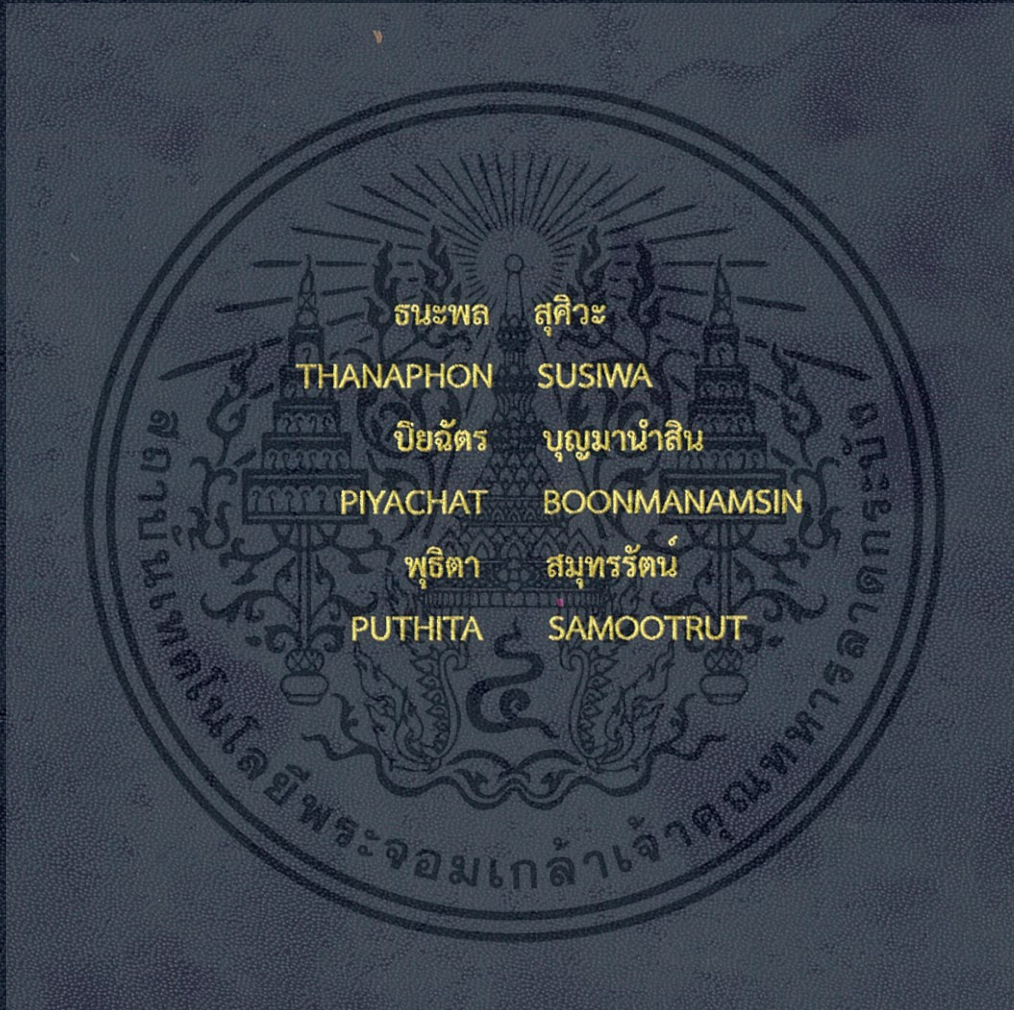


ระบบอัตโนมัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง

SIMULATION OF RAILWAY SIGNALING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

ระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง

SIMULATION OF RAILWAY SIGNALING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMULATION OF RAILWAY SIGNALING



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEER
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

Thesis Title

ชื่อนักศึกษา

ระดับปริญญา

สาขาวิชา

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา

ระบบอัตโนมัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง

SIMULATION OF RAILWAY SIGNALING

นายธนะพล สุศิวัช

นางสาวปิยฉัตร บุญมานำสิน

นางสาวพริตตา สมุทธรัตน์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

วิศวกรรมสารสนเทศ

2557



(*Signature* ทรอว์)

ดร.วันวิสา ชัชวงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	ระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง		
Thesis Title	SIMULATION OF RAILWAY SIGNALING		
ชื่อนักศึกษา	นายธนะพล สุศิระ	รหัสนักศึกษา	54010570
	นางสาวปิยฉัตร บุญมานำสิน	รหัสนักศึกษา	54010816
	นางสาวพริดา สมุทรรัตน์	รหัสนักศึกษา	54010956
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ดร.วันวิสา ชัชวงษ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นโมเดลศึกษาการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณรถไฟก่อนนำไปใช้ในระบบจริง โดยนำระบบอาณัติสัญญาณมาประยุกต์ใช้โมเดลรถไฟจำลอง สามารถควบคุมรถไฟ ประแจ และไฟสัญญาณผ่านคอมพิวเตอร์ได้ นำเซนเซอร์แม่เหล็กมาใช้ในการตรวจจับตำแหน่งรถไฟ เพื่อบอกสถานะของแทรกและตำแหน่งที่รถไฟอยู่ในขณะนั้น และสั่งการเดินรถไฟไปยังสถานีต่างๆได้ตามที่กำหนด

Thesis Title	SIMULATION OF RAILWAY SIGNALING		
Student	Mr.Thanaphon Susiwa	Student ID.	54010 570
	Miss.Piyachat Boonmanamsin	Student ID.	54010 816
	Miss.Puthita Samootrut	Student ID.	54010 956
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Information Engineering		
Academic Year	2557		
Thesis Advisor	Dr.Vanvisa Chutchavong		

ABSTRACT

This research presents the study and development of a signaling system for a train model in order to acknowledge the overall system before managing the real implementation. We have developed a program to control the trains and switches via a computer. We use magnetic sensors installed under each track to detect the position of a train. We also can direct the train to each station as we need.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากขาดการแนะนำที่ดีจาก ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ และพี่อลงกรณ์ วิจิตรธนสาร ที่ให้ความรู้และคำแนะนำทางด้าน รถไฟ รวมถึงขอขอบคุณที่ปริญญานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ช่วยทำให้ปริญญานิพนธ์และโครงการนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณการรถไฟแห่งประเทศไทยที่สนับสนุนการทำวิจัย และ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยมหิดล และ สวทช. ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยในครั้งนี้

นายธนะพล สุศิระ

นางสาวปิยฉัตร บุญมานำสิน

นางสาวพุดตา สมุทรรัตน์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 อุปกรณ์ที่ใช้	3
1.6.1 ฮาร์ดแวร์	3
1.6.2 ซอฟต์แวร์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้	4
2.1 ระบบขนส่งทางราง.....	4
2.2 RAMS.....	4
2.3 ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ.....	4
2.3.1 การเดินรถไฟโดยใช้ระยะห่างระหว่างขบวนรถ (Time Interval System)	5
2.3.2 สัญญาณประจำที่ (Fixed Signal หรือ Wayside Signal)	5
2.3.3 วิธีส่งสัญญาณถึงคนขับรถไฟ.....	5
2.3.4 สัญญาณต้นทางหรือสัญญาณกำหนดระยะทาง (Distance Signal).....	6
2.3.5 สัญญาณทางปลา (Semaphore Signal).....	6
2.3.6 สัญญาณไฟสี (Color Light Signal).....	7
2.3.7 ตอนสัญญาณ (Signal Block).....	9

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.8 วงจรไฟตอน (Track Circuit).....	9
2.4 โพรโตคอลสำหรับการควบคุมรถไฟจำลอง	10
2.4.1 หลักการทำงานของDCC.....	10
2.4.2 ข้อดี	11
2.5 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย (Topologies).....	11
2.5.1 แบบบัส (Bus topology).....	12
2.5.2 แบบดาว (Star topology).....	12
2.5.3 แบบวงแหวน (Ring topology).....	13
2.6 การสื่อสารข้อมูลระหว่างบอร์ด Arduino ด้วยบัส I2C.....	14
2.6.1 การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบบัส I2C.....	14
2.7 Hall-effect sensors (Magnetic sensors).....	15
2.7.1 ทฤษฎี.....	15
2.7.2 ประโยชน์ของHall-effect.....	17
2.8 Power supply	17
2.8.1 Unregulated.....	17
2.8.2 Linear regulated.....	17
2.8.3 Switching.....	18
2.8.4 Ripple regulated.....	18
บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบจำลอง.....	20
3.1 การวิเคราะห์ความต้องการ.....	20
3.1.1 ความต้องการหลัก (Functional requirement).....	20
3.1.2 ความต้องการรอง (Non-functional requirement).....	20
3.2 การกำหนดส่วนต่างๆของโปรแกรม	20
3.2.1 การกำหนดการแสดงท่าระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟจำลอง.....	20
3.2.2 ระบบอัตโนมัติสัญญาณ (Signaling system).....	21
3.2.3 ระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-based interlocking system).....	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบระบบ	23
3.3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์.....	24
3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์	28
3.3.2.1 แผนภาพยูสเคส (Use case diagram)	29
3.3.2.2 แผนภาพลำดับ (Sequence diagram).....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 ผลการทดลองของฮาร์ดแวร์.....	37
4.2 ผลการทดลองของซอฟต์แวร์	38
4.2.1 หน้าจอที่ติดต่อผู้ใช้	38
4.2.1.1 Login form.....	39
4.2.1.2 Control form.....	39
4.2.1.3 Activity log form	40
4.2.1.4 Display form	40
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	41
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	41
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	41
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก.....	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 3.1 ทำระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ	21



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	สัญญาณเตือนแบบกำหนดระยะทางชนิดทางปลา.....	7
รูปที่ 2.2	สัญญาณเตือนของระบบไฟลิตติดตั้งอยู่หน้าสัญญาณเข้ามากกว่าระยะเบรก.....	8
รูปที่ 2.3	การทำงานของตอนสัญญาณ.....	9
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างสัญญาณ DCC และการเข้ารหัสบิตสตรีม (Bit Stream).....	10
รูปที่ 2.5	โครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบบัส.....	12
รูปที่ 2.6	โครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบดาว.....	13
รูปที่ 2.7	โครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบวงแหวน.....	14
รูปที่ 2.8	เซนเซอร์แม่เหล็ก.....	16
รูปที่ 2.9	ทฤษฎีHall effect.....	16
รูปที่ 2.10	หลักการทำงานของHall effect.....	17
รูปที่ 3.1	โครงสร้างระบบ CBI.....	21
รูปที่ 3.2	โครงสร้าง Flow Chart Diagram ของระบบ CBI.....	23
รูปที่ 3.3	วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	24
รูปที่ 3.4	ทดลองใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	24
รูปที่ 3.5	ลายวงจรของเซนเซอร์แม่เหล็ก.....	25
รูปที่ 3.6	แผ่นทองแดงที่ตัดแบ่งและฉาบตะกั่วที่ลายวงจรแล้ว.....	25
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการเจาะรูบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก.....	26
รูปที่ 3.8	เซนเซอร์แม่เหล็กที่ทำการเชื่อมต่อพร้อมใช้งาน.....	26
รูปที่ 3.9	การเชื่อมต่อเครือข่ายเซนเซอร์แม่เหล็กแบบบัส.....	27
รูปที่ 3.10	สั่งการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	27
รูปที่ 3.11	ไม้กระดานที่เจาะรูแล้ว.....	28
รูปที่ 3.12	รางรถไฟจำลองหลังจากติดตั้งเซนเซอร์ เก็บซ่อนและตกแต่งเรียบร้อยแล้ว.....	28
รูปที่ 3.13	Use case diagram สำหรับระบบอัตโนมัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง.....	29
รูปที่ 3.14	แผนภาพลำดับสำหรับขั้นตอนการเข้าสู่ระบบ.....	30
รูปที่ 3.15	แผนภาพลำดับการส่งแพคเกจข้อมูลเพื่อควบคุมรถไฟ.....	31
รูปที่ 3.16	แผนภาพลำดับการเลือกรถไฟ.....	32
รูปที่ 3.17	แผนภาพลำดับการสั่งการเดินรถไฟ.....	33

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.18 แผนภาพลำดับการเลือกความเร็วในการเดินรถไฟ.....	34
รูปที่ 3.19 แผนภาพลำดับการเลือกสับประแจ.....	35
รูปที่ 3.20 แผนภาพลำดับการออกจากระบบ.....	36
รูปที่ 4.1 กำหนดค่าแอดเดรสแก่บอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก.....	37
รูปที่ 4.2 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายไฟให้กับบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก.....	38
รูปที่ 4.3 Login form.....	39
รูปที่ 4.4 Control form.....	39
รูปที่ 4.5 Activity log form.....	40
รูปที่ 4.6 Display form.....	40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเริ่มมีการพัฒนาการขนส่งระบบรางเป็นครั้งแรกในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 5 เนื่องจากทรงเล็งเห็นความสำคัญของการคมนาคมซึ่งจะเป็นรากฐานของการพัฒนาประเทศ ทำให้มีการพัฒนาในด้านคมนาคมขนส่งอย่างไม่ย่อหน้าประเทศใดในภูมิภาคเอเชีย แต่ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางกลับไม่เป็นที่นิยมจากประชาชนทั่วไป เพราะมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อความต้องการ เช่น การเดินทางไม่ตรงเวลา เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง เนื่องจากยังใช้คนในการให้สัญญาณซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและอุบัติเหตุได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ระบบอัตโนมัติสัญญาณเพื่อช่วยให้การเดินทางมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟเป็นระบบกลไก สัญญาณไฟ หรือระบบคอมพิวเตอร์ ในการเดินขบวนรถไฟเพื่อแจ้งให้พนักงานขับรถไฟทราบสภาพเส้นทางข้างหน้า กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ และระยะเวลาในการเดินทางของขบวนรถที่อยู่บนทางร่วมเดียวกัน รวมทั้งการสับหลักบริเวณสถานีรถไฟ โดยการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจะออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อให้พนักงานขับรถไฟสามารถตัดสินใจได้อย่างมั่นใจ ส่งผลให้การเดินรถดำเนินไปได้อย่างปลอดภัย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันประเทศไทยยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญในด้านระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ และการทดลองระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟกับระบบรถไฟจริงอาจทำให้เกิดความเสียหายทางชีวิต ทรัพย์สิน อีกทั้งยังมีงบประมาณสูงทำให้เป็นเรื่องยากในการพัฒนาระบบอัตโนมัติสัญญาณให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้นำระบบรถไฟจำลองมาใช้เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในระบบรถไฟจริง

1.2 วัตถุประสงค์

ในการทำโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ในการทำงานโดยสามารถระบุได้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ
2. เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาเพื่อนำไปใช้ในระบบรถไฟจริง
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินทาง คือมีความปลอดภัยและตรงต่อเวลามากขึ้น
4. เพื่อส่งเสริมให้บุคลากรในประเทศมีความรู้เกี่ยวกับระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถสั่งการและควบคุมการเดินรถไฟจำลองได้
2. สามารถบันทึกได้ว่ามีเหตุการณ์ใดเกิดขึ้นในระบบ เวลาใด ใครเป็นผู้กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ID	Task Name	ส.ค. 2557	ก.ย. 2557	ต.ค. 2557	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ม.ค. 2558	ก.พ. 2558	มี.ค. 2558	เม.ย. 2558	
		14			20						24
1	ศึกษาเกี่ยวกับระบบอาณัติสัญญาณ	[Bar]									
2	ศึกษาเกี่ยวกับVisual Basic	[Bar]									
3	ศึกษาและจัดเตรียมแบบจำลองระบบรถไฟฟ้(1ขบวน)	[Bar]									
4	เขียนคำสั่งควบคุมการเดินรถไฟฟ้(1ขบวน)	[Bar]									
5	ทดสอบการใช้งานกับแบบจำลองระบบรถไฟฟ้(1ขบวน)	[Bar]									
6	จัดทำเอกสารประกอบวิชาโครงการเทอม1	[Bar]									
7	เพิ่มเส้นทางและขบวนรถไฟ	[Bar]									
8	เขียนคำสั่งควบคุมการเดินรถไฟฟ้(2ขบวน)และเพิ่มเงื่อนไขในการเดินรถ	[Bar]									
9	ทดสอบการใช้งานกับแบบจำลองระบบรถไฟฟ้(2ขบวน)	[Bar]									
10	สร้างตารางเวลาให้เหมาะสมกับการเดินรถ	[Bar]									
11	ปรับปรุงการเดินรถให้ตรงตามเวลา	[Bar]									
12	จัดทำต้นฉบับวิทยานิพนธ์	[Bar]									

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับถ้าหากโครงการระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลองสำเร็จคือ

1. สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้กับระบบรถไฟจริงได้
2. สามารถควบคุมการเดินรถให้ไปในทางที่ต้องการได้
3. สามารถควบคุมเวลาเดินรถและนำไปจัดการบริหารตารางเวลาเดินรถได้
4. สามารถรู้ได้ว่า ณ เวลานั้นรถไฟอยู่ตำแหน่งใดเพื่อป้องกันการชนกับรถไฟขบวนอื่นได้
5. มีความรู้ความเข้าใจในระบบอาณัติสัญญาณรถไฟมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และ ซอฟต์แวร์ (Software)

1.6.1 ฮาร์ดแวร์

- ชุดรถไฟจำลอง ROCO
- เซนเซอร์แม่เหล็ก (Hall Effect sensor)
- สายแพร
- แผ่นทองแดง
- LED 4 สี คือ น้ำเงิน แดง เหลือง เขียว
- หัวแร้ง
- ตะกั่ว
- mcu atmega 48PA-AU
- pin header connector
- chip resistor 1/10W, 5%, 330ohm

1.6.2 ซอฟต์แวร์

- Visual Basic
- Wireshark
- Arduino
- Ostinato

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 ระบบขนส่งทางราง

ระบบขนส่งทางรางเป็นการขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าด้วยยานพาหนะที่วิ่งไปตามราง การขนส่งระบบรางเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่โลจิสติก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสะดวกให้กับการค้าระหว่างประเทศและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในหลายๆประเทศ โดยทั่วไปรางรถไฟจะประกอบไปด้วยราว 2 ราวคู่ขนานกันไป ปกติแล้วจะทำมาจากเหล็กกล้าแล้วหุ้มด้วยไม้หมอน ซึ่งจะช่วยรักษา ระยะห่างหรือความกว้างระหว่างราวทั้งสองข้าง โดยจะมีความกว้างแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ บางประเทศใช้ไม้หมอนชนิดไม้ บางประเทศใช้ชนิดคอนกรีตแข็ง ระบบขนส่งทางรางมีข้อดี คือ สามารถขนส่งสินค้าได้ครั้งละจำนวนมาก ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยต่ำ เมื่อเทียบกับการขนส่งประเภทอื่นๆ ซึ่งสินค้าที่ทำการขนส่งส่วนใหญ่เป็นสินค้าที่มีมูลค่าต่ำและมีน้ำหนักมาก เช่น ถ่านหิน ปูนซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ข้าว น้ำตาล แร่ดิบต่างๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการขนส่งทางรถไฟจะมีข้อเสียทางด้านของเวลา และความต่อเนื่องที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรถตามสถานีรถไฟหรือชุมทางรถไฟ รวมทั้งขบวนรถไฟที่มีจำนวนจำกัด ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ผลิต ทำให้ต้องหาทางพัฒนาระบบขนส่งทางรางในประเทศให้รองรับเพียงพอต่อความต้องการและปรับปรุงแก้ไขข้อเสียทางด้านเวลาและเพิ่มความปลอดภัยให้มากขึ้น

2.2 RAMS

หลักประกันด้านคุณภาพของระบบขนส่งทางรางที่ขาดไม่ได้ คือ

1. Reliability คือความเชื่อถือได้
2. Availability คือความพร้อมใช้งาน
3. Maintainability คือการบำรุงรักษา
4. Safety คือความปลอดภัย

