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
2. ไมโครคอนโทรเลอร์ และโมดูล ZigBee พร้อมแบตเตอรี่ 12 โวล์ต 4 ชุด
3. โปรแกรม X-CTU สำหรับกำหนดค่า ZigBee และรับค่า RSSI
4. ตลับเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5. 15 วิธีการส่งข้อมูลในลักษณะวนลูป

วิธีการทดสอบ

1. เริ่มแรกจะวางโนดปลายทางบริเวณจุดตัดข้ามรางรถไฟ โดยโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะค่อยๆห่างจากโนดปลายทางเป็นระยะทางทุกๆ 50 เมตร โดยเริ่มจาก 50 เมตรแรกจนถึงระยะทางที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่สามารถรับข้อมูลจากโนดปลายทางได้ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จากนั้นโนดปลายทางก็จะรับข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จและแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จ พร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด
2. เมื่อได้ระยะทางส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แล้ว ก็จะวางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ให้อยู่ในช่วงระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โดยจะวางไว้ที่จุดกึ่งกลางของระยะห่างระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1
3. เมื่อได้ตำแหน่งของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แล้ว ลำดับถัดไปก็จะพิจารณาการวางตำแหน่งของโนดต้นทาง โดยทดสอบส่งข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง เพื่อหาระยะทางที่โนดต้นทางไม่สามารถรับข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทางจากนั้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ก็จะรับข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดโนดต้นทางทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จพร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด

4. เมื่อได้ตำแหน่งครบทั้ง 4 โนดแล้ว ลำดับถัดไปก็จะพิจารณาการวางตำแหน่งของทุกโนดตามระยะทางที่ได้จากข้อ 1-3 โดยทดสอบส่งข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันและหาระยะทางที่โนดปลายทางสามารถส่งข้อมูลไปยังโนดต้นทางได้โดยไม่มีความผิดพลาด การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดปลายทาง ผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และสิ้นสุดที่โนดต้นทาง จากนั้นโนดปลายทางก็จะรับข้อมูล ที่ถูกส่งจากโนดต้นทางโดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จพร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด
5. การทดสอบนี้จะส่งแพ็กเกตจำนวนทั้งหมด 1000 แพ็กเกต โดย 1 แพ็กเกตจะประกอบด้วย 35 ไบต์ ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง โดยจะมีการจำกัดเวลา (Time out) ของการส่งข้อมูลไม่เกิน 8 วินาที กำหนดให้โนดปลายทาง (Destination) มีอักษรย่อ Des โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 (Relay 2) มีอักษรย่อ R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1) มีอักษรย่อ R1 และโนดต้นทาง (Source) มีอักษรย่อ Src และกำหนดให้ -> คือ ทิศการส่งข้อมูลจากซ้ายไปขวา

ผลการทดสอบ

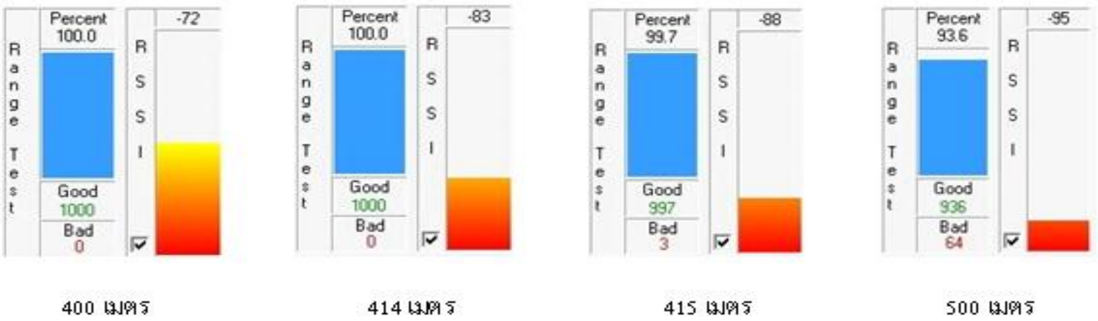
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 6 ทดสอบรับส่งข้อมูลของ ZigBee ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด

ระยะทาง (เมตร)	จำนวนแพ็กเกตที่รับได้ (Received Packet)			จำนวนแพ็กเกตที่สูญหาย (Lost Packet)			เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่รับได้ (Percentage of Received Packet (%))			ความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (dBm)	
	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src
50	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-66	-64
100	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-69	-67
150	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-73	-73
200	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-75	-73
250	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-82	-79
300	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-77	-81
350	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-83	-86
400	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-86	-86
414	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-85	-87
415	997	1000	1000	3	0	0	99.7	100	100	-90	-85
450	989	1000	1000	11	0	0	98.9	100	100	-92	-89
456	976	1000	1000	24	0	0	97.6	100	100	-92	-89
457	963	996	1000	37	4	0	96.3	99.6	100	-93	-90
500	936	957	1000	64	43	0	93.6	95.7	100	-93	-91
550	917	898	1000	83	102	0	91.7	89.8	100	-95	-94
600	897	867	1000	103	133	0	89.7	86.7	100	-95	-96
650	831	808	1000	169	192	0	83.1	80.8	100	-96	-97

663	785	765	1000	215	235	0	78.5	76.5	100	-95	-96
664	765	738	994	235	262	99.4	76.5	73.8	99.4	-97	-97
700	613	707	981	387	293	98.1	61.3	70.7	98.1	-96	-97

จากตารางที่ 5.6 ทำให้ทราบว่า การส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 414 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 456 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และการส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 663 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด โดยจะนำผลการทดสอบนี้ไปกำหนดการวางโนดที่ตำแหน่งดังกล่าว เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดปลายทางไปยังโนดต้นทางมีความถูกต้อง และเชื่อถือได้



รูปที่ 5. 16 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

รูปที่ 5. 17 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทางที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

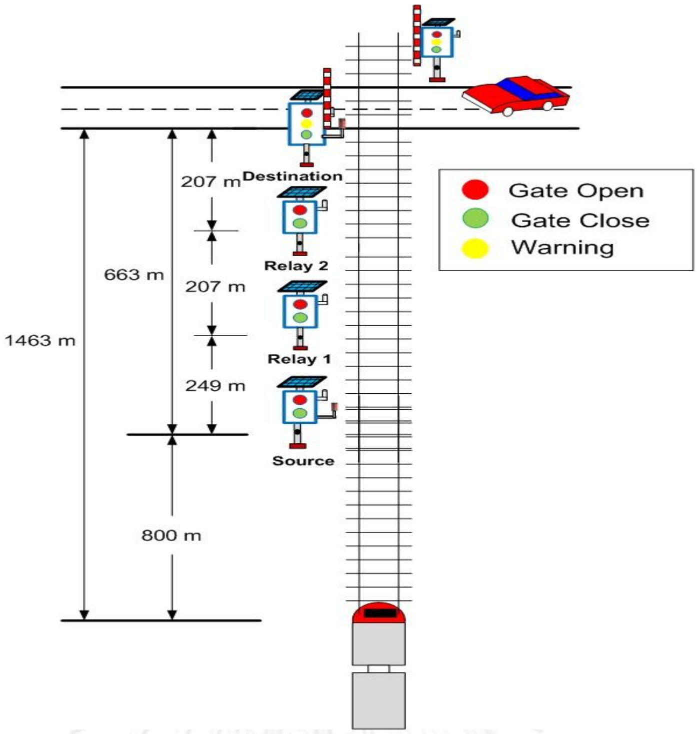
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 5.16 แสดงเปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่รับได้ (Percentage of Received Packet (%)) โดย Good หมายถึง จำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และ Bad หมายถึง จำนวนแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จ พร้อมวัดค่าความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ที่ระยะทางต่างๆ พบว่า ที่ระยะทาง 414 เมตร เป็นระยะทางไกลที่สุดที่โนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และที่ระยะทาง 415 เมตร พบว่ามีแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จมีจำนวน 3 แพ็กเกต โดยจะส่งจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด 1000 แพ็กเกจ และทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้งด้วยกัน ส่วนรูปที่ 5.17 พบว่า ที่ระยะทาง 456 เมตร เป็นระยะทางไกลที่สุดที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทาง สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และที่ระยะทาง 457 เมตร พบว่ามีแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จมีจำนวน 4 แพ็กเกต โดยจะส่งจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด 1000 แพ็กเกจ และทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้งด้วยกัน