2.3 ระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ

เป็นระบบกลไก สัญญาณไฟ หรือระบบคอมพิวเตอร์ ในการเดินขบวนรถไฟเพื่อแจ้งให้พนักงานขับรถไฟทราบสภาพเส้นทางข้างหน้า กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่และระยะเวลาในการเดินรถของขบวนรถที่อยู่บนทางร่วมเดียวกัน รวมทั้งการสับหลักบริเวณสถานีรถไฟ โดยการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจะออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อให้พนักงานขับรถไฟสามารถตัดสินใจได้อย่างมั่นใจ ส่งผลให้การเดินรถดำเนินไปได้อย่างปลอดภัย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ในระยะแรกเมื่อรถไฟวิ่งช้าและยังมีขบวนรถเดินน้อย การเดินรถไฟก็ยังไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณ แต่เมื่อมีขบวนรถเดินบนเส้นทางหนาแน่นมากขึ้นก็จำเป็นต้องมีระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟสำหรับควบคุมการเดินรถเพื่อเป็นหลักประกันด้านความปลอดภัย

หลักการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณควบคุมการเดินรถไฟไม่ว่าจะเป็นระบบดั้งเดิมหรือระบบสมัยใหม่ คือ แบ่งทางรถไฟออกเป็นตอน แต่ละตอนมีสัญญาณกำกับเรียกว่า ตอนสัญญาณ (Signal block) กฎการเดินขบวนรถไฟเพื่อให้ปลอดภัยคือ ต้องจัดให้มีขบวนรถไฟอยู่ในแต่ละตอนสัญญาณเพียงขบวนเดียวและจัดระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟพอเพื่อที่คนขับรถไฟสามารถมองเห็นสัญญาณและหยุดขบวนรถไฟอย่างปลอดภัย ระบบอาณัติสัญญาณควบคุมการเดินขบวนรถไฟมีหลายระดับ ซึ่งมีความซับซ้อนและราคาติดตั้งแตกต่างกันมาก ระบบอาณัติสัญญาณที่ทันสมัยเป็นหลักการกันด้านความปลอดภัยสูงสุดมีราคาแพงมากและทำให้การสร้างระบบขนส่งรถไฟมีต้นทุนสูง

2.3.1 การเดินรถไฟโดยใช้ระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟ (Time Interval System)

ในขณะที่วิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีของระบบสัญญาณยังคงไม่ทันกับความเร็วของขบวนรถไฟที่เพิ่มสูงขึ้น วิธีการง่ายที่สุดในการเดินขบวนรถไฟให้ปลอดภัยคือ กำหนดระยะห่างของช่วงเวลาระหว่างการปล่อยขบวนรถไฟเข้าไปในทางตอนหนึ่งๆ ตัวอย่างเช่น เมื่อสถานี ก. ปล่อยขบวนรถไฟหนึ่งขบวนผ่านไปแล้ว 10 นาที ต่อมาจึงปล่อยขบวนรถไฟที่สองตามไป เป็นต้น ระยะห่างในการปล่อยขบวนรถไฟเข้าไปในทางนี้เรียกว่า เฮดเวย์ (Headway) หรือระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟ คำศัพท์นี้ยังคงใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน แม้ระบบอาณัติสัญญาณควบคุมการเดินขบวนรถไฟจะได้พัฒนาจนมีความทันสมัยขึ้นมากแล้วก็ตาม

อย่างไรก็ดี การเดินรถไฟด้วยวิธีทิ้งช่วงเวลาระหว่างขบวนรถไฟวิ่งตามกันนั้น ไม่สามารถเป็นหลักประกันเรื่องความปลอดภัยเสียทีเดียว ขบวนรถไฟที่วิ่งอยู่ข้างหน้าอาจจะวิ่งช้ากว่าขบวนรถไฟที่วิ่งอยู่ข้างหลัง หรืออาจมีเหตุจำเป็นซึ่งคนขับรถไฟที่วิ่งนำหน้าต้องหยุดขบวนรถไฟ ในกรณีเช่นนี้ อุบัติเหตุจากขบวนรถไฟที่วิ่งตามหลังมาชนท้ายขบวนรถไฟที่วิ่งอยู่ข้างหน้าก็สามารถเกิดขึ้นได้

นอกจากนั้น การจัดทิ้งช่วงเวาระหว่างขบวนรถไฟ หรือเฮดเวย์ยาวขึ้นก็อาจจะทำให้ความจุของการใช้ทางรถไฟ (Line Capacity) ลดลง ตัวอย่างเช่น หากกำหนดให้เฮดเวย์เท่ากับ 10 นาทีก็แปลว่าทางรถไฟช่วงนั้นจะรองรับการเดินขบวนรถไฟได้เพียง 6 ขบวนต่อชั่วโมงเท่านั้น ตรงกันข้าม ถ้าต้องการให้ทางรถไฟช่วงนั้นรองรับขบวนรถไฟได้มากขึ้น ก็ต้องลดเฮดเวย์ให้สั้นลง เช่น หากลดลงเหลือ 5 นาที ทางรถไฟช่วงนั้นสามารถรองรับขบวนรถไฟได้ 12 ขบวนต่อชั่วโมง แต่ขบวนรถไฟจะวิ่งอยู่ใกล้กัน ความเสี่ยงที่ขบวนรถไฟจะวิ่งชนท้ายกันก็เพิ่มมากขึ้น ความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความจุของทางรถไฟโดยลดเฮดเวย์ลง และยังสามารกรับประกันเรื่องความปลอดภัยของระบบการเดินรถไฟได้ดีเท่าเดิม จึงนำไปสู่การพัฒนาาระบบสัญญาณประจำที่ (Fixed Signal) ขึ้นใช้งาน

2.3.2 สัญญาณประจำที่ (Fixed Signal หรือ Wayside Signal)

แนวคิดในการออกแบบระบบสัญญาณประจำที่มีพื้นฐานมาจากการเดินรถไฟแบบเฮดเวย์ คือ แบ่งรถไฟออกเป็นช่วง โดยแต่ละช่วงมีสัญญาณประจำที่กำกับและมีหอสัญญาณเป็นผู้ติดตามขบวนรถไฟและส่งสัญญาณไปให้คนขับรถไฟเพื่อควบคุมขบวนรถไฟ

2.3.3 วิธีส่งสัญญาณถึงคนขับรถไฟ

สัญญาณรถไฟที่พัฒนาขึ้นในระยะแรกสุดจะมี 2 ความหมายเท่านั้น คืออนุญาตให้คนขับนำขบวนรถไฟผ่านไปข้างหน้า หรือ ห้ามคนขับนำขบวนรถไฟผ่านไปข้างหน้า วิธีการส่งสัญญาณที่นำมาใช้ควบคุมรถไฟในสหรัฐอเมริกาในยุคเริ่มแรกคือใช้ลูกบอล (Ball Signal) ทาสีตามความหมายที่ตกลงกันไว้ แล้วผูกเชือกชักขึ้นไว้ที่สูงเพื่อให้คนขับรถไฟสามารถมองเห็นได้แต่ไกล และสามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนรถไปตามสี่ของลูกบอลตามที่ตกลงความหมายกันไว้ แต่หากคนขับนำขบวนรถไฟมาถึงจุดที่ควร จะมองเห็นลูกบอลแล้วไม่มีลูกบอล จะต้องหยุดขบวนรถเพราะโดยนัยของความหมายที่ตกลงกันคือ สัญญาณเป็นท่าห้าม การส่งสัญญาณด้วยลูกบอลทาสีผูกเชือกโยงขึ้นไว้ในที่สูง จึงแฝงนัยสำคัญในการ ออกแบบสัญญาณรถไฟไว้ด้วยตั้งแต่แรก นั่นคือมีคุณสมบัติปลอดภัยเมื่อบกพร่อง หมายความว่า หาก บังเอิญเชือกที่ผูกลูกบอลขาด คนขับรถไฟผ่านมาแล้วมองไม่เห็นจึงต้องหยุดขบวนรถ ประสิทธิภาพการ ออกแบบสัญญาณรถไฟให้ปลอดภัยเมื่อบกพร่องเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการออกแบบระบบอาณัติ สัญญาณรถไฟสำหรับควบคุมการเดินทางขบวนรถไฟสมัยใหม่ด้วย วิธีการส่งสัญญาณไปให้ถึงคนขับรถไฟ ได้รับการพัฒนาให้ทันสมัยมาโดยตามลำดับจากลูกบอลทาสีมาเป็นสัญญาณทางปลาหรือสัญญาณใบธง เป็นสัญญาณไฟสี จนกระทั่งถึงระบบที่ทันสมัยที่สุด คือไม่มีสัญญาณข้างทาง จึงต้องคำนึงถึงความ ปลอดภัยเมื่อเกิดความบกพร่อง ไม่ว่าจะเป็นบกพร่องจากอุปกรณ์เองหรือเกิดจากมนุษย์ ดังนั้นระบบ ปลอดภัยเมื่อบกพร่องจึงเป็นพื้นฐานของระบบอาณัติสัญญาณของการรถไฟซึ่งเป็นต้นเหตุของความ ชับซ้อนและทำให้ระบบทั้งหมดมีราคาแพง

2.3.4 สัญญาณต้นทางหรือสัญญาณกำหนดระยะทาง (Distance Signal)

สัญญาณแบบปล่อยขบวนรถให้เดินตามกันโดยกำหนดระยะห่างของเวลา (Time Interval) จะปลอดภัยเมื่อคนขับสามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางที่อยู่ข้างหน้าแล้วสามารถหยุดขบวนรถได้ทัน ใน สมัยก่อนเมื่อขบวนรถไฟวิ่งช้า ระยะเบรกของขบวนสั้นกว่าระยะการมองเห็นของคนขับรถไฟ คนขับรถไฟจึงสามารถหยุดขบวนรถได้ทันเมื่อเห็นสิ่งกีดขวางข้างหน้า แต่เมื่อขบวนรถไฟวิ่งเร็วขึ้นใน ขณะที่การพัฒนาระบบเบรกรยังตามไม่ทัน ความสามารถของระบบเบรกจึงไม่สามารถจะหยุดรถได้ใน ระยะการมองเห็นสิ่งกีดขวางข้างหน้าของคนขับ นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่อาจทำให้ระยะการ มองเห็นสัญญาณและสิ่งกีดขวางข้างหน้าของคนขับสั้นลง เช่น ทางโค้ง ฝนตก เป็นต้น ในกรณีนี้ คนขับรถไฟก็จะหยุดขบวนรถไม่ทัน

เหตุผลความจำเป็นดังกล่าว จึงมีการพัฒนาระบบสัญญาณซึ่งช่วยให้เกิดความปลอดภัยมาก ยิ่งขึ้น เรียกสัญญาณต้นทางหรือสัญญาณกำหนดระยะทาง สัญญาณนี้จะอยู่หน้าสัญญาณกำกับเขต สถานี (Home Signal) เมื่อคนขับเห็นสัญญาณนี้ในท่าเตือนจะสามารถหยุดขบวนรถได้โดยไม่ล้ำเข้าไป ในสัญญาณกำกับเขตสถานี ศัพท์เทคนิครถไฟเรียกสัญญาณประจำที่นี้ว่า สัญญาณเตือน (Warning หรือ Warning Signal)

สัญญาณเตือนที่นำมาใช้ในระยะเวลาแรกคือ สัญญาณทางปลาหรือสัญญาณใบธง ใช้สายลวด ยกขึ้นลง ถ้าสัญญาณเตือนยกขึ้นโดยนัยของความหมายที่ตกลงกันคือ สัญญาณกำกับประจำที่ ข้างหน้าอยู่ในท่าอนุญาต คนขับรถไฟสามารถนำขบวนรถผ่านเข้าไปได้ แต่หากสัญญาณเตือนอยู่ใน ท่าเตือนคือทางปลาไม่ยก แปลว่าสัญญาณกำกับประจำที่ข้างหน้าอาจเป็นท่าห้าม คนขับรถไฟต้องรีบ เบรกขบวนรถ มิฉะนั้นอาจจะหยุดล้ำเลยเขตหลังสัญญาณประจำที่ข้างหน้าซึ่งอาจวิ่งเลยขบวนรถ ที่อยู่ในตอนนั้นได้

2.3.5 สัญญาณทางปลา (Semaphore Signal)

สัญญาณทางปลาหรือสัญญาณใบธงมีหลายแบบ ที่คุ้นเคยกันสำหรับประเทศไทยเป็นแบบที่ พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศทางทวีปยุโรปมาก่อน สำหรับสัญญาณใบธงที่การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้ใน ปัจจุบัน เป็นสัญญาณที่พัฒนาใช้ในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ทางปลาสำหรับสัญญาณ เตือนเป็นทางแฉก ทาสีเหลืองคาดดำส่วนสัญญาณกำกับตอนมีทางกลมทาสีแดงคาดขาว ความหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตกลงกันคือ ถ้าสัญญาณยกขึ้นทั้งคู่ แสดงว่าตอนสัญญาณข้างหน้าว่าง สามารถนำขบวนรถผ่านไป ได้ หากสัญญาณเตือนไม่ยก แสดงว่าตอนสัญญาณข้างหน้าอาจมีสิ่งกีดขวาง ต้องเตรียมหยุดขบวนรถ

สัญญาณทางปลาหรือสัญญาณใบธงในประเทศอังกฤษเป็นระบบช่วงล่างกิ่งวงกลม (Lower Quadrant) คือทำอนุญาตจะเปลี่ยนจากท่าห้ามซึ่งใบธงขนานกับเส้นแนวขอบฟ้า (Horizontal Line) มาเป็นท่าอนุญาตคือใบธงต่ำกว่าแนวนอน 45° ส่วนของระบบที่ใช้ในประเทศไทยเป็นระบบ Upper Quadrant ท่าอนุญาตเป็นท่ายกขึ้น 45° เหนือแนวนอน

การยกทางปลาขึ้นลงจะทำได้โดยใช้สายลวดซึ่งควบคุมจากหอสัญญาณหากสายลวดขาดหรือทางปลาตกลง โดยความหมายที่ตกลงกันคือ สัญญาณเป็นท่าห้ามซึ่งเป็นระบบบกพร่องแต่ปลอดภัย (Fail Safe) นอกจากนั้นที่โคนด้านในของทางปลาจะมีช่องติดกระจกมีเหลือง/เขียวสำหรับสัญญาณเตือน และเขียว/แดงสำหรับสัญญาณกำกับตอน ในเวลากลางคืนจะใช้ไฟ (สมัยก่อนใช้ตะเกียงน้ำมัน) ส่องผ่านคนขับรถไฟเป็นสีตามท่าของทางปลาซึ่งจะช่วยให้เห็นสัญญาณได้ไกลและชัดเจนกว่า



รูปที่ 2.1 สัญญาณเตือนแบบกำหนดระยะทางชนิดทางปลา

สัญญาณทางปลาแบบควบคุมด้วยสายลวด มีข้อจำกัดในการใช้งาน มีความแน่นอนน้อยกว่าระบบสัญญาณไฟสี และไม่เหมาะสมเมื่อขบวนรถวิ่งเร็วเพราะไม่สามารถติดตั้งให้อยู่หน้าสัญญาณกำกับตอนในระยะทางที่สอดคล้องกับระยะเบรกของขบวนรถที่เพิ่มขึ้น หากจะติดตั้งให้สอดคล้องกับความยาวของขบวนรถและระยะเบรกแล้วสัญญาณประจำที่จะต้องติดตั้งห่างไกลเพิ่มขึ้นจากจุดควบคุมที่สถานี ในบางกรณีเนื่องจากความผิดของสายลวดทำให้ใบธงไม่ยกขึ้นเต็มที่ 45° (ปกติทางปลาต้องยกประมาณ 45° จากแนวนอน) ซึ่งโดยความหมายที่ตกลงกันไว้ เรียกว่า “สัญญาณคลุมเครือ” แปลว่าอยู่ในท่าห้ามนำขบวนรถผ่าน คนขับรถไฟต้องหยุดขบวนรถและติดต่อสถานีเพื่อรับทราบความชัดเจนก่อนนำขบวนรถผ่านไปซึ่งจะทำให้ล่าช้าเสียเวลา ในระยะแรกที่ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันการกับขบวนรถที่วิ่งเร็วขึ้นจึงต้องใช้วิธีการอื่นช่วยเพื่อเสริมความปลอดภัยในการเดินขบวนรถไปก่อน เช่น ติดเสาเตือนว่ามี “สัญญาณข้างหน้า” (Sighting Board) เมื่อคนขับรถไฟนำขบวนรถผ่านเสาเตือนนี้ต้องมองหาสัญญาณข้างหน้าให้พบและเตรียมการควบคุมขบวนรถให้ถูกต้อง เสาเตือนว่าข้างหน้า มีสัญญาณหมดความจำเป็นใช้งานเมื่อติดตั้งสัญญาณไฟสีแล้ว

2.3.6 สัญญาณไฟสี (Color Light Signal)

การใช้สัญญาณใบธงหรือสัญญาณทางปลา มีข้อจำกัดกล่าวคือ ตามปกติจะติดตั้งสัญญาณเตือนไว้หน้าสัญญาณกำกับตอนได้ไม่เกิน 350 เมตร ถ้าติดตั้งสัญญาณเตือนห่างจากสัญญาณเข้ามาจะทำให้จุดติดตั้งสัญญาณเตือนอยู่ห่างจากหอสัญญาณและสายลวดที่ใช้ดึงสัญญาณอาจมีความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า 1,500 เมตร ทำให้สายลวดที่ใช้ตั้งทางปลามีความสูญเสียเนื่องจากการหย่อนตามธรรมชาติ จึงทำให้ทางปลายกไม่เต็มที่ ซึ่งในความหมายที่ตกลงกันคือเป็นสัญญาณคลุมเครือ ห้ามนำขบวนรถผ่าน ทำให้ไม่สะดวกในการเดินขบวนรถดังกล่าว การติดตั้งสัญญาณทางปลาโดยทั่วไป จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในกรณีที่ขบวนรถที่ยาวและมีความเร็วสูง

เนื่องจากขาดการพัฒนาาระบบสัญญาณที่ใช้ควบคุมการเดินรถมาเป็นเวลานานการรถไฟจึงยังคงใช้สัญญาณทางปลาอยู่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่ความเร็วสูงสุดของการรถไฟในปัจจุบันอยู่ที่ 90-120 กม./ชม. มีระยะเบรกอยู่ระหว่าง 700-1,000 เมตร ซึ่งถือว่าไม่ปลอดภัย แต่ยังมีแนวโน้มว่าโชคดีที่ภูมิประเทศและภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นใจ กล่าวคือ ทางรถไฟส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่ราบเป็นทางตรงโล่งประกอบกับทัศนวิสัยของประเทศกว่า 60-70% อยู่ในสภาพที่ระยะการมองเห็น สัญญาณไกลกว่าในยุโรปหรือญี่ปุ่น

ดังนั้น สัญญาณไฟสีจึงเข้ามาแทนที่สัญญาณใบธงด้วยเหตุผลเรื่องข้อจำกัดนี้ สัญญาณไฟสีซึ่งส่งสัญญาณผ่านสายไฟฟ้า มีข้อดีที่สามารถจัดวางระบบสัญญาณได้สอดคล้องกับความยาวของขบวนรถและระยะเบรกของขบวนรถ นอกจากนั้นสัญญาณไฟสียังมีข้อดีอื่นๆในเรื่องความปลอดภัย การจัดเตรียมทางเข้าออกสถานีของขบวนรถ และมีส่วนช่วยลดความบกพร่องของคน เพราะอุปกรณ์ในระบบสัญญาณไฟสีมีการตรวจสอบอัตโนมัติ จึงมีความปลอดภัยสูงกว่าระบบสัญญาณใบธงซึ่งเป็นระบบทางเครื่องกล ช่วยให้การเดินขบวนรถไฟมีประสิทธิภาพขึ้น สัญญาณไฟสีใช้เลนส์บีบแสงจากหลอดสัญญาณกำลังสูงทำให้คนขับรถไฟมองเห็นสัญญาณชัดเจน สัญญาณไฟสีสามารถเพิ่มการสื่อความหมายได้มากตามความต้องการของวิศวกรผู้ออกแบบ