รูปที่ 5. 18 ตำแหน่งการวางโนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) ในสภาพแวดล้อมจริง

ผลจากการทดสอบในตาราง 5.6 ทำให้ทราบระยะทางที่แน่นอนและตำแหน่งการวางโนดของแต่ละโนด เริ่มแรกจะวางโนดปลายทางตรงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนพญาไท (รถไฟฟ้าบีทีเอสพญาไท) ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้น โดยจะทดสอบกับรถไฟสายตะวันออก ซึ่งรถไฟจะเดินทางมาจากสถานีบางซื่อและจะผ่านจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนพญาไท โดยรถไฟจะหยุดและรอรับผู้โดยสาร ขั้นตอนต่อไปจะวางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดต้นทาง โดยจะวางโนดห่างจากโนดปลายทางเป็นระยะทาง 207 เมตร 207 เมตร และ 249 เมตร ตามลำดับ

สรุปผลการทดสอบ



รูปที่ 5. 19 ระยะทางที่ ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาด
ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

จากการทดสอบการส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) ที่ระยะทางต่างๆ พบว่า การส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะทาง 414 เมตร และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะทาง 456 เมตร และการส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทาง ไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะทาง 665 เมตร กรณีที่รถไฟต้องจอดที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟ เพื่อรับผู้โดยสาร เช่น สถานีพญาไท เป็นต้น ก่อนที่รถไฟจะถึงโนดต้นทาง คนขับรถไฟจะมองเห็นไฟ (แดง) ที่ระยะทาง 800 เมตร [1] ทำให้ระยะเบรกของรถไฟมีระยะทางทั้งสิ้น 1,465 เมตร ทำให้คนขับสามารถหยุดรถไฟทันก่อนถึงจุดตัดรางรถไฟได้ กรณีที่รถไฟไม่จอดที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟ ก่อนที่รถไฟจะถึงโนดต้นทาง คนขับรถไฟก็สามารถมองเห็นไฟ (แดง) ที่ระยะทาง 800 เมตร ทำให้คนขับรถไฟต้องชะลอความเร็วลง เมื่อไฟสถานะประตูที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นสีเขียว (ประตูปิด) รถไฟก็จะทำความเร็วเดินรถต่อไป หรือไฟสถานะประตูที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นสีแดง (ประตูเปิด) รถไฟก็จะเบรกที่ความเร็วที่ชะลอลงแล้ว ทำให้ทันต่อการแจ้งเตือน และสภาพแวดล้อมที่ทดสอบนี้มีความเข้มสัญญาณในย่านเดียวกันกับ ZigBee (2.4 GHz) มีค่า -73 dBm ทั้งนี้จะนำผลการทดสอบไป

กำหนดการวางโนดที่ตำแหน่งดังกล่าว เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.2.2 ทดสอบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) เพื่อให้ทันต่อการเปิดปิดประตูกั้นทางรถไฟ และทันต่อการแจ้งเตือน ในขณะที่รถไฟเดินทางจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง

เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โปรแกรม C# ที่ออกแบบ และกำหนดการรับส่งข้อมูลให้แสดงเวลาจริง

วิธีการทดสอบ

1. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 (โนดทำงานปกติ) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง
2. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงาน) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง
3. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงาน) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5. 7 ระยะเวลาการส่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

เหตุการณ์	เวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) (msec)
เหตุการณ์ที่ 1	936.43
เหตุการณ์ที่ 2	646.13
เหตุการณ์ที่ 3	622.43

จากผลการทดสอบเวลาการส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) พบว่า เหตุการณ์ที่ 2 และเหตุการณ์ที่ 3 มีเวลาในการส่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 646.13 มิลลิวินาที และ 622.43 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยกว่าเหตุการณ์ที่ 1 (936.43 มิลลิวินาที) เพราะในการส่งข้อมูลของเหตุการณ์ที่ 2 และเหตุการณ์ที่ 3 จะส่งข้อมูลผ่าน 3 โนดในขณะที่เหตุการณ์ที่ 1 จะส่งข้อมูลผ่าน 4 โนด ทำให้มีเวลาในการประมวลผลน้อยลง กล่าวคือ ระบบจะประมวลผล 3 โนดจากทั้งหมด 4 โนด ทำให้เวลาในการในการส่งข้อมูลเร็วขึ้น ในขณะที่เหตุการณ์ที่ 1 โนดทุกโนดจะประมวลผลทั้งหมด ทำให้เวลาส่งข้อมูลมากขึ้น

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบนี้สรุปได้ว่า เมื่อเซนเซอร์โนดใดโนดหนึ่งเสีย (เหตุการณ์ที่ 2 หรือเหตุการณ์ที่ 3) ระบบกั้นทางข้ามรางรถไฟที่ออกแบบขึ้นมานี้ก็ยังสามารถทันต่อการเปิดปิดประตูกั้นทางข้ามรางรถไฟ และแจ้งเตือนก่อนที่รถไฟจะมาถึงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟได้

5.2.1.3 ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (การรีเซ็ต) ในโมด API ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบจำนวนการรีเซ็ตของระบบในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) เพื่อทดสอบโปรแกรมการทำงานของ ZigBee กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในโมด API และสามารถแก้ไขความผิดปกติของฮาร์ดแวร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

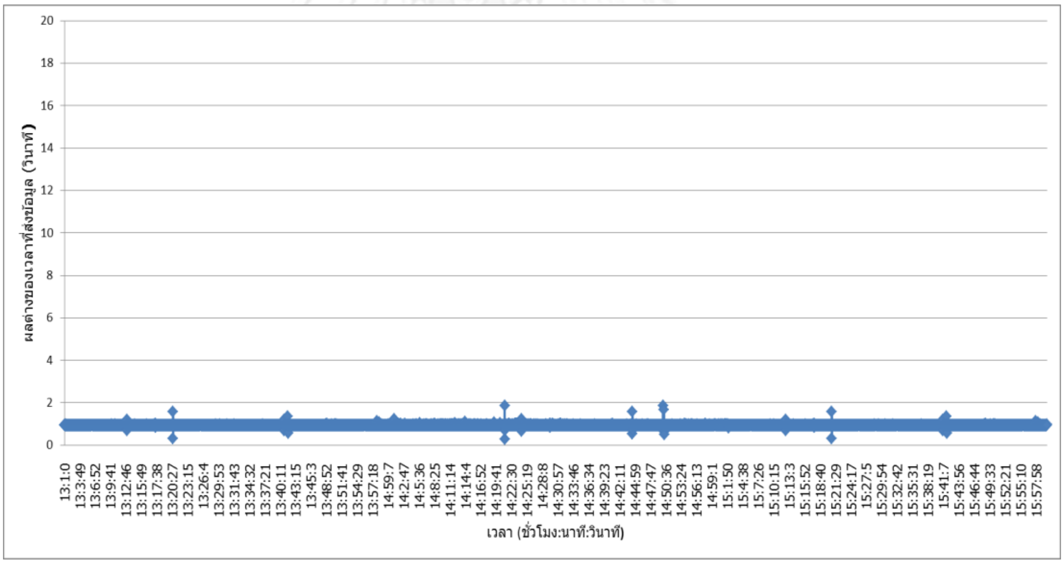
เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โปรแกรม C# ที่ออกแบบ และกำหนดการรับส่งข้อมูลให้แสดงเวลาจริง