ระบบสัญญาณไฟสีของการรถไฟ ติดตั้งสัญญาณเตือนในทางประธานห่างจากสัญญาณเข้า 1,000 เมตร ในขณะที่การออกแบบริดไฟ (ทางเดี่ยว) กำหนดให้ระยะเบรกที่ความเร็ว 120 กม./ชม. ไม่เกิน 700 เมตร ส่วนระยะเบรกขบวนรถที่ความเร็วเดียวกันไม่เกิน 1,000 เมตร การวางสัญญาณเตือนไว้หน้าสัญญาณเข้าโดยมีระยะห่างเท่ากับระยะเบรกขบวนรถทำให้การเดินรถไฟปลอดภัยแม้ในกรณีที่ทัศนวิสัยการมองเห็นสัญญาณเลวร้ายที่สุด (ระยะการมองเห็นเป็นศูนย์) ซึ่งคนขับรถไฟสามารถควบคุมขบวนรถได้อย่างปลอดภัย กล่าวคือ เมื่อวิ่งผ่านสัญญาณเตือนแล้วเห็นเป็นท่าเตือน (เหลือง) ก็รู้ว่าสัญญาณเข้าเป็นท่าห้าม (แดง) และสามารถหยุดขบวนรถได้ทัน



รูปที่ 2.2 สัญญาณเตือนของระบบไฟสีติดตั้งอยู่หน้าสัญญาณเข้ามากกว่าระยะเบรก

อย่างไรก็ดี การติดตั้งสัญญาณเตือนไว้หน้าสัญญาณเข้าเป็นระยะทางไกลก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสัญญาณมีราคาแพง นอกจากนั้น ในกรณีที่ตอนสัญญาณสั้นอาจทำให้สัญญาณเข้ามาเกยทับกัน สร้างความสับสนให้กับคนขับรถไฟ ในกรณีที่ไม่มีระบบการสื่อสารระหว่างภาคพื้นดินกับขบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถ อาจเกิดการหลงสัญญาณคือมองเห็นสัญญาณของตอนสัญญาณอื่นเป็นตอนสัญญาณที่กำลังควบคุมขบวนรถอยู่ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุขบวนรถไฟชนกันหลายครั้งแม้ว่าจะติดตั้งระบบไฟสีแล้ว ดังนั้นในเขตเมืองซึ่งขบวนรถวิ่งช้าเพราะติดข้อจำกัดอื่นก็ไม่จำเป็นต้องติดตั้งสัญญาณเตือนห่างจากสัญญาณกำกับตอนถึง 1,000 เมตร

สัญญาณไฟสียังเพิ่มขีดความสามารถในการสื่อสารสัญญาณเพื่อรองรับเส้นทางที่มีขบวนรถเดินหนาแน่นและวางเร็ว (ระยะเบรกยาว) โดยการเพิ่มท่าในการสื่อความหมายของสัญญาณให้มากขึ้น การรถไฟใช้ไฟสีแบบ 3-Aspect ซึ่งนิยมใช้อยู่โดยทั่วไปตามลักษณะการเดินทางขบวนรถที่เป็นอยู่

สัญญาณไฟสียังสามารถแสดงเส้นทางที่คนขับจะต้องนำขบวนรถเข้าไปโดยการติดตั้งแถบดวงไฟไว้เหนือสัญญาณ เรียกว่าสัญญาณบอกทาง ถ้าสัญญาณสว่างขึ้นแสดงว่าให้คนขับนำขบวนรถเข้าทางแยก (เหมือนกับสัญญาณปลาที่ใช้ใบธง 2 ใบ) คนขับรถไฟจะต้องนำขบวนรถเข้าทางแยกด้วยความเร็วเท่ากับที่ออกแบบประแจไว้ การส่งสัญญาณแบบนี้มีต้นแบบมาจากประเทศในยุโรปเรียกว่าเป็น Route Signaling ซึ่งในยุโรปบางประเภท เช่น สวีเดน นอร์เวย์ และในสหรัฐอเมริกาจะพัฒนาวิธีการส่งสัญญาณอีกแบบหนึ่งขึ้นโดยใช้บังคับความเร็วเรียกว่า Speed Signaling คนขับรถไฟไม่จำเป็นต้องรู้ว่าต้องนำรถเข้าทางแยกหรือทางประธาน ระบบการส่งสัญญาณแบบนี้ได้มีวิวัฒนาการไปเป็นระบบสัญญาณของรถไฟความเร็วสูงและรถไฟขนส่งมวลชนในปัจจุบัน

2.3.7 ตอนสัญญาณ (Signal Block)

ระบบการเดินทางขบวนรถไฟต้องแบ่งเป็นตอนๆ แต่ละตอนมีความยาวอย่างน้อยเท่ากับความยาวของขบวนรถแต่ต้องไม่น้อยกว่าระยะเบรกของขบวนรถ ทางรถไฟแต่ละตอนจะมีสัญญาณกำกับเพื่อป้องกันไม่ให้มีรถไฟมากกว่า 1 ขบวน วิ่งอยู่ภายในตอนสัญญาณเดียวกัน ถ้าตอนข้างหน้ามีรถวิ่งอยู่แล้ว สัญญาณกำกับตอนนั้นจะอยู่ในท่าห้าม (ไฟแดง) ขบวนรถที่วิ่งตามหลังมาจะต้องหยุดก่อนถึงสัญญาณนี้ ถ้าในตอนไม่มีขบวนรถไฟอยู่ สัญญาณเข้ากำกับในตอนสัญญาณนั้นจะเป็นท่าอนุญาต (ไฟเขียว) โดยกฎการเดินทางรถไฟในการออกแบบระบบอัตโนมัติสัญญาณคือ ต้องมีขบวนรถในตอนสัญญาณเพียงขบวนเดียวเท่านั้นตลอดเวลา



รูปที่ 2.3 การทำงานของตอนสัญญาณ

2.3.8 วงจรไฟตอน (Track Circuit)

สำหรับระบบควบคุมการเดินทางขบวนรถสมัยก่อนนั้น การเดินทางระหว่างสถานีจะมีศูนย์ควบคุมการเดินทางเป็นผู้สั่งการ และมีการตรวจสอบมิให้ขบวนรถอยู่ในตอนระหว่างสถานี แล้วจึงจะนำขบวนรถเข้าสู่ตอนได้ โดยสถานีจะเป็นผู้ควบคุมสัญญาณให้อยู่ในท่าห้ามหรืออนุญาต จึงจะสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำเนินการดังกล่าวได้ เมื่อได้รับคำสั่งจากศูนย์ควบคุมและได้มีการตรวจสอบร่วมระหว่างสองสถานีแล้วว่าไม่มีขบวนรถอยู่ในตอน อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบขบวนรถระหว่างสถานีเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่คุ้นเคยกันดีและมักมีผู้ถามกันอยู่เสมอว่าคืออะไร เป็นเครื่องทางสะดวก (Block Equipment) ซึ่งจะมีแผ่นตรา Token นำออกจากเครื่องให้ไว้กับคนขับรถเป็นเครื่องหมายติดตัวแสดงว่าตอนต่อไปสะดวกแล้ว เพื่อเป็นหลักประกันว่าขบวนรถที่ปล่อยเข้าไปข้างหน้าได้วิ่งพ้นตอนสัญญาณนั้นไปแล้ว พนักงานขับรถก็จะส่งแผ่นตราทางสะดวกให้นายสถานีที่อยู่ปลายทางตอนเพื่อใส่คืนเข้าในเครื่องเพื่อคืนท่าห้ามหรือถ้ามีขบวนรถในตอนให้กลับสู่ท่าปกติไม่มีขบวนรถ

ระบบสัญญาณควบคุมการเดินทางขบวนรถไฟสมัยใหม่จะใช้วงจรฟิสิกส์หรือ Track Circuit เป็นเครื่องมือจับตำแหน่งของขบวนรถแทนการสื่อสารด้วยคน

2.4 โพรโตคอลสำหรับการควบคุมรถไฟจำลอง

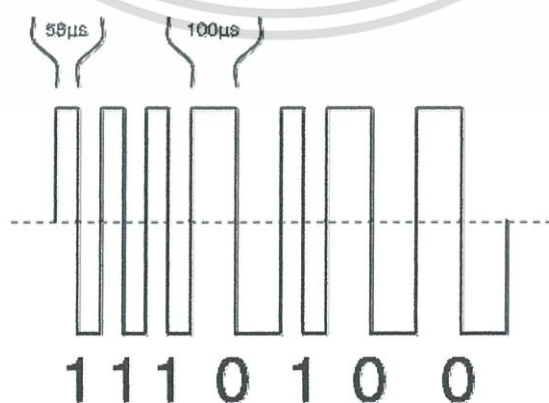
การควบคุมคำสั่งดิจิทัล (Digital Command Control หรือ DCC) เป็นมาตรฐานสำหรับระบบการดำเนินงานรถไฟในรูปแบบดิจิทัล เมื่ออุปกรณ์มีการควบคุมคำสั่งดิจิทัลสำหรับรถไฟในส่วนของไฟฟ้าเดียวกันของวงจรฟิสิกส์โดยสามารถควบคุมได้อย่างอิสระ

โปรโตคอล DCC ถูกกำหนดโดยกลุ่มคำสั่งดิจิทัลควบคุมการทำงานโดย National Model Railroad Association หรือ NMRA มีเครื่องหมายการค้า DCC ดังนั้นในการควบคุมคำสั่งดิจิทัลบางครั้งใช้เพื่ออธิบายรูปแบบดิจิทัลที่มีระบบการควบคุมรถไฟ หรือที่เรียกว่า NMRA DCC

2.4.1 หลักการทำงานของ DCC

สถานีส่งการ DCC ร่วมกับตัว booster โมดูลเคลื่อนที่ไฟฟ้าในรางให้เปลี่ยนไปเป็นรหัสดิจิทัลในขณะที่ให้กำลังไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าของรางจะเป็นสัญญาณแบบกระแสตรงสองขั้ว (Bipolar DC) ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบของไฟฟ้ากระแสสลับ แต่สัญญาณ DCC ไม่ได้เคลื่อนเป็นรูปคลื่นไซน์ (sine wave) ตัวสถานีส่งการจะเปลี่ยนทิศทางของศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้เกิด Modulated pulse wave แทน ช่วงเวลาของศักย์ไฟฟ้าที่ถูกใช้ในแต่ละทิศทางใช้กับวิธีที่จะแปลงข้อมูล สำหรับข้อมูลบิตหนึ่งช่วงเวลาจะสั้น (ประมาณ 58 ไมโครวินาทีในครึ่งรอบ) ขณะที่บิตศูนย์แสดงถึงคาบที่ยาว (อย่างน้อยประมาณ 100 ไมโครวินาทีในครึ่งรอบ)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสัญญาณ DCC และการเข้ารหัสบิตสตรีม (Bit Stream)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละหัวรถไฟจะถูกติดตั้งเครื่องถดถ่วง DCC แบบเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถรับสัญญาณจากราง เปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง รวมถึงกำหนดเส้นทางของพลังงานไปยังมอเตอร์ตามที่ต้องการ พลังงานสามารถถูกกำหนดเส้นทางไปยังไฟส่องสว่าง เครื่องกำเนิดคว้น และเครื่องกำเนิดเสียง เครื่องถดถ่วงที่สถานีจะถูกติดตั้งเข้ากับรางเพื่อที่จะสามารถควบคุมการหยุดทำงาน เครื่องติดต่อสื่อสาร (เช่น เครื่องประกาศของสถานี) และระบบส่องสว่าง

ในส่วนของ DCC-powered track ความเป็นไปที่จะให้พลังงานแก่ตัวแบบจำลองหัวรถไฟแบบเดี่ยวด้วยตัวมันเองหรือจากเครื่องยนต์ DCC เทคนิคนี้เรียกว่า zero stretching ไม่ว่าจะ high pulse หรือ low pulse ของบิตศูนย์ ก็สามารถถูกขยายออกไปทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งแบบทิศทางไปข้างหน้าและย้อนกลับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพลังงานประกอบด้วยส่วนประกอบ Heavy AC ดังนั้นมอเตอร์ DC จะเกิดความร้อนได้เร็วกว่าการใช้พลังงาน DC และในมอเตอร์บางประเภท (โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้แกนหรือ coreless electric motors) อาจเกิดความเสียหายได้จากสัญญาณ DCC

2.4.2 ข้อดี

ข้อดีที่สำคัญของการใช้ DCC แทนระบบ DC ปกติ คือ ความง่ายของการวางสายไฟที่ใช้ในการควบคุมหัวรถไฟหลายหัวในเวลาเดียวกันก่อนที่จะสามารถควบคุมหัวรถไฟหลายหัว รางนั้นต้องถูกวางสายเข้าไปยัง Block และสวิตช์ที่แยกกัน ถ้าผู้ควบคุมไม่สามารถที่จะเปิดปิดตัวควบคุมของ Block ได้ก่อนที่จะหัวรถไฟจะเข้ามาได้ การลัดวงจรหรือการเสียการควบคุมอาจเกิดขึ้นได้ แต่ด้วยระบบ DCC สายไฟจะถูกรวมใน Block ใหญ่ตัวเดียว โดยผู้ควบคุมสามารถควบคุมหัวรถไฟได้โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการข้ามของ Block boundary

ตัวควบคุม DCC สามารถรวมการลอกเลียนแบบเฉื่อย (Inertia simulation) ที่ซึ่งในความเป็นจริงหัวรถไฟจะเพิ่มความเร็วหรือลดความเร็วที่ละน้อยโดยปราศจากการใส่ข้อมูลอย่างต่อเนื่องจากผู้ควบคุม เครื่องถดถ่วงแบบเคลื่อนที่ที่สามารถจะปรับพลังงานเพื่อพยายามให้รักษาความเร็วให้คงที่โดยปราศจากการรบกวนจากผู้ควบคุม ตัวควบคุม DCC ส่วนใหญ่นั้นปล่อยให้ผู้ควบคุมตั้งค่าความเร็วของหัวรถไฟหัวหนึ่ง ถัดจากนั้นจึงไปควบคุมความเร็วของหัวรถไฟอื่นอย่างรวดเร็ว

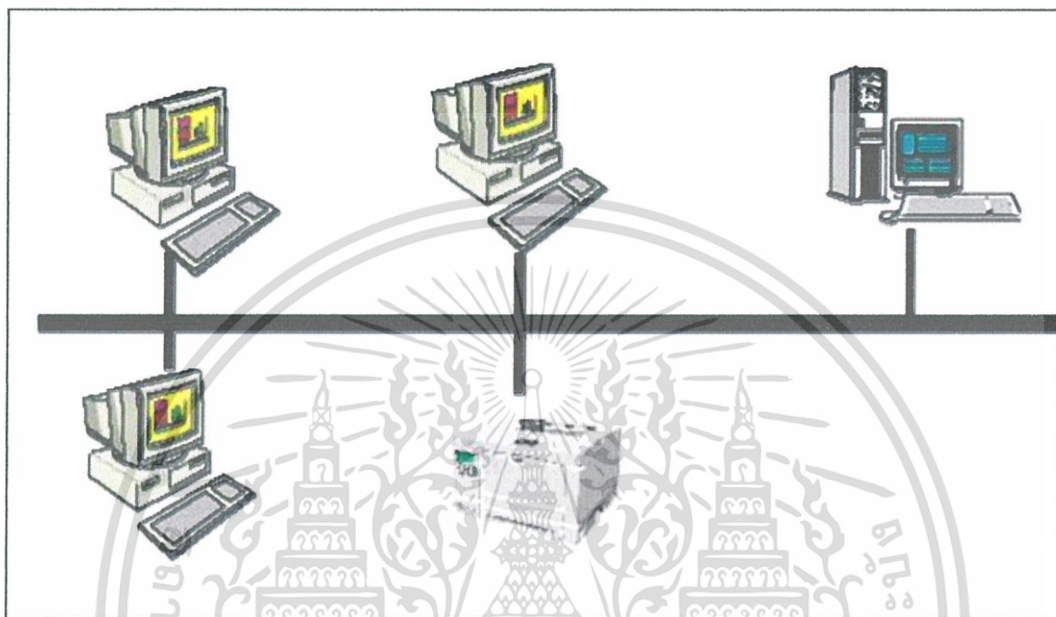
2.5 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย (Topologies)

รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายหรือมักเรียกสั้น ๆ ว่า โทโพโลยี เป็นลักษณะทั่วไปที่กล่าวถึงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทางกายภาพว่ามีรูปแบบหน้าตาอย่างไร เพื่อให้สามารถสื่อสารร่วมกันได้ และด้วยเทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นจะมีรูปแบบของโทโพโลยีหลายแบบด้วยกัน ดังนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเรียนรู้และทำความเข้าใจแต่ละโทโพโลยีว่ามีความคล้ายคลึง หรือแตกต่างกันอย่างไร รวมถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละโทโพโลยี และโดยปกติโทโพโลยีที่นิยมใช้กันบนเครือข่ายท้องถิ่นจะมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ

1. โทโพโลยีแบบบัส
2. โทโพโลยีแบบดาว
3. โทโพโลยีแบบวงแหวน

2.5.1 แบบบัส (BUS Topology)

เป็นการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องบนสายสัญญาณหลักเส้นเดียว ที่เรียกว่า BUS ที่ปลายทั้งสองด้านปิดด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Terminator ไม่มีคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งเป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อ คอมพิวเตอร์เครื่องใดหยุดทำงาน ก็ไม่มีผลกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น ๆ ในเครือข่าย



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบบัส

ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบบัส คือ

1. สามารถติดตั้งได้ง่าย เนื่องจากเป็นโครงสร้างเครือข่ายที่ไม่ซับซ้อน
2. การเดินสายเพื่อต่อใช้งาน สามารถทำได้ง่าย
3. ประหยัดค่าใช้จ่าย กล่าวคือ ใช้สายส่งข้อมูลน้อยกว่า เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อกับสายหลักได้ทันที
4. ง่ายต่อการเพิ่มสถานีใหม่เข้าไปในระบบ โดยสถานีนี้สามารถใช้สายส่งข้อมูลที่มีอยู่แล้วได้

ข้อเสียของการเชื่อมต่อแบบบัส คือ

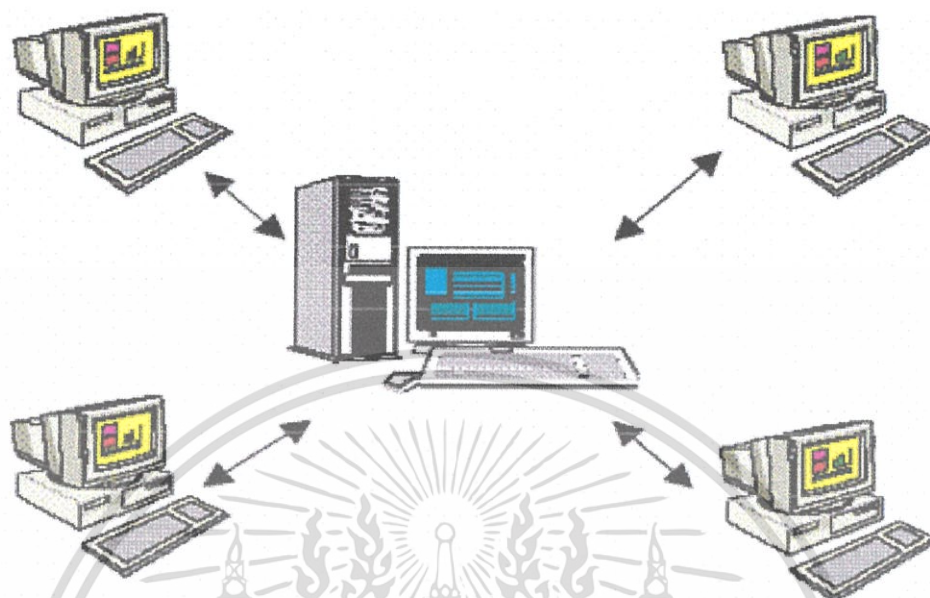
1. ถ้ามีสายเส้นใดเส้นหนึ่งหลุดไปจากสถานีใดสถานีหนึ่ง ก็จะทำให้ระบบเครือข่ายนี้หยุดการทำงานลงทันที
2. ถ้าระบบเกิดข้อผิดพลาดจะหาข้อผิดพลาดได้ยาก โดยเฉพาะถ้าเป็นระบบเครือข่ายขนาดใหญ่