วิธีการทดสอบ

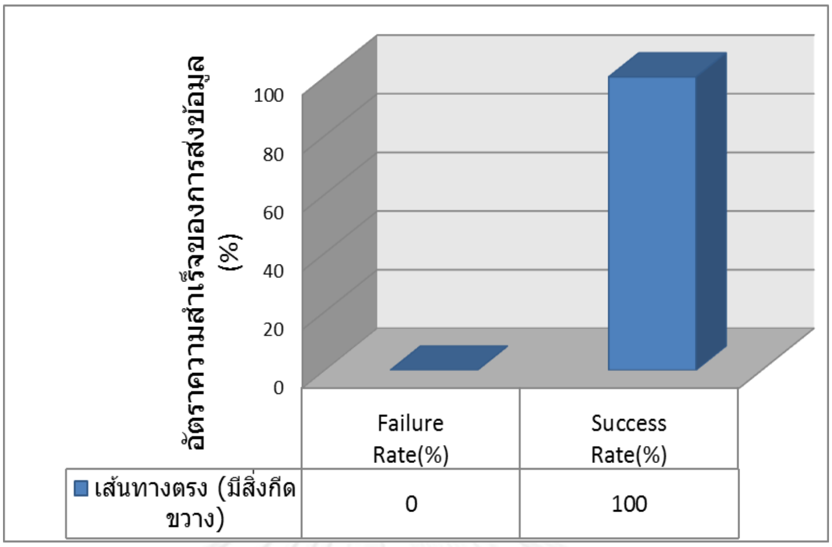
1. วางและติดตั้งเซนเซอร์โนดตามตำแหน่งที่ทดสอบไว้ในหัวข้อ 5.2.2.1 พร้อมเปิดเซนเซอร์โนดทุกโนด โดยโนดปลายทางจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล (สถานะรถไฟ สถานะประตู และสถานะไฟ) ของทุกโนดในระบบ โดยจะทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
2. นำผลการทดลองที่ได้ เพื่อหาเวลาในขณะรีเซ็ตของเซนเซอร์โนด พร้อมวิเคราะห์ผลการทดลอง และหาสาเหตุของปัญหาที่ระบบเกิดการรีเซ็ตเพื่อแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

ผลการทดสอบ



รูปที่ 5. 20 จำนวนครั้งของการรีเซ็ตในสภาแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.20 เป็นกราฟการทดสอบการรีเซ็ต (กำหนด Time out ของการสื่อสารไม่เกิน 8 วินาที) ของระบบ โดยแกน Y คือ ผลต่างของเวลาที่ส่งข้อมูล (วินาที) กล่าวคือ การส่งข้อมูลแต่ละแพ็กเกตจะมีเวลาเป็นของตัวเอง โดยแพ็กเกตที่เวลา (t+1) จะลบด้วยแพ็กเกตที่เวลา (t) ซึ่งถ้าเกินกว่า 8 วินาที หมายถึง ระบบเกิดการรีเซ็ตเกิดขึ้น ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 วินาที หมายถึง ระบบจะไม่เกิดการรีเซ็ต และแกน X คือ เวลาที่ได้ทดสอบ โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 13.00 นาฬิกา จนถึงเวลา 16:00 นาฬิกา เป็นเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง พบว่า ระบบไม่มีการรีเซ็ตเกิดขึ้น



รูปที่ 5. 21 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จภายใน 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

จากผลการทดสอบ ในรูป 5.21 ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปแผนภูมิแท่ง โดยให้แกน Y คือ อัตราความสำเร็จของการส่งข้อมูล (%) และแกน X คือ อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ (Success Rate) และอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ (Failure Rate) โดยทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์) พบว่า มีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเท่ากับ 100 % และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จเท่ากับ 0 % ซึ่งเทียบจากจำนวนแพ็กแกตทั้งหมด 11,470 แพ็กเกต (ทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์))

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการรีเซ็ตของระบบในสภาพแวดล้อมเส้นทางตรง (มีสิ่งกีดขวาง) ซึ่งการทดลองในครั้งแรก พบว่าการรีเซ็ต (กำหนด Time out ของการสื่อสารไม่เกิน 8 วินาที) ของระบบเกิดขึ้นหนึ่งครั้ง ที่เวลา 11:32:45 (นาฬิกา:นาที:วินาที) ทั้งนี้การรีเซ็ตของระบบที่เกิดขึ้นมาจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ กล่าวคือ ในขณะที่รถไฟมาถึงที่สถานี เซนเซอร์โนดต้นทางที่ติดตั้งอยู่ข้างๆรางรถไฟเกิดการสั่นไหว ทำให้สายไฟฟ้าของวงจรปรับระดับแรงดัน 12 โวล์ตที่จ่ายให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หลวม ทำให้ไม่มีไฟไปป้อนให้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และ ZigBee เซนเซอร์โนดต้นทางจึงดับชั่วขณะ ทำให้ระบบต้องรีเซ็ตตัวเอง เพื่อสามารถให้ระบบทำงานปกติ หลังจากที่ได้พบปัญหาดังกล่าว จึงได้ทดสอบอีกครั้ง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เปลี่ยนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ให้เป็นแบบข้อต่อทั้งหมด เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถไฟ ซึ่งการทดลองครั้งที่สอง พบว่าการรีเซ็ตของระบบไม่เกิดขึ้น โดยมีอัตราส่งข้อมูลสำเร็จ (Success Rate) เท่ากับ 100% และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ (Failure Rate) เท่ากับ 0 % โดยเทียบจากจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด 11,469 แพ็กเกต

5.2.3 การทดสอบในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

<u>สภาพแวดล้อมการทดสอบ</u>

สภาพแวดล้อมในการทดสอบเป็นบริเวณเส้นทางโค้ง ระยะทางตั้งแต่ช่วงสถานีรถไฟพญาไท จนถึงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟ บริเวณถนนศรีอยุธยา ซึ่งเป็นทางโค้งมีระยะยาว 450 เมตร และเส้นทางตรง 450 เมตร และมีสภาพแวดล้อมมีต้นไม้กีดขวาง สิ่งปลูกสร้าง และรถยนต์ที่วิ่งผ่านไปมา

(ก) สภาพแวดล้อมจริงบริเวณรางรถไฟ

(ข) ภาพถ่ายใน Google Earth

(ค) ระยะทางที่วัดได้ใน Google Maps

รูปที่ 5. 22 เส้นทางรางรถไฟเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

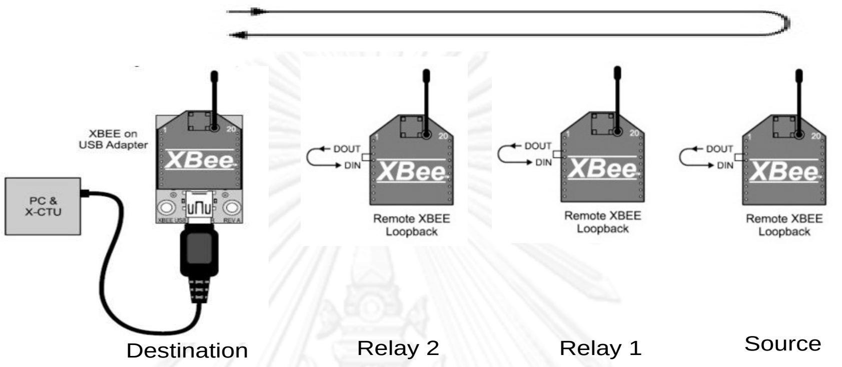
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2.3.1 ทดสอบระยะทางที่เซนเซอร์โนดส่งข้อมูลได้ โดยไม่มีความผิดพลาด และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (RSSI)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบระยะทางที่เซนเซอร์โนดสามารถส่งข้อมูลได้ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) โดยไม่มีความผิดพลาด และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ เพื่อกำหนดตำแหน่งและวางเซนเซอร์โนดให้มีความเชื่อถือได้

เครื่องมือในการทดสอบ

1. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
2. ไมโครคอนโทรเลอร์ และโมดูล ZigBee พร้อมแบตเตอรี่ 12 โวล์ต 4 ชุด
3. โปรแกรม X-CTU สำหรับกำหนดค่า ZigBee และรับค่า RSSI
4. ตลับเมตร



รูปที่ 5. 23 วิธีการส่งข้อมูลในลักษณะวนลูป

วิธีการทดสอบ

1. เริ่มแรกจะวางโนดปลายทางบริเวณจุดตัดข้ามรางรถไฟ โดยโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จะค่อยๆห่างจากโนดปลายทางเป็นระยะทางทุกๆ 50 เมตร โดยเริ่มจาก 50 เมตรแรกจนถึงระยะทางที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่สามารถรับข้อมูลจากโนดปลายทางได้ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 จากนั้นโนดปลายทางก็จะรับข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จ พร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด
2. เมื่อได้ระยะทางส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 แล้ว ก็จะวางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ให้อยู่ในช่วงระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โดยจะวางไว้ที่จุดกึ่งกลางของระยะห่างระหว่างโนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เมื่อได้ตำแหน่งของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 แล้ว ลำดับถัดไปก็จะพิจารณาการวางตำแหน่งของโนดต้นทาง โดยทดสอบส่งข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง

เพื่อหาระยะทางที่โนดต้นทางไม่สามารถรับข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ได้ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง จากนั้นโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ก็จะรับข้อมูลที่ถูกส่งจากโนดโนดต้นทางทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จพร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด

3. เมื่อได้ตำแหน่งครบทั้ง 4 โนดแล้ว ลำดับถัดไปก็จะพิจารณาการวางตำแหน่งของทุกโนดตามระยะทางที่ได้จากข้อ 1-3 โดยทดสอบส่งข้อมูลจากโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เพื่อยืนยันและหาระยะทางที่โนดปลายทางสามารถส่งข้อมูลไปยังโนดต้นทางได้โดยไม่มีความผิดพลาด การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะวนลูป (Loopback) คือ จะส่งข้อมูลจากโนดปลายทาง ผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และสิ้นสุดที่โนดต้นทาง จากนั้นโนดปลายทางก็จะรับข้อมูล ที่ถูกส่งจากโนดต้นทางโดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ทันที การทดสอบจะใช้โปรแกรม X-CTU วัดจำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จพร้อมวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด
4. การทดสอบนี้จะส่งแพ็กเกตจำนวนทั้งหมด 1000 แพ็กเกต โดย 1 แพ็กเกตจะประกอบด้วย 35 ไบต์ ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง โดยจะมีการจำกัดเวลา (Time out) ของการส่งข้อมูลไม่เกิน 8 วินาที กำหนดให้โนดปลายทาง (Destination) มีอักษรย่อ Des โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 (Relay 2) มีอักษรย่อ R2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 (Relay 1) มีอักษรย่อ R1 และโนดต้นทาง (Source) มีอักษรย่อ Src และกำหนดให้ -> คือ ทิศการส่งข้อมูลจากซ้ายไปขวา

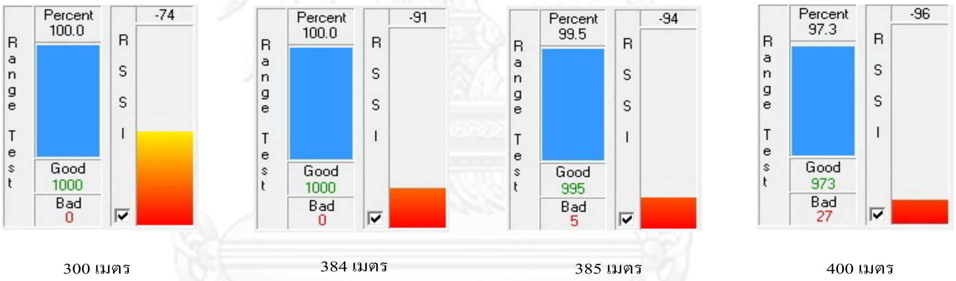
ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5. 8 ทดสอบรับส่งข้อมูลของ ZigBee ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) และวัดความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ในแต่ละจุด

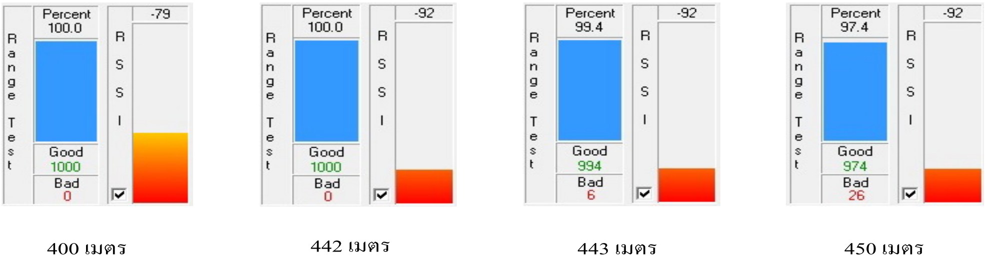
ระยะทาง (เมตร)	จำนวนแพ็กเกตที่รับได้ (Received Packet)			จำนวนแพ็กเกตที่สูญหาย (Lost Packet)			เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่รับได้ (Percentage of Received Packet (%))			ความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ (dBm)	
	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src	Des -> R2 -> R1 -> Src	Des -> R1	R2-> Src
50	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-45	-50
100	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-66	-48
150	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-75	-55
200	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-86	-56
250	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-85	-45
300	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-88	-61
350	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-92	-68
384	1000	1000	1000	0	0	0	100	100	100	-91	-75
385	995	1000	1000	5	0	0	99.5	100	100	-94	-81
400	973	1000	1000	27	0	0	97.3	100	100	-96	-85
442	959	1000	1000	41	0	0	95.9	100	100	-95	-92
443	954	982	1000	46	6	6	95.4	98.2	100	-95	-92
450	942	974	1000	58	26	0	94.2	97.4	100	-94	-92
500	929	951	1000	71	49	0	92.9	95.1	100	-92	-92
550	914	937	1000	86	63	0	91.4	93.7	100	-93	-93
600	898	919	1000	102	81	0	89.8	91.9	100	-94	-92
634	828	831	1000	172	169	0	82.8	83.1	100	-96	-96

635	804	819	997	196	181	3	80.4	81.9	99.7	-97	-95
650	863	895	1000	137	105	0	86.3	89.5	100	-95	-95
700	841	856	1000	159	144	0	84.1	85.6	100	-94	-94
750	779	804	979	221	196	21	77.9	80.4	97.9	-93	-97
800	751	777	955	249	223	45	75.1	77.7	95.5	-95	-96

จากตารางที่ 5.8 ทำให้ทราบว่า การส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 384 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 442 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด และการส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดที่ระยะทาง 634 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด โดยจะนำผลการทดสอบนี้ไปกำหนดการวางโนดที่ตำแหน่งดังกล่าว เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดปลายทางไปยังโนดต้นทางมีความถูกต้อง และเชื่อถือได้



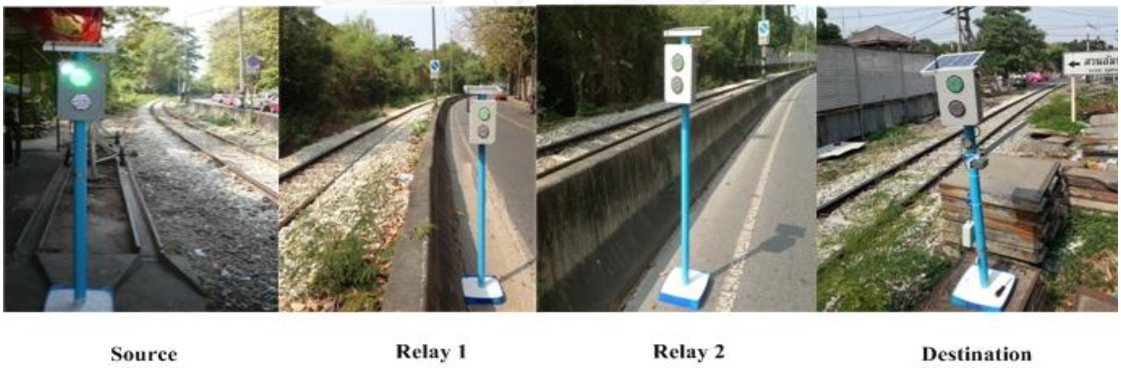
รูปที่ 5. 24 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดปลายทางและโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)



รูปที่ 5. 25 เปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่ภาครับรับได้ และความเข้มสัญญาณที่ภาครับรับได้ ของโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดต้นทางที่ระยะทางต่างๆ ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