2.5.2 แบบดาว (Star topology)

เป็นการเชื่อมต่อสถานีหรือจุดต่าง ๆ ออกจากคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางหรือคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่เรียกว่า File Server แต่ละสถานีจะมีสายสัญญาณเชื่อมต่อกับศูนย์กลาง ไม่มีการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายสัญญาณร่วมกัน เมื่อสถานีใดเกิดความเสียหายจะไม่มีผลกระทบต่อสถานีอื่น ๆ ปัจจุบันนิยมใช้อุปกรณ์ HUB เป็นตัวเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์แม่ข่ายหรือคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบดาว

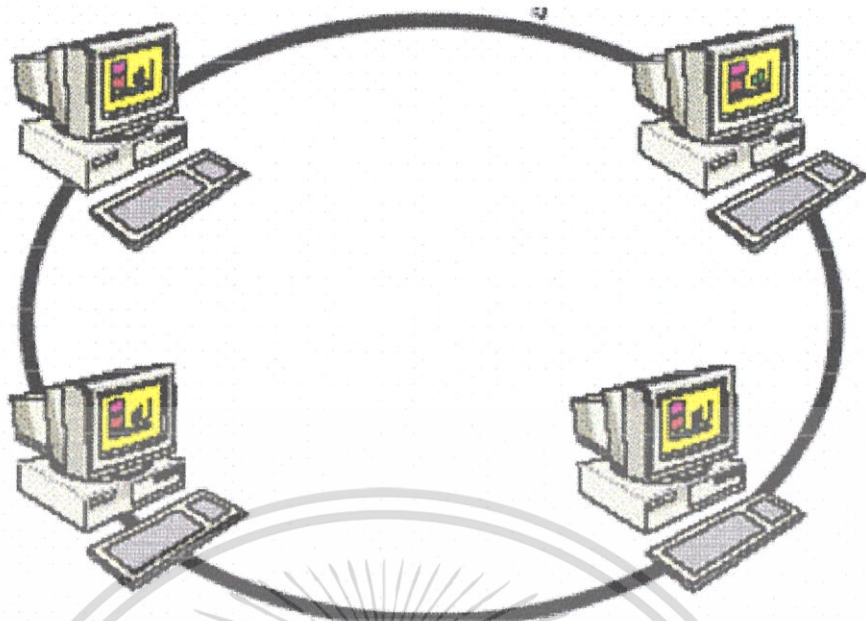
ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบดาว คือ
ง่ายต่อการให้บริการ เพราะมีศูนย์กลางอยู่ที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายอยู่เครื่องเดียวและเมื่อเกิดความเสียหายที่คอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่ง คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นก็จะมีผลกระทบอันใด เพราะใช้สายคนละเส้น

ข้อเสียของการเชื่อมต่อแบบดาว คือ
ต้องใช้สายสัญญาณจำนวนมาก เพราะแต่ละสถานีมีสายสัญญาณของตนเองเชื่อมต่อกับศูนย์กลางจึงเหมาะสมกับเครือข่ายระยะใกล้มากกว่าการเชื่อมต่อเครือข่ายระยะไกล การขยายระบบก็ยุ่งยากเพราะต้องเชื่อมต่อสายจากศูนย์กลางออกมา ถ้าศูนย์กลางเสียหายระบบจะใช้งานไม่ได้

2.5.3. แบบวงแหวน (Ring Topology)

เป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายเป็นรูปวงแหวนหรือแบบวนรอบ โดยสถานีแรกเชื่อมต่อกับสถานีสุดท้าย การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายจะต้องผ่านทุกสถานี โดยมีตัวนำสารวิ่งไปบนสายสัญญาณของแต่ละสถานี ต้องคอยตรวจสอบข้อมูลที่ส่งมา ถ้าไม่ใช่ของตนเองต้องส่งผ่านไปยังสถานีอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบวงแหวน

ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบวงแหวน คือ ใช้สายสัญญาณน้อยกว่าแบบดาว เหมาะกับการเชื่อมต่อด้วยสายสัญญาณใยแก้วนำแสง เพราะส่งข้อมูลทางเดียวกันด้วยความเร็วสูง

ข้อเสียของการเชื่อมต่อแบบวงแหวน คือ ถ้าสถานีใดเสียระบบก็จะไม่สามารถทำงานต่อไปได้จนกว่าจะแก้ไขจุดเสียนั้น และยากในการตรวจสอบว่ามีปัญหาที่จุดใดและถ้าต้องการเพิ่มสถานีเข้าไปจะพบกระทำได้ยากด้วย

2.6 การสื่อสารข้อมูลระหว่างบอร์ด Arduino ด้วยบัส I2C

บทความนี้กล่าวถึง การทดลองใช้บอร์ด Arduino (ATmega328P, 5V/16MHZ) จำนวน 2 ชุด เพื่อสื่อสารข้อมูลกัน ด้วยระบบบัส I2C โดยโปรแกรมให้ Arduino ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า I2C Master และ I2C Slave อย่างละชุด และในการเขียนโปรแกรม ได้ใช้คำสั่งจากไลบรารีที่ชื่อว่า Wire ของ Arduino

2.6.1 การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

โดยทั่วไป มักพบเห็นได้ว่า มีการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างเช่น Arduino มาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น เช่น โมดูลเซนเซอร์หลากหลายประเภท โดยใช้วิธีการสื่อสารข้อมูลตามรูปแบบของบัส I2C โดยฝ่ายหนึ่งจะทำหน้าที่ตามบทบาทที่เรียกว่า I2C Master ซึ่งโดยส่วนใหญ่ ก็จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ และอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็น I2C Slave ซึ่งอาจมีได้หลายชุด

การสื่อสารผ่านบัส I2C เป็นการสื่อสารแบบ Synchronous & Serial (หมายถึง การส่งข้อมูลที่ละบิต และใช้สัญญาณ Clock ในการกำหนดจังหวะการส่งข้อมูล) ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบบัส I2C คือ

ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น คือ SCL (สายสัญญาณ Serial Clock) และ SDA (สายสัญญาณข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์หรือสื่อสังคมออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Data) และเป็นสัญญาณแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) มีวงจรมีในสำหรับ I/O แบบ Open-Drain/Open-Collector (เวลาใช้งานต้องมีตัวต้านทานแบบ Pull-up Resistors ต่ออยู่ด้วย)

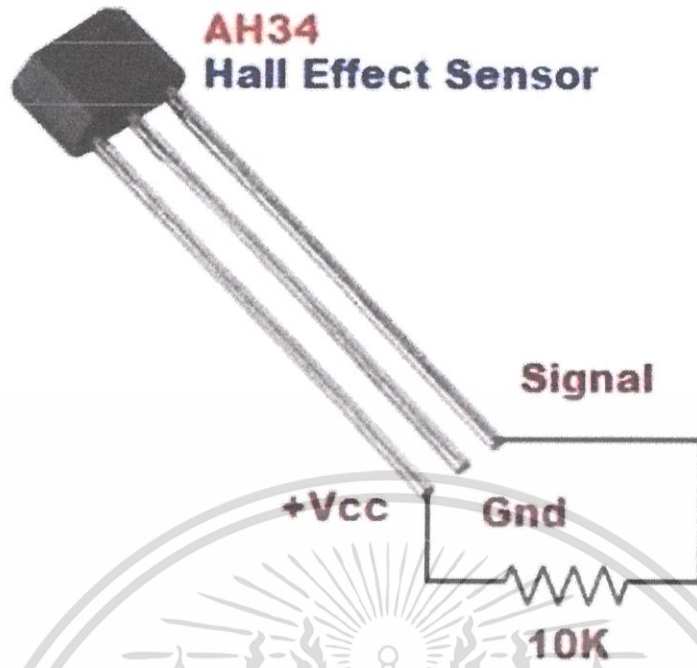
บัส I2C สามารถพ่วงอุปกรณ์ได้หลายอุปกรณ์ แต่ละอุปกรณ์จะมีหมายเลขที่อยู่ (Device Address) ที่ต้องไม่ซ้ำกัน โดยทั่วไปจะใช้หมายเลขที่อยู่ขนาด 7 บิต (7-bit Device Address) ซึ่งระบุได้ถึง 128 อุปกรณ์ หรือถ้ามีมากกว่านั้น จะเป็น 10 บิต (10-bit Device Address) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น I2C Master จะเป็นฝ่ายเริ่มการสื่อสารข้อมูล และสร้างสัญญาณ SCL มาควบคุมจังหวะ มีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 100kHz และ 400kHz (บางกรณี ได้สูงกว่า 1MHz) เมื่อไม่มีการสื่อสารใดๆ สถานะลอจิกของ SCL และ SDA จะเป็น 1 หรือ HIGH เมื่อบัส I2C เริ่มต้นสื่อสาร อุปกรณ์ I2C Master จะส่งบิต Start (หรือเรียกว่า Start Condition) ตามด้วยการส่งไบต์ควบคุม (Control Byte) ออกไปก่อน ซึ่งจะเป็นการระบุหมายเลขของอุปกรณ์ Slave ที่อุปกรณ์ Master ต้องการจะสื่อสารด้วย และในไบต์ดังกล่าวจะมีบิตที่เรียกว่า Read/Write (R/W) Bit สำหรับระบุว่า จะเป็นการเขียนหรืออ่านข้อมูลต่อจากนั้น ถ้าเป็นบิตเขียน (R/W Bit = 0) อุปกรณ์ Master จะส่งข้อมูลไบต์ไปยังอุปกรณ์ Slave เท่านั้น แต่ถ้าเป็นบิตอ่าน (R/W Bit = 1) ต่อไปจะเป็นการรับข้อมูลไบต์จากอุปกรณ์ Slave เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นในการรับส่งข้อมูลแต่ละไบต์ ฝ่ายรับจะต้องทำการส่งบิตที่เรียกว่า ACK (Acknowledge) Bit ซึ่งจะต้องเป็นลอจิก 0 (ดึงสัญญาณ SDA ลง GND) เมื่อ SCL เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ฝ่ายส่งทราบว่า ได้รับข้อมูลไบต์แล้วและพร้อมจะทำงานต่อไป ถ้าจบการสื่อสาร ก็จะต้องส่งบิต Stop (หรือเรียกว่า Stop Condition)

การเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino เพื่อใช้สื่อสารข้อมูลผ่านบัส I2C ก็ทำได้ไม่ยาก เพราะสามารถเรียกใช้คำสั่งจากไลบรารีของ Arduino (ใช้ซอฟต์แวร์ตามเวอร์ชัน 1.0.x) ที่ชื่อว่า Wire และสามารถใช้งานได้ทั้งกรณี I2C Master หรือ I2C Slave ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะอยู่ที่ 100kHz (default) และมีการใช้งานตัวต้านทาน pull-up ซึ่งอยู่ในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Arduino อีกด้วย

2.7 Hall-Effect Sensors (Magnetic Sensors)

2.7.1 ทฤษฎี

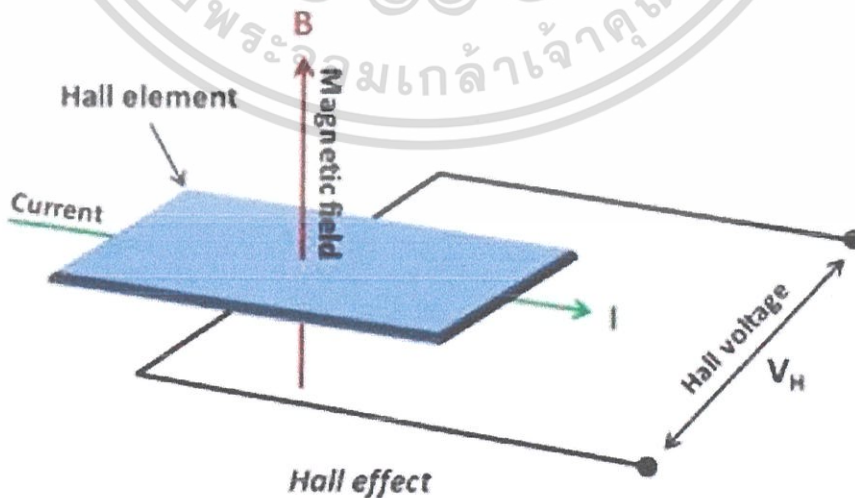
การใช้งานฮอลล์เซนเซอร์เป็นการใช้วัดค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้นแต่ละรุ่นก็จะมีราคาแตกต่างกันออกไปหากมีความรู้จักกับ Hall-Effect Sensors ก่อน



AH34
Hall Effect Sensor

รูปที่ 2.8 เซ็นเซอร์แม่เหล็ก

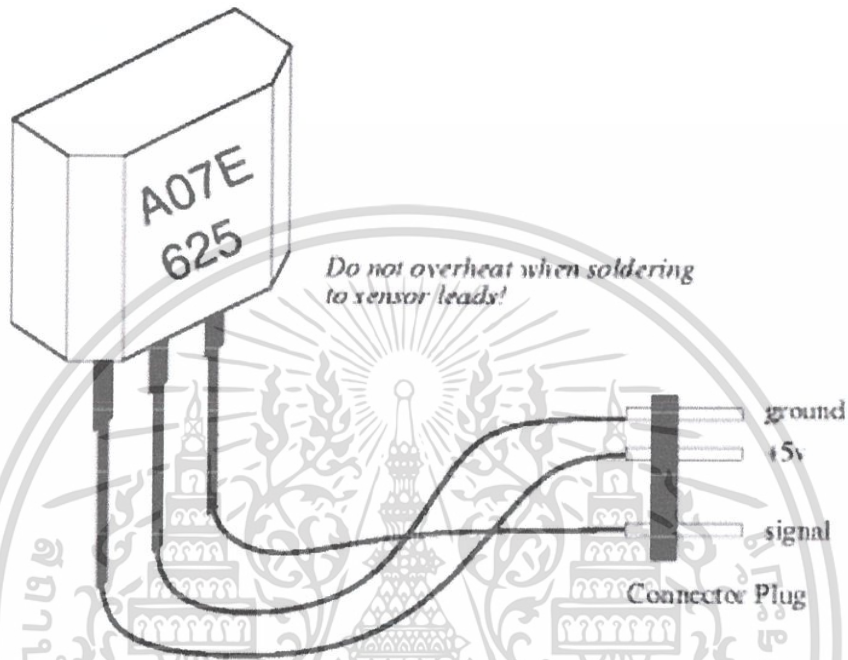
Hall-Effect มาจาก ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่ค้นพบ โดย Edwin Hall ในปี พ.ศ. 2422 สิ่งที่ค้นพบสรุปได้ดังนี้ว่าแผ่นตัวนำ เมื่อมีฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) มากระทำในทิศทางตั้งฉาก กับ แผ่นตัวนำ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า หรือแรงดัน เรียกว่า แรงดันฮอลล์ (Hall Voltage) ขึ้นที่ตัวนำในทิศทางตั้งฉาก กับ กระแส และ ฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแสคงที่ให้แก่แผ่นตัวนำจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จาก ขั้วลบ ไป ขั้วบวกทำให้ตัวนำเบี่ยงเบนไปด้านบนของตัวนำ เนื่องจาก อิเล็กตรอนมีประจุเป็น ประจุลบ ทำให้ด้านบนของแผ่นตัวนำมีขั้วไฟฟ้าเป็นลบส่วนด้านล่างของแผ่นตัวนำจะมีขั้วตรงข้ามกับด้านบน



รูปที่ 2.9 ทฤษฎี Hall effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัดความต่างศักย์ระหว่างด้านบนกับด้านล่างทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าออกมาเป็นแรงดันลบ โดยขนาดของแรงดันที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่มากระทำ หากความเข้มสนามแม่เหล็กมากก็จะทำให้เกิดแรงดันมาก ส่วนกรณีที่มีการกลับขั้วแม่เหล็กจะทำให้แรงดันเอาต์พุตกลับขั้วกับกรณีที่กำลังมา



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของ Hall effect

2.7.2 ประโยชน์ของ Hall - Effect

สามารถนำ Hall - Effect Sensor มาใช้ในการวัดความเร็วรอบของสิ่งของต่าง ๆ รวม

2.8 Power supply

2.8.1 Unregulated (หรือเรียกอีกอย่างว่า brute force)

Unregulated power supply นั้นเป็นแบบธรรมดา ซึ่งประกอบไปด้วย transformer, rectifier และ low-pass filter โดยทั่วไป power supplies ชนิดนี้ จะจ่ายค่า voltage ไม่คงที่ และยังมีสัญญาณ AC มารบกวนในขณะที่จ่ายไฟ DC ถ้าค่าอินพุต voltage ไม่คงที่ ก็จะทำให้ค่าเอาต์พุต voltage ที่จ่ายออกมาไม่คงที่ไปด้วย

ข้อดีของ Unregulated supply ก็คือราคาถูก ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพ

2.8.2 Linear regulated

Linear regulated supply ก็คือ unregulated power supply ตามด้วยวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในโหมด "active" หรือ "linear" ด้วยเหตุนี้จึงได้ชื่อว่า linear regulator โดยทั่วไป linear regulator ถูกออกแบบมาให้จ่ายค่า voltage ตามที่กำหนดสำหรับ input voltages ย่างกว้าง และมันจะลดค่า input voltage ที่เกินมาเพื่อให้สามารถจ่ายค่า output

ราคาไม่แพงเกินไป แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่เหมือนกัน การเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

voltage สูงสุดให้แก่โหลด ผลจากการลดค่า input voltage ที่เกินมา แสดงออกมาในรูปของความร้อน แต่ถ้า input voltage ลดต่ำลง จะทำให้วงจรทรานซิสเตอร์สูญเสียการควบคุม นั้นหมายถึงว่า มันไม่สามารถรักษาระดับ voltage มันทำได้เพียงแค่ลดค่า voltage ที่เกินมาเท่านั้น ไม่ออกแบออกมา เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการลดลงของ voltage ที่มาจากภาค brute force ของวงจร เพราะฉะนั้นท่าน ต้องรักษาระดับของ input voltage ให้สูงกว่า output ที่ต้องการอย่างน้อย 1 ถึง 3 volts ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของ regulator นั้นหมายถึงว่าพลังงานได้จากวงจร regulator จะมีค่าเท่ากับ อย่างน้อย 1 ถึง 3 volts คุณกับกระแสของโหลดทั้งหมด และปลดปล่อยความร้อนออกมามาก จากสาเหตุนี้ทำให้ regulated power supplies ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ และจากการที่ต้องระบายความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้มันต้องใช้ตัวระบายความร้อนขนาดใหญ่ส่งผลให้มันมีขนาดใหญ่ น้ำหนักเยอะ และราคาแพง

2.8.3 Switching

Switching regulated power supply ("switcher") เกิดจากความพยายามรวมข้อดีของการออกแบบทั้ง brute force and linear regulated power supplies (เล็ก , มีประสิทธิภาพ , และถูก อีกทั้งยัง "สะอาด", voltage ที่จ่ายออกมาก็คงที่) การทำงาน ของ switching power supplies ใช้วิธีการปรับค่าของ AC power line voltage ที่เข้ามาให้เป็น DC แล้วเปลี่ยนมันให้เป็น square-wave AC ที่มีความถี่สูง โดยผ่าน transistors ที่ทำงานเหมือนสวิตช์เปิด-ปิด แล้วปรับค่า AC voltage ขึ้น-ลง โดยใช้ lightweight transformer จากนั้นเปลี่ยนค่า AC output ให้เป็น DC แล้วกรองสัญญาณก่อนจ่ายค่าออกไป การปรับค่า voltage ทำได้โดยการปรับที่ หม้อแปลงด้าน primary เพื่อเปลี่ยน duty-cycle ของ DC-to-AC inversion เหตุผลที่ switching power supplies มีน้ำหนักเบากว่าแบบอื่นก็เนื่องมาจากแกนของหม้อแปลงที่มีขนาดเล็กกว่า

ข้อดีของ Switching power supplies ที่ทำให้มันเหนือกว่า 2 แบบแรกคือ power supply แบบนี้สามารถใช้ได้กับระบบไฟฟ้าทุกแบบที่มีในโลกนี้ ด้วยเหตุนี้มันจึงถูกเรียกว่า "universal" power supplies