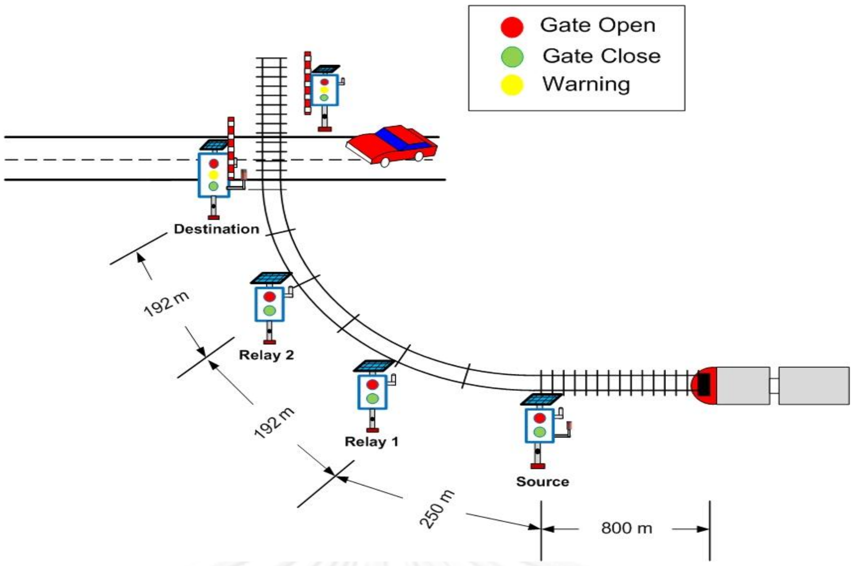
จากรูปที่ 5.24 จะแสดงเปอร์เซ็นต์ของแพ็กเกตที่รับได้ (Percentage of Received Packet (%)) โดย Good หมายถึง จำนวนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จ และ Bad หมายถึง จำนวนแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จ พร้อมวัดค่าความเข้มสัญญาณที่ภาครับ รับได้ที่ระยะทางต่างๆ พบว่า ที่ระยะทาง 384 เมตร เป็นระยะทางไกลที่สุดที่โนดปลายทางกับโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และที่ระยะทาง 385 เมตร พบว่ามีแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จมีจำนวน 5 แพ็กเกต โดยจะส่งจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด 1000 แพ็กเกจ และทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้งด้วยกัน ส่วนรูปที่ 5.25 พบว่า ที่ระยะทาง 442 เมตร เป็นระยะทางไกลที่สุดที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 กับโนดต้นทาง สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และที่ระยะทาง 443 เมตร พบว่ามีแพ็กเกตที่ส่งไม่สำเร็จมีจำนวน 6 แพ็กเกต โดยจะส่งจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด 1000 แพ็กเกจ และทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้งด้วยกัน



รูปที่ 5. 26 ตำแหน่งการวางโนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) ในสภาพแวดล้อมจริง

ผลจากการทดสอบในตาราง 5.8 ทำให้ทราบระยะทางที่แน่นอนและตำแหน่งการวางโนดของแต่ละโนด เริ่มแรกจะวางโนดปลายทางตรงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนศรีอยุธยา ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้น โดยจะทดสอบกับรถไฟสายตะวันออก ซึ่งรถไฟจะเดินทางมาจากสถานีพญาไทซึ่งจะผ่านจุดตัดทางข้ามรางรถไฟถนนศรีอยุธยา โดยมีสถานีสามเสน เป็นสถานีลำดับถัดไป ขั้นตอนต่อไปจะวางโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 และโนดต้นทาง โดยจะวางโนดห่างจากโนดปลายทางเป็นระยะทาง 332 เมตร 664 เมตร และ 996 เมตร ตามลำดับ

สรุปผลการทดสอบ



รูปที่ 5. 27 ระยะทางที่ ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีความผิดพลาด
ในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

จากการทดสอบการส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นตรง (มีสิ่งกีดขวาง) ที่ระยะทางต่างๆ พบว่า การส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทางไปยังโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะทาง 384 เมตร และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไปยังโนดต้นทาง โมดูล ZigBee สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะทาง 442 เมตร และการส่งข้อมูลระหว่างโนดปลายทาง ไปยังโนดต้นทาง โดยผ่านโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 และโนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะทาง 708 เมตร กรณีที่รถไฟต้องจอดที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟ เพื่อรับผู้โดยสาร เช่น สถานีพญาไท เป็นต้น ก่อนที่รถไฟจะถึงโนดต้นทาง คนขับรถไฟจะมองเห็นไฟ (แดง) ที่ระยะทาง 800 เมตร [8] ทำให้ระยะเบรกของรถไฟมีระยะทางทั้งสิ้น 1,508 เมตร ทำให้คนขับสามารถหยุดรถไฟทันก่อนถึงจุดตัดรางรถไฟได้ กรณีที่รถไฟไม่จอดที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟ ก่อนที่รถไฟจะถึงโนดต้นทาง คนขับรถไฟก็สามารถมองเห็นไฟ (แดง) ที่ระยะทาง 800 เมตร ทำให้คนขับรถไฟต้องชะลอความเร็วลง เมื่อไฟสถานะประตูที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นสีเขียว (ประตูปิด) รถไฟก็จะทำความเร็วเดินรถต่อไป หรือไฟสถานะประตูที่โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 เป็นสีแดง (ประตูเปิด) รถไฟก็จะเบรกที่ความเร็วที่ชะลอลงแล้ว ทำให้ทันต่อการแจ้งเตือน และสภาพแวดล้อมที่ทดสอบนี้มีความเข้มสัญญาณในย่านเดียวกันกับ ZigBee (2.4 GHz) มีค่า -76 dBm ทั้งนี้จะนำผลการทดสอบไปกำหนดการวางโนดที่ตำแหน่งดังกล่าว เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดปลายทางไปยังโนดต้นทาง มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.3.2 ทดสอบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบเวลารับส่งข้อมูลของเซนเซอร์โนดในแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางตรง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง) เพื่อให้ทันต่อการเปิดปิดประตูกั้นทางรถไฟ และทันต่อการแจ้งเตือน ในขณะที่รถไฟเดินทางจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง

เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โปรแกรม C# ที่ออกแบบ และกำหนดการรับส่งข้อมูลให้แสดงเวลาจริง

วิธีการทดสอบ

1. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 1 (โนดทำงานปกติ) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง
2. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 2 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 2 ไม่ทำงาน) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง
3. ทดสอบส่งข้อมูลในเหตุการณ์ที่ 3 (โนดถ่ายทอดสัญญาณที่ 1 ไม่ทำงาน) พร้อมวัดเวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) โดยใช้โปรแกรม C# ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัย ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5. 9 ระยะเวลาการส่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

เหตุการณ์	เวลารวมทั้งหมดในการส่งข้อมูลของระบบ (เวลาค้นหาเส้นทาง เวลาร้องขอข้อมูลสถานะตรวจจับรถไฟ และเวลากำหนดสถานะประตู) (msec)
เหตุการณ์ที่ 1	937.28
เหตุการณ์ที่ 2	630.73
เหตุการณ์ที่ 3	655.42

จากผลการทดสอบเวลาการส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) พบว่า เหตุการณ์ที่ 2 และเหตุการณ์ที่ 3 มีเวลาในการส่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 630.73 มิลลิวินาที และ 655.42 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยกว่าเหตุการณ์ที่ 1 (927.28 มิลลิวินาที) เพราะในการส่งข้อมูลของเหตุการณ์ที่ 2 และเหตุการณ์ที่ 3 จะส่งข้อมูลผ่าน 3 โนดในขณะที่เหตุการณ์ที่ 1 จะส่งข้อมูลผ่าน 4 โนด ทำให้เวลาในการประมวลผลน้อยลง กล่าวคือ ระบบจะประมวลผล 3 โนดจากทั้งหมด 4 โนด ทำให้มีเวลาในการส่งข้อมูลเร็วขึ้น ในขณะที่เหตุการณ์ที่ 1 โนดทุกโนดจะประมวลผลทั้งหมด ทำให้เวลาส่งข้อมูลมากขึ้น

สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบนี้สรุปได้ว่า เมื่อเซนเซอร์โนดใดโนดหนึ่งเสีย (เหตุการณ์ที่ 2 หรือเหตุการณ์ที่ 3) ระบบกั้นทางข้ามรางรถไฟที่ออกแบบขึ้นมานี้ก็ยังสามารถทันต่อการเปิดปิดประตูกั้นทางข้ามรางรถไฟ และแจ้งเตือนก่อนที่รถไฟจะมาถึงจุดตัดทางข้ามรางรถไฟได้

5.2.3.3 ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (การรีเซ็ต) ในโมด API ในสภาพแวดล้อมเป็นเส้นทางโค้ง (ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบจำนวนการรีเซ็ตของระบบในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) เพื่อทดสอบโปรแกรมการทำงานของ ZigBee กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในโมด API และสามารถแก้ไขความผิดปกติของฮาร์ดแวร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

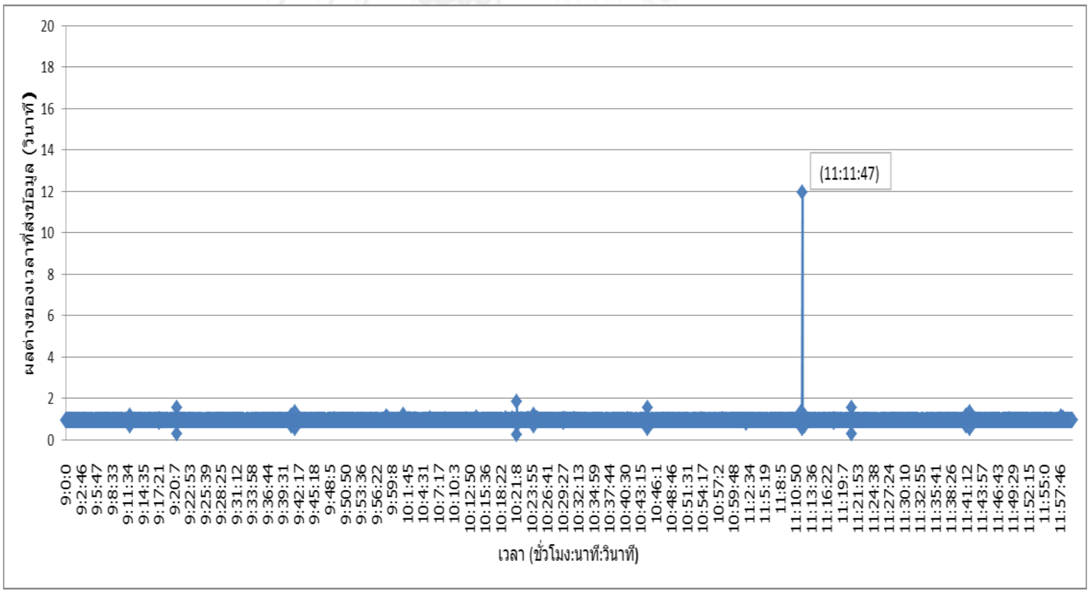
เครื่องมือในการทดสอบ

1. เซนเซอร์โนด 4 โนด
2. คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 เครื่อง
3. โปรแกรม C# ที่ออกแบบ และกำหนดการรับส่งข้อมูลให้แสดงเวลาจริง

วิธีการทดสอบ

1. วางและติดตั้งเซนเซอร์โนดตามตำแหน่งที่ทดสอบไว้ในหัวข้อ 5.2.3.1 พร้อมเปิดเซนเซอร์โนดทุกโนด โดยโนดปลายทางจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล (สถานะรถไฟ สถานะประตู และสถานะไฟ) ของทุกโนดในระบบ โดยจะทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
2. นำผลการทดลองที่ได้ เพื่อหาเวลาในขณะรีเซ็ตของเซนเซอร์โนด พร้อมวิเคราะห์ผลการทดลอง และหาสาเหตุของปัญหาที่ระบบเกิดการรีเซ็ตเพื่อแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

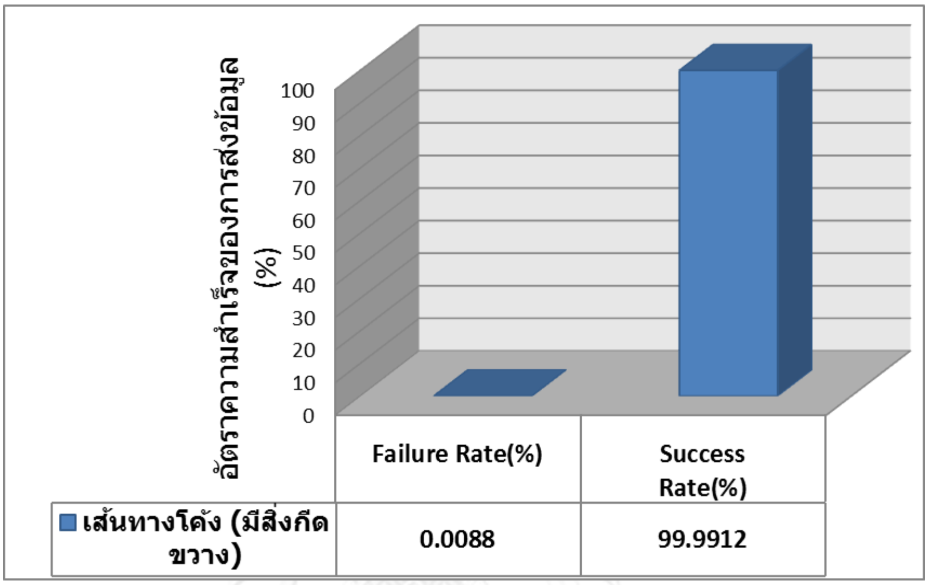
ผลการทดสอบ



รูปที่ 5. 28 จำนวนครั้งของการรีเซ็ตในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.28 เป็นกราฟการทดสอบการรีเซ็ต (กำหนด Time out ของการสื่อสารไม่เกิน 8 วินาที) ของระบบ โดยแกน Y คือ ผลต่างของเวลาที่ส่งข้อมูล (วินาที) กล่าวคือ การส่งข้อมูลแต่ละแพ็กเกตจะมีเวลาเป็นของตัวเอง โดยแพ็กเกตที่เวลา (t+1) จะลบด้วยแพ็กเกตที่เวลา (t) ซึ่งถ้าเกินกว่า 8 วินาที หมายถึง ระบบเกิดการรีเซ็ตเกิดขึ้น ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 วินาที หมายถึง ระบบจะไม่เกิดการรีเซ็ต และแกน X คือ เวลาที่ได้ทดสอบ โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 13.00 นาฬิกา

จนถึงเวลา 16:00 นาฬิกา เป็นเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง พบว่า การรีเซ็ตของระบบเกิดขึ้นครั้งเดียว ที่เวลา 11:11:47 (นาฬิกา:นาที:วินาที) เป็นเวลา 11.78 วินาที ทั้งนี้การรีเซ็ตของระบบเกิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ของโนดปลายทาง เกิดอาการค้างชั่วขณะ ทำให้ระบบต้องรีเซ็ตเริ่มการทำงานใหม่ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ตามปกติ



รูปที่ 5. 29 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จภายใน 3 ชั่วโมง ในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง)

จากผลการทดสอบ ในรูป 5.29 ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปแผนภูมิแท่ง โดยให้แกน Y คือ อัตราความสำเร็จของการส่งข้อมูล (%) และแกน X คือ อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ (Success Rate) และอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ (Failure Rate) โดยทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์) พบว่า มีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จเท่ากับ 99.9912% และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จเท่ากับ 0.0088 % ซึ่งเทียบจากจำนวนแพ็กแกตทั้งหมด 11,470 แพ็กเกต (ทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์)) ทั้งนี้เป็นเพราะ ขณะระบบเกิดการรีเซ็ตหนึ่งครั้ง จะทำให้แพ็กเกตที่ส่งในขณะนั้นสูญหาย หรือฮาร์ดแวร์ไม่สามารถทำงานได้ในชั่วขณะ ส่งผลให้เกิดอัตราการส่งข้อมูลไม่สำเร็จเกิดขึ้นเล็กน้อย

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการรีเซ็ตของระบบในสภาพแวดล้อมเส้นทางโค้ง (มีสิ่งกีดขวาง) โดยทดสอบภายใน 3 ชั่วโมง (ขนาดแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์) พบว่าการรีเซ็ตของระบบเกิดขึ้นครั้งเดียว ที่เวลา 11 นาฬิกา 11 นาที 47 วินาที ทั้งนี้การรีเซ็ตของระบบเกิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ของโนดปลายทาง เกิดอาการค้างชั่วขณะ ทำให้ระบบต้องรีเซ็ตเริ่มการทำงานใหม่ ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราส่งข้อมูลสำเร็จ (Success Rate) เท่ากับ 99.9912 % และอัตราการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ (Failure Rate) เท่ากับ 0.00.88 % โดยวัดจากจำนวนแพ็กแกตทั้งหมด 11,470 แพ็กเกต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อสรุป

ปัจจุบันการรถไฟแห่งประเทศไทยมีเครื่องกั้นทางข้ามรถไฟทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบที่ใช้พนักงานควบคุมไว้ ซึ่งเครื่องกั้นทางข้ามรางรถไฟแบบอัตโนมัตินั้นใช้สายเคเบิลแกนร่วม (Coaxial Cable) เป็นตัวกลางในการสื่อสาร ทำให้เกิดความบกพร่องในการส่งผ่าน (Transmission Impairments) เมื่อใช้ระยะทางไกลๆ จึงต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า เพื่อให้ระบบส่งข้อมูลได้ ทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้งใช้งานจริงในบางสถานีจุดตัดทางข้ามรางรถไฟ และใช้งบประมาณค่อนข้างสูง ในขณะที่เครื่องกั้นทางข้ามรางรถไฟแบบใช้พนักงานควบคุมก็มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงเช่นเดียวกัน และบางสถานีไม่มีพนักงานในการควบคุมระบบกั้นทางรางรถไฟ อาจทำให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้ สำหรับในงานวิจัยที่ผ่านมา [2-4] ได้นำเสนอระบบกั้นทางรถไฟ โดยใช้ตัวกลางในการสื่อสารที่แตกต่างกัน เช่น เส้นใยแสง (Fiber Optic) และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GPRS) ในลักษณะที่แตกต่างกันไปทั้งในด้านรูปแบบและวิธีการแก้ปัญหา ตัวกลางในการสื่อสารในแต่ละแบบนั้นมีข้อเสียแตกต่างกันออกไป เช่น ระบบการส่งข้อมูลแบบเส้นใยแสงต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง หรือหากใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องเสียค่าบริการ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพราะอุปกรณ์มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และราคาไม่สูงมาก เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลของระบบกั้นทางรถไฟ ซึ่งมีปริมาณข้อมูลที่รับส่งไม่มากด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการพัฒนาระบบกั้นทางรางรถไฟแบบอัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee/ IEEE802.15.4 โดยออกแบบขั้นตอนวิธีในกระบวนการจัดเส้นทางของ ZigBee แบบโมด API ซึ่งจะเลือกเส้นทางการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดไปยังโนดปลายทาง ถ้าเส้นทางหลักเกิดขัดข้องเซนเซอร์โนดก็สามารถเลือกเส้นทางใหม่ได้ โดยโนดแต่ละโนดมีตารางจัดเส้นทาง (Routing table) ที่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังโนดข้างเคียงได้ 2 โนดด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากันทั้งสองโนด เพื่อมั่นใจว่าการส่งข้อมูลจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และเพื่อให้ระบบมีความเชื่อถือได้ นอกจากนี้จะมีระบบเฝ้าตรวจ โดยจะรับข้อมูลจากเซนเซอร์โนดแบบเวลาจริง เพื่อให้สามารถรับรู้สถานะข่ายเชื่อมโยง (Link status) สถานะเซนเซอร์ตรวจจับรถไฟ (Sensor status) สถานะประตูกั้นทางรถไฟ (Railway crossing gate status) สถานะการทำงานของโนด (Node status) ในระบบ และตำแหน่งของรถไฟแบบเวลาจริงเพื่อให้พนักงานรถไฟที่เฝ้าตรวจอยู่ที่สถานีรถไฟได้ทราบถึงการทำงานของเซนเซอร์โนด เพื่อจะได้แก้ไขจัดการทันทีทันใดเมื่อเห็นว่าเซนเซอร์โนดมีปัญหา ในส่วนของการออกแบบฮาร์ดแวร์นั้น อุปกรณ์ภายในเซนเซอร์โนดจะมีแผงเซลล์สุริยะ (Solar Cell Panel) ที่ออกแบบมา เพื่อให้ระบบมีการจัดการเรื่องพลังงานเอง สามารถนำ

อุปกรณ์ไปติดตั้ง และใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อเป็นต้นแบบในงานพัฒนาต่อยอดต่อไปในอนาคตได้

สำหรับผลการทดสอบในภาคสนาม พบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ได้แก่ สามารถตรวจจับรถไฟ เพื่อปิดประตูกั้นทางรถไฟเมื่อรถไฟเคลื่อนที่ผ่านตัวตรวจจับรถไฟก่อนถึงประตูกั้นทางข้ามรางรถไฟเป็นระยะทางตามที่กำหนดไว้ได้ และสามารถตรวจจับรถไฟ เพื่อเปิดประตูกั้นทางรถไฟเมื่อรถไฟ (โบกี้สุดท้าย) เคลื่อนที่ผ่านตัวตรวจจับรถไฟที่ติดตั้งที่ประตูกั้นทางรถไฟ โดยหน่วงเวลาเปิด 10 วินาที เซนเซอร์ทุกโนดจะมีไฟ (เขียวหรือแดง) เพื่อให้พนักงานขับรถไฟได้ทราบถึงสถานะประตู (เปิดปิด) พร้อมมีสัญญาณเสียงเตือนขณะรถไฟมา

สำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทยสามารถนำงานวิจัยนี้ไปเป็นต้นแบบ ที่จะไปติดตั้งและใช้งานจริงในอนาคตนั้น ในจุดตัดทางข้ามรางรถไฟสถานีอื่นๆ การรถไฟแห่งประเทศควรนำหลักการที่นำเสนอ วิธีทดสอบ และผลการทดสอบที่ได้ในงานวิจัยนี้ไปอ้างอิงต่อไป เพราะจุดตัดทางข้ามรางรถไฟสถานีต่างๆ มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างออกไป ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุดในการใช้งานต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาในส่วนของระบบเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับรถยนต์ที่คร่อมทางรางรถไฟ ที่อยู่ในสภาพการจราจรบนท้องถนนติดขัด โดยจะส่งสัญญาณให้คนขับรถไฟได้ทราบ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น
2. พัฒนาในส่วนของการออกแบบมอนิเตอร์ โดยใช้ตัวประมวลผล (คอมพิวเตอร์) กลางเครื่องเดียว ที่สามารถควบคุมเซนเซอร์โนดทั้งระบบได้ กรณีที่มีจุดตัดทางข้ามรางรถไฟหลายๆจุดในสถานีเดียวกัน
3. พัฒนาและประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายอื่นๆ เช่น 3G หรือ 4G กรณีที่จุดตัดทางข้ามรางรถไฟอยู่ห่างจากโนดปลายทางไกลๆ
4. ผลของการนำอุปกรณ์ไปติดตั้งและใช้งานจริง การรถไฟแห่งประเทศไทยควรหาสถิติการลดของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในสถานีที่ไปติดตั้งต่อไป
5. พัฒนาระบบตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ พร้อมสามารถระบุความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ เพื่อให้ง่ายต่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป
6. พัฒนาในส่วนของระบบไฟที่ใช้ในเซนเซอร์โนด ในกรณีที่เซลล์สุริยะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยจะออกแบบในส่วนของระบบไฟฟ้ากระแสสลับเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