ข้อเสีย ของ switching power supplies คือมันค่อนข้างซับซ้อนมากกว่า และ ดูจากการทำงานของมันจะเห็นว่า มันจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน AC ที่มีความถี่สูงกับสายไฟมาก Switching power supplies ส่วนใหญ่เวลาจ่ายค่าออกมาก็มี voltage ไม่คงที่เช่นกัน Switching power supplies ที่มีราคาถูกนั้นก็มึสัญญาณรบกวนและค่าไม่นิ่ง แยกพอๆ กับ unregulated power supply ถ้าพูดถึงพวก low-end switching power supplies แล้วก็ไม่ถึงกับไม่มีค่า เพราะมันก็ยังสามารถให้ output voltage ที่คงที่ และมีคุณสมบัติของ "universal" input สำหรับ Switching power supplies ที่มีราคาแพงนั้น ไฟที่จ่ายออกมาจะนิ่งและมีสัญญาณรบกวนน้อยพอๆกับ แบบ linear ราคาที่แพงใกล้เคียงกับ linear supplies เหตุผลในการเลือกใช้ switching power supplies ที่มีราคาแพง แทนที่จะใช้ linear power supplies ที่ดี ก็คือในกรณีที่ต้องการใช้กับ universal power system หรือต้องการประสิทธิภาพสูง น้ำหนักเบา และ ขนาดที่เล็กคือ เหตุผลที่ switching power supplies ถูกใช้อย่างกว้างขวางในพวกวงจรคอมพิวเตอร์ที่เป็นดิจิทัล

2.8.4 Ripple regulated

เป็นการผสมผสานกันระหว่าง "brute force" กับ "switching" โดยรวมเอาข้อดีของทั้งสองแบบไว้ในตัวมันเอง Ripple-regulated power supply เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการออกแบบวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

linear regulated: "brute force" power supply (transformer, rectifier, and filter) ประกอบไปด้วย ส่วนหน้าของวงจร แต่ทรานซิสเตอร์ก็ทำงานในโหมด on/off (saturation/cutoff) โดยทำหน้าที่ส่งผ่าน DC power ไปยัง คาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ เพื่อรักษาระดับ output voltage ให้อยู่ในช่วงสูง และต่ำของค่าที่กำหนด เช่นเดียวกับใน switching power supply เมื่ออยู่ในโหมด "active" หรือ "linear" ทรานซิสเตอร์ ที่อยู่ใน ripple regulator นั้นไม่ยอมให้กระแสผ่านไปได้อย่างเต็มที่ตามอุปสรรคที่ใหญ่ที่สุดของวงจร Regulation คือ การกระเพื่อมของ voltage ที่จ่ายออกไปซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น DC voltage ผันผวนระหว่างค่า voltage ที่ตั้งไว้สองค่า รวมถึงการกระเพื่อมของ voltage ที่แปรผันไปตามความถี่ของ กระแสของโหลด ซึ่งจะส่งผลให้การกรองสัญญาณ DC power เป็นไปได้อย่างกว้าง Ripple regulator เมื่อเทียบกับวงจร switcher แล้วจะดูไม่ซับซ้อนเท่า และไม่มีควมจำเป็นจะต้องรองรับ voltage สูงๆจาก power line เหมือนกับที่ ทรานซิสเตอร์ของ switcher ต้องรองรับ นี่ทำให้มันปลอดภัยในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบระบบจำลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนของวิธีการดำเนินการโครงการ อธิบายถึงขั้นตอนการลงมือดำเนินงานต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่รายละเอียดการออกแบบ การคำนวณและการประเมินค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการจัดทำโครงการ ทั้งเครื่องมือที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ตลอดจนการลงมือสร้างชิ้นงานอย่างละเอียด โดยการกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ หัวข้อจากบทที่ 2 จะถูกนำมาติดตั้งเชื่อมโยงเป็นระบบใช้ควบคุมและกำหนดลักษณะการเดินรถตามเงื่อนไขต่างๆ และการทำงานระหว่างอุปกรณ์ของระบบอาณัติสัญญาณจะต้องมีความสัมพันธ์ตอบสนองซึ่งกันและกัน

3.1 การวิเคราะห์ความต้องการ

3.1.1 ความต้องการหลัก (Functional requirement)

- สามารถแสดงผลส่วนต่างๆ ผ่านทางจอมอนิเตอร์ได้
- สามารถควบคุมระบบโดยสั่งงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้
- มีความสัมพันธ์ตอบสนองซึ่งกันและกันตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดขึ้น
- สามารถเก็บข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ที่ทำในระบบได้
- ระบบมีความน่าเชื่อถือได้

3.1.2 ความต้องการรอง (Non-functional requirement)

- มีความปลอดภัยโดยมีการยืนยันต้นตอก่อนเข้าสู่ระบบ
- มีความสามารถทางด้านติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ได้
- มีระยะเวลาในการตอบสนองที่ยอมรับได้

3.2 การกำหนดส่วนต่างๆ ของโปรแกรม

3.2.1 การกำหนดการแสดงผลท่าระบบอาณัติสัญญาณรถไฟจำลอง

การแสดงผลของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้งานในปัจจุบันถูกกำหนดโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นกฎข้อบังคับการเดินขบวนรถ (ขตร.) เปรียบเสมือนกฎหมายในการเดินขบวนรถไฟที่พนักงานขับรถ (พขร.) จะต้องศึกษาทำความเข้าใจใช้เป็นกฎระเบียบสำหรับสื่อความหมายในการปฏิบัติเหมือนกันทุกเส้นทางทั่วประเทศเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและรวดเร็ว ต่อไปจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขและความหมายในการเดินรถไฟในส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางท่าระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

อุปกรณ์	สถานะ	ความหมาย
ไฟสัญญาณ	สีเขียว	สามารถผ่านทางนั้นได้
	สีแดง	ให้หยุดจนกว่าไฟสัญญาณจะเป็นมีเขียวจึงสามารถผ่านทางได้
ประแจกล	ทางตรง	บังคับให้ขบวนรถไฟไปในทิศทางตรง
	ทางเลี้ยว	บังคับให้ขบวนรถไฟไปในทิศทางเลี้ยว

3.2.2 ระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling system)

ระบบอาณัติสัญญาณเป็นระบบที่ใช้ควบคุมการเดินขบวนรถไฟ ซึ่งวิธีการควบคุมอาศัยสัญญาณไฟสีชนิดต่างๆ ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เชื่อมต่อกับสายเคเบิล (Cable) ที่วางใต้ดินขนานกับเส้นทางรถไฟเป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ โดยการออกแบบนั้นจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการเดินขบวนรถไฟแห่งประเทศไทย ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยรูปแบบของระบบอาณัติสัญญาณที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ลาดเอียง ทางโค้งและเขตชุมชน ยังรวมถึงงบประมาณที่ใช้ด้วย

3.2.3 ระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-based interlocking system)

ระบบ CBI ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากข้อเสียของระบบ เดิมที่ใช้เทคนิคเช่น รีเลย์หรือกลศาสตร์ ซึ่งระบบ CBI จะให้ขีดความสามารถในการทำงานที่หลากหลาย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบนี้จะอาศัยการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาออกแบบระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดของการเดินขบวนรถไฟเป็นไปตามการเขียนตารางควบคุม ที่ได้จากการวางอุปกรณ์ในระบบอาณัติสัญญาณ ซึ่งระบบ CBI จะมีโครงสร้างการทำงานของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.1



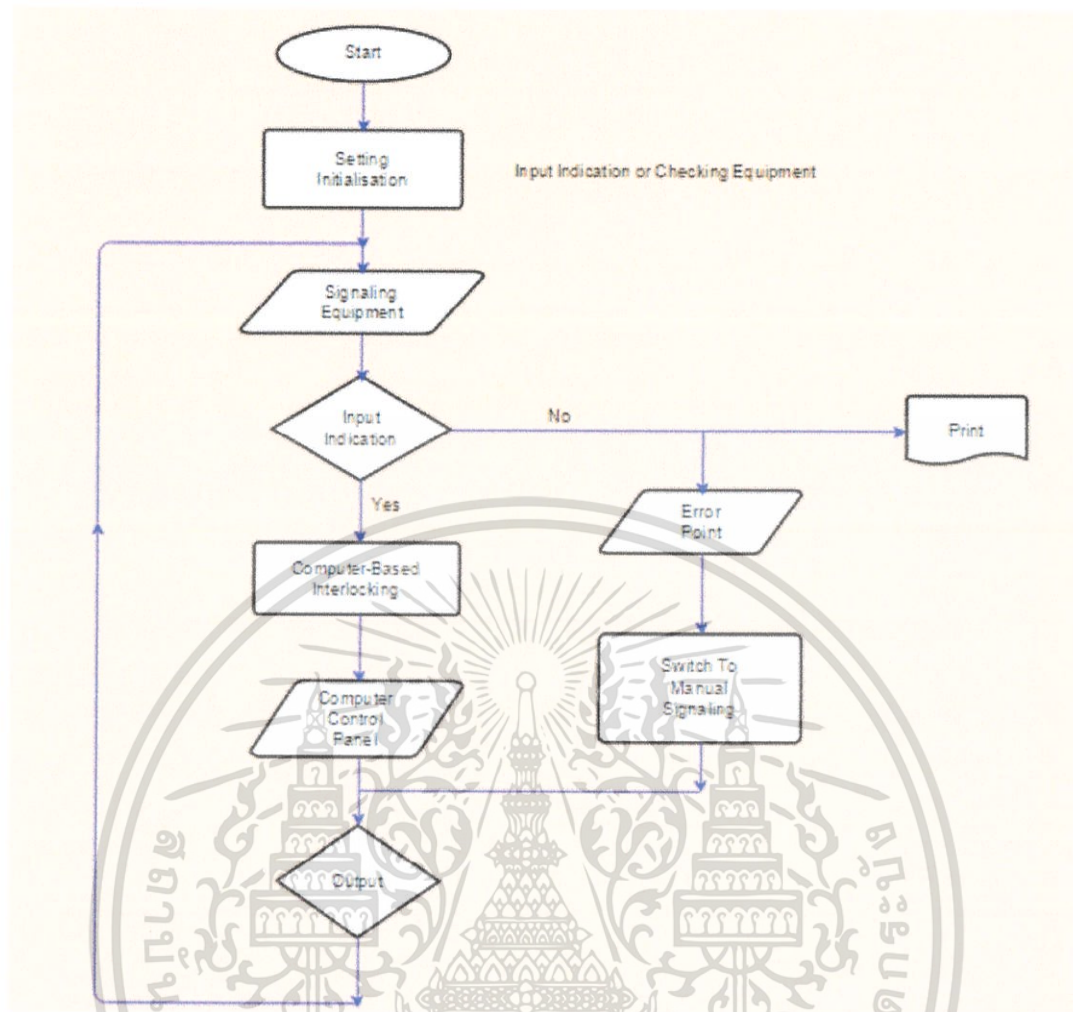
รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบ CBI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปโครงสร้างของระบบ CBI สามารถจำแนกออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์อาณัติสัญญาณ (Signaling Equipment) เป็นส่วนอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนเส้นทางรถไฟ มีหน้าที่กำหนดรูปแบบในการเดินขบวนรถ โดยการทำงานของระบบจะรับคำสั่งจากอุปกรณ์ชนิดต่างๆ มาตรวจสอบสถานการณ์แสดงท่าสัญญาณแล้วจะส่งผลที่ได้รับไปยังส่วนต่อไป คือ การบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Interlocking) ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนในการคำนวณและประมวลผล (Central Processing Unit: CPU) การแสดงสถานการณ์บังคับสัมพันธ์ (Interlocking) ของระบบอาณัติสัญญาณระหว่างระบบสัญญาณกับระบบสัญญาณ และระบบสัญญาณกับระบบประแจกล โดยมีระบบวงจรไฟต่อน เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพเส้นทางและสิ่งกีดขวาง ซึ่งจะมีการควบคุมและการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Control Panel) เป็นส่วนแสดงผลการทำงานการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณทั้งหมดทางจอมอนิเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถสั่งการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานตามตารางควบคุมการเดินขบวนรถได้อีกด้วย

นอกจากอาศัยโครงสร้างของระบบ CBI ที่ประกอบไปด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน นำมาเขียน Flow Chart Diagram ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 Flow Chart Diagram ถูกสร้างจากการพิจารณาโครงสร้างทั้งหมดของระบบว่าประกอบด้วยอะไรบ้างโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เริ่มต้นการทำงาน (Start) อุปกรณ์ในระบบจะถูกตั้งสถานะ (Setting Initialization) และมีการตรวจสอบสถานะของอินพุต (Input Indication) ต่างๆ ของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ (Signaling Equipment) ทั้งหมดว่ามีการผิดพลาดหรือไม่ ถ้าไม่ผิดพลาดข้อมูลจะถูกส่งไปยังหน่วยคำนวณและประมวลผล (Computer-Based Interlocking) โดยข้อมูลจะต้องถูกส่งไปยังส่วนแสดงผลของระบบ (Computer Control Panel)



รูปที่ 3.2 โครงสร้าง Flow Chart Diagram ของระบบ CBI

โดยเป็นภาพรวมบนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ และสามารถควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดได้ด้วย สำหรับกรณีข้อมูลผิดพลาด ข้อมูลอินพุต (Input Indication) จะต้องถูกส่งไปแสดงในจุดบกพร่อง (Error Point) รวมทั้งออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) เพื่อให้ทราบจุดบกพร่องของอุปกรณ์ และเพื่อเปลี่ยนแปลงการควบคุมการทำงานให้เป็นระบบการบังคับสัมพันธ์ทางกลแทนระบบการบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์

หลังจากการกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่สถานีเรียบร้อยแล้ว แต่ยังไม่สามารถควบคุมและกำหนดทิศทางกานวิ่งขบวนรถไฟได้ จึงต้องออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกย่านสถานี โดยอาศัยการแสดงท่าและสถานะของระบบอาณัติสัญญาณรถไฟจากตารางที่ 3.1 มาออกแบบต่อไป

3.3 การออกแบบระบบ

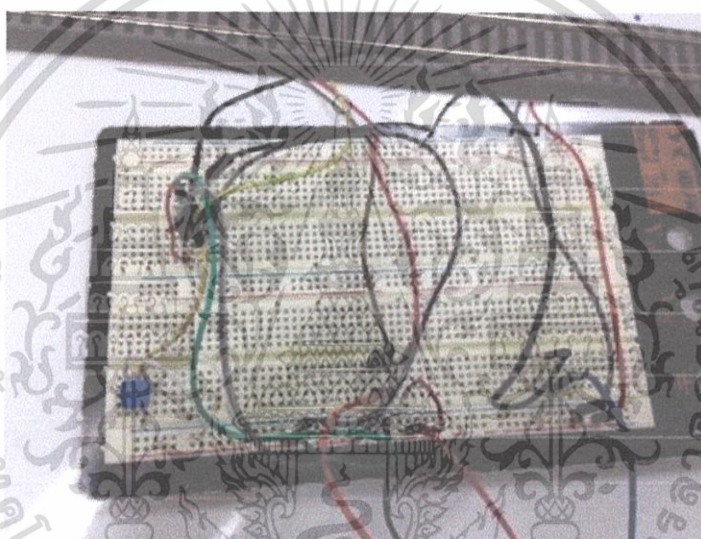
ในการออกแบบระบบจะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

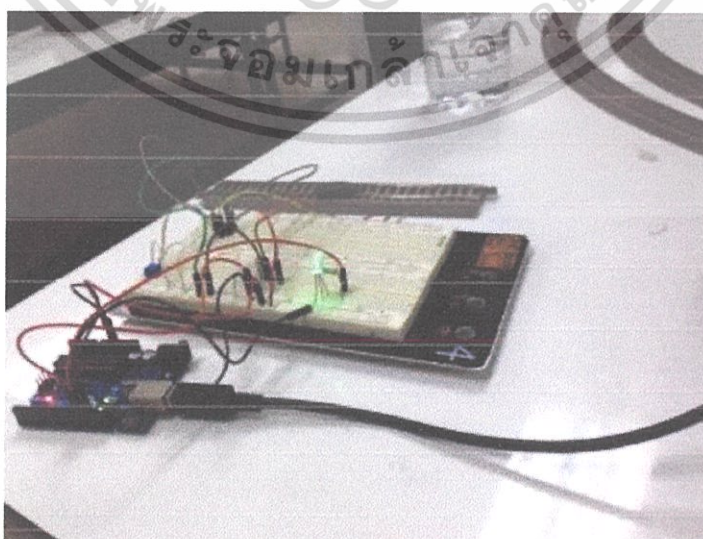
3.3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

เนื่องจากการทำการจำลองระบบอัตโนมัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง จำเป็นจะต้องมีการรับค่าเข้าสู่ระบบเพื่อนำไปประมวลผลและออกคำสั่งควบคุมอุปกรณ์ต่างๆให้สัมพันธ์กับสถานการณ์ ณ ขณะนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าขบวนรถไฟเข้ามาอยู่ ณ ตำแหน่งประแจ ตัวประแจก็จะต้องคงสถานะนั้นๆ ไว้จนกว่ารถไฟขบวนนั้นจะผ่านพ้นไปก่อน ซึ่งในส่วนของโปรแกรมก็จะไม่สามารถสั่งงานประแจให้สับได้ ณ เวลานั้นๆ หลังจากนั้นได้นำเซนเซอร์แม่เหล็กมาใช้ในการตรวจรับค่าเข้าสู่ระบบ เนื่องจากว่าเซนเซอร์แม่เหล็กทำงานเฉพาะเมื่อมีแม่เหล็กผ่านเข้ามา โดยระบบสามารถติดตั้ง ควบคุมได้ง่าย มีความเร็วสูงในการตรวจวัดค่า และราคาประหยัด แต่ก็จะมีข้อเสียอยู่บ้างบางส่วนนั่นก็คือ ระยะที่รับค่าของเซนเซอร์นั้นสั้นมากจำเป็นจะต้องติดตั้งให้ใกล้กับรางที่สุด

ในช่วงแรกได้ทดลองทำการออกแบบวงจรโดยใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันและใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้แสดงสถานะว่ามีแม่เหล็กผ่านเข้ามาหรือไม่ในระยะที่เหมาะสม



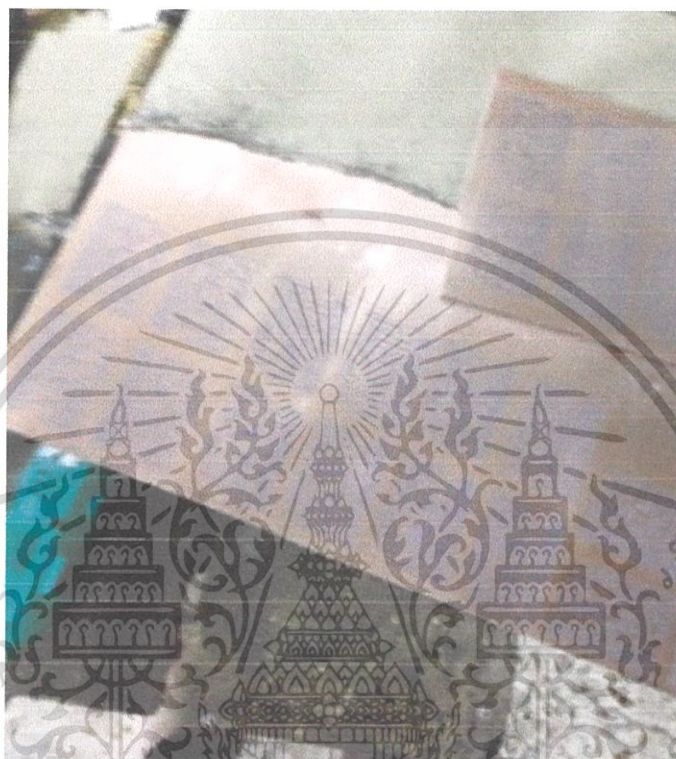
รูปที่ 3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน



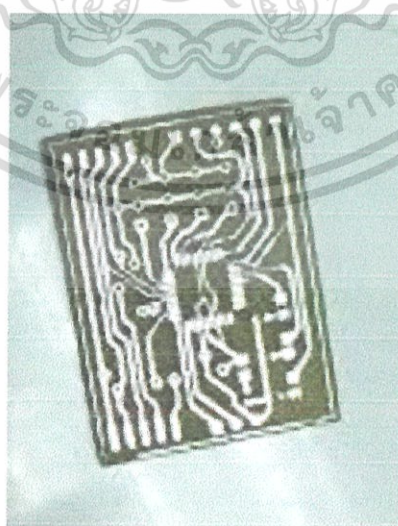
รูปที่ 3.4 ทดลองใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นได้ทำการออกแบบใหม่เนื่องจากการใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันจำเป็นจะต้องเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด Arduino หลายพอร์ตและทำให้การเชื่อมต่อสายไฟนั้นมีความยุ่งยาก การเก็บงานก็ต้องละเอียดมากยิ่งขึ้นและมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้สูง จึงเปลี่ยนวิธีการมาเป็นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แทนทำให้สามารถกำหนด address ให้กับบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็กได้ด้วย อีกทั้งยังทำให้ใช้สายไฟน้อยลงไม่ยุ่งยากต่อการเดินสาย

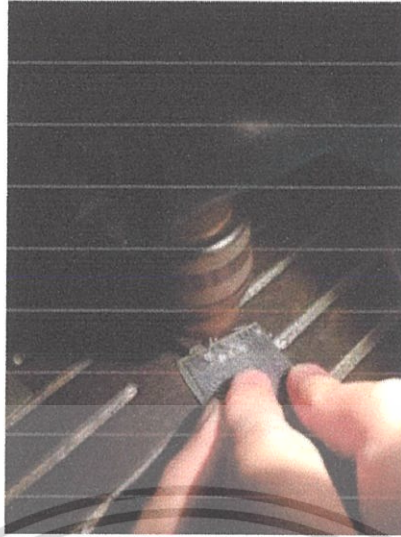


รูปที่ 3.5 ลายวงจรของเซนเซอร์แม่เหล็ก

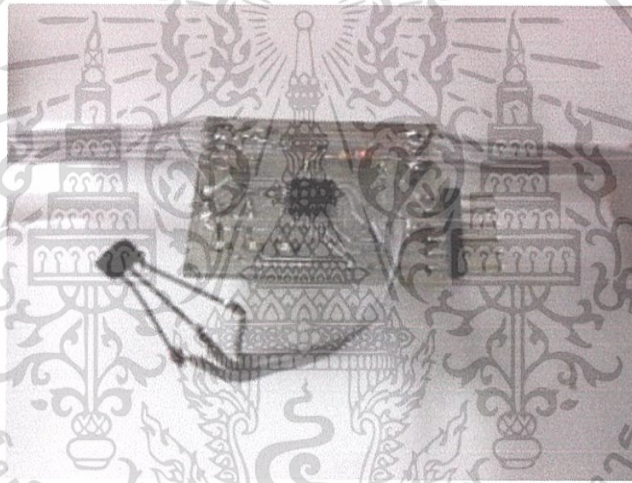


รูปที่ 3.6 แผ่นทองแดงที่ตัดแบ่งและฉาบตะกั่วที่ลายวงจรแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเจาะรูบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก



รูปที่ 3.8 เซนเซอร์แม่เหล็กที่ทำการเชื่อมต่อพร้อมใช้งาน

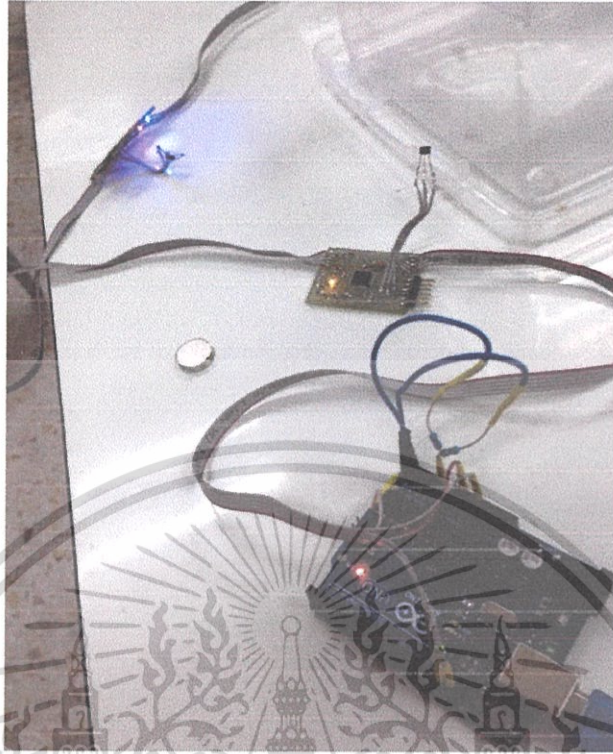
เมื่อสร้างเซนเซอร์แม่เหล็กเสร็จครบทุกชิ้นแล้วจึงนำเซนเซอร์มาเชื่อมต่อกันและทำการตรวจสอบไปที่ละชิ้นโดยใช้การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบบัส (Bus topology) เนื่องจากการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบบัสนั้นมีข้อดีคือ

1. สามารถติดตั้งได้ง่าย เนื่องจากเป็นโครงสร้างเครือข่ายที่ไม่ซับซ้อน
2. การเดินสายเพื่อต่อใช้งาน สามารถทำได้ง่าย
3. ประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากใช้สายส่งข้อมูลน้อยกว่า ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับสายหลักได้ทันที
4. ง่ายต่อการเพิ่มสถานีใหม่เข้าไปในระบบ โดยสถานีนี้สามารถใช้สายส่งข้อมูลที่มีอยู่แล้วได้
5. หากสถานีหนึ่งเกิดปัญหาจะไม่มีผลกระทบต่อสถานีอื่นๆ

แต่การเชื่อมต่อแบบบัสนั้นก็ยังมีข้อเสียเช่นกันคือ

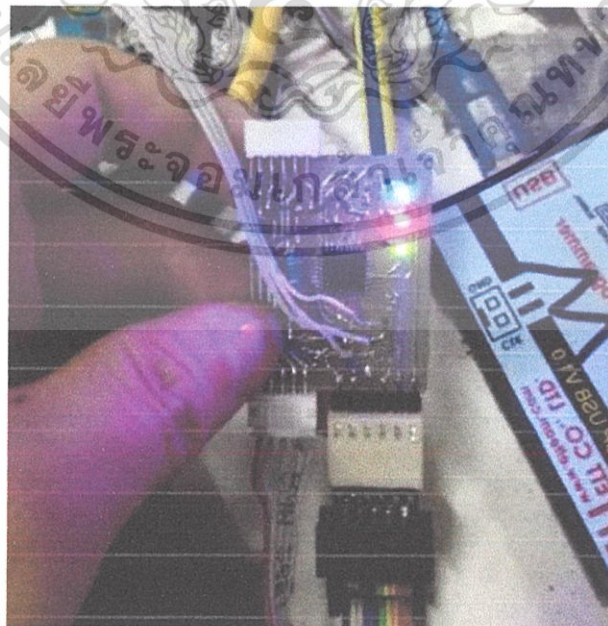
1. ถ้ามีสายเส้นใดเส้นหนึ่งหลุดไปจากสถานีใดสถานีหนึ่ง ก็จะทำให้ระบบเครือข่ายนี้หยุดการทำงานลงทันที

เอกสาร 2 นี้ ถ้าระบบเกิดข้อผิดพลาดจะหาข้อผิดพลาดได้ยาก โดยเฉพาะถ้าเป็นระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ การค้นหาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อเครือข่ายเซนเซอร์แม่เหล็กแบบบัส

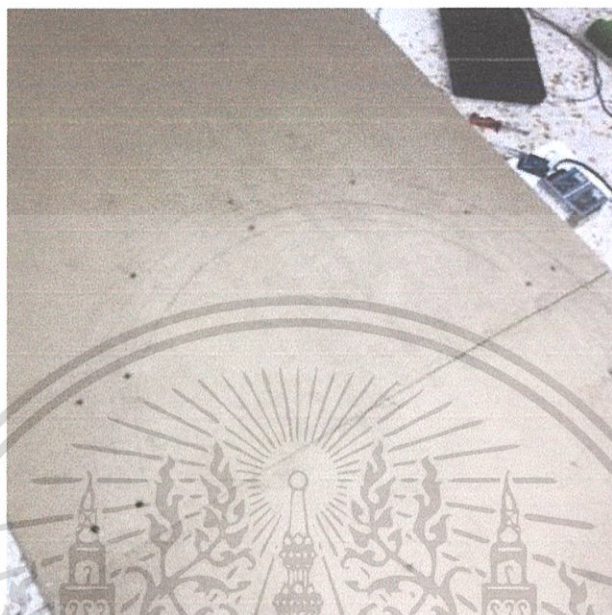
และในการทำงานนั้นบอร์ด Arduino จะวนถามค่าจากเซนเซอร์แม่เหล็กทีละตัวโดยไล่จาก address แรกไปยังตัวสุดท้ายและวนถามซ้ำไปเรื่อยๆ เมื่อเซนเซอร์แม่เหล็กตัวใดได้รับการถามค่า จะต้องส่งค่าตอบหลักการนี้คือการออกแบบโครงสร้างแบบ master-slave



รูปที่ 3.10 สั่งการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งได้นำวงจรทั้งหมดที่ออกแบบและตรวจสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำไปติดตั้งกับรางรถไฟจำลองโดยทำการเจาะรูใต้แผ่นไม้และนำส่วนรับค่าของเซนเซอร์แม่เหล็กโพล่ามายึดติดกับใต้ราง



รูปที่ 3.11 ไม้กระดานที่เจาะรูแล้ว



รูปที่ 3.12 รางรถไฟจำลองหลังจากติดตั้งเซนเซอร์ เก็บช้อนและตกแต่งเรียบร้อยแล้ว

3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการทำงานวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการเขียนโปรแกรมสำหรับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อใช้สั่งการทำงานให้รถไฟเดินขบวนรถได้ตามที่ต้องการได้ ในการออกแบบให้ใช้งานง่าย และได้ใช้โทนสีของหน้าจอเป็นโทนสีเทา เพื่อถนอมสายตาผู้ใช้ เพราะในการใช้งานจริงผู้ใช้ต้องคอยสังเกตหน้าจอตลอดเวลา อาจทำให้สุขภาพตาเสียได้ จากนั้นได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์แม่เหล็กเข้ากับบอร์ดอะตูดิโน เพื่อให้สามารถรับค่าเข้ามาในโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 แผนภาพยูสเคส (Use case diagram)

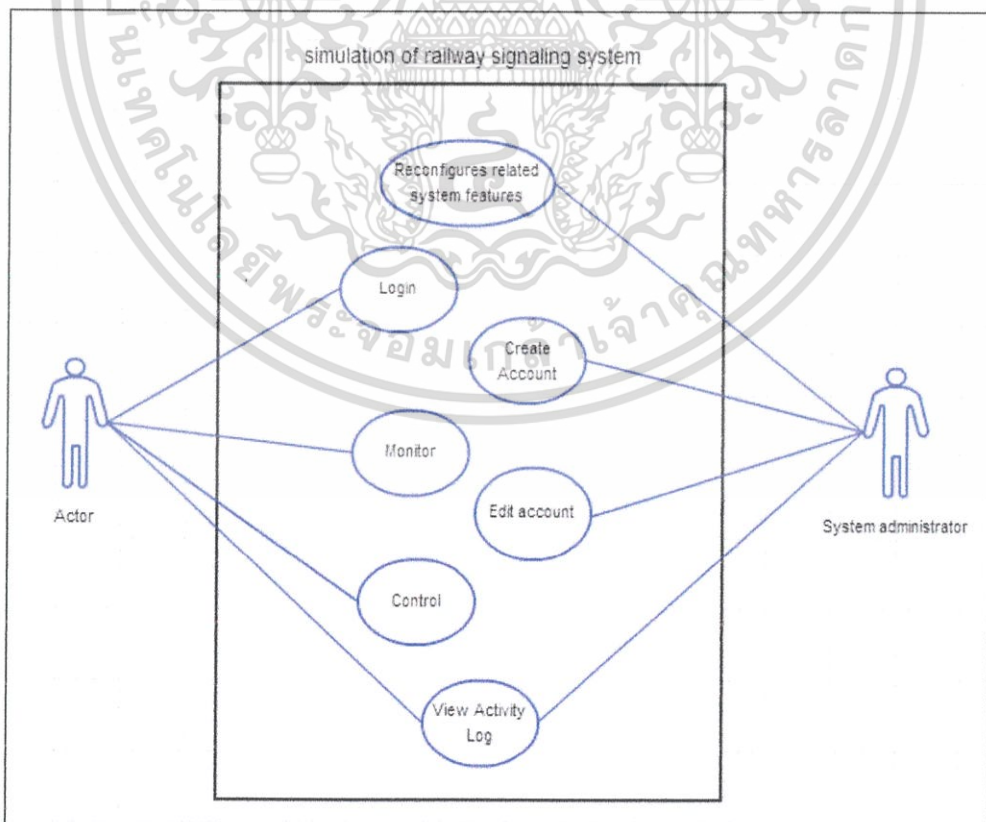
แผนภาพแสดงการทำงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้กระทำ (Actor) ที่เกิดขึ้นภายในระบบทั้งหมด โดยจะประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ดูแลระบบและส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน

- ส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ดูแลระบบ

1. ปรับปรุงระบบ เป็นส่วนที่ผู้ดูแลระบบต้องคอยปรับปรุงระบบ แก้ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบให้ระบบสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ
2. สร้างบัญชีผู้ใช้ เป็นส่วนที่ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มข้อมูลผู้ใช้ให้สามารถเข้าใช้งานระบบได้
3. แก้ไขบัญชีผู้ใช้ เป็นส่วนที่ผู้ดูแลระบบสามารถแก้ไข ปรับปรุงข้อมูลผู้ใช้ที่อยู่ในระบบ
4. ดูรายละเอียดการทำกิจกรรมในระบบ เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถดูกิจกรรมที่เกิดขึ้นในระบบ รวมถึงทราบได้ว่าผู้ใช้คนใดเป็นผู้กระทำกิจกรรมนั้นๆ ในวันเวลาใด

- ส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้งาน

1. เข้าสู่ระบบ เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานต้องระบุชื่อผู้ใช้งานและพาสเวิร์ดให้ถูกต้องเพื่อเข้าสู่ระบบ
2. มอนิเตอร์ เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถสังเกตตำแหน่งของขบวนรถและสถานะของแทรคต่างๆ ได้
3. ควบคุม เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของระบบ เลือกรถไฟ ทิศทางการเดินทาง ความเร็วในการเดินทาง รวมถึงสับประแจและเปิดปิดไฟของขบวนรถไฟ
4. ดูรายละเอียดการทำกิจกรรมในระบบ เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถดูกิจกรรมที่เกิดขึ้นในระบบ รวมถึงทราบได้ว่าผู้ใช้คนใดเป็นผู้กระทำกิจกรรมนั้นๆ ในวันเวลาใด



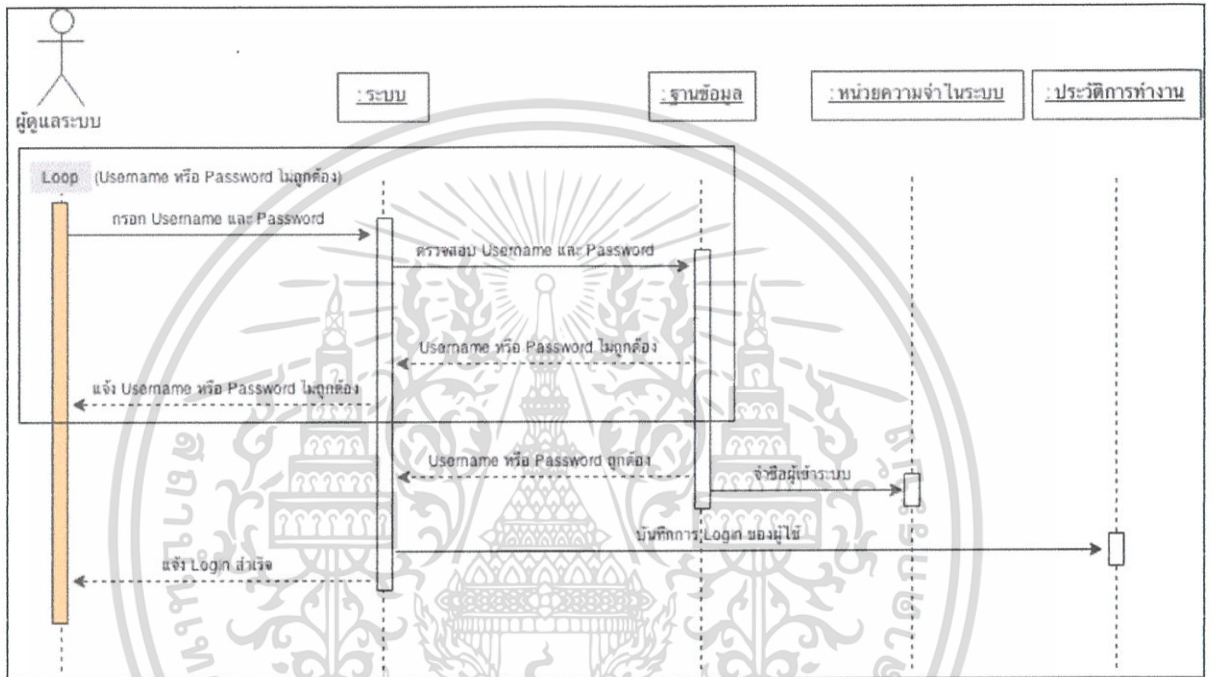
รูปที่ 3.13 Use case diagram สำหรับระบบอานัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 แผนภาพลำดับ (Sequence diagram)

1) แผนภาพลำดับการเข้าสู่ระบบ

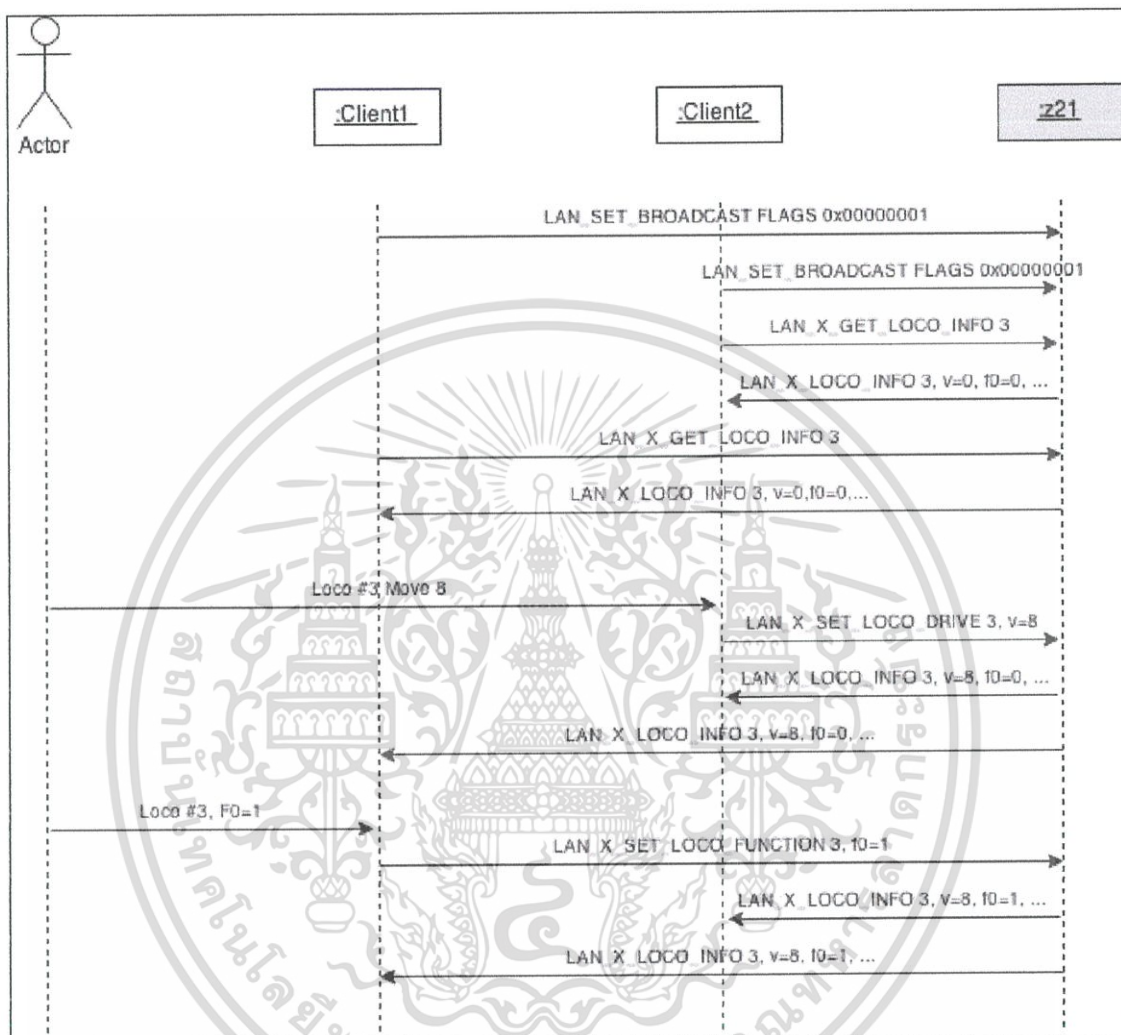
ผู้ใช้ทำการกรอกชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านเข้าไปที่หน้าระบบล็อกอิน หลังจากนั้นระบบจะส่งชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านไปตรวจสอบกับฐานข้อมูล ถ้าฐานข้อมูลตรวจสอบแล้วว่าไม่ตรงกับที่เก็บในฐานข้อมูลก็จะแสดงข้อความว่าไม่สามารถเข้าสู่ระบบได้ แล้วก็กลับไปหน้าล็อกอินอีกครั้ง แต่ถ้าตรวจสอบแล้วตรงกับที่เก็บในฐานข้อมูลก็จะจำชื่อผู้เข้าสู่ระบบ บันทึกการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้ แล้วแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าการเข้าสู่ระบบสำเร็จ



รูปที่ 3.14 แผนภาพลำดับสำหรับขั้นตอนการเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แผนภาพลำดับการส่งแพ็คเกจข้อมูลเพื่อควบคุมรถไฟ
 ในการสั่งการควบคุมรถไฟนั้นได้ทำการส่งแพ็คเกจข้อมูลเพื่อให้รถไฟสามารถทำตามคำสั่งได้อย่างถูกต้อง โดยทำการส่งข้อมูลไปยังตัวคอนโทรลเลอร์ Z21

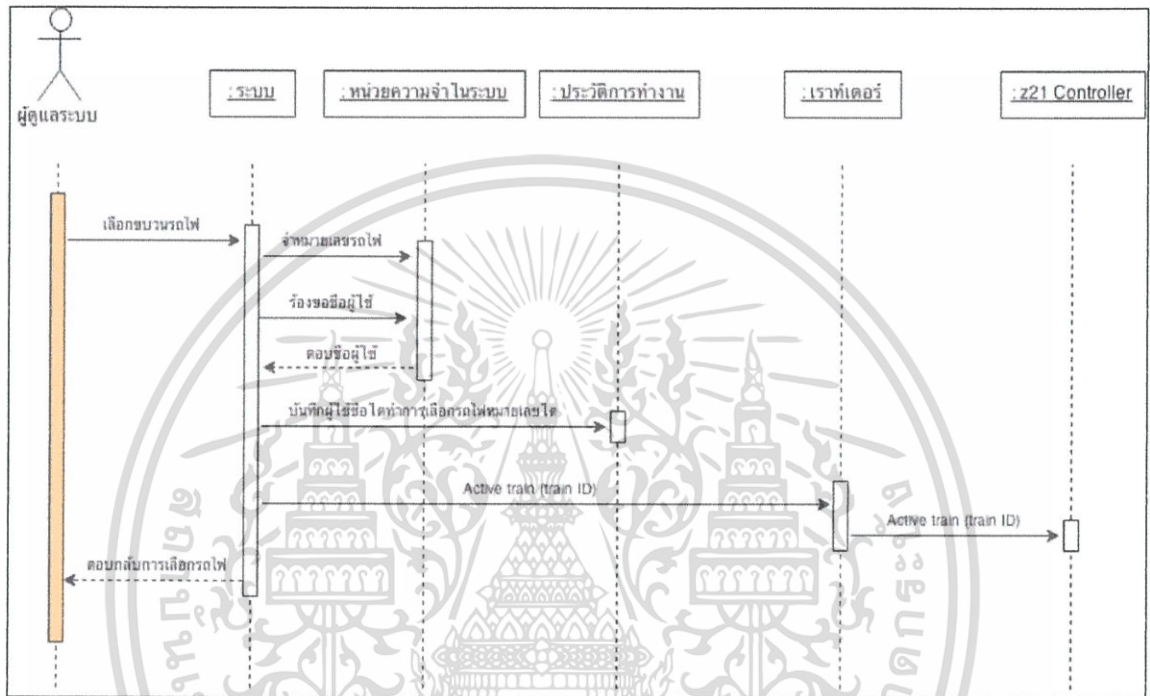


รูปที่ 3.15 แผนภาพลำดับการส่งแพ็คเกจข้อมูลเพื่อควบคุมรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แผนภาพลำดับการเลือกรถไฟ

ก่อนที่จะสั่งการให้รถไฟทำงานได้ อันดับแรกที่ต้องทำคือการเลือกรถไฟ แล้วระบบจะจำหน่ายเลขรถไฟและการร้องขอชื่อผู้ใช้ในหน่วยความจำระบบ จากนั้นหน่วยความจำระบบทำการตอบกลับชื่อผู้ใช้ให้ระบบ เพื่อนำไปบันทึกไว้ในประวัติการทำงานว่าผู้ใช้คนใดทำการเลือกรถไฟหมายเลขใด แล้วระบบจะส่งหมายเลขรถไฟไปให้กับเร้าท์เตอร์และคอนโทรลเลอร์ตามลำดับ จึงจะทำการตอบกลับการเลือกรถไฟให้กับผู้ดูแลระบบทราบ

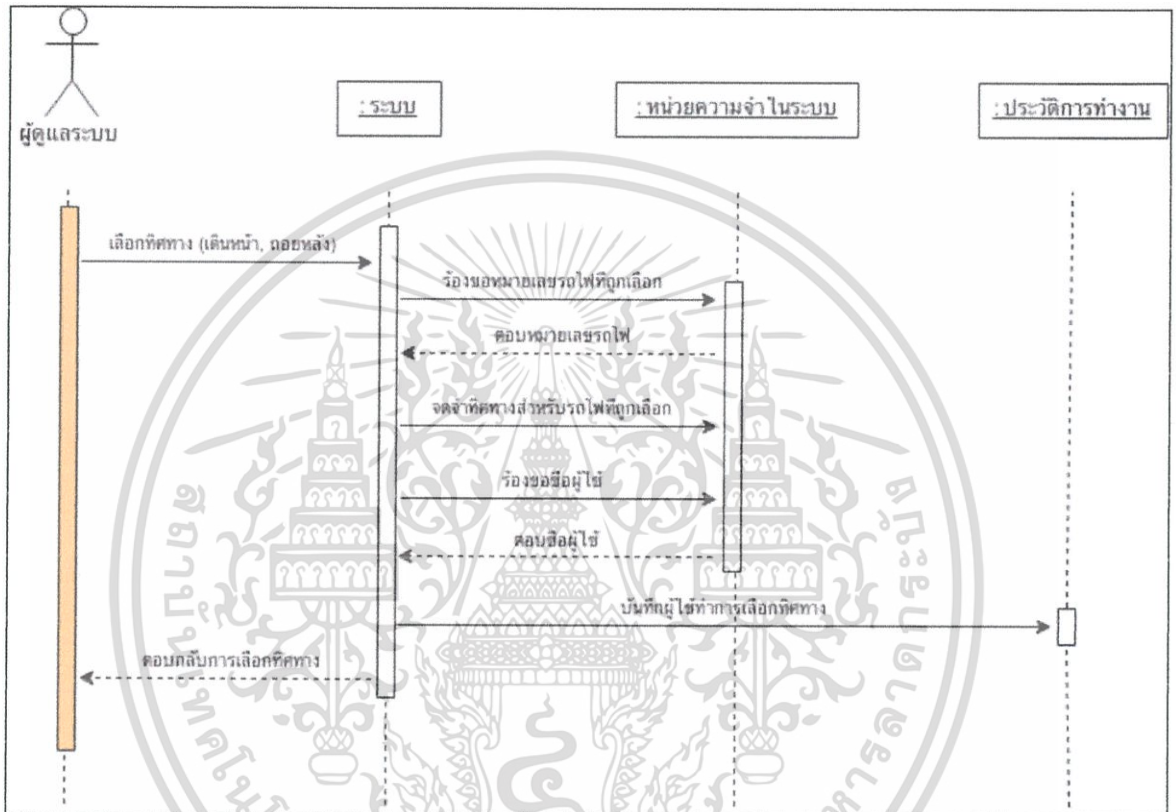


รูปที่ 3.16 แผนภาพลำดับการเลือกรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) แผนภาพลำดับการสั่งการเดินรถไฟ

ผู้ใช้ทำการเลือกทิศทางการเดินรถว่าต้องการให้เดินหน้าหรือถอยหลัง จากนั้นระบบจะทำการร้องขอหมายเลขรถไฟที่เลือกไว้ในหน่วยความจำในระบบ เมื่อได้รับการตอบกลับหมายเลขรถไฟ จะส่งทิศทางที่ทำการเลือกและการร้องขอชื่อผู้ใช้ไปยังหน่วยความจำในระบบ เมื่อได้รับการตอบกลับชื่อผู้ใช้ ระบบจะบันทึกว่าผู้ใช้คนใดทำการเลือกทิศทางใดที่ประวัติการทำงาน สุดท้ายจึงตอบกลับการเลือกรถไฟให้ผู้ใช้ได้ทราบ

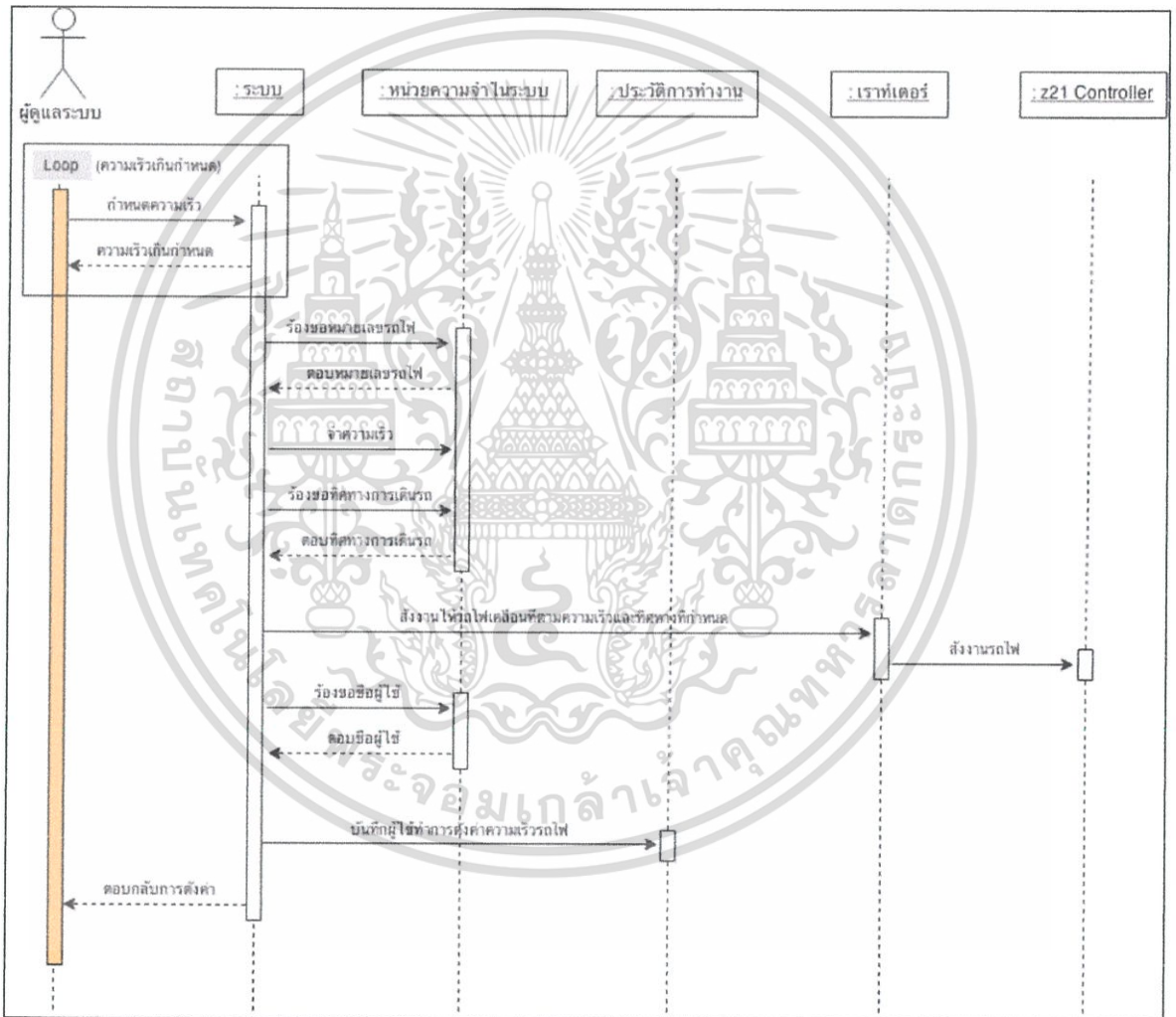


รูปที่ 3.17 แผนภาพลำดับการสั่งการเดินรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) แผนภาพลำดับการเลือกความเร็วในการเดินรถไฟ

ความเร็วในการเดินรถไฟในโครงการนี้ได้กำหนดไว้ที่ 0-80 กม./ชม. ถ้ามีการกำหนดความเร็วที่เกินจากนี้จะต้องทำการกำหนดความเร็วใหม่ จากนั้นระบบจะทำการร้องขอหมายเลขรถไฟที่เลือกไว้ในหน่วยความจำในระบบ เมื่อระบบได้รับการตอบกลับหมายเลขรถไฟจะส่งความเร็วที่กำหนดและทิศทางการเดินรถไฟในหน่วยความจำในระบบ หลังจากได้รับการตอบกลับทิศทางการเดินรถไฟจากหน่วยความจำในระบบ จะส่งการไปที่เร้าท์เตอร์เพื่อให้รถไฟเคลื่อนที่ตามความเร็วที่กำหนด แล้วเร้าท์เตอร์จึงส่งการไปยังคอนโทรลเลอร์ Z21 จากนั้นระบบจะทำการร้องขอชื่อผู้ใช้จากหน่วยความจำในระบบ เมื่อได้รับการตอบกลับมาจึงส่งรายละเอียดว่าผู้ใช้คนใดทำการตั้งค่าความเร็วรถไฟเพื่อบันทึกในประวัติการทำงาน สุดท้ายระบบจะตอบกลับการตั้งค่าให้กับผู้ใช้

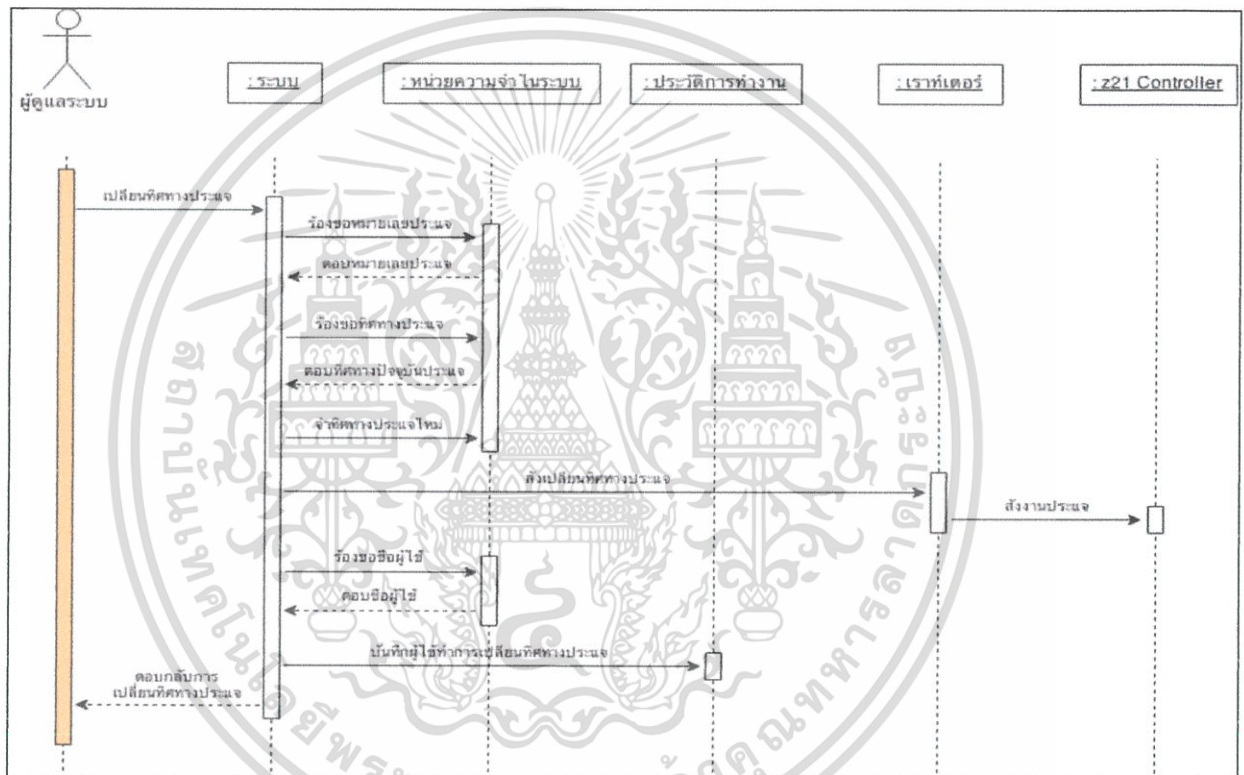


รูปที่ 3.18 แผนภาพลำดับการเลือกความเร็วในการเดินรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) แผนภาพลำดับการเลือกสับประแจ

เมื่อผู้ใช้ทำการเลือกสับประแจ ระบบจะทำการร้องขอหมายเลขประแจจากหน่วยความจำในระบบ เมื่อระบบได้รับการตอบกลับจะทำการร้องขอทิศทางประแจจากนั้นรอการตอบกลับจากหน่วยความจำในระบบ หากได้รับการตอบกลับทิศทางของประแจแล้วระบบจะบันทึกทิศทางของประแจไว้ในหน่วยความจำในระบบ แล้วจึงสั่งการเปลี่ยนทิศทางประแจไปยังเร้าเตอร์ จากนั้นเร้าเตอร์จึงสั่งงานการสับประแจให้กับคอนโทรลเลอร์ Z21 จากนั้นระบบจะทำการร้องขอชื่อผู้ใช้จากหน่วยความจำในระบบ เมื่อได้รับการตอบกลับมาจึงส่งรายละเอียดว่าผู้ใช้คนใดทำการสับเปลี่ยนทิศทางของประแจเพื่อบันทึกในประวัติการทำงาน สุดท้ายระบบจะตอบกลับการสับเปลี่ยนทิศทางของประแจให้กับผู้ใช้

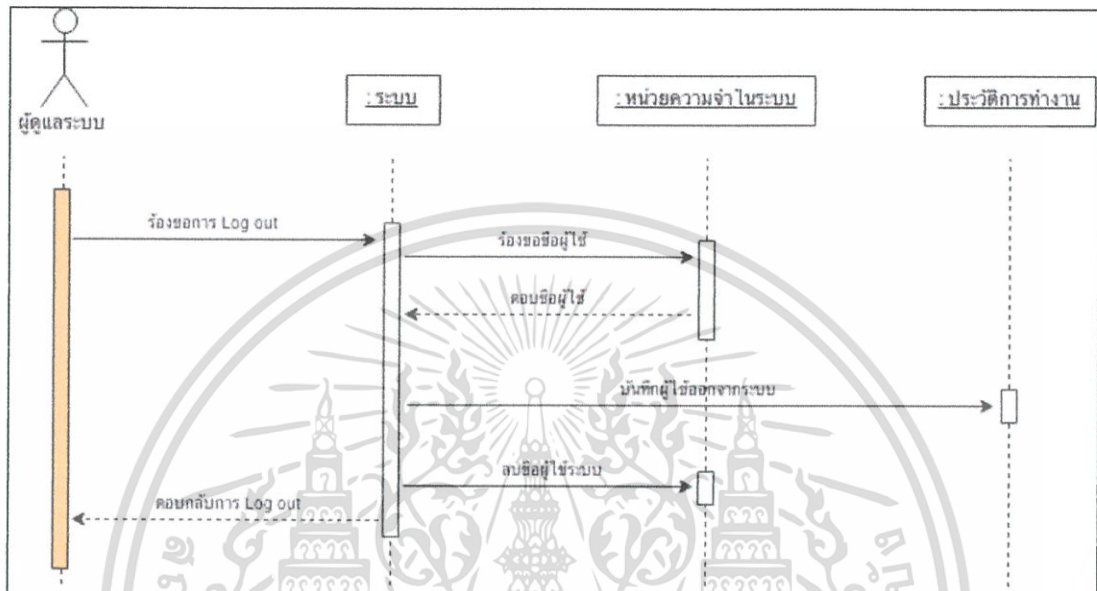


รูปที่ 3.19 แผนภาพลำดับการเลือกสับประแจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) แผนภาพลำดับการออกจากระบบ

เมื่อผู้ใช้ต้องการออกจากระบบจะทำการร้องขอไปยังระบบ จากนั้นระบบทำการร้องขอชื่อผู้ใช้จากหน่วยความจำในระบบ เมื่อได้ระบบได้รับการตอบกลับชื่อผู้ใช้ จะทำการบันทึกชื่อผู้ใช้ที่ออกจากระบบไว้ในประวัติการทำงาน แล้วจึงทำการลบชื่อผู้ใช้ระบบในหน่วยความจำในระบบ สุดท้ายจึงตอบกลับการออกจากระบบไปยังผู้ใช้



รูปที่ 3.20 แผนภาพลำดับการออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

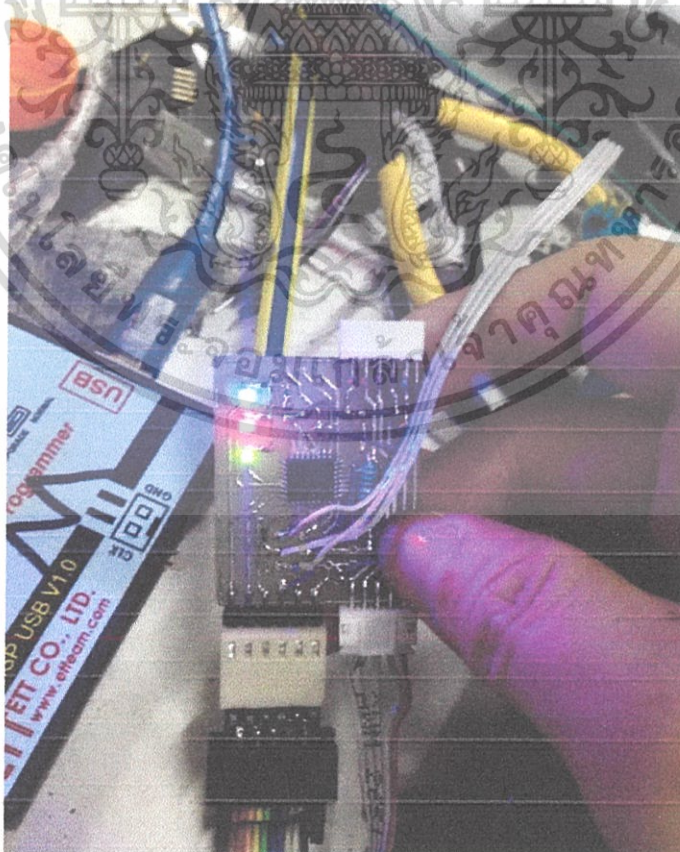
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทำงานวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการเขียนโปรแกรมสำหรับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อใช้สั่งการทำงานให้รถไฟเดินขบวนรถได้ตามที่ต้องการได้ ในการออกแบบได้ใช้โทนสีของหน้าจอเป็นโทนสีเทาเพื่อถนอมสายตาผู้ใช้ เพราะในการใช้งานจริงผู้ใช้ต้องคอยสังเกตหน้าจอตลอดเวลา อาจทำให้สุขภาพตาเสียได้ จากนั้นได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์แม่เหล็กเข้ากับบอร์ดอะดูโน เพื่อให้สามารถรับค่าเข้ามาในโปรแกรมได้

4.1 ผลการทดลองของฮาร์ดแวร์

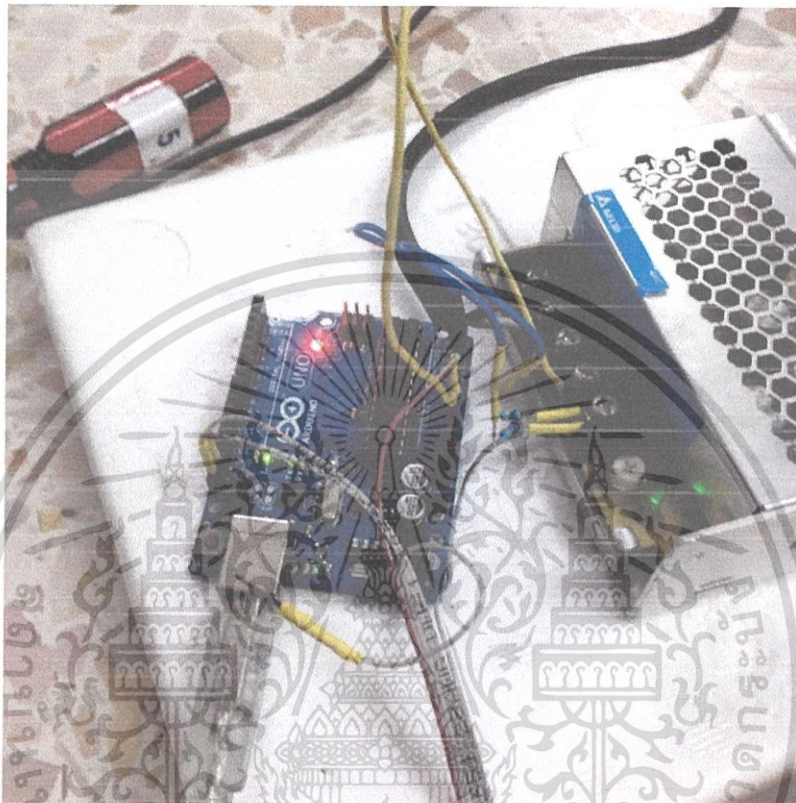
ผลการทดลองทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ได้นั้น ฮาร์ดแวร์สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ทั้งหมด แต่ก็อาจจะมีปัญหาในบางครั้งเนื่องจากความเร็วของขบวนรถไฟที่วิ่งผ่าน รวมถึงการเคลื่อนย้ายต่างๆ อาจทำให้เซนเซอร์เคลื่อนจึงไม่สามารถรับค่าได้ โดยการทำการทดลองและทดสอบของเราก่อนการติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมดเข้าด้วยกันในรูปแบบบัส เราทำการให้แอดเดรสกับบอร์ดเซนเซอร์ทีละตัวและทำการทดลองกับแม่เหล็กว่าใช้งานได้ไหม หากใช้งานไม่ได้เราก็ทำการแก้ไขบอร์ดนั้นๆ เพื่อให้ใช้งานได้ หรือถ้าหากไม่สามารถใช้งานได้เลย อาจเกิดจากการซื้อตัวจริงก็ทำให้จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็กนั้นๆออกไปและใช้บอร์ดตัวอื่นมาแทนที่



รูปที่ 4.1 กำหนดค่าแอดเดรสแก่บอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการต่อบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็กเข้าไปในรูปแบบบัสเรื่อยๆ แล้วเมื่อจำนวนบอร์ดเซนเซอร์มากขึ้นทำให้แรงดันไฟไม่ถึงจำนวนที่ต้องการทำให้บอร์ดเซนเซอร์ไม่สามารถทำงานได้ เราจำเป็นต้องใช้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supplies) ในการจ่ายแรงดันให้โหลดแทนแรงดันไฟจากคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายไฟให้กับบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก

เมื่อเปลี่ยนมาใช้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supplies) บอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็กก็สามารถทำงานได้ หลังจากนั้นเราก็เพิ่มจำนวนและตรวจสอบไปเรื่อยๆ จนครบทั้งหมดตามจำนวนแทรคที่วางไว้

4.2 ผลการทดลองของซอฟต์แวร์

โดยจะแบ่งผลการทดลองของซอฟต์แวร์ออกเป็นหน้าจอที่ติดต่อผู้ใช้ และแสดงขั้นตอนการทำงานต่างๆของโปรแกรม

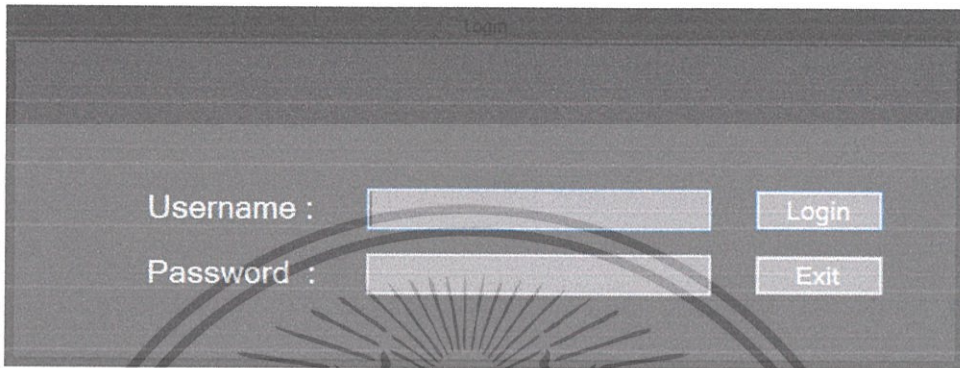
4.2.1 หน้าจอที่ติดต่อผู้ใช้

ในระบบมีหน้าจอที่ติดต่อผู้ใช้ทั้งหมด 4 หน้าจอหลัก คือ Login, Control, Activity log, Display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 Login form

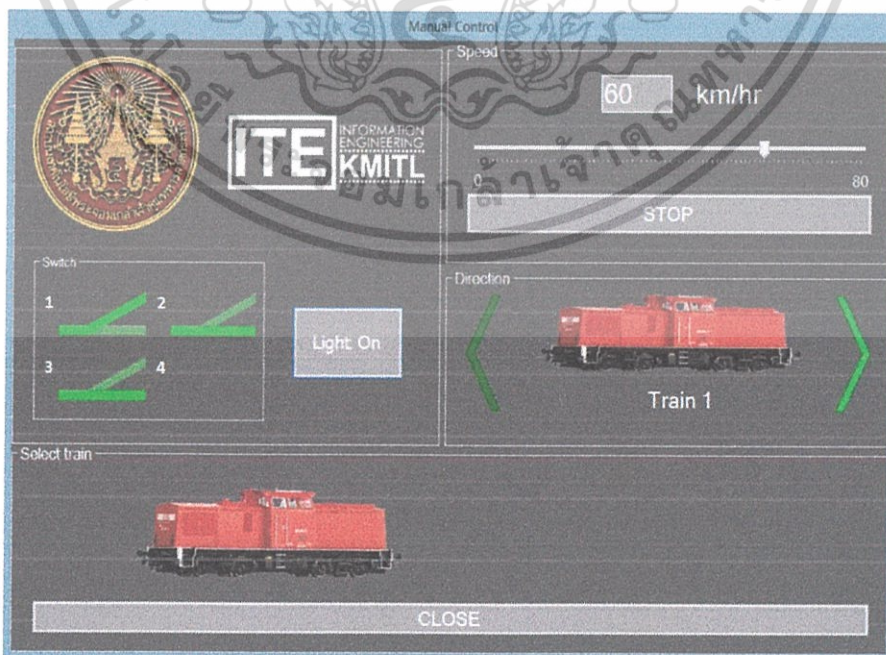
เป็นส่วนแรกที่จะเจอหลังจากเปิดโปรแกรมขึ้นมา เพื่อทำการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าสู่ระบบ และเป็นการเก็บข้อมูลด้วยว่าใครเป็นคนสั่งการโปรแกรม ณ เวลานั้น และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบขึ้น โดยมีช่องให้กรอก username และ password จากนั้นทำการกดปุ่ม Login ถ้ากรอกส่วนใดส่วนหนึ่งผิดไป จะไม่สามารถเข้าสู่ระบบได้



รูปที่ 4.3 Login form

4.2.1.2 Control form

ส่วนนี้ใช้สำหรับสั่งงานควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบเช่น ขบวนรถไฟ ไฟสัญญาณ ประแจกล เป็นต้น ผู้ใช้สามารถสั่งการระบบได้จากหน้าจอนี้ โดยเริ่มต้นจะต้องทำการเลือกขบวนรถไฟที่ต้องการจะสั่งงานก่อน จากนั้นเลือกทิศทางการเดินขบวนรถไฟ แล้วกำหนดความเร็วที่ต้องการ โดยสามารถเลือกสับประแจ เปิดปิดไฟขบวนรถไฟได้ เมื่อต้องการหยุดขบวนรถสามารถกดที่ปุ่ม stop หรือลดระดับความเร็วให้มาอยู่ที่ 0

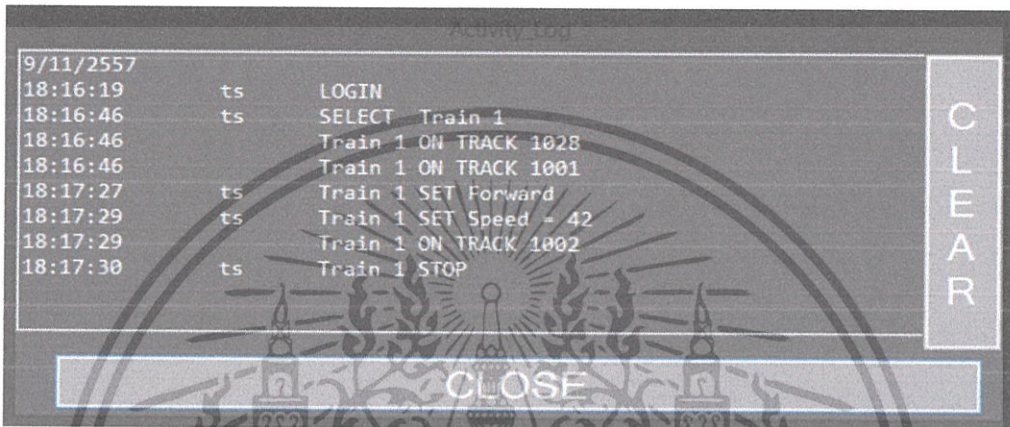


รูปที่ 4.4 Control form.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 Activity log form

หน้าจอนี้มีหน้าที่สำหรับเก็บกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบ และยังเก็บด้วยว่ากิจกรรมนั้นเกิดขึ้น ณ เวลาใด ทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่า เมื่อไหร่ เกิดเหตุการณ์ใดขึ้น หากมีปัญหาก็เกิดข้อขัดข้อง สามารถตรวจสอบได้จากไฟล์ Log ที่ถูกเก็บไว้ โดยบันทึกวันเวลา กิจกรรมที่ทำและ user ที่กระทำการกิจกรรมนั้นๆ จากนั้นบันทึกเป็นไฟล์ .csv เพื่อให้สามารถเปิดกับ Microsoft Excel ได้ สามารถกดปุ่ม Clear เพื่อเคลียร์หน้าจอทั้งหมดของ Activity Log แต่ โดยยังคงมีข้อมูลบันทึกไว้ในไฟล์ .csv



รูปที่ 4.5 Activity log form

4.2.1.4 Display form

ในหน้าจอนี้จะเป็นส่วนการแสดงผลให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบได้ว่าขบวนรถไฟอยู่ ณ ตำแหน่งใด และแทรคแต่ละตัวนั้นมีสถานะการทำงานเป็นเช่นไร ถ้าว่างแทรคจะแสดงสีเขียว ถ้าไม่ว่างแทรคจะแสดงสีแดง โดยมีการบอกเลขตำแหน่งของแทรคแต่ละตัวไว้ และในหน้าจอสามารถเปลี่ยนไปยังหน้าจอคอนโทรล หน้าจอแสดงเวลา หน้าจอเก็บข้อมูลกิจกรรม และสามารถ log out ได้จากหน้าจอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.6 Display form ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลองพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ เป็นการทำให้การเดินทางมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ซึ่งระบบของเราสามารถสั่งการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในระบบ สั่งการเดินรถไฟให้ไปในทิศทางที่ต้องการ และสามารถรับค่าตำแหน่งของขบวนรถได้ ทำให้เราควบคุมการเดินรถได้สัมพันธ์กับสถานการณ์ต่างๆ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ในระหว่างการดำเนินงานพบว่าความต้องการของระบบมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดความล่าช้า
2. การขาดความเชี่ยวชาญในการสร้างบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็ก
3. การศึกษาการควบคุมอุปกรณ์บางส่วนใช้เวลานานเนื่องจากคู่มือเป็นภาษาเยอรมัน

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

1. เพิ่มความแน่นอนให้กับการตรวจรับค่าจากบอร์ดเซนเซอร์แม่เหล็กหรืออาจเป็นการรับค่าจากเทคนิคอื่นๆ แทน
2. เพิ่มเงื่อนไขต่างๆ ให้กับการเดินรถอย่างมีความสัมพันธ์กับสถานการณ์ต่างๆ
3. ทำให้ระบบสามารถระบุได้ว่าขบวนรถไฟที่เคลื่อนที่ผ่านแทรกเป็นขบวนใด
4. มีการจัดทำตารางการเดินรถอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] นคร จันทศร. (2555). **ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : งานพัฒนาสื่อวิทยาศาสตร์ฝ่ายสื่อสิ่งพิมพ์และสารวิทยาศาสตร์สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [2] นคร จันทศร. (2554). **นคร จันทศร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : งานพัฒนาสื่อวิทยาศาสตร์ฝ่ายสื่อสิ่งพิมพ์และสารวิทยาศาสตร์สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [3] สมหมาย จิตภักดี. (2546). **ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ (Railway Signaling System)**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิต วิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] DCC เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Command_Control (วันที่ค้นข้อมูล 2 พฤศจิกายน 2557)
- [5] รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย (Topologies) เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/site/brrcngiphone/kar-suxsar-khx-mul-laea-kherux-khay/ruptbaeb-kar-cheuxm-tx-kherux-khay-bus-topology-ring-topology-laksna-khxdi-khx-seiy> (วันที่ค้นข้อมูล 5 กุมภาพันธ์ 2558)
- [6] การสื่อสารข้อมูลระหว่างบอร์ด Arduino ด้วยบัส I2C เข้าถึงได้จาก: <http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=i2c-master-slave> (วันที่ค้นข้อมูล 8 กุมภาพันธ์ 2558)
- [7] Hall-Effect Sensor (Magnetic Sensor) เข้าถึงได้จาก: http://mcu56.learninginventions.org/?page_id=258 (วันที่ค้นข้อมูล 8 กุมภาพันธ์ 2558)
- [8] ชนิดของ Power Supply เข้าถึงได้จาก: <http://www.electronic-solution.co.th/%E0%B8%8A%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87-power-supply-%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%95%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87-8030.page> (วันที่ค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้