1. เวียงเจริญ, น.ร. ระบบรางรถไฟในประเทศไทย. 2013 [cited 2014 16/02]; Available from: http://portal.rotfaithai.com/index.php.
2. นครจินดา, บ. เทคนิคการตรวจจับตำแหน่งรถไฟใน *Layout (Rocomotion)*. 02 มกราคม 2010 [cited 2014 16/2/14]; Available from: http://www.thaimrr.com/thaimrr2/index.php/thaimrr-article/55--layout,%20November%202012.
3. Kunifuji, T., et al. *A Proposal of Autonomous Online Expansion Technology for Real-Time System and Its Application to Railway Signalling System*. in *Autonomous Decentralized Systems (ISADS),* 2011 10*th International Symposium on*. 2011.
4. Fukuta, Y. *Possibility of sensor network applying for railway signal system*. in *Networked Sensing Systems,* 2008. *INSS* 2008. 5*th International Conference on*. 2008.
5. Matsumoto, M. and K. Bekki. *Application of Assurance Technology for Railway Signaling System*. in *Autonomous Decentralized Systems,* 2007. *ISADS* '07. *Eighth International Symposium on*. 2007.
6. Tangpaopong, S., T. Silawarran, and A. Chaodit. *DTMC analysis of connectedness for 2-dimension wireless relay placement with regular string topology*. in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON),* 2011 8*th International Conference on*. 2011.
7. *Xbee ZNet* 2.5*/XBee PRO Znet* 2.5 *OEM Product Manual*. 2012: 2012.
8. nathapong. ระบบเบรกของขบวนรถไฟ 2012 [cited 2014 5 january 2014]; Available from: http://portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=4293.
9. *OMRON Products*. 2014 [cited 2014 16/02]; Available from: http://www.omron-ap.co.th/product_info/E3JK/index.asp.
10. *Arduino Uno Product*. [cited 2014 16/02]; Available from: http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno#.UwAjYdI3CSo.
11. *ET-MINI RELAY2 Manual*. 2014 [cited 2014 16/02]; Available from: http://ett.co.th/product/mini/et-mini-relay2.html.
12. *Arduino and Motor Control : Part* 1. [cited 2014 16/02]; Available from: http://www.arduitronics.com/article/arduino-and-motor-control-part-1.
13. *ET-MINI I/O BOARD SET*. 2014 [cited 2014 16/02]; Available from: http://ett.co.th/product/InterfaceBoard/P-ET-A-00230.html.

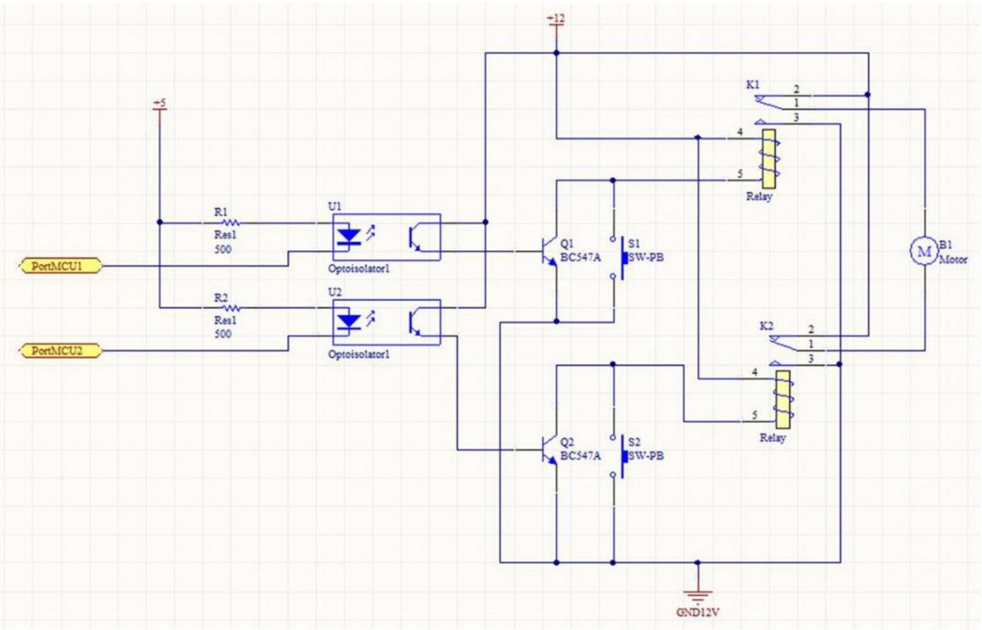
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

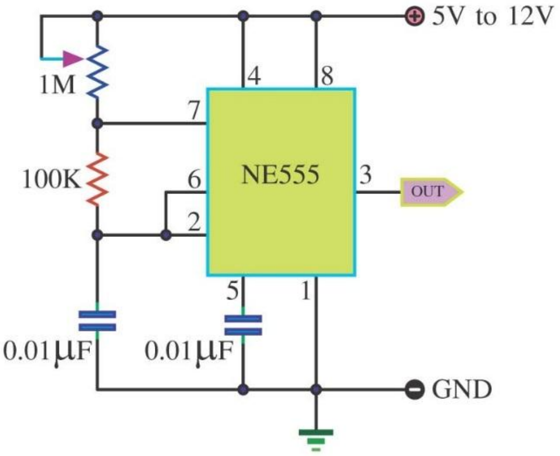
ภาคผนวก ก

แผนภาพ Schematic วงจรที่ออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้

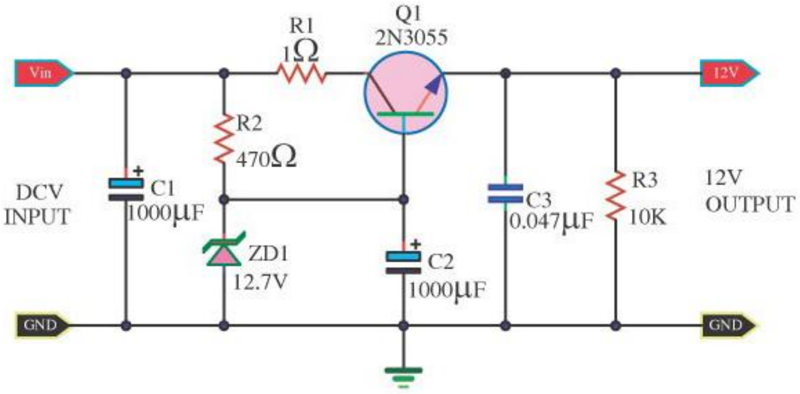
วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง



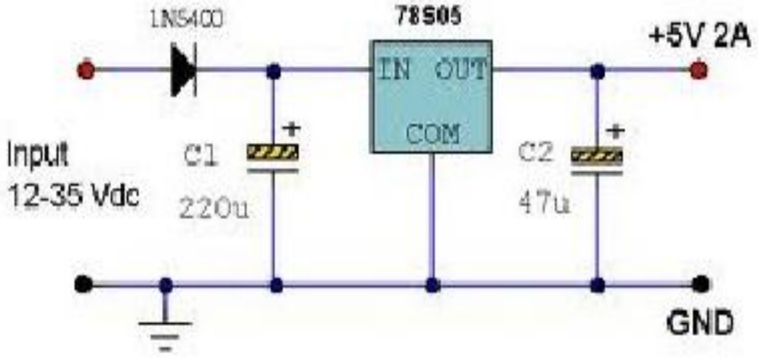
วงจรกำเนิดความถี่ 1 Hz



วงจรรักษาระดับแรงดัน 12 โวลต์



วงจรรักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์



ภาคผนวก ข
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ในการประชุมวิชาการ ICSEC 2013

[1] M. Mansattha and W. Benjapolakul “Applying Wireless Sensor Network Based on ZigBee/IEEE802.15.4 Standard for Railway Crossing System,” in *Proc.International Computer Science and Engineering Conference, ICSEC*, Bangkok, Thailand, September. 4-6, 2013.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมุหัมมัด มั่นศรัทธา เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ.2531 ที่จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2553 ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขวงวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY