

ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ

SMART FARM PLANNING AND MANAGEMENT SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-230-015

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ

SMART FARM PLANNING AND MANAGEMENT SYSTEM



T148776



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148776**
ในเดือนปี **23 110 2560**

b. 00267086
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-EN-M-230-015

SMART FARM PLANNING AND MANAGEMENT SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-230-015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ
Thesis Title Smart Farm Planning and Management System
นักศึกษา นายยุทธนา ศีลาคำ
รหัสประจำตัว 55613806
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-230-015

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วีระพล	โมนะกุล	
รศ.ดร.อรรถสิทธิ์	เหล่าสกุล	
ผศ.ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	
ดร.วัชร	ฉัตรวิริยะ	
รศ.ดร.ปิติเขต	สุรักษา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ
นักศึกษา	นายยุทธนา ศีลาคำ
รหัสประจำตัว	55613806
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอผลเฉลยการจัดการระบบฟาร์มไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งออกแบบโดยใช้เครือข่ายเพทรี หรือ เพทรีเน็ต (Petri Net) จากนั้นจึงนำระบบที่ออกแบบไปสร้างจริงโดยอาศัยรูปแบบที่ใช้งานภายในร่มอาคาร ระบบนี้สามารถติดต่อใช้งานได้จากเครือข่ายสังคมออนไลน์และสามารถควบคุมได้โดยใช้โทรศัพท์แบบสมาร์ทโฟน นอกจากนี้จะมีฟังก์ชันที่ดำเนินการด้วยการจัดการเองโดยผู้ใช้แล้ว ยังคงมีระบบอัตโนมัติที่ทำงานตามตารางเวลาที่ได้ออกแบบการใช้งานโดยอาศัยเพทรีเน็ต ผลการทดลองพบว่าระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพ ประหยัด และมีประสิทธิผล โดยมีค่าความเชื่อมั่นที่ 93.4% นอกจากนี้ ผลการสำรวจและสัมภาษณ์เชิงลึก ผู้ใช้งานระบบที่เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสารสนเทศจำนวน 20 คน พบว่า มีความพึงพอใจต่อประสบการณ์การใช้ระบบ

Thesis	Smart Farm Planning and Management System
Student	Mr.Youtthana Silakam
Student ID.	55613806
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

This thesis presents a solution for managing hydroponic farming system designed by using Petri-net. The designed system is then implemented by using indoor-farming platform. The system is also connected via online social media and can be remotely controlled by a smart phone. Besides the manual functions, automatic scheduling is managed for routine tasks programming by the designed Petri-Net. Based on the experimental results, the designed system is effective, economic, and efficient yielding 93.4% reliability. In addition, according to the survey and the in-depth interview from 20 users who are also experts in the field of information engineering, the results reveal satisfactory experiences.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปิติเขต สุริรักษา และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.กฤตากร กลุ่มมการ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้องนักศึกษา สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือการทดลองและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง บัณฑิตวิทยาลัยคณะ วิศวกรรมศาสตร์ และบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ และความรู้ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณปัทมา คนโทพรมราช ที่เป็นเสมือนคู่คิดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ยุทธนา ศีลาคำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎี.....	4
2.1.1 พื้นฐานของเพทรีเน็ต (Petri net).....	4
2.1.2 วงรอบชีวิตของแอปพลิเคชัน (Application Life Cycle).....	11
2.1.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโปรโตคอล TCP/IP.....	13
2.1.3.1 ชั้นโฮสต์-เครือข่าย (Host-to-Network Layer).....	14
2.1.3.2 ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ต (The Internet Layer).....	14
2.1.3.3 ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer).....	17
2.1.3.4 ชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer).....	21
2.1.4 วงจรการพัฒนาาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC).....	21
2.1.4.1 ระยะเวลาที่ 1 การกำหนดปัญหา (Problem Definition).....	22
2.1.4.2 ระยะเวลาที่ 2 การวิเคราะห์ (Analysis).....	22
2.1.4.3 ระยะเวลาที่ 3 การออกแบบ (Design).....	22
2.1.4.4 ระยะเวลาที่ 4 การพัฒนา (Development).....	22
2.1.4.5 ระยะเวลาที่ 5 การทดสอบ (Testing).....	23
2.1.4.6 ระยะเวลาที่ 6 การนำระบบไปใช้ (Implementation Phase).....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.4.7 ระยะที่ 7 การบำรุงรักษา (Maintenance).....	23
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 การกำหนดปัญหา.....	26
3.2 การวิเคราะห์ระบบ.....	26
3.2.1 ขอบเขตของระบบ.....	27
3.3 การออกแบบระบบ.....	28
3.3.1 การออกแบบส่วนแปลงเกษตร (Farm environment).....	28
3.3.2 การออกแบบระบบด้วยทฤษฎีเพทรีเน็ต.....	30
3.4 การพัฒนาระบบ.....	34
3.5 การทดสอบระบบ.....	37
3.6 การนำระบบไปใช้งาน.....	38
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	39
4.1 ผลการวิจัยการจำลองระบบโดยใช้ทฤษฎีเพทรีเน็ต.....	39
4.2 ผลการพัฒนาระบบ.....	45
4.3 ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก ก. รหัสต้นฉบับทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ.....	52
ภาคผนวก ข. แบบฟอร์มการประเมินผล.....	57
ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	62
ประวัติผู้เขียน.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของ Flag ชนิดต่างๆ.....	18
3.1 สภาวะและเหตุการณ์ของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร.....	32
3.2 ตารางสภาวะก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์.....	34
3.3 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของการสรุปผลการประเมิน.....	37
4.1 สภาวะกระบวนการผลิตของลำดับการยิงทรานสิชันชุดที่หนึ่ง.....	42
4.2 สภาวะกระบวนการผลิตของลำดับการยิงทรานสิชันชุดที่สอง.....	43
4.3 ข้อมูลตารางการทำงาน (Information on generated schedule).....	44
4.4 แสดงสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์.....	49
4.5 แสดงสรุปผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบโดยผู้ใช้ทั่วไป.....	49



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 อัตราการเติบโตของประชากรวัยทำงานของประเทศไทย.....	1
2.1 องค์ประกอบของเพทรีเน็ต.....	4
2.2 เพทรีเน็ตแบบดั้งเดิม การ Fire ก่อนและหลัง.....	5
2.3 เพทรีเน็ตแบบกำหนดน้ำหนัก การ Fire ก่อนและหลัง.....	6
2.4 การยิงทรานสิชันของเพทรีเน็ต.....	7
2.5 เพทรีเน็ตที่ใช้หาเมตริกซ์อุบัติการณ์.....	7
2.6 เพทรีเน็ตหลังยิงทรานสิชัน t_2	9
2.7 เพทรีเน็ตที่ใช้การวิเคราะห์หารีชเอบิลิตีทรี.....	10
2.8 รีชเอบิลิตีทรีของเพทรีเน็ต.....	10
2.9 วงรอบชีวิตของแอปพลิเคชัน.....	12
2.10 ขั้นตอนการ Encapsulation และ Demultiplexing.....	13
2.11 โครงสร้างโปรโตคอล TCP/IP.....	14
2.12 โครงสร้าง IP Header.....	16
2.13 โครงสร้าง ICMP Header.....	16
2.14 โครงสร้าง UDP Header.....	17
2.15 โครงสร้าง TCP Header.....	18
2.16 การสร้างการเชื่อมต่อของ TCP.....	19
2.17 การสื่อสารของ TCP แบบ Three-way Handshake.....	20
2.18 วงจรการพัฒนาาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC).....	21
2.19 งานวิจัยกลุ่มหุ่นยนต์สื่อสารกรณีภัยพิบัติ.....	24
3.1 รูปแบบการพัฒนาแอปพลิเคชันตามแนวคิดใหม่.....	26
3.2 ภาพรวมของสถาปัตยกรรมตามแนวคิด.....	27
3.3 สถาปัตยกรรมทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ.....	28
3.4 แผนผังทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ.....	29
3.5 การออกแบบยูสเคสไดอะแกรมของระบบ.....	30
3.6 องค์ประกอบของใหม่เพทรีเน็ต.....	31
3.7 กระบวนการผลิตในแปลงเกษตรไฮโดรโปนิคส์.....	32
3.8 การใช้บอร์ดทดลองในการทดสอบวงจร.....	35
3.9 เครื่องมือพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันของ Arduino IDE.....	35
3.10 เครื่องมือพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันของ Android studio.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ไดอะแกรมการติดตั้งระบบเข้ากับแปลงเกษตร.....	38
4.1 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตรไฮโดรโปนิคส์.....	39
4.2 รีซเอบิลิตี้ทรีของกระบวนการผลิตโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น.....	41
4.3 แกนที่ชาร์ตกระบวนการติดตั้งระบบก่อนกระบวนการปลูก.....	42
4.4 แกนที่ชาร์ตกระบวนการปลูกก่อนกระบวนการติดตั้งระบบ.....	43
4.5 วงจร schematic ทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ.....	45
4.6 ลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ.....	46
4.7 ต้นแบบกล่องแปลงเกษตรอัจฉริยะ.....	46
4.8 การแสดงผลด้วยหน้าจอเข้าระบบและหน้าจอ TCP Ctrl.....	47
4.9 การแสดงผลด้วยหน้าจอ Timer Ctrl และ IP Camera.....	47
4.10 การเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร.....	48
4.11 การเปรียบเทียบต้นทุนของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร.....	48

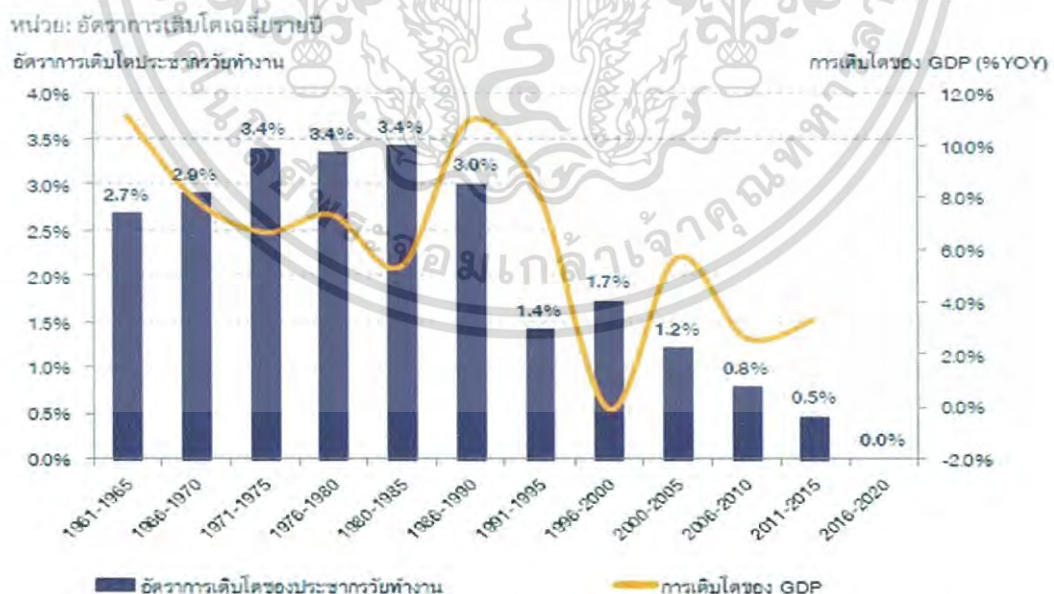


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ทำให้มีการพัฒนาคิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกสบายต่อการดำรงชีวิตอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีได้เข้ามาเสริมปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การผลิตสินค้าการเกษตรเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ช่วยทำให้ระบบสามารถผลิตสินค้าการเกษตรได้จำนวนมากแต่ใช้ต้นทุนต่ำทำให้ราคาถูกลง จากการศึกษาทางการเกษตรพบประเด็นปัญหาและการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลายประการ เช่น ราคาอาหารในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทำให้โลกร้อน เกิดภัยธรรมชาติอย่างรุนแรงส่งผลกระทบต่อการผลิตสินค้าการเกษตรโดยตรง นโยบายผลิตอาหารเลี้ยงตัวเองของประเทศผู้นำเข้าส่งผลทำให้ราคาสินค้าการเกษตรในตลาดโลกแปรปรวน ประเด็นปัญหาที่สำคัญควรริบดำเนินการแก้ไขโดยเร็วคือ ภาคเกษตรกรรมต้องเผชิญกับการขาดแคลนแรงงานซึ่งเป็นปัญหาหลักของภาคเกษตรกรรมเพราะรายได้จากอาชีพการเกษตรไม่แน่นอน เมื่อเทียบกับภาคอุตสาหกรรมและบริการทำให้จำนวนประชากรอยู่ในภาคอุตสาหกรรมและบริการเป็นจำนวนมาก จากรูปที่ 1.1 เป็นอัตราการเติบโตของประชากรวัยทำงานของประเทศไทย ระหว่างช่วงอายุ 15 ถึง 64 ปี มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่จำนวนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



ที่มา: การวิเคราะห์โดย EIC จากข้อมูลของ US Census Bureau

รูปที่ 1.1 อัตราการเติบโตระหว่างประชากรวัยทำงานกับ GDP ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัญหาทั้งหมดนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยเพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เข้าไปพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าการเกษตรแบบบูรณาการ เช่น การให้น้ำ ให้อาหาร และควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในแปลงเกษตรแบบอัตโนมัติ โดยปราศจากการใช้แรงงานคนและสามารถสั่งการได้ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้จากทุกที่ทุกเวลา ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะสามารถช่วยให้เกษตรกรลดต้นทุนในขบวนการผลิต สร้างอาชีพและสร้างรายได้ด้วยผลิตภัณฑ์และบริการที่มีมูลค่าสูงขึ้น เพื่อให้เกษตรกรมีคุณภาพชีวิตที่ดีและพัฒนาเกษตรกรรมตามนโยบายของรัฐบาล “ประเทศไทย 4.0” ให้เข้มแข็ง มั่นคง นำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมุ่งหวังศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ในการพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าการเกษตรเพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนจัดการและควบคุมการผลิตในแปลงเพาะปลูกได้จากทุกที่ทุกเวลาแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ทางด้านเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่และอินเทอร์เน็ตทุกสิ่ง (Internet of Thing) มาสนับสนุน ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้กับเกษตรกร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และภาษาจาวาสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1.2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลภายในแปลงเกษตรผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.2.3 เพื่อออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Atmega328-pu และ NodeMCU V.3

1.2.4 เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1.2.5 เพื่อศึกษาการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรโดยใช้แพลตฟอร์ม NETPIE และ Thingspeak

1.2.6 เพื่อพัฒนาการเกษตรให้เข้าสู่ความเป็นมาตรฐานสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพและมีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม

1.2.7 เพื่อพัฒนานวัตกรรมเปลี่ยนจากการเกษตรแบบดั้งเดิมไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ที่เน้นการบริหารจัดการและเทคโนโลยี

1.2.8 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

แนวทางการพัฒนาภาคเกษตรอย่างยั่งยืนคือการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุโดยยกระดับประสิทธิภาพการผลิตหรือเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีผ่านวิธีการพัฒนาโดยมุ่งเน้นไปที่การสร้างนวัตกรรมการเกษตรโดยเฉพาะช่วยให้เกษตรกรเข้าถึงเทคโนโลยีการผลิตและระบบวางแผนจัดการสมัยใหม่ได้ง่าย โดยสามารถนำเทคโนโลยีด้านการเกษตรไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความต้องการ

แนวคิดหลัก คือ การจำลองสถานการณ์การทำงานต่างๆ ด้วยทฤษฎีเพทรีเน็ต (Petri net) โดยนำมาวิเคราะห์และศึกษาพฤติกรรมของระบบเพื่อลดระยะเวลา ลดต้นทุน และลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเข้าไปพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าการเกษตร เพื่อยกระดับผลิตภาพทางการผลิตที่ทันสมัย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ทางการเกษตร โดยมีขอบเขต ดังนี้

1.4.1 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง ประชากรตัวอย่างในการศึกษาและทดสอบ ประกอบด้วย วิศวกร โปรแกรมเมอร์ ช่างเทคนิค และเกษตรกรหรือประชาชนทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับการเกษตร จำนวนทั้งหมด 40 คน

1.4.2 ขอบเขตด้านเครือข่าย การวิจัยนี้ใช้บริการ Dynamic DNS ของ MyZyxel.in.th และใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตของบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) โดยผลิตภัณฑ์และบริการที่ใช้ทดสอบ คือ myCAT และ C internet โดยระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ตั้งแต่เวอร์ชัน 2.2 ถึงเวอร์ชัน 7.0

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ 7 ขั้นตอน ดังนี้

- 1.5.1 การกำหนดปัญหาของการวิจัย
- 1.5.2 การวางแผนออกแบบการวิจัย
- 1.5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 1.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 1.5.5 การสรุปและรายงานผล
- 1.5.6 การตีความหมาย
- 1.5.7 การเขียนรายงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

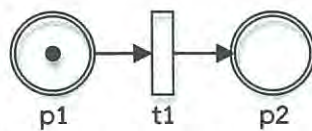
ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะเป็นการพัฒนานวัตกรรมทางด้าน Internet of Thing เพื่อการเกษตรสมัยใหม่ โดยสามารถควบคุมผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 พื้นฐานของเพทรีเน็ต (Petri Net)

เพทรีเน็ตเป็นแนวทางการคิดอย่างหนึ่งที่สามารถจำลองสถานการณ์ทำงานต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ การศึกษาพฤติกรรมของระบบนั้นทำได้โดยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการทำงานและเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบซึ่งเพทรีเน็ตสามารถอธิบายได้สองวิธีคือ วิธีทางรูปภาพและวิธีทางคณิตศาสตร์ จากรูปที่ 2.1 เป็นการอธิบายวิธีทางรูปภาพซึ่งสามารถเขียนเพทรีเน็ตได้จากวัตถุ 3 ชนิด คือ เพลส (Place) ทรานสิชัน (Transition) และอาร์ก (Arc) โดยเพลสแสดงอยู่ในรูปของวงกลม ทรานสิชันแสดงอยู่ในรูปของสี่เหลี่ยม และอาร์กแสดงอยู่ในรูปของเส้นตรงและลูกศร

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทรานสิชันและเพลสนั้น เริ่มจากการแยกประเภทของเพลสที่เป็นอินพุตเพลสและเอาต์พุตเพลส เมื่ออ้างอิงกับทรานสิชันใดๆ โดยเพลสที่มีอาร์กเชื่อมต่อจากเพลสไปทรานสิชันเรียกเพลสนั้นว่าเป็นอินพุตเพลสของทรานสิชัน และเพลสที่มีอาร์กเชื่อมต่อจากทรานสิชันไปสู่เพลสเรียกเพลสนั้นว่าเป็นเอาต์พุตเพลสของทรานสิชัน จากรูปที่ 2.1 เพทรีเน็ตประกอบด้วยเพลส จำนวน 2 เพลส ทรานสิชันจำนวน 1 ทรานสิชัน และอาร์กจำนวน 2 อาร์ก จากรูปเห็นว่าเพลส p_1 เป็นอินพุตเพลสของทรานสิชัน t_1 และเพลส p_2 เป็นเอาต์พุตเพลสทรานสิชัน t_1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของเพทรีเน็ต

การแสดงสถานะของระบบในขณะใดๆ แสดงได้โดยใช้โทเค็น (Token) โดยเพลสแต่ละเพลสอาจมีโทเค็นหรือไม่ก็มีได้ โทเค็นแสดงด้วยจุดที่อยู่ภายในเพลส สามารถเรียกการกระจายโทเค็นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพทรีเน็ตว่ามาร์กกิง จากรูปที่ 2.1 เห็นว่าโทเค็นอยู่ภายใน p_1 แสดงถึงสถานะของระบบในขณะนั้น เป็นสถานะที่กำหนดโดยเพลส p_1 จากการแสดงสถานะในขณะใดๆ ด้วยโทเค็น และการเปลี่ยนแปลง การกระจายโทเค็นเป็นผลจากเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นทำให้เราสามารถศึกษาพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงของระบบได้ เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองเพทรีเน็ตกับการทำงานในระบบจริงนั้น อินพุตเพลส อาจถูกใช้แสดงสถานะของระบบก่อนเกิดเหตุการณ์ใดๆ และเอาต์พุตเพลสอาจถูกใช้แสดงสถานะของระบบหลังเกิดเหตุการณ์ต่างๆ นอกจากนี้แล้วยังอาจใช้อินพุตเพลสแสดงถึงความพร้อมของทรัพยากรในระบบและเอาต์พุตเพลสแสดงการใช้ทรัพยากรของระบบด้วย

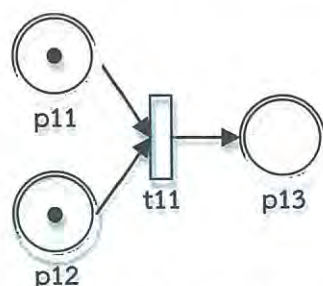
โครงสร้างของเพทรีเน็ตประกอบด้วยโครงสร้างส่วนต่างๆ คือ $PN = (P, T, I, O, M_0)$ โดยกำหนดให้ $N = \{0, 1, 2, \dots\}$

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ เป็นเซตของเพลส
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ เป็นเซตของทรานสิชัน
- $P \cap T = \emptyset$
- $I : (P \times T) \rightarrow N$ เป็นอินพุตฟังก์ชัน แสดงโดยอาร์กเพลสสู่ทรานสิชัน
- $O : (P \times T) \rightarrow N$ เป็นเอาต์พุตฟังก์ชัน แสดงโดยอาร์กจากทรานสิชันสู่เพลส
- $M_0 : P \rightarrow N$ เป็นมาร์กกิงเริ่มต้น (Initial Marking)

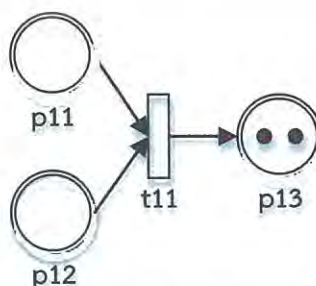
จากรูปที่ 2.1 เห็นได้ว่า $P = \{p_1, p_2\}$, $T = \{t_1\}$
 $I(p_1, t_1) = 1$, $I(p_2, t_1) = 0$
 $O(p_1, t_1) = 0$, $O(p_2, t_1) = 1$
 $M_0(p_1) = 1$, $M_0(p_2) = 0$

เพทรีเน็ตสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. เพทรีเน็ตประเภทดั้งเดิม (Original Petri Net) จะยอมให้เฉพาะ 1 โทเค็นเท่านั้นที่ลดหรือเพิ่มจากเพลส จากรูปที่ 2.2 เมื่อเกิดการยิง (Fire) โดย p_{11} และ p_{12} ซึ่งเชื่อมด้วย Arc ไปยัง t_{11} จะลดโทเค็นออกจาก p_{11} และ p_{12} อย่างละ 1 ทำให้โทเค็นใน p_{11} และ p_{12} หหมดไป โดย p_{13} จะรับโทเค็นจากผลผลิตของ t_{11} เข้ามาอย่างละ 1 โทเค็นเท่ากับ 2



(ก) Petri net ก่อน t_{11} Fire

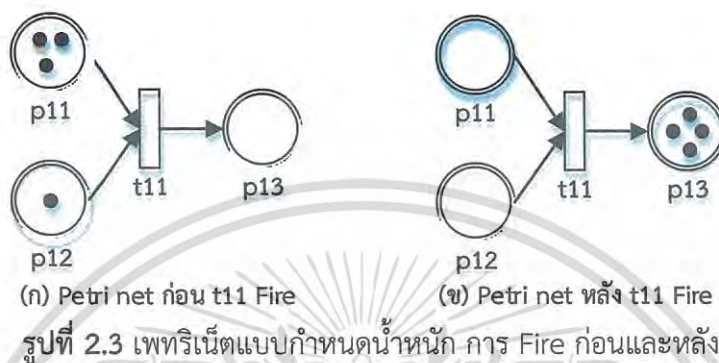


(ข) Petri net หลัง t_{11} Fire

รูปที่ 2.2 เพทรีเน็ตแบบดั้งเดิม การ Fire ก่อนและหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพทรีเน็ตประเภทกำหนดน้ำหนัก (Weight Petri Net) จะยอมให้โทเค็นลดหรือเพิ่มจากเพลสตามจำนวนน้ำหนัก (Weight) ของ Arc จากรูปที่ 2.3 เมื่อ t_{11} เกิดการยิง จากรูปที่ p_{11} และ p_{12} เชื่อมต่อกับ Arc ไปยัง t_{11} จะลดโทเค็นออกจาก p_{11} และ p_{12} อย่างละ 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเกิดการยิง โดยเกิดกิจกรรมใน t_{11} แล้วจะเกิดผลผลิตตามจำนวนน้ำหนักของ Arc ที่เชื่อมไปยัง p_{13} จะรับโทเค็นเท่ากับ 4



3. เพทรีเน็ตประเภทกำหนดเวลา (Timed Petri Net) การกำหนดองค์ประกอบต่างๆ จะเหมือน 2 ชนิดที่ผ่านมาโดยมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น สามารถกำหนดเวลาไว้ในองค์ประกอบของ Token, Places และ Transition

4. เพทรีเน็ตประเภทกำหนดชนิดของโทเค็น (Colored Petri Net) ตัวโทเค็นสามารถแยกได้เป็นหลายชนิดโดยแยกตามสีที่กำหนดไว้ในโทเค็นจึงเรียกว่า Colored Petri Net ตัวโทเค็นสีหนึ่งๆ เป็นตัวแทนของวัตถุหนึ่งๆ เช่น ทรัพยากร อาหาร คนงาน โดยทำงานร่วมกัน

5. เพทรีเน็ตประเภทลำดับชั้น (Hierarchical Petri Net) ส่วนมากถูกใช้ในระบบใหญ่และซับซ้อน โดยมีการกำหนดระบย่อยที่เรียกว่า Subnet รวมกันเกิดเป็นระบบใหญ่ ตัว Subnet หนึ่งๆ จะถูกกำหนดไว้ในกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งบางโปรแกรมกำหนดไว้ใน Transition หนึ่งของระบบ

กฎการทำงานของเพทรีเน็ตพิจารณาได้จากเปลี่ยนแปลงของโทเค็นภายในเพลสโดยการเปลี่ยนแปลงของโทเค็นจะสอดคล้องกับกฎการทำงานของเพทรีเน็ต ซึ่งประกอบด้วยกฎการอินาเบิล (Enable Rule) และกฎการยิงทรานสิชัน (Firing Rule)

กฎการอินาเบิล

1. ทรานสิชัน t จะอินาเบิล ถ้าทุกๆ อินพุตเพลส p ของทรานสิชัน t มีโทเค็นภายในมากกว่าหรือเท่ากับน้ำหนักของอาร์กจากเพลส p ไปที่ทรานสิชัน t

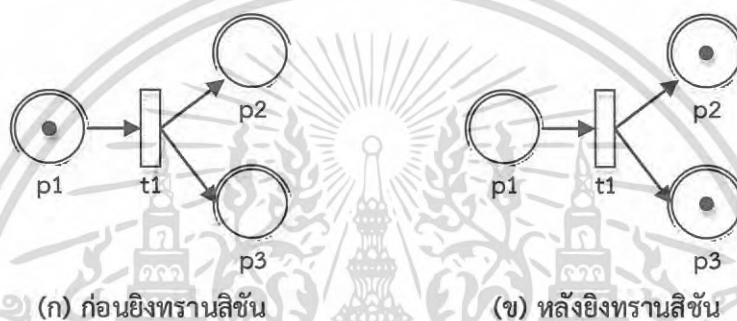
กฎการยิงทรานสิชัน

1. ถ้าทรานสิชัน t ถูกอินาเบิลแล้ว อาจถูกยิงหรือไม่ถูกยิงทรานสิชันก็ได้ โดยการถูกยิงทรานสิชันขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

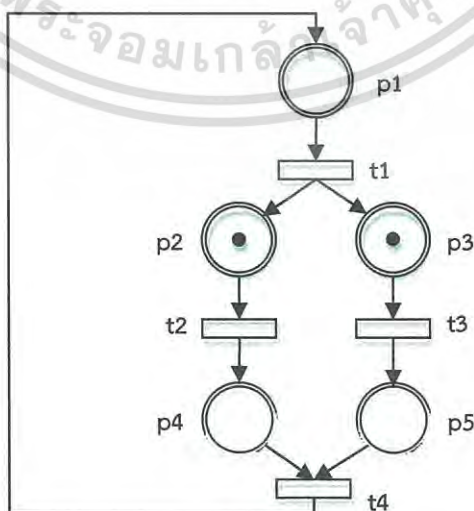
2. การยิงทรานสิชัน t ที่ถูกอินาเบลอยู่จะทำให้มาร์กกิงในเพทรีเน็ตเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโทเค็นที่มีจำนวนเท่ากับน้ำหนักของอาร์กที่ต่อจากอินพุตเพลสจะเคลื่อนจากอินพุตเพลสไปยังทรานสิชัน t และเคลื่อนย้ายโทเค็นจำนวนเท่ากับน้ำหนักของอาร์กที่ต่อจากทรานสิชันไปยังเอาต์พุตเพลสจากทรานสิชัน t ไปสู่อเอาต์พุตเพลส

จากรูปที่ 2.4 (ก) ทรานสิชัน t_1 ถูกอินาเบลเนื่องจากอินพุตเพลส p_1 ของทรานสิชัน t_1 มีโทเค็นอยู่ภายใน 1 โทเค็นซึ่งเท่ากับน้ำหนักของอาร์กจากเพลส p_1 ไปที่ทรานสิชัน t_1 และหลังจากถูกยิงทรานสิชัน t_1 แล้วทำให้โทเค็นจำนวน 1 โทเค็นเคลื่อนที่ออกจากเพลส p_1 และเกิดโทเค็นที่เอาต์พุตเพลส p_2 จำนวน 1 โทเค็นและเอาต์พุตเพลส p_3 จำนวน 1 โทเค็นดังรูปที่ 2.4 (ข) ซึ่งเท่ากับน้ำหนักของอาร์กจากที่ ทรานสิชัน t_1 ไปสู่เพลส p_2 และ p_3 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 การยิงทรานสิชันของเพทรีเน็ต

สมการสเตทของเพทรีเน็ตสามารถแสดงได้ทั้งวิธีทางรูปภาพและวิธีทางคณิตศาสตร์ ในวิธีทางคณิตศาสตร์ เพทรีเน็ตสามารถอธิบายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของระบบ เมื่อเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ได้โดยการคำนวณจากสมการสเตทของแบบจำลองเพทรีเน็ต จากรูปที่ 2.5 เป็นเพทรีเน็ตที่ใช้หาเมตริกซ์อุบัติการณ์



รูปที่ 2.5 เพทรีเน็ตที่ใช้หาเมตริกซ์อุบัติการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์อุบัติการณ์ (Incidence Matrix) A_{ij} เป็นเมตริกซ์ที่แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเพลสและทรานซิสชันต่างๆ ภายในเพทรีเน็ต โดยมีมิติเท่ากับ $n \times m$ ซึ่งมีสมาชิกทุกตัวภายในเมตริกซ์เป็นจำนวนเต็ม ซึ่ง n คือจำนวนของทรานซิสชันทั้งหมด และ m คือจำนวนของเพลสทั้งหมด สมาชิกของเมตริกซ์อุบัติการณ์ A_{ij} นิยาม ดังนี้

โดย $A_{ij}^+ = O(p_j, t_i)$ เป็นน้ำหนักของอาร์คที่ต่อระหว่างทรานซิสชัน t_i ไปที่เอาต์พุตเพลส p_j

$A_{ij}^- = I(p_j, t_i)$ เป็นน้ำหนักของอาร์คที่ต่อระหว่างอินพุตเพลส p_j ไปที่ทรานซิสชัน t_i

พิจารณาเพทรีเน็ตในรูปที่ 2.5 แสดงเมตริกซ์อุบัติการณ์ได้ ดังนี้

$$A_{ij}^+ = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{ij}^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

มาร์กกิงของเพทรีเน็ตที่ประกอบด้วยเพลสจำนวน m เพลสสามารถแสดงโดยใช้เวกเตอร์ M_k ที่มีมิติเท่ากับ $m \times 1$ โดยสมาชิกทุกตัวในเวกเตอร์ M_k เป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ เนื่องจากโทเค็นในแต่ละเพลสต้องเป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ จากรูปที่ 2.5 มาร์กกิงเริ่มต้น $M_0 = [01100]^T$

สมการสเตทสำหรับเพทรีเน็ตแสดงถึงมาร์กกิงภายในเพทรีเน็ต ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโทเค็นหลังจากเกิดการยิงทรานซิสชันขึ้นนิยามได้ ดังนี้

$$M_k = M_{k-1} + A^T u_k \quad (2.1)$$

โดย M_k คือเมตริกซ์ขนาด $n \times 1$ เป็นเมตริกซ์ที่แสดงมาร์กกิงหลังการยิงทรานซิสชัน

M_{k-1} คือเมตริกซ์ขนาด $n \times 1$ เป็นเมตริกซ์ที่แสดงมาร์กกีก่อนการยิงทรานซิสชัน

u_k คือเมตริกซ์ขนาด $n \times 1$ เป็นเวกเตอร์ยิงทรานซิสชัน (Firing vector)

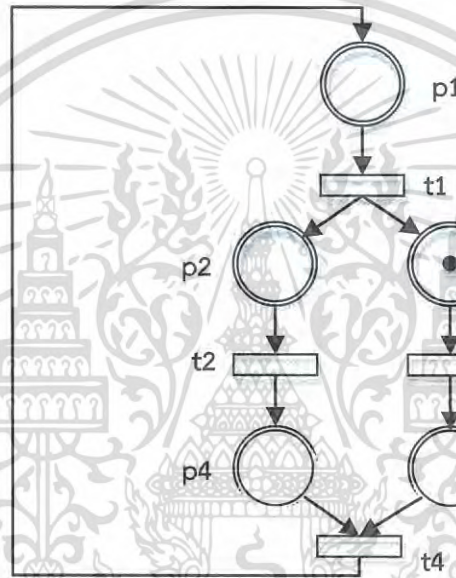
k คือจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเพทรีเน็ตในรูปที่ 2.5 หากยิงทรานสิชัน t_2 เวกเตอร์การยิงทรานสิชันคือ $u_1 = [0100]^T$ ทำให้มาร์กกิงของเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชันคือ

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

จาก M_1 ที่คำนวณได้แสดงว่าหลังจากการยิงทรานสิชัน t_2 แล้วจะมีโทเค็นอยู่ในเพลสที่ 3 และ 4 จำนวนเพลสละหนึ่งโทเค็น เมื่อแสดงเพทรีเน็ตด้วยภาพดังรูปที่ 2.6

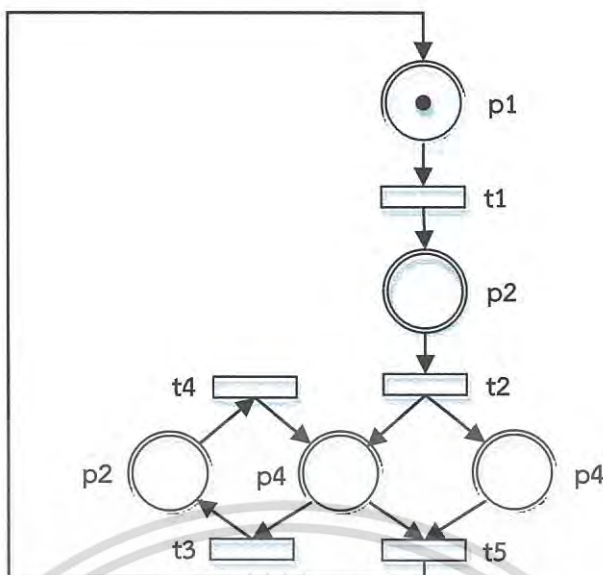


รูปที่ 2.6 เพทรีเน็ตหลังยิงทรานสิชัน t_2

รีซเอปิลิตีทรีเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองเพทรีเน็ตเพื่อหาสถานะของระบบสามารถพิจารณาได้จากมาร์กกิงของเพทรีเน็ตที่เวลาใดๆ โดยเริ่มพิจารณาจากมาร์กกิงเริ่มต้น M_0 เมื่อยิงทรานสิชันด้วยลำดับการยิงทรานสิชันชุดหนึ่งทำให้ได้มาร์กกิงชุดใหม่ M_r ซึ่งนิยามได้ว่ามาร์กกิง M_r เป็นรีซเอปิลิตีมาร์กกิง (Reachable Marking) ของ M_0 ถ้ามีลำดับของการยิงทรานสิชันที่สามารถทำให้มาร์กกิงเปลี่ยนจาก M_0 เป็น M_r โดยเซตของมาร์กกิง M_r ทั้งหมดเรียกว่า เซตของรีซเอปิลิตีมาร์กกิง $R(M_0)$

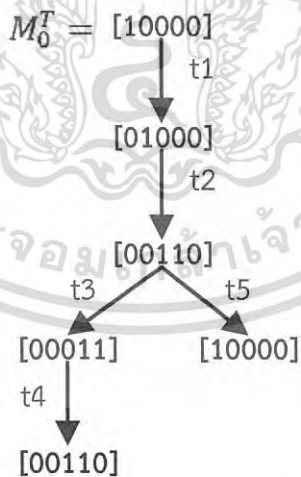
ในการแสดงความสัมพันธ์ของลำดับการยิงทรานสิชันและมาร์กกิง M_r สามารถใช้รีซเอปิลิตีทรีแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ ซึ่งรีซเอปิลิตีทรีเป็นการแสดงเซตของมาร์กกิงที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ วิธีการหามาร์กกิง M_r คือการหาความเป็นไปได้ทั้งหมดของการยิงทรานสิชัน ซึ่งแสดงโดยใช้แผนภูมิต้นไม้โดยการยิงทรานสิชันจะสิ้นสุดเมื่อการทำงานของระบบครบทุกขั้นตอนหรือสถานะของระบบซ้ำกับสถานะที่ผ่านมาแล้ว จากรูปที่ 2.7 เป็นเพทรีเน็ตที่ใช้สำหรับวิเคราะห์รีซเอปิลิตีทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เพทรีเน็ตที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาวิธีชอเบิลิตี้

พิจารณาเพทรีเน็ตในรูปที่ 2.7 มาร์กกิงเริ่มต้นของระบบคือ $M_0 = [10000]^T$ กำหนดให้เป็นโนดเริ่มต้นซึ่งทรานสิชัน t_i อีนาเบิลอยู่ เมื่อทำการยิงทรานสิชัน t_i แล้วทำการสร้างโนดใหม่ในวิธีชอเบิลิตี้ ซึ่งทำให้ได้มาร์กกิง ถ้าเราต้องการหาเซตของวิธีชอเบิลมาร์กกิงทั้งหมดทำได้โดยการยิงทรานสิชันต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งหากทำการยิงทรานสิชันแล้วได้วิธีชอเบิลิตี้ดังรูปที่ 2.8 จะได้ $M_1 = [01000]$



รูปที่ 2.8 วิธีชอเบิลิตี้ของเพทรีเน็ต

คุณสมบัติของเพทรีเน็ตในการจำลองการทำงานของระบบ โดยการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของแบบจำลองเป็นข้อที่สำคัญของเพทรีเน็ต กล่าวคือลักษณะการทำงานของระบบสามารถแสดงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้คุณสมบัติของระบบ โดยคุณสมบัติของเพทรีเน็ตที่มีความสำคัญประกอบด้วย Safeness, Boundedness, Liveness ดังนี้

1. Safeness เพทรีเน็ตจะมีคุณสมบัติ Safeness ถ้าทุกๆ เฟลสในเพทรีเน็ตมีโทเค็นอยู่ภายในไม่เกินหนึ่งตลอดการทำงาน คุณสมบัติ Safeness มีความสำคัญในการสร้างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ทุกเฟลสในเพทรีเน็ตมีค่าเพียง 0 และ 1 เท่านั้น ทำให้สามารถออกแบบระบบด้วยอุปกรณ์ที่มีลักษณะเปิดหรือปิดได้

2. Boundedness เพทรีเน็ตจะมีคุณสมบัติ Boundedness ถ้าทุกๆ เฟลสในเพทรีเน็ตมีโทเค็นอยู่ภายในไม่เกินค่าคงที่จำนวนเต็มค่าหนึ่งตลอดการทำงาน คุณสมบัติ Boundedness แสดงถึงความสามารถในการสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบหากเพทรีเน็ตไม่มีคุณสมบัติข้อนี้แล้วทำให้ไม่สามารถสร้างฮาร์ดแวร์จากแบบจำลองได้ หากแบบจำลองมีคุณสมบัติ Safeness แล้วจะมีคุณสมบัติ Boundedness ด้วย

3. Liveness เพทรีเน็ตจะมีคุณสมบัติ Liveness เมื่อเทียบกับมาร์กกิงเริ่มต้น ถ้าทุกๆ รีชเอเบิลมาร์กกิง เป็นสมาชิกอยู่ในเซตของรีชเอเบิลมาร์กกิง สามารถยิงทรานสิชันได้ จากคุณสมบัติดังกล่าวในระหว่างการทำงานของระบบที่มาร์กกิง ใดๆ ถ้าไม่มีทรานสิชันใดสามารถยิงได้ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนสถานะของระบบได้ คุณสมบัติ Liveness สามารถบอกถึงโอกาสการหยุดทำงานของระบบได้ โดยหากเพทรีเน็ตไม่มีคุณสมบัติ Liveness แล้วทำให้ระบบสามารถเกิด Deadlock ได้ สภาวะ Deadlock เป็นสภาวะที่ระบบหยุดทำงานไม่สามารถทำงานต่อได้

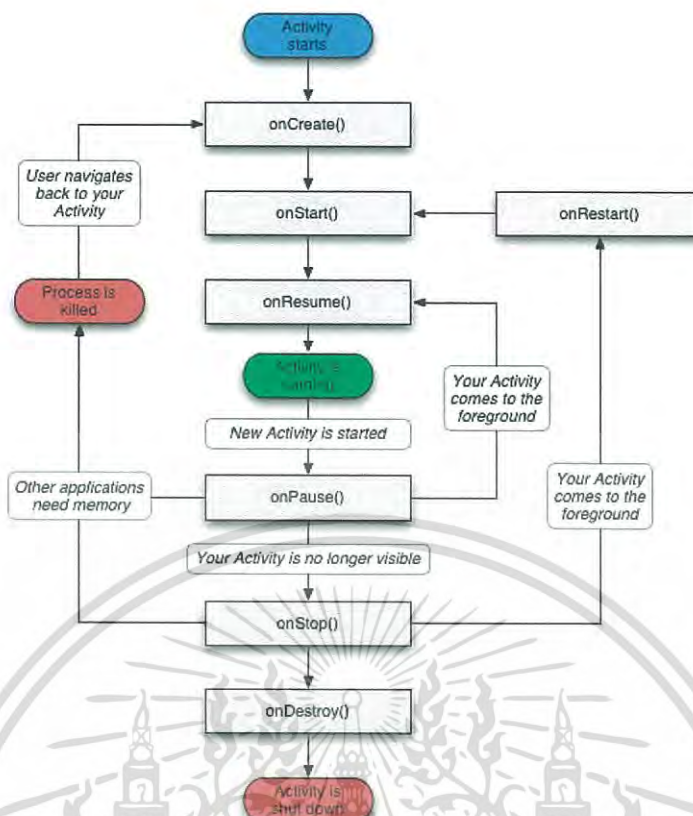
การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพทรีเน็ตนั้น พิจารณาได้จากนอตต่างๆ ของรีชเอเบิลิตีทรี ดังนี้

1. เพทรีเน็ตมีคุณสมบัติ Safeness ถ้าทุกๆ เฟลสในทุกๆ โหนดของรีชเอเบิลิตีทรีมีโทเค็นอยู่ไม่เกินหนึ่ง
2. เพทรีเน็ตมีคุณสมบัติ Boundedness ถ้าทุกๆ เฟลสในทุกๆ โหนดของรีชเอเบิลิตีทรีมีโทเค็นอยู่ภายในไม่เกินค่าคงที่จำนวนเต็ม
3. เพทรีเน็ตมีคุณสมบัติ Liveness เมื่อเทียบกับมาร์กกิงเริ่มต้น M_0 ถ้าทุกๆ โหนดแสดงมาร์กกิงที่สามารถยิงทรานสิชันได้

2.1.2 วงรอบชีวิตของแอปพลิเคชัน (Application Life Cycle)

โดยปกติแอปพลิเคชันทำงานแยกกันในแต่ละโพรเซส และแต่ละโพรเซสอาจมี Activity/Service ทำงานอยู่มากกว่า 1 Activity/Service ดังนั้นในแต่ละแอปพลิเคชันอาจมีมากกว่า 1 Activity ดังรูปที่ 2.9 เป็นวงรอบชีวิตของแอปพลิเคชัน ซึ่งในการเริ่มทำงานของ Activity เริ่มด้วย startActivity() สำหรับแบบซิงโครนัส (Synchronous) และเริ่มด้วย startSubActivity() สำหรับแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) โดยในแต่ละ Activity มีวงรอบชีวิต (Life Cycle) ที่แยกจากกัน โดยชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงรอบชีวิตของแอปพลิเคชัน

- onCreate (Bundle savedInstanceState) ส่วนนี้ถูกเรียกใช้งานเมื่อเริ่มทำงาน ในกรณีที่มีการเรียกใช้งานเมธอด (Method) นี้ Android Framework นำ Bundle object บันทึกไว้ใน Activity ก่อนที่ Activity ทำงาน จากนั้นตามด้วยฟังก์ชัน onStart()

- onStart() ส่วนนี้เป็นการระบุว่า Activity นั้นๆ ถูกแสดงขึ้นมา จากนั้นสถานะถูกย้ายไปเป็นสถานะ onResume แต่ถ้า Activity นั้นไม่สามารถทำงานได้ด้วยเหตุผลบางอย่าง สถานะถูกย้ายไปเป็นสถานะ onStop

- onStart() ส่วนนี้เป็นการระบุว่า Activity นั้นถูกแสดงขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งตามด้วยสถานะ onStart()

- onResume() ส่วนนี้ถูกเรียกเมื่อ Activity นั้นๆ มีการติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น นักพัฒนาต้องการเรียก Activity นั้นขึ้นมาทำงานอีกรอบหนึ่ง หลังจากที่ Activity นั้นอยู่ในสถานะ onPause

- onStop() ส่วนนี้ถูกเรียกใช้งานเมื่อผู้ใช้ไม่ต้องการใช้งาน Activity นั้นๆ ในระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งตามด้วยสถานะ onStart() เมื่อต้องการกลับมาทำงานที่ Activity นั้นอีกครั้ง หรือตามด้วยสถานะ onDestroy() เมื่อต้องการปิด Activity นั้นๆ

- onPause() ส่วนนี้ถูกเรียกใช้เมื่อ Activity นั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นการทำงานทางเบื้องหลัง (Background)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

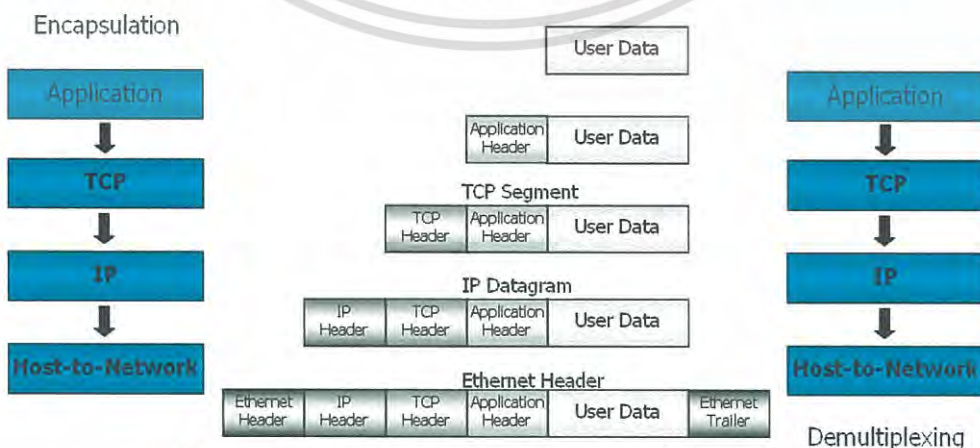
- onDestroy() ส่วนนี้ถูกเรียกเมื่อมีการปิดการทำงานของแต่ละ Activity

2.1.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโปรโตคอล TCP/IP

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) เป็นชุดของโปรโตคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถสื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้ และสามารถหาเส้นทางส่งข้อมูลได้เองโดยอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าในระหว่างทางอาจผ่านเครือข่ายที่มีปัญหา โปรโตคอลก็ยังค้นหาเส้นทางอื่นในการส่งผ่านข้อมูลไปให้ถึงปลายทางได้ ชุดโปรโตคอลนี้ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1960 ซึ่งถูกใช้เป็นครั้งแรกในเครือข่าย ARPANET ซึ่งต่อมาได้ขยายการเชื่อมต่อไปทั่วโลกเป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ TCP/IP เป็นที่ยอมรับจนถึงปัจจุบัน TCP/IP มีจุดประสงค์ของการสื่อสารตามมาตรฐาน 3 ประการคือ

1. เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างระบบที่มีความแตกต่างกัน
2. ความสามารถในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่าย เช่นในกรณีที่มีผู้ส่งและผู้รับยังคงมีการติดต่อกันอยู่ แต่ในกลางที่ใช้เป็นผู้ช่วยรับ-ส่งเกิดเสียหายใช้การไม่ได้ หรือสายสื่อสารบางช่วงถูกตัดขาด กฎของการสื่อสารต้องสามารถจัดหาทางเลือกอื่นๆ เพื่อให้การสื่อสารดำเนินต่อไปได้โดยอัตโนมัติ
3. มีความคล่องตัวต่อการสื่อสารข้อมูลได้หลายชนิดทั้งแบบที่ไม่มีความเร่งด่วน เช่น การจัดส่งแฟ้มข้อมูล และแบบที่ต้องการรับประกันความเร่งด่วนของข้อมูล เช่น การสื่อสารแบบ real time ทั้งการสื่อสารแบบเสียง (Voice) และแบบข้อมูล (data)

จากรูปที่ 2.10 เป็นการส่งข้อมูลผ่านในแต่ละชั้นทำการประกอบข้อมูลที่ได้รับมากับข้อมูลส่วนควบคุมซึ่งถูกนำมาไว้ในส่วนหัวของข้อมูลเรียกว่า Header ภายใน Header บรรจุข้อมูลที่สำคัญของโปรโตคอลที่ทำการ Encapsulate เมื่อผู้รับได้รับข้อมูล ก็เกิดกระบวนการทำงานย้อนกลับคือโปรโตคอลเดียวกัน ทางฝั่งผู้รับได้รับข้อมูลส่วนที่เป็น Header ก่อนและนำไปประมวลผลทำให้ทราบว่าข้อมูลที่ตามมานั้นมีลักษณะอย่างไร ซึ่งกระบวนการย้อนกลับนี้เรียกว่า Demultiplexing



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการ Encapsulation และ Demultiplexing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ผ่านการ Encapsulate ในแต่ละชั้นมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ดังนี้

- ข้อมูลที่มาจาก User คือ ข้อมูลที่ User เป็นผู้ป้อนให้กับ Application เรียกว่า User Data

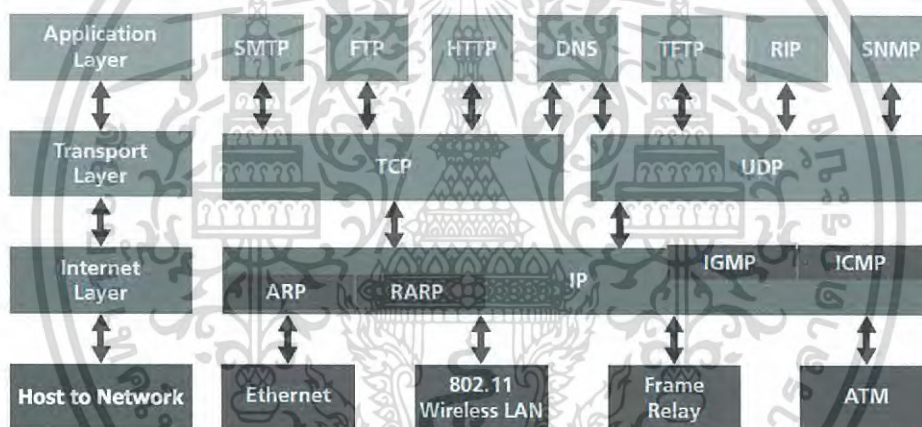
- เมื่อแอปพลิเคชันได้รับข้อมูลจาก user ก็นำมาประกอบกับส่วนหัวของแอปพลิเคชัน เรียกว่า Application Data และส่งต่อไปยังโปรโตคอล TCP

- เมื่อโปรโตคอล TCP ได้รับ Application Data ก็นำมารวมกับ Header ของโปรโตคอล TCP เรียกว่า TCP Segment และส่งต่อไปยังโปรโตคอล IP

- เมื่อโปรโตคอล IP ได้รับ TCP Segment ก็นำมารวมกับ Header ของโปรโตคอล IP เรียกว่า IP Datagram และส่งต่อไปยังชั้น Host-to-Network Layer

- ในระดับ Host-to-Network นำ IP Datagram มาเพิ่มส่วน Error Correction และ flag เรียกว่า Ethernet Frame ก่อนแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านสายสัญญาณต่อไป

จากรูปที่ 2.11 เป็นโครงสร้างโปรโตคอล TCP/IP สามารถอธิบายในแต่ละชั้นได้ ดังนี้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างโปรโตคอล TCP/IP

2.1.3.1 ชั้นโฮสต์-เครือข่าย (Host-to-Network Layer)

โปรโตคอลสำหรับการควบคุมการสื่อสารในชั้นนี้เป็นการที่ไม่มีกำหนดรายละเอียดอย่างเป็นทางการ หน้าที่หลักคือการรับข้อมูลจากชั้นสื่อสาร IP มาแล้วส่งไปยังโนดที่ระบุไว้ในเส้นทางเดิน ข้อมูลทางด้านผู้รับก็ทำงานในทางกลับกัน คือรับข้อมูลจากสายสื่อสารแล้วนำส่งให้กับโปรแกรมในชั้นสื่อสาร

2.1.3.2 ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ต (The Internet Layer)

ใช้ระบบการสื่อสารที่เรียกว่า ระบบเครือข่ายแบบสลับช่องสื่อสารระดับแพ็กเก็ต (packet-switching network) ซึ่งเป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless) หลักการทำงานคือการปล่อยให้ข้อมูลขนาดเล็กที่เรียกว่า แพ็กเก็ต (Packet) สามารถไหลจากโนดผู้ส่งไปตามโนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ในระบบจนถึงจุดหมายปลายทางได้โดยอิสระ หากว่ามีการส่งแพ็กเก็ตออกมาเป็นชุดโดยมีจุดหมายปลายทางเดียวกันในระหว่างการเดินทางในเครือข่าย แพ็กเก็ตแต่ละตัวในชุดนี้เป็นอิสระแก่กันและกัน ดังนั้นแพ็กเก็ตที่ส่งไปถึงปลายทางอาจไม่เป็นไปตามลำดับก็ได้

IP (Internet Protocol) เป็นโปรโตคอลในระดับเน็ตเวิร์คเลเยอร์ ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับแอดเดรสและข้อมูล โดยควบคุมการส่งข้อมูลบางอย่างที่ใช้ในการหาเส้นทางของแพ็กเก็ต ซึ่งกลไกในการหาเส้นทางของ IP มีความสามารถในการหาเส้นทางที่ดีที่สุด และสามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้ในระหว่างการส่งข้อมูล มีระบบการแยกและประกอบเดตาแกรม (datagram) เพื่อรองรับการส่งข้อมูลระดับ data link ที่มีขนาด MTU (Maximum Transmission Unit) ที่แตกต่างกันทำให้สามารถนำ IP ไปใช้บนโปรโตคอลอื่นได้หลากหลาย เช่น Ethernet ,Token Ring หรือ Apple Talk การเชื่อมต่อของ IP เพื่อทำการส่งข้อมูล เป็นแบบ connectionless หรือเกิดเส้นทางในการเชื่อมต่อในทุกๆ ครั้งของการส่งข้อมูล 1 เดตาแกรม โดยไม่ทราบถึงข้อมูลเดตาแกรมที่ส่งก่อนหน้าหรือส่งตามมา แต่การส่งข้อมูลใน 1 เดตาแกรม อาจเกิดการส่งได้หลายครั้งในกรณีที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ (fragmentation) และถูกนำไปรวมเป็นเดตาแกรมเต็มเมื่อถึงปลายทางเซดเดอร์ของ IP โดยปกติมีขนาด 20 bytes ยกเว้นในกรณีที่มีการเพิ่ม option บางอย่าง โครงสร้าง IP Header ดังรูปที่ 2.12 มีความหมาย ดังนี้

- Version หมายเลขเวอร์ชันของโปรโตคอล ที่ใช้งานในปัจจุบันคือ เวอร์ชัน 4 (IPv4) และเวอร์ชัน 6 (IPv6)

- Header Length ความยาวของเฮดเดอร์ โดยทั่วไปถ้าไม่มีส่วน option มีค่าเป็น 5 (5*32 bit)

- Type of Service (TOS) ใช้เป็นข้อมูลสำหรับเราเตอร์เพื่อตัดสินใจเลือกเส้นทาง (Route) ข้อมูลในแต่ละเดตาแกรม แต่ในปัจจุบันไม่ได้มีการนำไปใช้งานแล้ว

- Length ความยาวทั้งหมดเป็นจำนวนไบนารีของเดตาแกรม ซึ่งมีขนาด 16 บิตของฟิลด์ หมายถึงความยาวสูงสุดของเดตาแกรม คือ 65535 byte (64k) แต่ในการส่งข้อมูลจริง ข้อมูลถูกแยกเป็นส่วนๆ ตามขนาดของ MTU ที่กำหนดในลิงค์เลเยอร์ และนำมารวมกันอีกครั้งเมื่อส่งถึงปลายทาง แอปพลิเคชันส่วนใหญ่มีขนาดของเดตาแกรมไม่เกิน 512 byte

- Identification เป็นหมายเลขของเดตาแกรมในกรณีที่มีการแยกเดตาแกรม เมื่อข้อมูลส่งถึงปลายทางนำข้อมูลที่มี identification เดียวกันมารวมกัน

- Flag ใช้ในกรณีที่มีการแยกเดตาแกรม

- Fragment Offset ใช้ในการกำหนดตำแหน่งข้อมูลในเดตาแกรมที่มีการแยกส่วน เพื่อให้สามารถนำกลับมาเรียงต่อกันได้อย่างถูกต้อง

- Time to Live (TTL) กำหนดจำนวนครั้งที่มากที่สุดที่เดตาแกรมถูกส่งระหว่าง hop (การส่งผ่านข้อมูลระหว่างเน็ตเวิร์ค) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลโดยไม่สิ้นสุด โดยเมื่อข้อมูลถูกส่งไป 1 hop ทำการลดค่า TTL ลง 1 เมื่อค่าของ TTL เป็น 0 และข้อมูลยังไม่ถึงปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลนั้นถูกยกเลิก และเราเตอร์สุดท้ายส่งข้อมูล ICMP แจ้งกลับมายังต้นทางว่าเกิด time out ในระหว่างการส่งข้อมูล

- Protocol ระบุโปรโตคอลที่ส่งในเดตาแกรม เช่น TCP, UDP หรือ ICMP
- Header Checksum ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในเฮดเดอร์
- Source IP Address หมายเลข IP ของผู้ส่งข้อมูล
- Destination IP Address หมายเลข IP ของผู้รับข้อมูล
- Data ข้อมูลจากโปรโตคอลระดับบน

4 bit Version	Header Length	8 bit Type of Service	16 bit Total Length in Byte	
16 bit Identification			3 bit Flag	16 bit Fragment Checksum
8 bit Time to Live (TTL)	8 bit Protocol		16 bit Header Checksum	
32 bit Source IP Address				
32 bit Destination IP Address				
Option				
Data				

รูปที่ 2.12 โครงสร้าง IP Header

ICMP (Internet Control Message Protocol) เป็นโปรโตคอลที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.13 ทำหน้าที่ตรวจสอบและรายงานสถานภาพของเดตาแกรม ในกรณีที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเดตาแกรม เช่น เราเตอร์ไม่สามารถส่งเดตาแกรมไปถึงปลายทางได้ ICMP ถูกส่งออกไปยังโฮสต์ต้นทางเพื่อรายงานข้อผิดพลาด ที่เกิดขึ้นและไม่มีอะไรรับประกันได้ว่า ICMP Message ที่ส่งไปถึงผู้รับจริงหรือไม่ หากมีการส่งเดตาแกรมออกไปแล้วไม่มี ICMP Message ฟ้อง Error กลับมาแปลความหมายได้สองกรณีคือ ข้อมูลถูกส่งไปถึงปลายทางอย่างเรียบร้อยหรืออาจมีปัญหา ในการสื่อสารทั้งการส่งเดตาแกรมและ ICMP Message ที่ส่งกลับมาอาจมีปัญหาระหว่างทางก็ได้ ICMP เป็นโปรโตคอลที่ไม่มี ความน่าเชื่อถือ ซึ่งเป็นหน้าที่ของโปรโตคอลในระดับสูงกว่า Network Layer ในการจัดการให้การสื่อสารนั้นๆ มีความน่าเชื่อถือ ในส่วนของ ICMP Message ประกอบด้วย Type ขนาด 8 บิต Checksum ขนาด 16 บิต และส่วนของ Content ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตาม Type และ Code

8 bit Type	8 bit Code	16 bit Checksum
ICMP Content		

รูปที่ 2.13 โครงสร้าง ICMP Header

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.3 ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer)

สามารถแบ่งเป็นโปรโตคอลตามลักษณะได้ 2 ประเภท คือ ประเภทแรกเรียกว่า User Datagram Protocol (UDP) เป็นการติดต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (connectionless) มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแต่ไม่มีการแจ้งกลับไปยังผู้ส่ง จึงถือได้ว่าไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อดีในด้านความรวดเร็วในการส่งข้อมูล จึงนิยมใช้ในระบบผู้ให้และผู้ให้บริการ (client/server system) ซึ่งมีการสื่อสารแบบ ถาม/ตอบ (request/reply) นอกจากนี้ยังใช้ในการส่งข้อมูลประเภทภาพเคลื่อนไหวหรือการส่งเสียง (voice) ทางอินเทอร์เน็ต และประเภทที่สองเรียกว่า Transmission Control Protocol (TCP) เป็นการกำหนดช่วงการสื่อสารตลอดระยะเวลาการสื่อสาร (connection-oriented) ซึ่งยอมให้มีการส่งข้อมูลเป็นแบบ Byte stream ที่ไว้วางใจได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ข้อมูลที่มีปริมาณมากถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ เรียกว่า message ซึ่งถูกส่งไปยังผู้รับผ่านทางชั้นสื่อสารของอินเทอร์เน็ต ทางฝ่ายผู้รับนำ message มาเรียงต่อกันตามลำดับเป็นข้อมูลตัวเดิม นอกจากนี้ TCP ยังมีความสามารถในการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ส่งได้ส่งข้อมูลเร็วเกินกว่าที่ผู้รับทำงานได้ทันอีกด้วย ดังนี้

User Datagram Protocol (UDP) เป็นโปรโตคอลที่อยู่ในชั้น Transport Layer เมื่อเทียบกับโมเดล OSI โดยการส่งข้อมูลของ UDP นั้นเป็นการส่งครั้งละ 1 ชุดข้อมูล เรียกว่า UDP datagram ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างเดตาแกรมและไม่มีกลไกการตรวจสอบความสำเร็จในการรับส่งข้อมูล กลไกการตรวจสอบโดย checksum ของ UDP นั้นเพื่อเป็นการป้องกันข้อมูลที่อาจถูกแก้ไข หรือมีความผิดพลาดระหว่างการส่ง และหากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว ปลายทางได้รู้ว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น แต่มันเป็นการตรวจสอบเพียงฝ่ายเดียวเท่านั้น โดยในข้อกำหนดของ UDP หากพบว่า Checksum Error ก็ให้ผู้รับปลายทางทำการทิ้งข้อมูลนั้น แต่ไม่มีการแจ้งกลับไปยังผู้ส่ง การรับส่งข้อมูลแต่ละครั้งหากเกิดข้อผิดพลาดในระดับ IP เช่น ส่งไม่ถึง หมดเวลา ผู้ส่งได้รับ Error Message จากระดับ IP เป็น ICMP Error Message แต่เมื่อข้อมูลส่งถึงปลายทางถูกต้อง แต่เกิดข้อผิดพลาดในส่วนของ UDP ซึ่งไม่มีการยืนยันหรือแจ้งให้ผู้ส่งทราบ

16 bit Source Port	16 bit Destination Port
Length	Checksum
Data	

รูปที่ 2.14 โครงสร้าง UDP Header

- Source Port Number หมายเลขพอร์ตต้นทางที่ส่งเดตาแกรมนี้
- Destination Port Number หมายเลขพอร์ตปลายทางที่เป็นผู้รับเดตาแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- UDP Length ความยาวของเดตาแกรม ทั้งส่วน Header และ data นั้น หมายความว่า ค่าที่น้อยที่สุดในฟิลด์นี้คือ 8 ซึ่งเป็นขนาดของ Header

- Checksum เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของ UDP datagram และนำข้อมูลบางส่วนใน IP Header มาคำนวณด้วย

Transmission Control Protocol (TCP) ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล ซึ่งมีความสามารถให้รายละเอียดมากกว่า UDP โดยเดตาแกรมของ TCP ดังรูปที่ 2.15 มีความสัมพันธ์ต่อกัน และมีกลไกควบคุมการรับส่งข้อมูลให้มีความถูกต้อง (reliable) และมีการสื่อสารอย่างเป็นทางการ (connection-oriented)

16 bit Source Port Number						16 bit Source Destination Port					
32 bit Sequence Number											
32 bit Acknowledge Number											
Header Length	6 bit Reserved	URG	ACK	PUSH	RESET	SYN	FIN	16 bit Windows Size			
16 bit TCP Checksum						16 bit Urgent Pointer					
TCP Option											
Data											

รูปที่ 2.15 โครงสร้าง TCP Header

- Source Port Number หมายเลขพอร์ตต้นทางที่ส่งเดตาแกรมนี้
 - Destination Port Number หมายเลขพอร์ตปลายทางที่เป็นผู้รับเดตาแกรม
 - Flag เป็นข้อมูลระดับบิตอยู่ในเฮดเดอร์ TCP เป็นตัวบอกคุณสมบัติของแพ็กเก็ต TCP ขณะนั้นๆ และใช้เป็นตัวควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล ซึ่ง Flag มีทั้งหมด 6 บิตดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของ Flag ชนิดต่างๆ

Type	Description
URG	ใช้บอกความหมายว่าเป็นข้อมูลด่วน และมีข้อมูลพิเศษมาด้วย (อยู่ใน Urgent Pointer)
ACK	แสดงว่าข้อมูลในฟิลด์ Acknowledge Number นำมาใช้งานได้
DSH	การแจ้งให้ผู้รับข้อมูลทราบว่าควรส่งข้อมูล Segment นี้ไปยัง Application ที่กำลังรออยู่ โดยเร็ว
RST	ยกเลิกการติดต่อ (Reset) เนื่องจากในกรณีที่เกิดการสับสนขึ้นด้วยเหตุผลต่างๆ เช่น โสสตร์มีปัญหาให้เริ่มสื่อสารใหม่
SYN	ใช้ในการเริ่มต้นขอติดต่อกับปลายทาง
FIN	ใช้ส่งเพื่อแจ้งให้ปลายทางทราบว่ายุติการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เฉพาะสำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

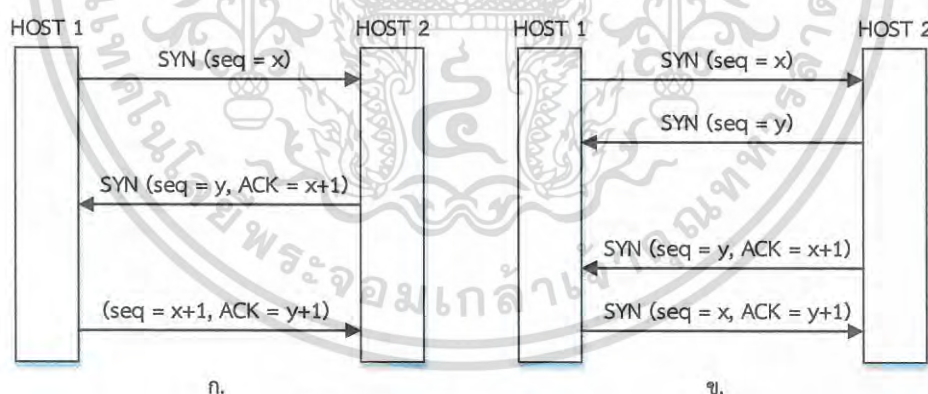
Flag ในเฮดเดอร์ของ TCP มีความสำคัญในการกำหนดการทำงานของ TCP segment เนื่องจากข้อมูลในเฮดเดอร์ของ TCP มีข้อมูลครบถ้วนทั้งการรับและการส่งข้อมูล ซึ่งในการทำงานแต่ละอย่างมีการใช้งานฟิลด์ไม่เหมือนกัน flag เป็นตัวกำหนดว่าให้ใช้งานฟิลด์ไหน เช่น ฟิลด์ Acknowledgment number ไม่ถูกใช้ในขั้นตอนการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ แต่มีข้อมูลในฟิลด์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่มีความหมายใดๆ ซึ่งถ้าไม่มี flag เป็นตัวกำหนดอาจมีการนำข้อมูลมาใช้ และก่อให้เกิดความผิดพลาดได้

- Sequence Number ฟิลด์ที่ระบุหมายเลขลำดับอ้างอิงในการสื่อสารข้อมูลแต่ละครั้ง เพื่อใช้ในการแยกแยะว่าเป็นข้อมูลของชุดใด และนำมาจัดลำดับได้ถูกต้อง

- Acknowledgment Number ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Sequence Number แต่ใช้ในการตอบรับ

- Header Length โดยปกติความยาวของเฮดเดอร์ TCP มีความยาว 20 ไบต์ แต่อาจมากกว่านั้น ถ้ามีข้อมูลในฟิลด์ option แต่ต้องไม่เกิน 60 ไบต์

การสื่อสารของ TCP เมื่อเซกเมนต์ CONNECT (SYN = "1" และ ACK = "0") เดินทางมาถึง Entity TCP ที่โฮสต์ปลายทางค้นหาโปรเซสตามหมายเลขพอร์ตที่กำหนดในเขตข้อมูล Destination port ซึ่งถ้าหากไม่พบก็ตอบปฏิเสธด้วยเซกเมนต์ที่มี RST = "1" กลับไปยังผู้ส่ง เซกเมนต์ CONNECT ของผู้ส่งถูกส่งต่อไปยังโปรเซส ตามพอร์ตที่ระบุซึ่งอาจตอบรับหรือตอบปฏิเสธก็ได้ ถ้าโปรเซสนั้นต้องการสื่อสารด้วย โดยการส่งเซกเมนต์ตอบรับกลับไปดังรูปที่ 2.16 ก. แสดงลำดับขั้นตอนการส่ง TCP เซกเมนต์ในการสร้างการเชื่อมต่อในสภาวะปกติระหว่างผู้ส่งและผู้รับ



รูปที่ 2.16 การสร้างการเชื่อมต่อของ TCP

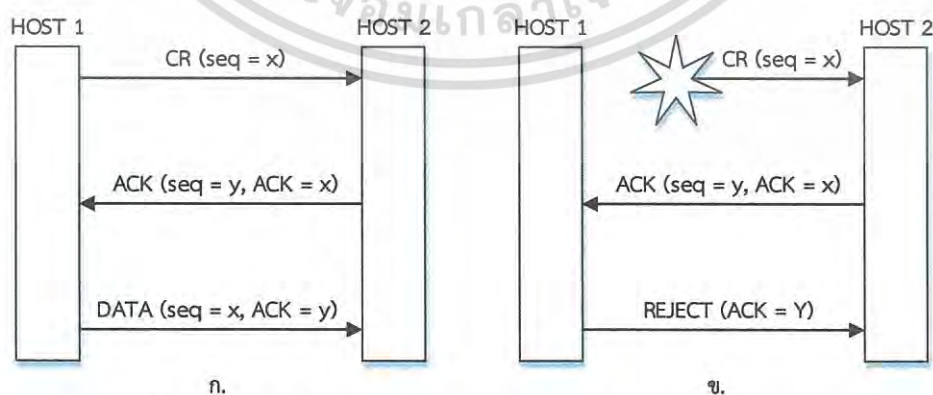
ในกรณีที่โฮสต์สองแห่งพยายามสร้างการเชื่อมต่อระหว่างซ็อกเก็ตคู่เดียวกันเกิดเป็นลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 2.16 ข. สุดท้ายมีการเชื่อมต่อเกิดขึ้นเพียงหนึ่งช่องทางเท่านั้น เนื่องจากการเชื่อมต่อในแต่ละช่องทางถูกกำหนดขึ้นโดยใช้หมายเลขซ็อกเก็ตผู้ส่งและผู้รับ ถ้าการเชื่อมต่อลำดับแรกสำเร็จก็ถูกบันทึกไว้ในตารางการสื่อสาร เช่น (x, y) ถ้าการเชื่อมต่อลำดับที่สองสำเร็จในเวลาต่อมา ข้อมูลนี้ก็ถูกบันทึกไว้ที่เดียวกันคือ (x, y) ขั้นตอนในการสร้างการเชื่อมต่อและการยกเลิกสามารถเขียนอธิบาย

ด้วยไฟไนท์สเตทแมชชีนที่มีการทำงาน 11 สถานะ ในแต่ละสถานะมีเหตุการณ์บางอย่างที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งได้รับการตอบสนองด้วยการกระทำที่เหมาะสม ในทางตรงกันข้าม เหตุการณ์ที่เป็นไปไม่ได้ กลายเป็นข้อผิดพลาดที่ต้องรายงานให้ทราบการเชื่อมต่อเริ่มต้นจากสถานะ CLOSED เมื่อเรียกใช้ บริการ LISTEN หรือ CONNECT มีการเปลี่ยนสถานะไปจากเดิม และถ้าอีกฝ่ายต้องการเชื่อมต่อด้วยการเชื่อมต่อจึงเกิดขึ้นและย้ายไปอยู่ในสถานะ ESTABLISHED คือการเชื่อมต่อสมบูรณ์ และเมื่อ ยกเลิกการติดต่อก็กลับไปสู่สถานะ CLOSED อย่างเดิม

การเริ่มต้นการสื่อสารของ TCP โดยใช้การบันทึกเวลาแบบ Three-way Handshake เป็นวิธีการส่งแพ็กเก็ตที่สามารถช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของแพ็กเก็ตซ้ำซ้อนได้ดี แต่วิธีนี้ จำเป็นต้องสร้างช่องสื่อสารให้ได้ก่อนที่เริ่มรับส่งข้อมูล อย่างไรก็ตาม แพ็กเก็ตควบคุมที่ใช้ในการ ต่อรองค่าตัวแปรสำหรับการสื่อสารต่างๆ อาจเกิดการตกค้างอยู่ในระบบได้ ทำให้การกำหนดค่า หมายเลขลำดับมีปัญหาไปด้วย เช่น การสร้างช่องสื่อสารระหว่างโฮสต์ 1 และ โฮสต์ 2 เริ่มจากโฮสต์ 1 ขอเริ่มการเชื่อมต่อด้วยการส่งแพ็กเก็ต CR (Connection Request) ไปยังโฮสต์ 2 ซึ่งมีค่าตัวแปร ต่างๆสำหรับการสื่อสารรวมทั้งหมายเลขลำดับและหมายเลขช่องสื่อสารไปด้วย ผู้รับคือโฮสต์ 2 ก็ส่ง ACK (Acknowledge) กลับมายังโฮสต์ 1 แต่ถ้าแพ็กเก็ต จากผู้ส่งเกิดสูญหายระหว่างทางและสำเนา แพ็กเก็ตที่ยังตกค้างอยู่ระบบเกิดเดินทางไปถึงผู้รับในภายหลังก็ทำให้การสร้างช่องสื่อสารใช้การไม่ได้ เนื่องจากมีค่าตัวแปรต่างๆ ไม่ตรงกัน การใช้ Three-way handshake เป็นการไม่บังคับให้ผู้ส่งและผู้รับ ข้อมูลต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของหมายเลขลำดับเป็นเลขเดียวกัน ทำให้สามารถนำวิธีนี้มาใช้ ร่วมกับวิธีการจัดจังหวะการทำงานให้พร้อมกัน (Synchronization) แบบต่างๆ ได้ แทนที่เป็นการใช้ วิธีการบันทึกเวลาดังรูปที่ 2.17 ก. แสดงขั้นตอนการเริ่มต้นการทำงานจากโฮสต์ 1 ไปยังโฮสต์ 2 สมมุติให้โฮสต์ 1 เลือกหมายเลขลำดับเป็น “x” และส่งแพ็กเก็ต CONNECTION REQUEST ไปยัง โฮสต์ 2 โฮสต์ 2 ตอบรับด้วยแพ็กเก็ต CONNECTION ACCEPTED ซึ่งยอมรับหมายเลขลำดับ “x” พร้อมกับประกาศหมายเลขลำดับ “y” ที่เป็นของตนเอง จากนั้นโฮสต์ 1 ตอบรับค่าตัวเลือกของโฮสต์ 2 ผ่านทางเขตข้อมูลสำหรับการควบคุมในแพ็กเก็ตข้อมูลแรกที่ส่งมา



รูปที่ 2.17 การสื่อสารของ TCP แบบ Three-way Handshake

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติว่าได้เกิดปัญหาการสูญหายของแพ็กเก็ตในขณะที่สำคัญแพ็กเก็ตที่ค้างในระบบเดินทางไปถึงผู้รับแทนดังรูปที่ 2.17 ข. เป็นเหตุการณ์ที่แพ็กเก็ต TPDU เป็นสำเนาแพ็กเก็ตเก่าที่เพิ่งเดินทางไปถึงโฮสต์ 2 โดยที่โฮสต์ 1 ไม่ทราบ โฮสต์ 2 ก็ทำงานตามปกติคือตอบรับด้วยการส่งแพ็กเก็ต CONNECTION ACCEPTED TPDU กลับมา ที่โฮสต์ 1 ซึ่งโฮสต์ 1 สามารถตรวจสอบได้ว่า หมายเลขลำดับโฮสต์ 2 ตอบกลับมานั้นเป็นหมายเลขลำดับที่ได้เลิกใช้ไปแล้ว จึงมีการส่งแพ็กเก็ต REJECT กลับมายังโฮสต์ 2 เพื่อบอกยกเลิกการทำงาน เห็นว่าวิธีการนี้อาศัยการสื่อสารผ่านแพ็กเก็ต 3 ตัวซึ่งเป็นที่มาของคำว่า “การจับมือร่วมสามชั้นตอน” ผลสุดท้าย ทั้งโฮสต์ 1 และโฮสต์ 2 ไม่มีการสร้างช่องสื่อสารขึ้นมาจากข้อมูลในสำเนาแพ็กเก็ตเก่าแต่อย่างใด

2.1.3.4 ชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer)

เป็นโปรโตคอลสำหรับสร้างจอร์นัลเสมือน เรียกว่า TELNET โปรโตคอลสำหรับการจัดการเพิ่มข้อมูล เรียกว่า FTP และโปรโตคอลสำหรับการให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า SMTP โดยโปรโตคอลสำหรับสร้างจอร์นัลเสมือนช่วยให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับเครื่องโฮสต์ที่อยู่ไกลออกไปโดยผ่านอินเทอร์เน็ต และสามารถทำงานได้เสมือนกับว่ากำลังนั่งทำงานอยู่ที่เครื่องโฮสต์นั้น โปรโตคอลสำหรับการจัดการเพิ่มข้อมูลช่วยในการคัดลอกเพิ่มข้อมูลมาจากเครื่องอื่นที่อยู่ในระบบเครือข่ายหรือส่งสำเนาเพิ่มข้อมูลไปยังเครื่องใดๆ ก็ได้ โปรโตคอลสำหรับให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการจัดส่งข้อความไปยังผู้ใช้ในระบบ หรือรับข้อความที่มีผู้ส่งเข้ามา

2.1.4 วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC)

วงจรการพัฒนาระบบดังรูปที่ 2.18 เป็นวงจรที่แสดงถึงกิจกรรมต่างๆ เป็นลำดับขั้นตอนในการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย 7 ระยะเวลา ดังนี้



รูปที่ 2.18 วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 ระยะเวลาที่ 1 การกำหนดปัญหา (Problem Definition)

การกำหนดปัญหา เป็นขั้นตอนของการกำหนดขอบเขตของปัญหา สาเหตุของปัญหาจากการดำเนินงานในปัจจุบัน ความเป็นไปได้กับการสร้างระบบใหม่ การกำหนดความต้องการระหว่างนักวิเคราะห์ระบบกับผู้ใช้งาน โดยข้อมูลเหล่านี้ได้จากการสัมภาษณ์ การรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อทำการสรุปเป็นข้อกำหนดที่ชัดเจน ในขั้นตอนนี้หากเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ อาจเรียกขั้นตอนนี้ว่า ขั้นตอนของการศึกษาความเป็นไปได้ สรุปขั้นตอนของระยะการกำหนดปัญหา ประกอบด้วย รับรู้สภาพของปัญหาที่เกิดขึ้น ค้นหาต้นเหตุของปัญหา รวบรวมปัญหาของระบบงานเดิม ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการพัฒนาระบบ จัดเตรียมทีมงานพร้อมกำหนดเวลาในการทำโครงการ และลงมือดำเนินการ

2.1.4.2 ระยะเวลาที่ 2 การวิเคราะห์ (Analysis)

การวิเคราะห์เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์การดำเนินงานของระบบปัจจุบัน โดยการนำข้อกำหนดความต้องการที่ได้มาจากขั้นตอนแรกมาวิเคราะห์ในรายละเอียด เพื่อทำการพัฒนาเป็นแบบจำลองตรรกะ ประกอบด้วย แผนภาพกระแสข้อมูล คำอธิบายการประมวลผลข้อมูล และแบบจำลองข้อมูล ในรูปแบบของ ER-Diagram ทำให้ทราบถึงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานในระบบว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง มีความเกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์กับสิ่งใด สรุปขั้นตอนของระยะการวิเคราะห์ ประกอบด้วย วิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน การกำหนดความต้องการหรือเป้าหมายของระบบใหม่ วิเคราะห์ความต้องการเพื่อสรุปเป็นข้อกำหนด และสร้างแผนภาพ DFD และแผนภาพ ER

2.1.4.3 ระยะเวลาที่ 3 การออกแบบ (Design)

การออกแบบเป็นขั้นตอนของการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของตรรกะมาทำการออกแบบระบบ โดยการออกแบบเริ่มจากส่วนของอุปกรณ์และเทคโนโลยีต่าง ๆ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาพัฒนาการออกแบบจำลองข้อมูล และการออกแบบจอภาพในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ การจัดทำพจนานุกรมข้อมูล สรุปขั้นตอนของระยะการออกแบบ ประกอบด้วย พิจารณาแนวทางในการพัฒนาระบบ ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ ออกแบบรายงาน ออกแบบหน้าจออินพุตข้อมูล ออกแบบผังงานระบบ ออกแบบฐานข้อมูล การสร้างต้นแบบ และการออกแบบโปรแกรม

2.1.4.4 ระยะเวลาที่ 4 การพัฒนา (Development)

การพัฒนาเป็นขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรมด้วยการสร้างชุดคำสั่งหรือเขียนโปรแกรมเพื่อการสร้างระบบงาน โดยต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่ใช้งานอยู่ ซึ่งในปัจจุบันภาวาระดับสูงได้มีการพัฒนาในรูปแบบของ 4GL ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกต่อการพัฒนารวมทั้งการมีวิศวกรรมซอฟต์แวร์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยต่างๆ มากมายให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม สรุปขั้นตอนของระยะการพัฒนา ประกอบด้วย พัฒนาโปรแกรม เลือกภาษาโปรแกรมที่เหมาะสม สามารถนำเครื่องมือมาช่วยพัฒนาโปรแกรมได้ และสร้างเอกสารประกอบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.5 ระยะที่ 5 การทดสอบ (Testing)

การทดสอบระบบเป็นขั้นตอนของการทดสอบระบบก่อนที่นำไปปฏิบัติการใช้งานจริง ทีมงานทำการทดสอบข้อมูลเบื้องต้นก่อนด้วยการสร้างข้อมูลจำลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นก็ย้อนกลับไปในขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรมใหม่ โดยการทดสอบระบบนี้ มีการตรวจสอบอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ การตรวจสอบรูปแบบภาษาเขียน (Syntax) และการตรวจสอบวัตถุประสงค์ของงานตรงกับความต้องการหรือไม่ สรุปลงขั้นตอนของระยะการพัฒนาประกอบด้วย ทดสอบไวยากรณ์ภาษาคอมพิวเตอร์ ทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ ทดสอบว่าระบบที่พัฒนาตรงตามความต้องการของผู้ใช้หรือไม่ และสร้างเอกสารประกอบโปรแกรม

2.1.4.6 ระยะที่ 6 การนำระบบไปใช้ (Implementation Phase)

ขั้นตอนต่อมาหลังจากที่ได้ทำการทดสอบ จนมีความมั่นใจแล้วว่าระบบสามารถทำงานได้จริงและตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ จากนั้นจึงดำเนินการติดตั้งระบบเพื่อใช้งานจริง สรุปลงขั้นตอนของระยะการนำระบบไปใช้ ประกอบด้วย ศึกษาสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก่อนที่นำระบบไปติดตั้ง ติดตั้งระบบให้เป็นไปตามสถาปัตยกรรมระบบที่ออกแบบไว้ จัดทำคู่มือระบบ ฝึกอบรมผู้ใช้งาน ดำเนินการใช้ระบบงานใหม่ และประเมินผลการใช้งานของระบบใหม่

2.1.4.7 ระยะที่ 7 การบำรุงรักษา (Maintenance)

ขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขระบบหลังจากที่ได้มีการติดตั้งและใช้งานแล้วในขั้นตอนนี้อาจเกิดจากจุดบกพร่องของโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมเมอร์ต้องรีบแก้ไขให้ถูกต้อง หรือเกิดจากความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการเพิ่มโมดูลในการทำงานอื่นๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อกำหนดความต้องการที่เคยตกลงกันก่อนหน้าด้วย ดังนั้นในส่วนงานนี้คิดค่าใช้จ่ายเพิ่มหรืออย่างไรเป็นเรื่องของรายละเอียดที่ผู้พัฒนาหรือนักวิเคราะห์ระบบต้องดำเนินการกับผู้ว่าจ้าง สรุปลงขั้นตอนของระยะการบำรุงรักษา ประกอบด้วย กรณีเกิดข้อผิดพลาดขึ้นจากระบบให้ดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้อง อาจจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเพิ่มกรณีที่มีผู้ใช้มีความต้องการเพิ่มเติม วางแผนรองรับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และบำรุงรักษาระบบงาน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [1] นำเสนอการออกแบบและการดำเนินงานของเครือข่ายสื่อสารสำหรับหุ่นยนต์ โดยผสมผสานเทคโนโลยีวิศวกรรมหุ่นยนต์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จุดมุ่งหมายคือการตรวจสอบรูปแบบโครงสร้างของเครือข่ายการสื่อสารที่เหมาะสม การออกแบบเครือข่ายสามารถนำมาใช้ภายใต้สภาพแวดล้อมภัยพิบัติผ่านกลุ่มของหุ่นยนต์สื่อสารข้อมูลได้ จากรูปที่ 2.19 เป็นงานวิจัยกลุ่มหุ่นยนต์สื่อสารกรณีภัยพิบัติซึ่งได้ออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกล ระบบแสดงสถานะแวดล้อมซึ่งรับข้อมูลมาจากเซนเซอร์ที่ติดอยู่กับหุ่นยนต์ ดังคำกล่าวที่ว่า วิศวกรสามารถทำงานในนิวยอร์กและสามารถควบคุมหุ่นยนต์ในกรุงเทพฯ ได้ แม้ว่าเทคโนโลยีในวันนี้อาจแก้ปัญหาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปเผยแพร่บนเว็บไซต์การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานได้ง่ายขึ้นในแง่มุมต่างๆ แต่ยังคงมีช่องว่างของเทคโนโลยีระหว่างการพัฒนาประเทศ และการพัฒนาคน



รูปที่ 2.19 งานวิจัยกลุ่มหุ่นยนต์สื่อสารกรณีภัยพิบัติ

งานวิจัย [2] เป็นการศึกษาาระบบอัจฉริยะที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวและโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับการจัดการและแก้ปัญหาการเลี้ยงไก่ โดยใช้ Raspberry Pi และ Arduino Uno การทดสอบและการวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบอัจฉริยะ ตัวอย่างในการศึกษานี้นำมาใช้ในฟาร์มไก่ ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถตรวจสอบสภาพอากาศโดยรอบที่มีความชื้น อุณหภูมิ สภาพภูมิอากาศที่มีคุณภาพและนอกจากนี้ยังมีการควบคุมสวิตช์พัดลมฟิลเตอร์ในฟาร์มไก่ ระบบมีความสะดวกสบายสำหรับเกษตรกรและสามารถควบคุมฟาร์มได้จากทุกที่ทุกเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้สามารถลดค่าใช้จ่าย ประหยัดสินทรัพย์ และการบริหารจัดการฟาร์มไก่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัย [3] เป็นการพัฒนาการเกษตรของอินเดียให้ทันสมัย โดยใช้ ARM7 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์มีเซนเซอร์วัดความชื้นในดินเพื่อตรวจสอบสภาพความชื้นในดิน และ GSM ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณควบคุมด้วยชุดคำสั่ง AT และข้อมูลที่ได้รับในรูปแบบของ SMS NG ใช้ในการสังเกตการณ์ความชื้นของดิน โดยการออกแบบระบบประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ วัตถุประสงค์ คือ ควบคุมมอเตอร์ผ่านอุปกรณ์รีเลย์เพื่อเปิดปิดการไหลของน้ำ โดยมีเงื่อนไขการเปิดหรือปิดมอเตอร์ของระบบชลประทานโดยใช้ความชื้นในดินเป็นเกณฑ์

งานวิจัย [4-5] การพัฒนาระบบสังเกตการณ์และควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้านโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งใช้ Arduino และเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบฝังตัวโดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องแม่ข่ายทำให้ช่วยลดต้นทุน และใช้วิธีของ REST ในการสร้าง Web Service โดยเรียกใช้ผ่านทางโปรโตคอล HTTP ซึ่งมี Method ประกอบด้วย GET และ POST สำหรับส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบของ XML และใช้ JSON แลกเปลี่ยนข้อมูลกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทำให้สามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ระยะไกลได้ เช่น หลอดไฟ ปลั๊กไฟ ประตูบ้านและประตูรั้ว โดยแสดงผลอุณหภูมิและมิเตอร์ไฟฟ้าบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

งานวิจัย [6] เป็นการพัฒนาฟาร์มสัตว์อัจฉริยะบนพื้นฐานของ IoT ระบบอัจฉริยะเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินการและตรวจสอบฟาร์มเลี้ยงสัตว์จากระยะไกล ระบบสามารถให้อาหารและน้ำสัตว์ได้ตามความต้องการ สามารถตรวจสอบไฟไหม้ภายในฟาร์มได้ นอกจากนี้ระบบอัจฉริยะยังมีระบบรักษาความปลอดภัยภายในฟาร์มด้วย ซึ่งระบบอัจฉริยะนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดี ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์ระดับน้ำ เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก แก๊สเซ็นเซอร์ อุณหภูมิ เซ็นเซอร์ความชื้นและกล้องไอพี สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตหรืออินทราเน็ตกับอุปกรณ์ได้ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือคอมพิวเตอร์

งานวิจัย [7] เป็นการพัฒนาระบบการเกษตร โดยได้นำกลุ่มเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบลำดับชั้นสำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ของดิน เช่น อุณหภูมิและความชื้น โดยการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุผ่านโนดแต่ละโนดไปยังโนดฐานที่เชื่อมต่อกับเว็รกสเตชัน โดยใช้โปรโตคอลการสื่อสาร และนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมไว้นำไปวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรต่อไป

งานวิจัย [8] ระบบเก็บข้อมูลสภาพอากาศและรูปภาพรายวันจากแปลงเกษตรกรรม เป็นการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการรับรู้ระยะไกล โดยมีอุปกรณ์เรียกว่า Field Server บันทึกข้อมูลที่แปลงเกษตรกรรมแบบอัตโนมัติ ทำหน้าที่แทนเจ้าหน้าที่สำรวจซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าว สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้เป็นระยะเวลาานาน และรายงานข้อมูลสถานะต่างๆ จากแปลงเพาะปลูกได้ใกล้เคียงกับเวลาจริง โดยติดตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศบนแปลงพืชเศรษฐกิจและพืชอื่นๆ หลากหลายชนิด เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง หน่อไม้ฝรั่ง ข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลรูปภาพรายวัน และข้อมูลสภาพอากาศที่ตรวจวัดได้ มีการเชื่อมโยงและส่งข้อมูลเหล่านี้มายังเครือข่ายส่วนกลางผ่านระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อประโยชน์ในการติดตาม การประเมินผลผลิตหรือแม้กระทั่งการคาดการณ์ผลผลิตล่วงหน้า ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการบริหารจัดการระบบการเกษตร เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างมั่นคงและยั่งยืน

สรุปบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเพทรีเน็ต การสื่อสารด้วยโปรโตคอล TCP/IP วงจรการพัฒนาระบบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทหน้าจะเป็นวิธีการดำเนินการวิจัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดปัญหา

การกำหนดปัญหาเป็นการศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ของระบบ โดยรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกร ทฤษฎีและงานวิจัยแล้วนำข้อมูลมาพัฒนาระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะดังรูปที่ 3.1 เป็นรูปแบบการพัฒนาแปลงเกษตรตามแนวคิดใหม่ซึ่งนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ ทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนจัดการแปลงเกษตรหรือฟาร์ม (Farm) ได้จากทุกที่ทุกเวลา เพียงมีโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ทำให้ลดเวลาและต้นทุนในการจ้างแรงงานดูแลฟาร์ม สามารถควบคุมปริมาณการให้น้ำและอาหารได้อย่างเหมาะสม ในระบบฟาร์มแบบดั้งเดิมนั้นต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักในการดูแลฟาร์ม เช่น การให้อาหารสัตว์ การใส่ปุ๋ย การให้น้ำพืชต้องอาศัยแรงงานคนในการเอาใจใส่ดูแลอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีนั้นเกษตรกรควรให้อาหารและน้ำอย่างเพียงพอ โดยให้ได้ตลอดเวลาตามความต้องการทำให้ไม่สามารถละทิ้งหน้าที่การบริหารจัดการฟาร์มได้ นอกจากนี้การทำเกษตรแบบดั้งเดิมยังไม่มีการตรวจสอบความชื้นของดิน ความชื้นและอุณหภูมิของอากาศ ในแต่ละวันต้องพึ่งพาธรรมชาติ เมื่อมีการลดลงของผลผลิตทำให้ผู้ดูแลไม่สามารถทราบสาเหตุที่ชัดเจนได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้ เช่น ความชื้นของดินต่ำควรให้น้ำปริมาณเพิ่มมากขึ้น และความร้อนในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์สูงขึ้นควรเปิดพัดลมหรือน้ำเพื่อระบายความร้อน



รูปที่ 3.1 รูปแบบการพัฒนาแปลงเกษตรตามแนวคิดใหม่

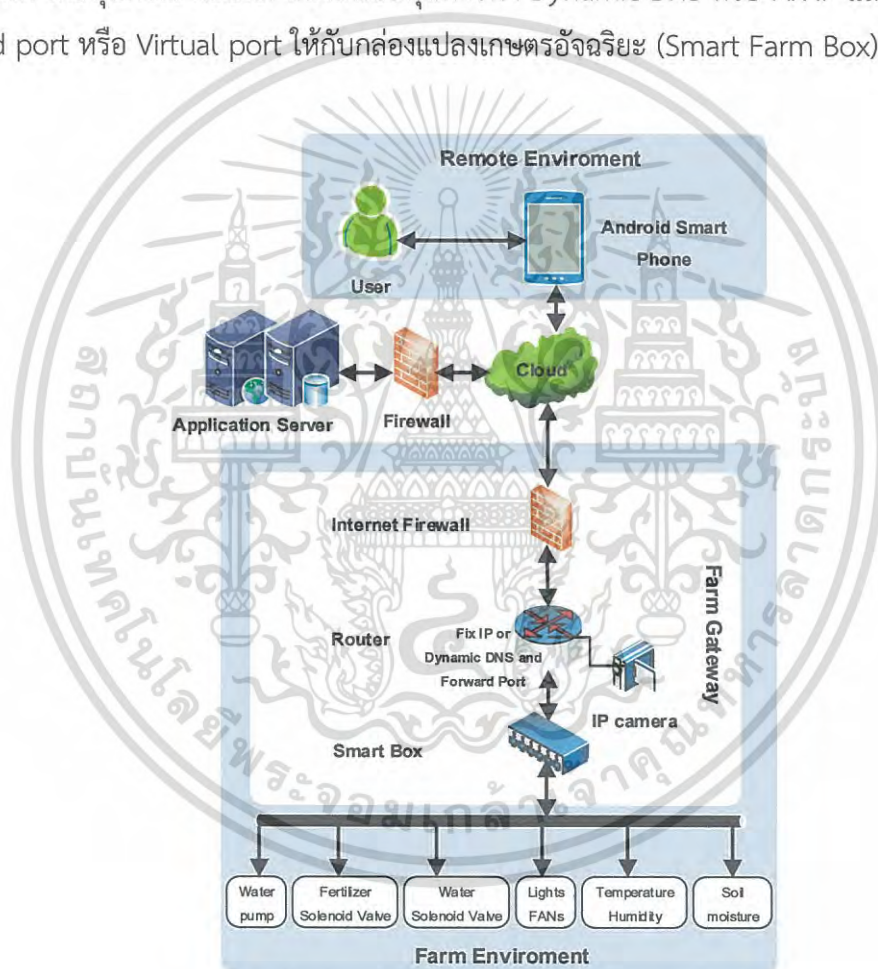
3.2 การวิเคราะห์ระบบ

ขั้นตอนนี้ได้วิเคราะห์ระบบและความต้องการของระบบจากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่จริง เพื่อเก็บข้อมูลกับเกษตรกร สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแรกเป็นส่วนแปลงเกษตร (Farm environment) ประกอบด้วย Smart Farm Box, Router, sensor, Solenoid Valve และอุปกรณ์เสริมประสิทธิภาพของระบบ เช่น IP Camera, Solar cell and Battery

ส่วนที่สองเป็นส่วนควบคุมระยะไกล (Remote environment) ประกอบด้วย โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และผู้ใช้งานหรือเกษตรกร

สุดท้ายเป็นส่วนเครือข่ายพื้นฐาน (Network infrastructure) ประกอบด้วย เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับเทคโนโลยีได้หลากหลาย เช่น ADSL, FTTH, MPLS และเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากรูปที่ 3.2 เป็นภาพรวมของสถาปัตยกรรมตามแนวคิด โดยอุปกรณ์ Router ต้องสนับสนุนการทำ Dynamic DNS หรือ Fix IP และกำหนดค่า Forward port หรือ Virtual port ให้กับกล่องแปลงเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm Box)



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของสถาปัตยกรรมตามแนวคิด

3.2.1 ขอบเขตของระบบ

3.2.1.1 ระบบประกอบด้วยส่วนของสมาชิก โดยระบบต้องมีการพิสูจน์ตัวตนในการเข้าใช้งานระบบด้วยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน

3.2.1.2 สามารถตั้งค่าระบบของเครือข่ายได้ เช่น IP Address และ Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 สามารถควบคุมเอาต์พุตผ่านอินเทอร์เน็ตหรืออินทราเน็ตด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามความต้องการได้จากทุกที่ทุกเวลา

3.2.1.4 สามารถควบคุมเอาต์พุตด้วยการตั้งเวลาเปิด-ปิดแบบครั้งเดียวหรือวนซ้ำได้

3.2.1.5 สามารถควบคุมเอาต์พุตตามเงื่อนไขของเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ

3.2.1.6 สามารถเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรโดยใช้แพลตฟอร์ม NETPIE และ Thingspeak ได้

3.2.1.7 สามารถแสดงค่าสถานะเอาต์พุตได้ตามความต้องการโดยแสดงค่าบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

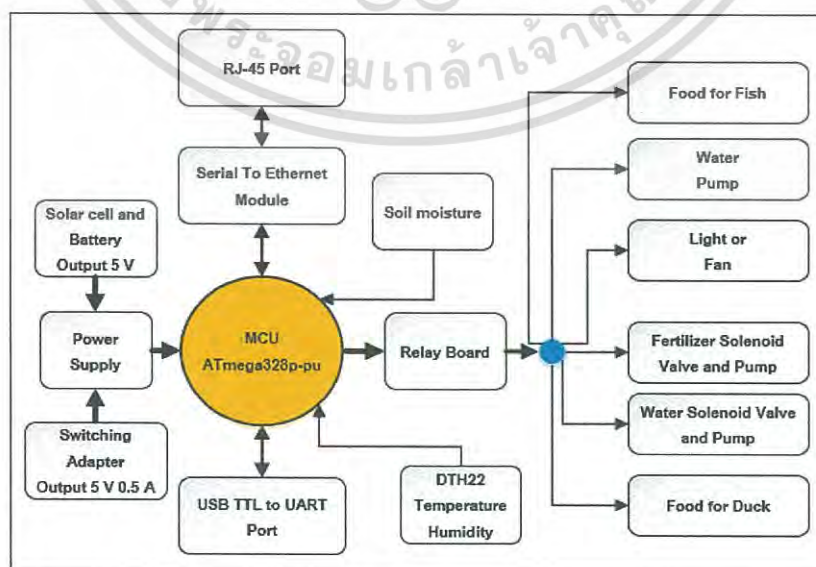
3.2.1.8 ระบบได้ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI) ที่เป็นมิตรกับผู้ใช้ (User Friendly)

3.3 การออกแบบระบบ

3.3.1 การออกแบบส่วนแปลงเกษตร (Farm environment)

การออกแบบส่วนแปลงเกษตรประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์ (Hardware) และ ซอฟต์แวร์ (Software) ดังนี้

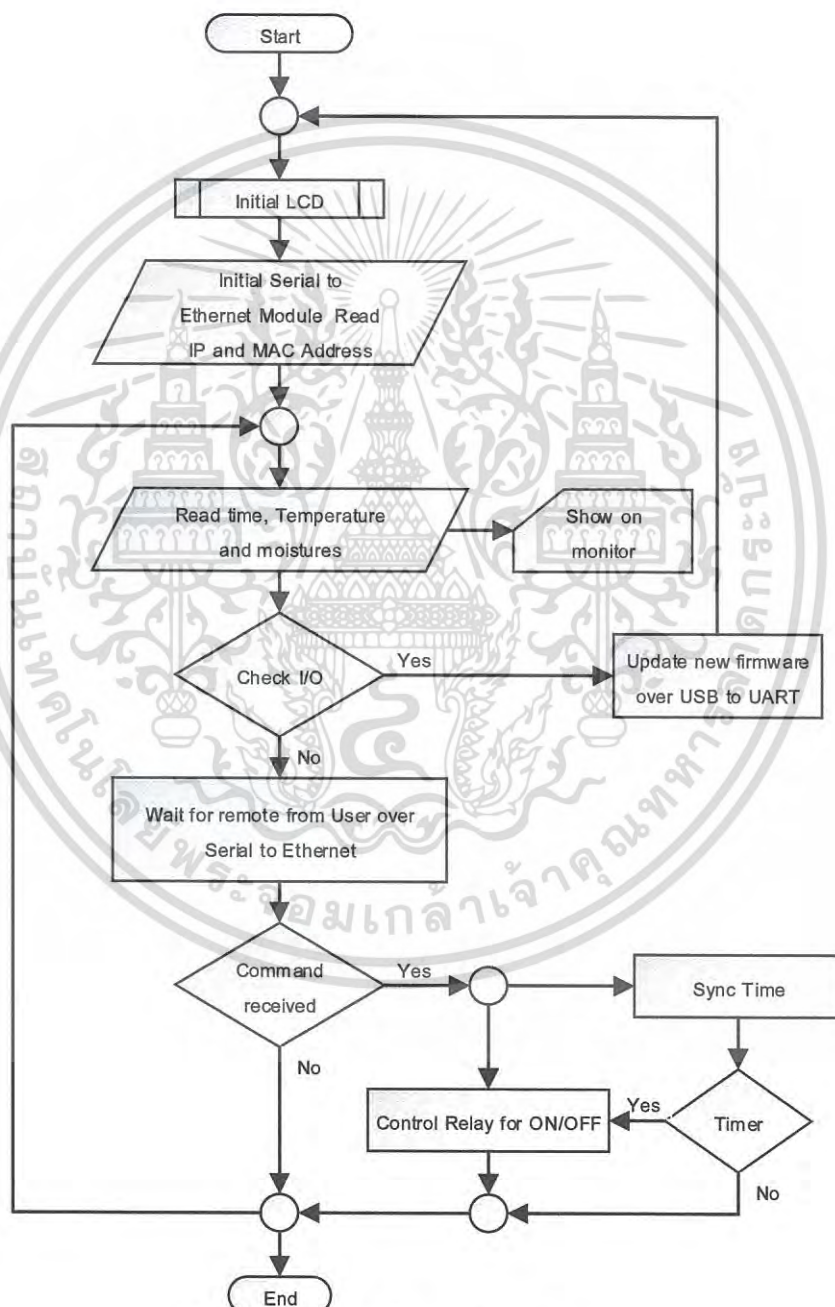
ในส่วน Hardware เป็นการออกแบบวงจรและลายวงจรของระบบดังรูปที่ 3.3 เป็นสถาปัตยกรรมทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ATmega328P-PU หรือ Arduino Chip เป็นตัวประมวลผลหลักทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ของระบบ ได้แก่ Serial to Ethernet Module, DS1302, Relay Board, Power Supply, Sensor, IP Camera, Solar cell and Battery



รูปที่ 3.3 สถาปัตยกรรมทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

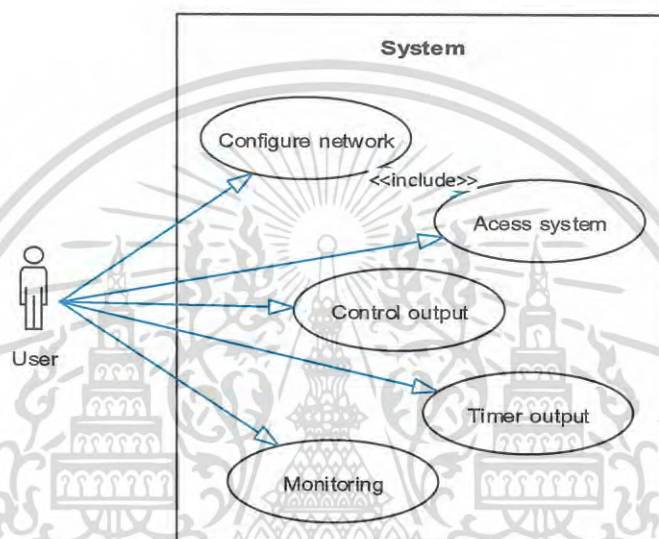
การออกแบบส่วนแปลงเกษตร (Farm environment) ในส่วน Software เป็นการออกแบบแผนผัง (Flow chart) การทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 โดยเริ่มจากการกำหนดค่าเครือข่ายจาก Serial to Ethernet Module และอ่านค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ ได้แก่ เวลา ความชื้นของดิน ความชื้นและอุณหภูมิของอากาศ ต่อมาตรวจสอบอินพุตและเอาต์พุต รอรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน ระบบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อควบคุมส่วนรีเลย์เอาต์พุต แล้ววนรอบซ้ำไปเรื่อยๆ เพื่อรอรับข้อมูลหรือคำสั่งจากผู้ใช้



รูปที่ 3.4 แผนผังทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบส่วนควบคุมระยะไกลเป็นการออกแบบส่วนซอฟต์แวร์ (Software) เพียงอย่างเดียว การออกแบบส่วนควบคุมระยะไกลเป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้เพื่อแสดงผลออกทางจอภาพของโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งการออกแบบโดยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) โดยใช้แบบจำลองในการออกแบบคือ แผนภาพยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับขบวนการทำงานตามหลักการของแบบจำลองยูเอ็มแอล (Unified Modeling Language : UML) จากรูปที่ 3.5 เป็นการออกแบบยูสเคสไดอะแกรมของระบบ ประกอบด้วย Configure network, Access system, Control output, Timer output และ Monitoring



รูปที่ 3.5 การออกแบบยูสเคสไดอะแกรมของระบบ

3.3.2 การออกแบบระบบด้วยทฤษฎีเพตริเน็ต

การออกแบบระบบโดยศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ โดยใช้ทฤษฎีของเพตริเน็ตประเภทไทม์เพตริเน็ต (Timed Petri Net) [9] จากกฎการทำงานของเพตริเน็ตสามารถหาสถานะของระบบหลังจากการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ นอกจากการเกิดเหตุการณ์ใดๆ ภายในระบบแล้วยังอาจเกิดขึ้นกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ในการทำงานของระบบที่มีเวลาเป็นตัวกำหนดสามารถใช้เพตริเน็ตที่มีเงื่อนไขของเวลาหรือไทม์เพตริเน็ตเป็นตัวอธิบายการทำงานของระบบ โดยมีลักษณะการทำงานเป็นทรานสิชันจะถูกอินิเชียตได้เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของไทม์เพตริเน็ตประกอบด้วย

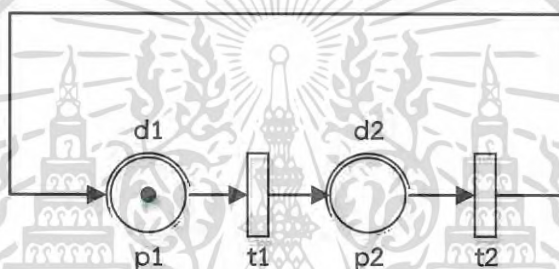
- $PN = (P, T, I, O, M_0)$
- $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ เป็นเซตของเวลาในแต่ละเพลส
- $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ เป็นเซตของทรัพยากรในแต่ละเพลส

โดย n เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของโหนดเพทรีเน็ตมีเวลาการทำงานในแต่ละเพลสเพิ่มเติม กล่าวคือโหนดใดๆ จะเคลื่อนที่ออกจากเพลส p_i ได้ก็ต่อเมื่อโหนดนั้นอยู่ในเพลส p_i แล้วเป็นเวลาอย่างน้อย d_i จากเงื่อนไขทำให้สามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เมื่อเวลาผ่านไปแล้วทำให้โหนดในเพทรีเน็ตนั้นพร้อมจะเคลื่อนที่ และทรานสิชันของโหนดเพทรีเน็ตจะอินาเบลได้ก็ต่อเมื่อโหนดในเพทรีเน็ตนั้นพร้อมจะเคลื่อนที่

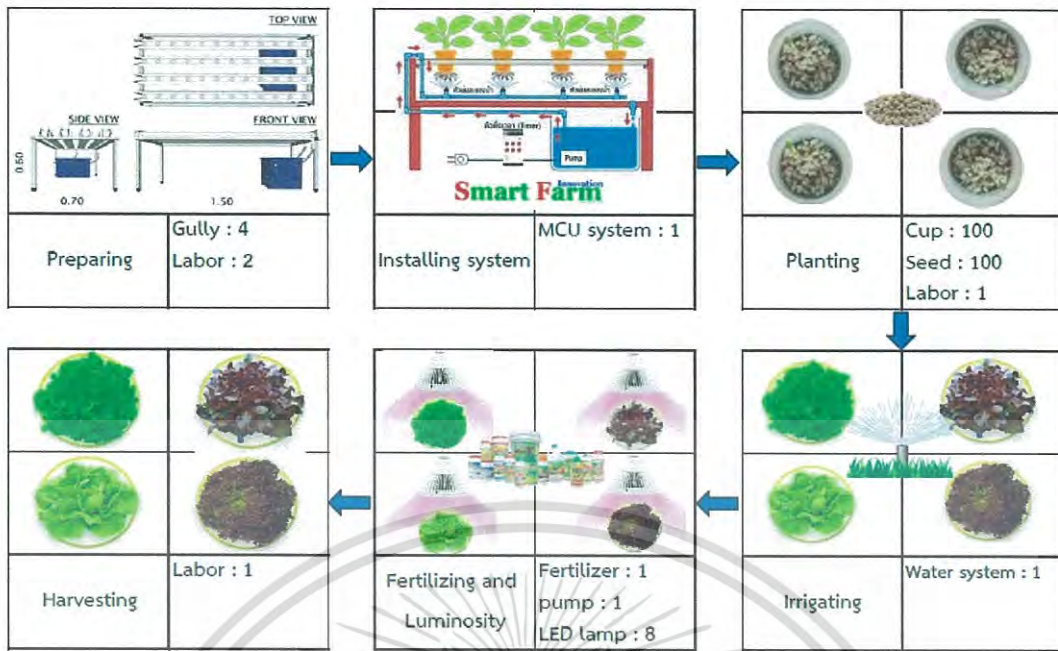
พิจารณาการทำงานในรูปที่ 3.6 เมื่อทรานสิชัน t_1 ถูกยิงแล้วโหนดจะเคลื่อนที่ไปที่เพลส p_2 ในขณะที่โหนดจะยังไม่พร้อมที่จะเคลื่อนที่จนกระทั่งเวลาผ่านไปเป็นเวลา d_2 โหนดจะอยู่ในสถานะพร้อมที่จะเคลื่อนที่ที่ทำให้ทรานสิชัน t_2 ถูกอินาเบล หลังจากนั้นเมื่อใดที่ทรานสิชัน t_2 ถูกยิง ทรานสิชัน โหนดจะเคลื่อนที่ไปที่เพลส p_1 ในลักษณะเดียวกันโหนดในเพลส p_1 จะไม่พร้อมที่จะเคลื่อนที่จนกระทั่งเวลาผ่านไปเป็นเวลา d_1 โหนดดังกล่าวจึงพร้อมจะเคลื่อนที่และทำให้ทรานสิชัน t_1 ถูกอินาเบลเพื่อรอการยิงทรานสิชันต่อไป



รูปที่ 3.6 องค์ประกอบของโหนดเพทรีเน็ต

การออกแบบจำลองด้วยทฤษฎีเพทรีเน็ตซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้จำลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบได้ โดยสามารถแสดงได้ทั้งวิธีทางรูปภาพและวิธีทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนการนำเพทรีเน็ตไปวิเคราะห์เริ่มจากการกำหนดสถานะและเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบ เขียนแบบจำลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของสถานะและเหตุการณ์ต่างๆ จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาทำการวิเคราะห์สถานะการทำงานของระบบ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบการผลิตสินค้าการเกษตรของแปลงผักไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งมีผักสลัดจำนวน 4 ชนิด คือ Green oak, Red oak, Red coral และ Better head lettuce ใช้ระยะเวลาดำเนินการเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนแรกการเตรียมแปลงถึงขั้นตอนสุดท้ายการเก็บเกี่ยวรวมทั้งหมด 32 วัน โดยใช้ขนาดพื้นที่ประมาณ 10 ตารางวา สำหรับใช้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ จำนวนอย่างละ 25 ต้น รวมทั้งหมด 100 ต้น จากรูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการผลิตสินค้าการเกษตรในแปลงไฮโดรโปนิคส์ ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมแปลง (Preparing) การติดตั้งระบบ (Installing system) การปลูก (Planting) การให้น้ำ (Irrigating) การให้สารอาหารหรือแสง (Fertilizing and Luminosity) และการเก็บเกี่ยวผลผลิต (Harvesting) โดยแต่ละขั้นตอนต้องการใช้ทั้งทรัพยากร แรงงาน และวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 กระบวนการผลิตในแปลงเกษตรไฮโดรโปนิคส์

จากตารางที่ 3.1 พิจารณาแบบจำลองกระบวนการผลิตในแปลงเกษตรไฮโดรโปนิคส์ เงื่อนไขการทำงานคือ พนักงานจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับคำสั่งให้ดำเนินการผลิตและพนักงานว่างจากการทำงาน โดยพนักงานจะทำงานอย่างต่อเนื่องจนเสร็จแล้วจึงหยุดทำงาน จากเงื่อนไขการทำงานดังกล่าวสามารถสรุปสถานะและเหตุการณ์ของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตรไฮโดรโปนิคส์

ตารางที่ 3.1 สถานะและเหตุการณ์ของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร

สถานะ	เหตุการณ์
p_1 หยุดรอคำสั่งเริ่มกระบวนการผลิต	t_1 สั่งให้กระบวนการเริ่มทำการผลิต
p_2 วัตถุดิบกำลังเข้าสู่กระบวนการเตรียมแปลง	t_2 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเตรียมแปลงทั้งหมดแล้ว
p_3 กระบวนการเตรียมแปลงดำเนินการผลิต	t_3 กระบวนการเตรียมแปลงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
p_4 วัตถุดิบกำลังเข้าสู่กระบวนการติดตั้งระบบ	t_4 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการติดตั้งระบบทั้งหมดแล้ว
p_5 กระบวนการติดตั้งระบบดำเนินการผลิต	t_5 กระบวนการติดตั้งระบบดำเนินการผลิตเสร็จ
p_6 วัตถุดิบกำลังเข้าสู่กระบวนการปลูก	t_6 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการปลูกทั้งหมดแล้ว
p_7 กระบวนการปลูกดำเนินการผลิต	t_7 กระบวนการปลูกดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
p_8 วัตถุดิบกำลังเข้าสู่กระบวนการให้น้ำ	t_8 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้น้ำทั้งหมดแล้ว
p_9 กระบวนการให้น้ำดำเนินการผลิต	t_9 กระบวนการให้น้ำดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอายุในหน้าไปรษณีย์ตามกรณีย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

p_{10} วัตถุดิบกำลังเข้าสู่กระบวนการให้อาหารและแสง	t_{10} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้อาหารและแสงทั้งหมดแล้ว
p_{11} กระบวนการให้อาหารและแสงดำเนินการผลิต	t_{11} กระบวนการให้อาหารและแสงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
p_{12} วัตถุดิบกำลังเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิต	t_{12} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว
p_{13} กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตดำเนินการผลิต	t_{13} กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
p_{14} วัตถุดิบกำลังเคลื่อนออกจากกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิต	t_{14} วัตถุดิบออกจากกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว
p_{15} วัตถุดิบได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสร็จสิ้นแล้ว	t_{15} สั่งให้กระบวนการติดตั้งระบบเริ่มผลิต
p_{16} กระบวนการเตรียมแปลงปลูกพร้อมทำงาน	t_{16} สั่งให้ตรวจสอบกระบวนการผลิต
p_{17} กระบวนการติดตั้งระบบหรือกระบวนการปลูกพร้อมทำงาน	
p_{18} กระบวนการให้น้ำพร้อมทำงาน	
p_{19} กระบวนการให้อาหารและแสงพร้อมทำงาน	
p_{20} กระบวนการเก็บเกี่ยวพร้อมทำงาน	
p_{21} หยุดรอคำสั่งเลือกกระบวนการผลิต	
p_{22} คำสั่งให้ตรวจสอบกระบวนการผลิต	
p_{23} คำสั่งให้วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้น้ำ	

ขั้นตอนการจำลองระบบทางกายภาพโดยใช้เพทรีเน็ตนั้น เริ่มจากการกำหนดสถานะและเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะทำให้สถานะของระบบเปลี่ยนไป โดยสถานะก่อนเกิดเหตุการณ์ (Pre-Condition) จะถูกแทนด้วยอินพุตเพลสในเพทรีเน็ต และสถานะหลังจากเกิดเหตุการณ์ (Post-Condition) จะถูกแทนด้วยเอาต์พุตเพลส จากนั้นจึงนำเอาสถานะดังกล่าวมาเขียนความสัมพันธ์ร่วมกันตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้

เมื่อพิจารณาการทำงานของพนักงานในตารางที่ 3.2 เห็นว่าการสั่งให้เริ่มดำเนินการจะต้องมีสถานะของระบบสองอย่างที่เกิดขึ้นคือ ต้องได้รับคำสั่งให้ดำเนินการผลิตและพนักงานไม่ได้ทำงานอยู่ และสถานะที่เกิดหลังจากเหตุการณ์สั่งให้ดำเนินการผลิตคือ พนักงานกำลังทำงานและหลังจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานเสร็จพนักงานก็จะหยุดทำงาน จากการกำหนดสถานะการทำงาน สามารถสรุปตารางสถานะก่อนและหลังการเกิดเหตุการณ์ได้

ตารางที่ 3.2 ตารางสถานะก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์

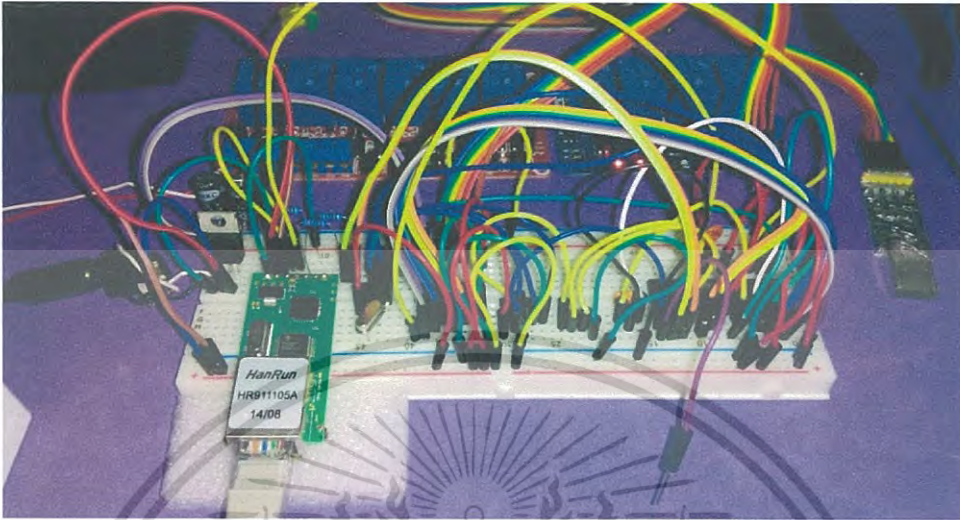
เหตุการณ์	สถานะก่อนการเปลี่ยนแปลง	สถานะหลังการเปลี่ยนแปลง
t_1 สั่งให้กระบวนการเริ่มทำการผลิต	p_1, p_{16}	p_2
t_2 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเตรียมแปลงทั้งหมดแล้ว	p_2	p_3
t_3 กระบวนการเตรียมแปลงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น	p_3	p_6, p_{21}
t_4 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการติดตั้งระบบทั้งหมดแล้ว	p_4	p_5, p_{16}
t_5 กระบวนการติดตั้งระบบดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น	p_5, p_{18}	p_{22}
t_6 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการปลูกทั้งหมดแล้ว	p_6, p_{17}	p_7
t_7 กระบวนการปลูกดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น	p_7	p_{17}, p_{23}
t_8 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้น้ำทั้งหมดแล้ว	p_8, p_{23}	p_9
t_9 กระบวนการให้น้ำดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น	p_9, p_{19}	p_{10}
t_{10} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้อาหารและแสงทั้งหมดแล้ว	p_{10}	p_{11}, p_{18}
t_{11} กระบวนการให้อาหารและแสงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น	p_{11}, p_{20}	p_{12}
t_{12} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว	p_{12}	p_{13}, p_{19}
t_{13} กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น	p_{13}	p_{14}
t_{14} วัตถุดิบออกจากกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว	p_{14}	p_{15}, p_{20}
t_{15} สั่งให้กระบวนการติดตั้งระบบเริ่มผลิต	p_{17}, p_{21}	p_4
t_{16} สั่งให้ตรวจสอบกระบวนการผลิต	p_{22}	p_8, p_{17}

3.4 การพัฒนาระบบ

ขั้นตอนนี้ทำให้ระบบเกิดเป็นรูปธรรมโดยการพัฒนากระบวนการวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยเริ่มจากการพัฒนาส่วน Farm environment ทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบด้วยการใช้บอร์ดทดลองในการทดสอบวงจรดังรูปที่ 3.8 และใช้เครื่องมือของ Altium Designer พัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์และลายทองแดง โดยนำลายทองแดงที่ได้จากการพัฒนามาลอกลายทองแดงด้วยวิธีการลอกลายทองแดงด้วยความเย็น แล้วนำไปแช่น้ำยากัดลายนํ้ายาออกฤทธิ์อิเล็กทรอนิกส์ลงแผ่น PCB แล้วปิดกรีด้วยหัวแล้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาระบบ

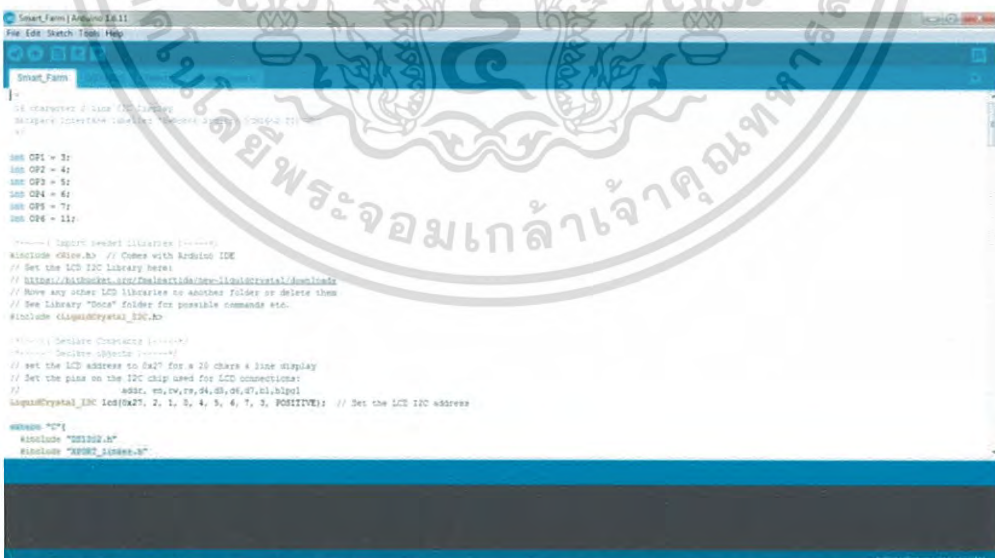
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือต้นแบบของระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะซึ่งอุปกรณ์จะถูกนำลงกล่องเพื่อความเรียบร้อย



รูปที่ 3.8 การใช้บอร์ดทดลองในการทดสอบวงจร

การพัฒนาส่วน Farm environment ทางด้านซอฟต์แวร์เป็นการเขียนโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาซี (C++) โดยใช้เครื่องมือพัฒนาโปรแกรมประยุกต์หรือแอปพลิเคชัน (Application) ของ Arduino IDE ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนา ประกอบด้วย Smart_Farm.ino, DS1302.h, Timer.h, XPORT_linker.h และไลบรารีอื่นๆ

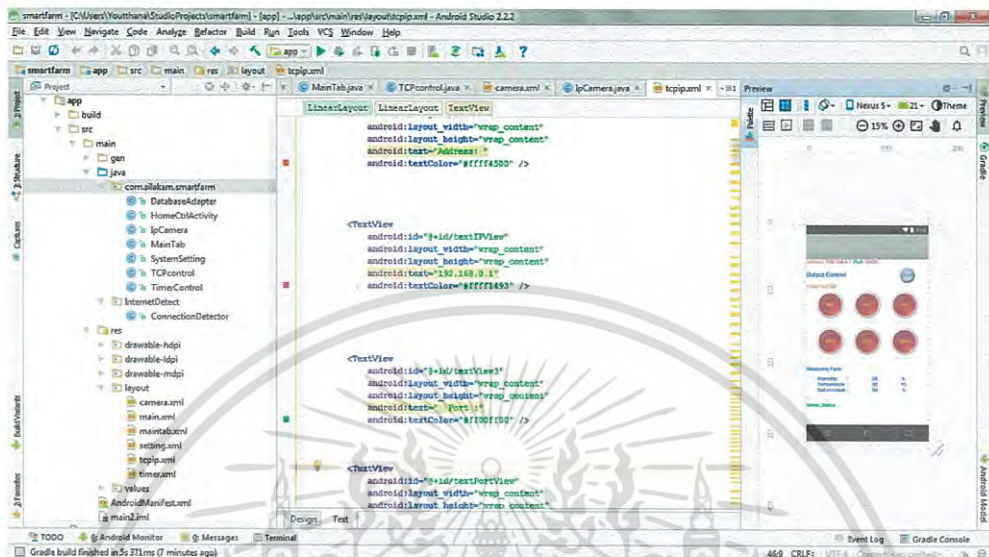


รูปที่ 3.9 เครื่องมือพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันของ Arduino IDE

ส่วน Remote environment เป็นการพัฒนาด้านซอฟต์แวร์ระบบเพียงอย่างเดียว

ไม่ได้พัฒนาด้านฮาร์ดแวร์ของระบบเพราะใช้อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีขายตามท้องตลาด โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวนไรสีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์หรือการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้เป็นการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาจาวา ซึ่งใช้เครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชันของ Android studio ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งประกอบด้วยแพ็คเกจ คลาส วิวส์ ไรส์เตอร์ แอคทิวิตี วิดเจ็ต และอื่นๆ



รูปที่ 3.10 เครื่องมือพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันของ Android studio

ส่วน Network infrastructure เป็นการพัฒนาการเขียนโปรแกรมติดต่อสื่อสารระหว่างส่วน Farm environment กับส่วน Remote environment ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้หลักการส่งข้อมูลแบบ TCP/IP ผ่านทาง Socket โดยทั่วไปการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ Device Server จำเป็นต้องส่งข้อมูลผ่านทาง IP และ Socket ซึ่งปลายทางทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Internet เป็น Serial สาเหตุที่ต้องแปลงสัญญาณข้อมูลเป็น Serial เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถถอดรหัสข้อมูล TCP ได้ นอกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ใหม่ๆ ที่รองรับ TCP Stack ก็สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ Internet ได้โดยตรง และอีกทางหนึ่งสามารถเชื่อมต่อ Internet เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยใช้อุปกรณ์ ENC28J60 ของบริษัท Microchip ซึ่งข้อดีคือ ได้รับความควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตราคาถูก ข้อเสียคือ ระบบที่ได้ต้องเขียน Code ที่มี Stack ค่อนข้างซับซ้อนดัดแปลงแก้ไขต้องใช้ Knowhow ค่อนข้างสูง และการเขียนโปรแกรมควบคุมต้องใช้วิธี POST หรือ GET Method ซึ่งจะแตกต่างออกไปจากการส่งข้อมูล Data Command โดยชุดคำสั่งควบคุมเอาต์พุตและการตั้งเวลาของระบบ เนื่องจาก Android Application ทำหน้าที่ส่งชุดคำสั่งทั้งหมดให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วยชุดคำสั่ง ดังนี้

ชุดคำสั่งเปิด Output แต่ละ Channel คือ "\$XPORT=ONL1 + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" เมื่อสั่งงานสำเร็จจะส่งข้อความกลับเป็น "\$SW=ON1" แสดงว่ากล่องทำงานได้ถูกต้อง

ชุดคำสั่งปิด Output แต่ละ Channel คือ "\$XPORT=OFL1 + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" เมื่อสั่งงานสำเร็จจะส่งข้อความกลับเป็น "\$SW=OF1" แสดงว่ากล่องทำงานได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดคำสั่งตั้งเวลา Output แต่ละ Channel ระบบทำการ Sync เวลาเข้าไปเขียนใน RTC ทุกครั้งเพื่อให้ระบบนาฬิกาทำงานได้ถูกต้อง เนื่องจาก RTC มีความคลาดเคลื่อน จึงจำเป็นต้อง Sync เวลาใหม่ทุกครั้ง ชุดคำสั่ง SYNC RTC คือ "\$XPORTSYNRTC + : (ตัวแบ่งข้อมูล) + วัน : เดือน : ปี : DOW* : ชั่วโมง : นาที : วินาที + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" โดย DOW คือ date of week (Sunday = 0, Monday = 1, Saturday = 7) จากนั้นหน่วงเวลา 500 ms แล้วจึงส่งคำสั่งตั้งเวลาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดคำสั่งตั้งเวลา คือ "\$XPORTSETSW + SW1 + ":ON:" + ชั่วโมง : นาที + ":OFF:" + ชั่วโมง : นาที + Loop + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" โดย Loop คือ การให้ Output ทำงานซ้ำในแต่ละวัน Loop = 1 แต่ถ้าต้องการตั้งเวลาอย่างเดียว Loop = 0

ชุดคำสั่งแสดงสถานะ Output แต่ละ Channel เพื่อแสดงสถานะของ Output ณ ปัจจุบัน โดยแสดงบนหน้าจอ ชุดคำสั่งคือ "\$XPORTREADSTATE + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง"

ชุดคำสั่งเคลียร์ระบบการรับข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากว่า Buffer ที่เตรียมไว้บนไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะไม่ถูกเคลียร์จนกว่าจะเคลียร์ข้อมูลเองหรือมีคำสั่งใหม่เข้ามาเขียนทับ จึงกำหนดให้เมื่อรับข้อมูลแล้ว ก็ไม่อนุญาตให้ Output ทำงานซ้ำอีก ไม่ว่าข้อมูล data จะซ้ำหรือถูกเคลียร์ไปแล้ว ชุดคำสั่งคือ "\$XPORTOFFALL + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง"

3.5 การทดสอบระบบ

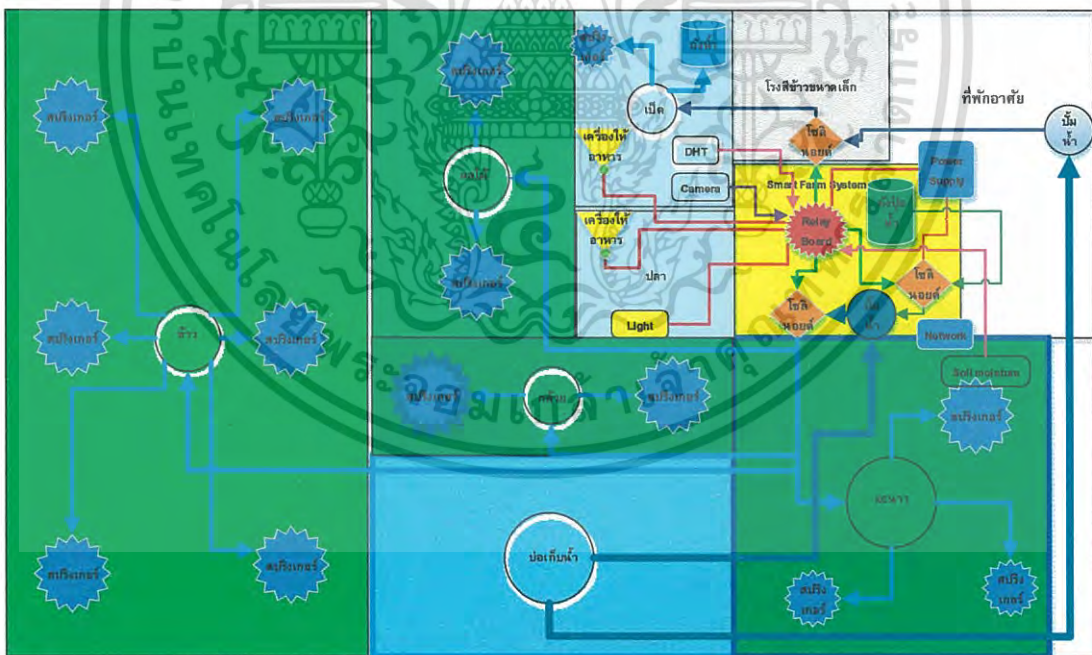
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจำลองสถานการณ์โดยใช้ทฤษฎีเพทรีเน็ตเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำงานและหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ ทั้งทางด้านเวลาและต้นทุนเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกระบบไปใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการทดสอบระบบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบแบล็กบ็อกซ์ (Black box Testing) เพื่อเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น การทดสอบระบบประกอบด้วย การประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 20 คน และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 20 คน โดยการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตารางที่ 3.3 เป็นการกำหนดเกณฑ์ของค่าเฉลี่ยในการประเมินของระบบ

ตารางที่ 3.3 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของการสรุปผลการประเมิน

ระดับเกณฑ์	ระดับการประเมิน
4.51 - 5.00	ดีมากที่สุด
3.51 - 4.50	ดีมาก
2.51 - 3.50	พอใช้
1.51 - 2.50	น้อย
1.00 - 1.50	น้อยที่สุด

3.6 การนำระบบไปใช้งาน

ในงานวิจัยนี้ได้นำระบบไปใช้งานในแปลงเกษตรไฮโดรโปนิคส์ตามรายละเอียดที่ได้นำเสนอ และได้นำระบบไปประยุกต์ใช้งานในแปลงเกษตรของเกษตรกรท่านหนึ่งเพื่อวางแผนและจัดการแปลงเกษตรเป็นการทำเกษตรแบบผสมผสาน พื้นที่จำนวน 6 ไร่ โดยแบ่งพื้นที่เป็นการปลูกพืช เลี้ยงสัตว์ บ่อเก็บน้ำ และที่อยู่อาศัยในอัตราส่วนที่เหมาะสมตามแนวเกษตรทฤษฎีใหม่ จากรูปที่ 3.11 เป็นไดอะแกรมการติดตั้งระบบเข้ากับแปลงเกษตร โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ ได้แก่ บั๊มน้ำ โซลินอยด์วาล์ว เครื่องให้อาหาร ถังใส่ปุ๋ยน้ำ สปริงเกอร์ ท่อน้ำ วาล์วน้ำ ข้อต่อท่อ กาวเชื่อมต่อ และเทปกั้นซีม นอกจากนี้ยังมีส่วนของระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กล้องและเซนเซอร์ ขั้นตอนแรกติดตั้งระบบท่อน้ำในแปลงเกษตรเข้ากับสปริงเกอร์ ต่อมาเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบ โดยเชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 1 เข้ากับโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการให้ปุ๋ยแก่พืช เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 2 เข้ากับโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการให้น้ำแก่พืช เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 3 เข้ากับระบบแสงสว่าง เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 4 เข้ากับเครื่องให้อาหารปลา เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 5 เข้ากับเครื่องให้อาหารเป็ด และเชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 6 เข้ากับโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการให้น้ำแก่เป็ด ต่อมาติดตั้งกล้องและตั้งค่าเริ่มต้นให้กับระบบเครือข่าย สุดท้ายทำการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับระบบและอุปกรณ์



รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมการติดตั้งระบบเข้ากับแปลงเกษตร

สรุปบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการทดลองวิจัยซึ่งได้ดำเนินการวิเคราะห์ระบบ ออกแบบระบบ พัฒนาระบบ การทดสอบระบบและการนำระบบไปประยุกต์ใช้ในแปลงเกษตร ในบทหน้าจะเป็นผลการดำเนินการวิจัย

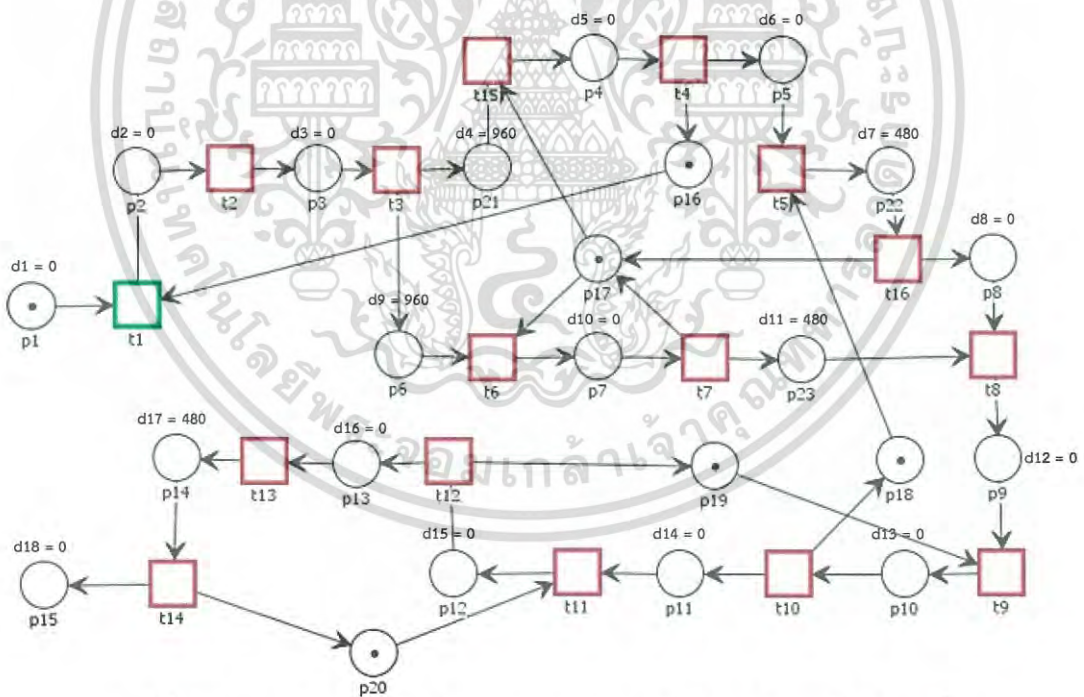
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยการจำลองระบบโดยใช้ทฤษฎีเพทรีเน็ต

การจำลองระบบโดยใช้ทฤษฎีเพทรีเน็ตเป็นการจำลองสถานะการทำงานของระบบสามารถแทนความหมายด้วยส่วนต่างๆ ของเพทรีเน็ตคือ สถานะแทนด้วยเพลส เหตุการณ์แทนด้วยทรานสิชัน สถานะก่อนเกิดเหตุการณ์แทนด้วยอินพุตเพลส สถานะหลังเกิดเหตุการณ์แทนด้วยเอาต์พุตเพลส การเกิดขึ้นของเหตุการณ์แทนด้วยการยิงทรานสิชัน และสถานะของระบบในขณะนั้นแสดงโดยโทเค็นในเพลส เมื่อเกิดการยิงทรานสิชันจะเคลื่อนย้ายโทเค็นจากเพลสที่แสดงสถานะก่อนเกิดเหตุการณ์ไปที่เพลสหลังเกิดเหตุการณ์โดยมีเงื่อนไขของเวลามากเกี่ยวข้อง สามารถเขียนแบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการผลิตโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 4.1 โดยเพลสทำหน้าที่แสดงความพร้อมของทรัพยากรในระบบนั้น จำนวนโทเค็นในเพลสจะแสดงถึงจำนวนทรัพยากรที่พร้อมทำงานหรือความสามารถในการรองรับการทำงานจากระบบ



รูปที่ 4.1 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการผลิตโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น

นอกจากการแสดงผลแบบจำลองเพทรีเน็ตโดยใช้รูปภาพแล้ว สามารถแสดงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์เพื่อให้สะดวกในการคำนวณและวิเคราะห์ระบบ จากทฤษฎีเพทรีเน็ตบทที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าเมตริกซ์อุบัติการณ์มีมิติเท่ากับจำนวนทรานสิชันทั้งหมดคูณด้วยจำนวนเพลสทั้งหมด มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเท่ากับ $t_{total} \times p_{total}$ ดังนั้นสามารถแสดงสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ A_{ij}^- , A_{ij}^+ และ A_{ij} โดย A_{ij} หาได้จากสมการ $A_{ij} = A_{ij}^+ - A_{ij}^-$ สามารถแสดงกระบวนการผลิตทั้ง 6 หน่วย ได้ดังนี้

$$A_{ij}^- = \begin{cases} 1 & ; i = j \\ 1 & ; i = 1 + 2(k - 1) \text{ และ } j = 5 + 2(n - 1) + k \\ 0 & ; i, j = \text{otherwise} \end{cases}$$

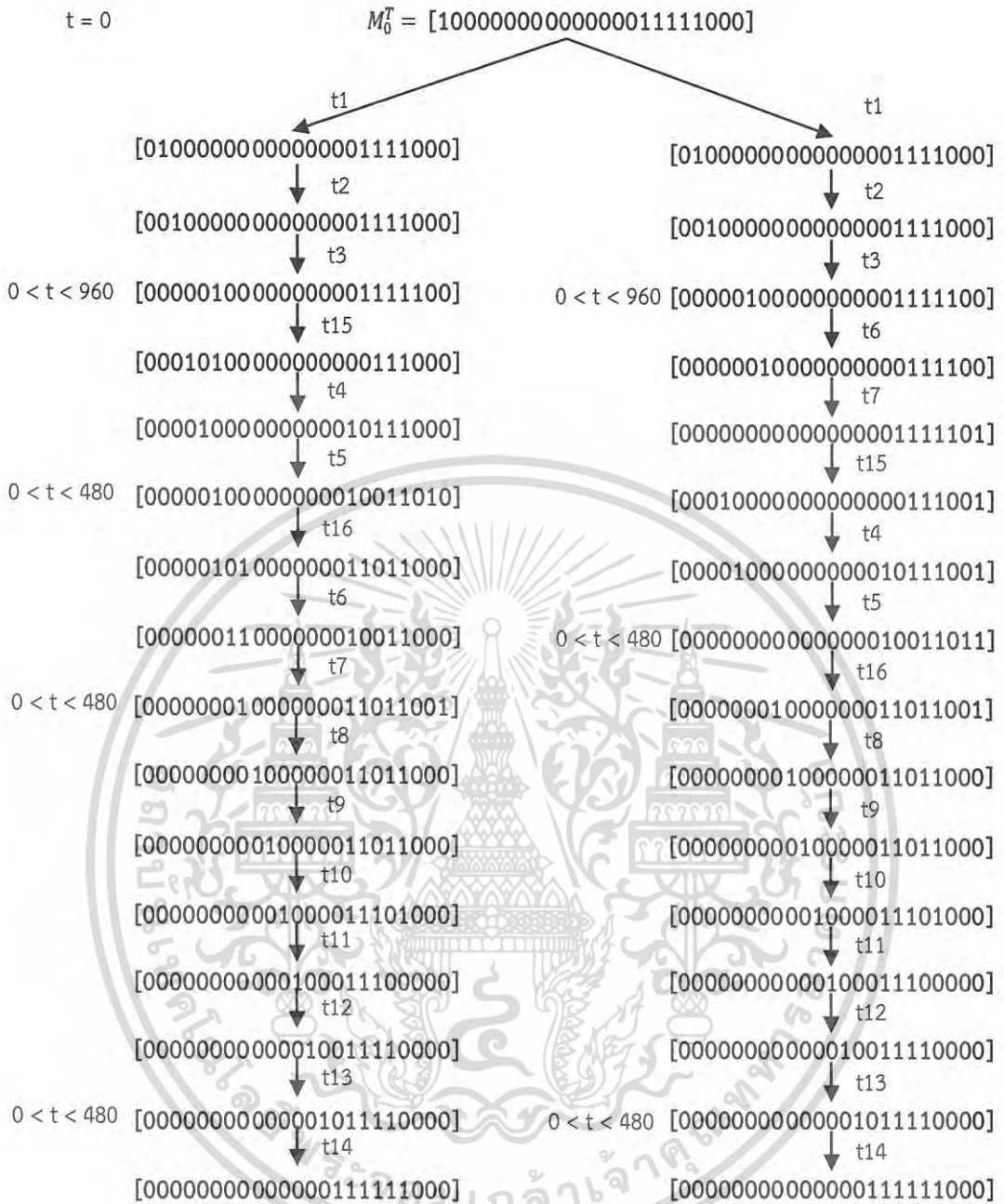
$$A_{ij}^+ = \begin{cases} 1 & ; j = i + 1 \\ 1 & ; i = 4 + 2(k - 1) \text{ และ } j = 5 + 2(n - 1) + k \\ 0 & ; i, j = \text{otherwise} \end{cases}$$

กำหนดให้ $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ และ $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

จากรูปที่ 4.1 พิจารณามาร์กกิงเริ่มต้นและมาร์กกิงสุดท้ายของระบบ มีค่าเท่ากับ $M_0 = [1000000000000000111111]^t$ และ $M_{end} = [000000000000000111111]^t$ ตามลำดับ หลังจากได้สร้างเมตริกซ์อุบัติการณ์เพื่อจำลองการทำงานของกระบวนการผลิตแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาเซตของรีซเอเบิลมาร์กกิงโดยการยิงทรานสิชัน เมื่อยิงทรานสิชันแล้วมาร์กกิงต่อไปของระบบสามารถหาได้จากสมการ $M_k = M_0 + A_{ij}^+ u_k$ การยิงทรานสิชันจะเริ่มยิงจากมาร์กกิงเริ่มต้น M_0 แล้วยิง ทรานสิชันอื่นจนกระทั่งได้มาร์กกิงสุดท้าย M_{end} ซึ่งก็คือ การทำงานครบทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ในการยิงทรานสิชันจะยิงทรานสิชันที่อินาเบิลอยู่ ถ้าหากมีทรานสิชันที่อินาเบิลอยู่มากกว่าหนึ่งจะทำการยิงทรานสิชันในทุกกรณีแล้วยิงทรานสิชันต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้เวกเตอร์มาร์กกิง สุดท้ายทุกกรณีแล้วจึงจะหยุดการยิงทรานสิชัน ซึ่งจะได้รีซเอเบิลลิทเทอรัลของกระบวนการผลิตดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



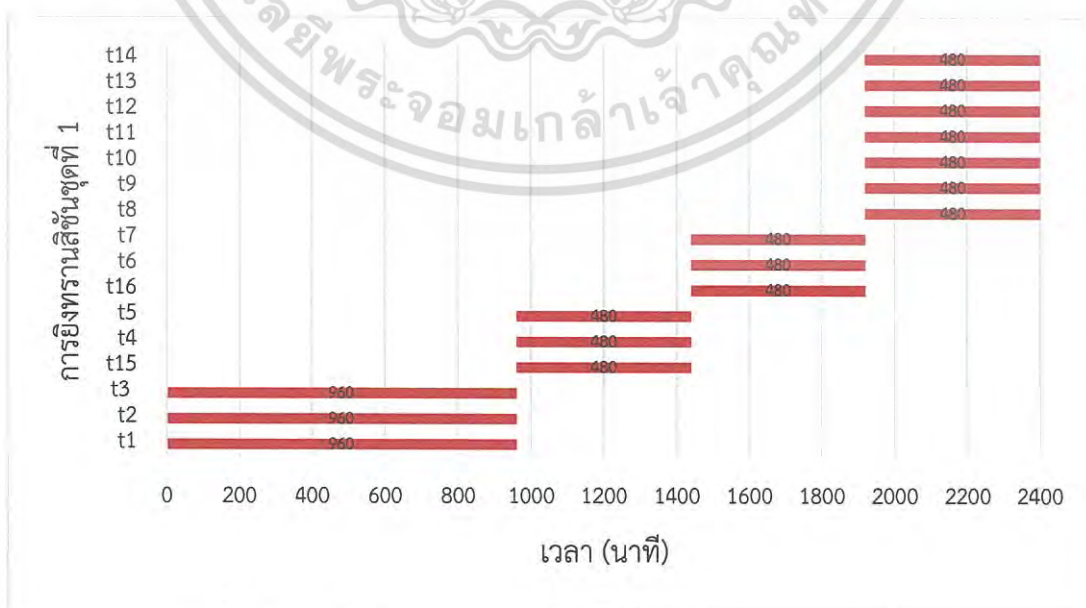
รูปที่ 4.2 รีซเอปิลิตีทรีของกระบวนการผลิตโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น

พิจารณารูปที่ 4.2 สามารถวิเคราะห์ลำดับการยิงทรานสิชันได้สองชุดคือ ชุดที่หนึ่งเท่ากับ $t_1, t_2, t_3, t_{15}, t_4, t_5, t_{16}, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}$ ซึ่งใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 2,400 นาที ดังตารางที่ 4.1 เป็นสภาวะกระบวนการผลิตของลำดับการยิงทรานสิชันชุดที่หนึ่ง และลำดับการยิงทรานสิชันชุดที่สองเท่ากับ $t_1, t_2, t_3, t_6, t_7, t_{15}, t_4, t_5, t_{16}, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}$ ซึ่งใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 1,920 นาที ดังตารางที่ 4.2 เป็นสภาวะกระบวนการผลิตของลำดับการยิงทรานสิชันชุดที่สอง

ตารางที่ 4.1 สภาวะกระบวนการผลิตของลำดับการยิงทรานส์ซอนชุดที่หนึ่ง

เวลา	เหตุการณ์
0 - 960	t_1 สั่งให้กระบวนการเริ่มทำการผลิต
	t_2 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเตรียมแปลงทั้งหมดแล้ว
	t_3 กระบวนการเตรียมแปลงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
960 - 1440	t_{15} สั่งให้กระบวนการติดตั้งระบบเริ่มผลิต
	t_4 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการติดตั้งระบบทั้งหมดแล้ว
	t_5 กระบวนการติดตั้งระบบดำเนินการผลิตเสร็จ
1440 - 1920	t_{16} สั่งให้ตรวจสอบกระบวนการผลิต
	t_6 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการปลูกทั้งหมดแล้ว
	t_7 กระบวนการปลูกดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
1920 - 2400	t_8 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้น้ำทั้งหมดแล้ว
	t_9 กระบวนการให้น้ำดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
	t_{10} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้อาหารและแสงทั้งหมดแล้ว
	t_{11} กระบวนการให้อาหารและแสงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
	t_{12} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว
	t_{13} กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
	t_{14} วัตถุดิบออกจากกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว

จากรูปที่ 4.3 เป็นรูปของแกนต์ชาร์ตแสดงกระบวนการติดตั้งระบบก่อนกระบวนการปลูก



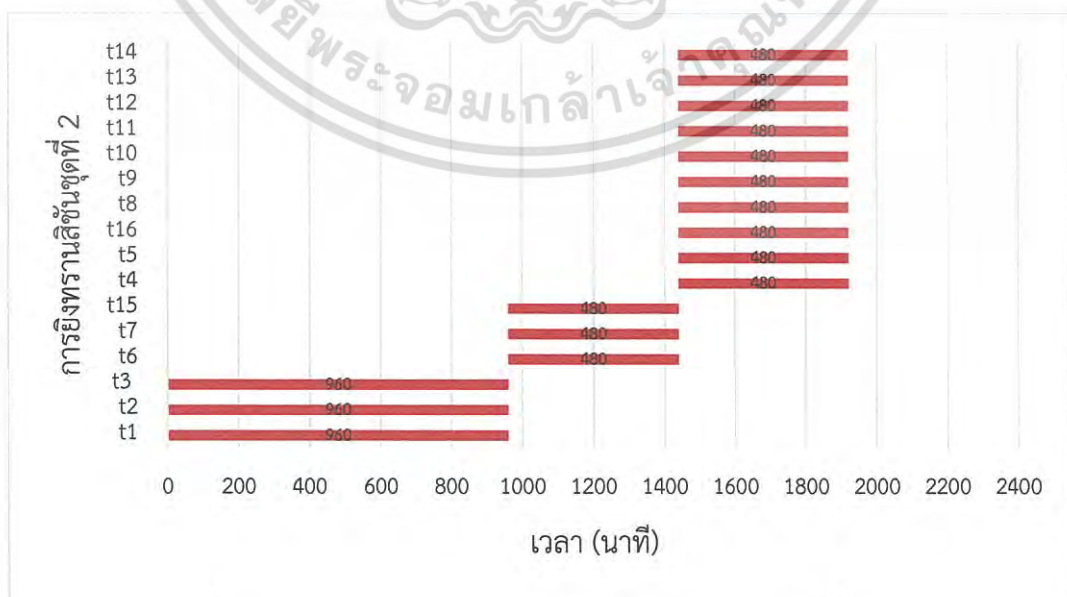
รูปที่ 4.3 แกนต์ชาร์ตกระบวนการติดตั้งระบบก่อนกระบวนการปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สภาวะกระบวนการผลิตของลำดับการยิงทรานส์ซอนชุดที่สอง

เวลา	เหตุการณ์
0 - 960	t_1 สั่งให้กระบวนการเริ่มทำการผลิต
	t_2 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเตรียมแปรงทั้งหมดแล้ว
	t_3 กระบวนการเตรียมแปรงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
960 - 1440	t_6 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการปลุกทั้งหมดแล้ว
	t_7 กระบวนการปลุกดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
	t_{15} สั่งให้กระบวนการติดตั้งระบบเริ่มผลิต
1440 - 1920	t_4 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการติดตั้งระบบทั้งหมดแล้ว
	t_5 กระบวนการติดตั้งระบบดำเนินการผลิตเสร็จ
	t_{16} สั่งให้ตรวจสอบกระบวนการผลิต
	t_8 วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้น้ำทั้งหมดแล้ว
	t_9 กระบวนการให้น้ำดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
	t_{10} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการให้อาหารและแสงทั้งหมดแล้ว
	t_{11} กระบวนการให้อาหารและแสงดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
	t_{12} วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว
	t_{13} กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น
t_{14} วัตถุดิบออกจากกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดแล้ว	

จากรูปที่ 4.4 เป็นรูปของแผนทชาร์ตแสดงกระบวนการปลุกก่อนกระบวนการติดตั้งระบบ



รูปที่ 4.4 แผนทชาร์ตกระบวนการปลุกก่อนกระบวนการติดตั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการยิงทรานสิชันทั้งสองกรณีสามารถยิงทรานสิชันจนถึงมาร์กิงสุดท้ายได้ทั้งสองกรณี แต่เวลาในการทำงานของเพทรีเน็ตนั้นต่างกัน โดยการยิงทรานสิชันชุดที่หนึ่งใช้เวลาในการทำงานรวมเท่ากับ 2,400 นาที แต่การยิงทรานสิชันชุดที่สองใช้เวลาในการทำงานรวมเพียง 1,920 นาที เท่านั้น ดังนั้นการพิจารณาแบบจำลองเพทรีเน็ตสามารถพิจารณากระบวนการผลิตโดยให้ความสำคัญของลำดับก่อนและหลังของกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาช่วยในการวางแผนจัดการกระบวนการผลิตในแปลงเกษตรได้

จากตารางที่ 4.3 สามารถสรุปกระบวนการผลิตโดยแสดงเป็นข้อมูลตารางในแต่ละกระบวนการผลิตสินค้าการเกษตรของแปลงไฮโดรโปนิคส์ประกอบด้วยระยะเวลาในการทำงานและต้นทุนในการผลิต ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างแปลงเกษตรแบบดั้งเดิมกับแปลงเกษตรที่ใช้ระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น โดยระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะมีประสิทธิภาพทางด้านเวลาเท่ากับ 84.38% หมายความว่าระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาทำงานน้อยกว่าแปลงเกษตรแบบดั้งเดิมเท่ากับ 84.38% และระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะมีประสิทธิภาพทางด้านต้นทุนการผลิตเท่ากับ 37.97% หมายความว่าระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้มากกว่าแปลงเกษตรแบบดั้งเดิมเท่ากับ 37.97%

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตารางการทำงาน (Information on generated schedule)

Farm work process	Traditional farm			Smart farm		
	Number of resources (piece)	Cost (baht)	Time (hour)	Number of resources (piece)	Cost (baht)	Time (hour)
1. Preparing						
1.1 Gully	4	1,000	16	4	1,000	16
1.2 Labor	2	1,200		2	1,200	
2. Installing system						
2.1 Microcontroller System	0	0	0	1	2,500	8
3. Planting						
3.1 Cup	100	200	8	100	200	8
3.2 Seed	100	100		100	100	
3.3 Labor	1	300		1	300	

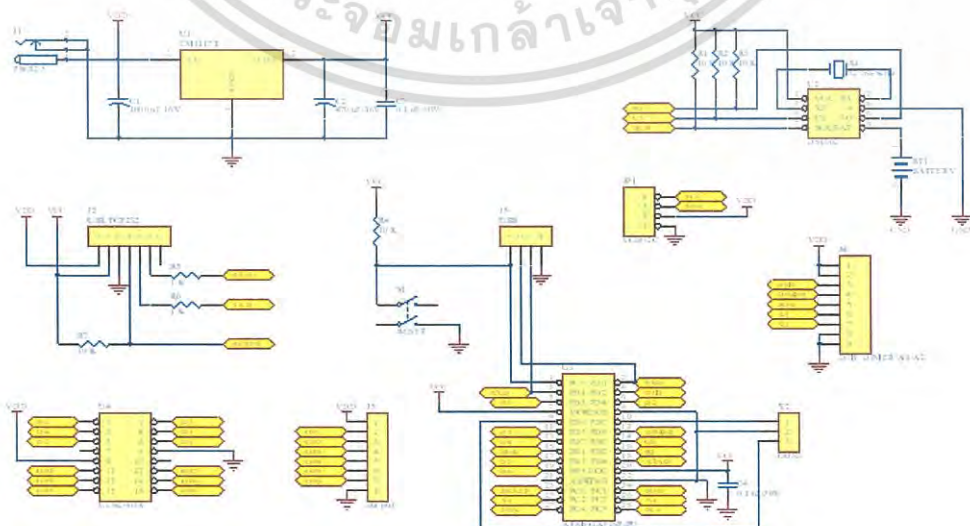
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

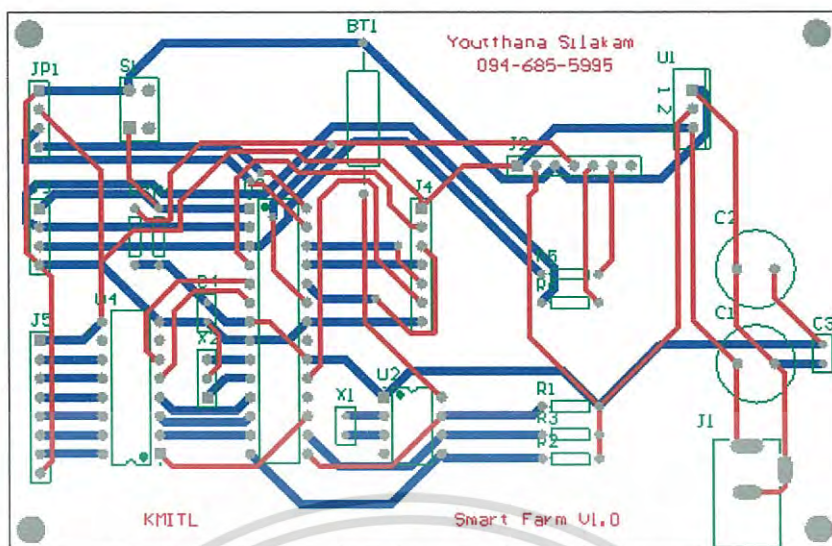
4. Irrigating						
4.1 Water system	1	1,500	32	1	1,500	0
4.2 Labor	1	4,200		0	0	
5. Fertilizing and Luminosity						
5.1 Fertilizer	1	240	192	1	240	0
5.2 Fertilizing pump	1	500		1	500	
5.3 LED lamp	8	1,800		8	1,800	
5.4 Labor	1	4,200		0	0	
6. Harvesting						
6.1 Labor	1	300	8	1	300	8
Total	221	15,540	256	220	9,640	40
Performance of time				84.38 %		
Performance of cost				37.97 %		

4.2 ผลการพัฒนาระบบ

ผลการพัฒนาระบบสวน Farm environment ทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ ประกอบด้วย วงจร (schematic) และลายทองแดง (PCB) ของระบบ โดยใช้เครื่องมือพัฒนาโปรแกรม Altium Designer ซึ่งสามารถปรับปรุงแก้ไขได้สะดวกในภายหลังโดยไม่กระทบต่อส่วนอื่น และสามารถพัฒนาต่อยอดได้ง่ายในอนาคตดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ

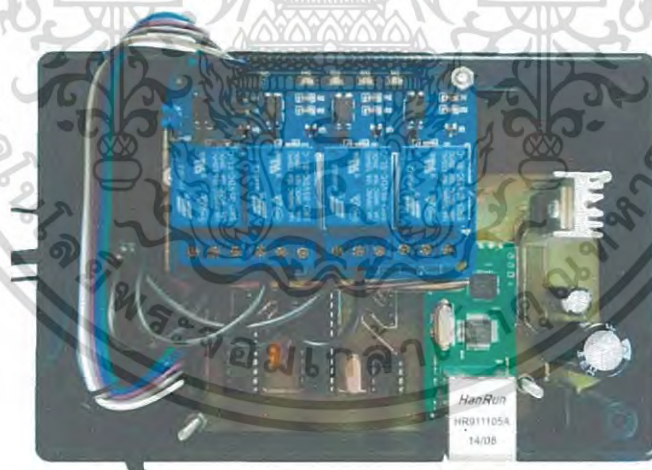


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ

ต้นแบบกล่องแปลงเกษตรอัจฉริยะ ดังรูปที่ 4.7 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาระบบโดยใช้บอร์ดทดลองในการทดสอบวงจร และลายทองแดงที่ได้จากการลอกลายทองแดงด้วยวิธีการลอกลายทองแดงด้วยความเย็น แล้วนำไปแช่น้ำยากัดลาย ต่อมานำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงแผ่น PCB แล้วปิดกริดด้วยหัวแล้ง

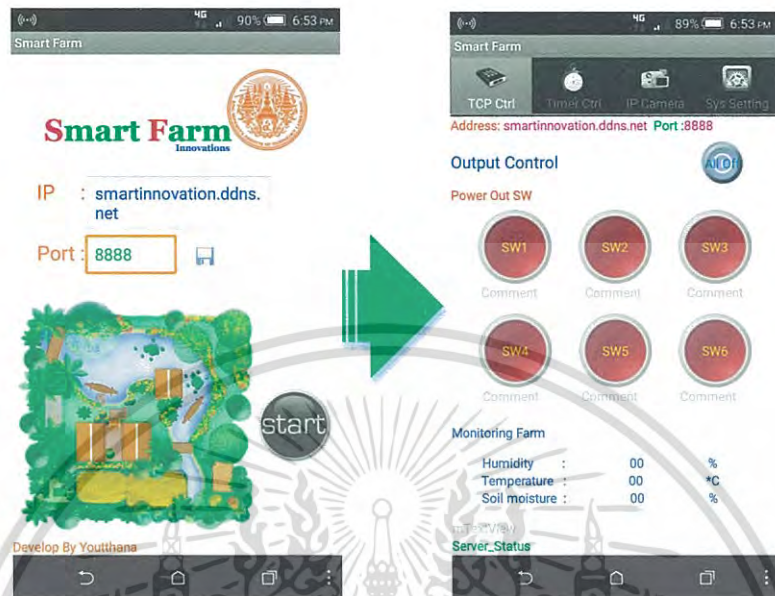


รูปที่ 4.7 ต้นแบบกล่องแปลงเกษตรอัจฉริยะ

ผลการพัฒนาส่วน Remote environment ทางด้านซอฟต์แวร์หรือโมบายแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงผลด้วยหน้าจอเข้าระบบและหน้าจอ TCP Ctrl ซึ่งสามารถสั่งการได้ 2 รูปแบบ คือ แบบตามความต้องการและแบบตั้งเวลา ระบบสามารถรองรับอุปกรณ์เอาต์พุตได้จำนวน 6 ช่อง การเข้าระบบโดยการระบุ IP หรือ URL ที่ลงทะเบียนไว้ และระบุ Port ที่ได้กำหนดไว้ในกล่องอัจฉริยะ (Smart Box) และเราเตอร์ (Router) จากนั้นกดปุ่ม Start เพื่อเข้าระบบ ในหน้าจอ TCP Ctrl สามารถสั่งควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในแปลงเกษตรผ่านอินเทอร์เน็ตหรือสั่งงานผ่านระบบเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบยืมเรียบร้อยแล้ว กรุณา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไร้สายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และมีส่วนแสดงสภาพแวดล้อมของแปลงเกษตร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและความชื้นดิน โดยปกติแล้วเอาต์พุตทำงานตามเงื่อนไขของเซนเซอร์ได้โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.8 การแสดงผลด้วยหน้าจอเข้าระบบและหน้าจอ TCP Ctrl

การแสดงผลด้วยหน้าจอ Timer Ctrl และ IP Camera ดังรูปที่ 4.9 สามารถตั้งเวลาควบคุมอุปกรณ์แบบอัตโนมัติและสามารถกำหนดเป็น Loop ได้ เมื่อระบบการสื่อสารใช้งานไม่ได้แต่ระบบนี้สามารถทำงานได้ด้วยการตั้งเวลาควบคุม และในหน้าจอ IP Camera เป็นการเชื่อมต่อกล้องไอพีเพื่อแสดงภาพภายในแปลงเกษตร

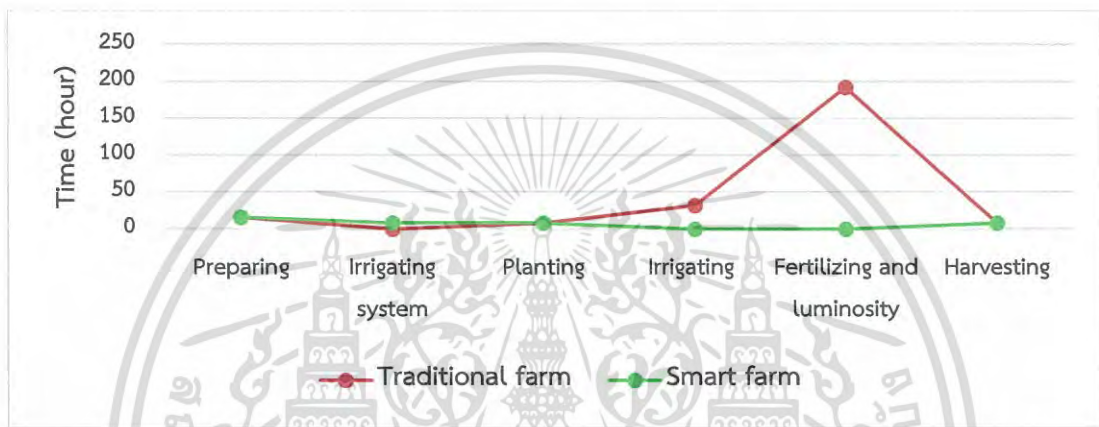


รูปที่ 4.9 การแสดงผลด้วยหน้าจอ Timer Ctrl และ IP Camera

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพระบบ

ผลการทดสอบระบบโดยใช้แบบจำลองเพทรีเน็ต ในการเปรียบเทียบเวลาในการทำงานระหว่างระบบแปลงเกษตรแบบดั้งเดิมกับระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น จากรูปที่ 4.10 สามารถสรุปผลได้ว่าระบบแปลงเกษตรที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าระบบแปลงเกษตรแบบดั้งเดิม โดยสามารถลดเวลาในการทำงานได้ จำนวน 216 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดี สามารถนำไปใช้วางแผนจัดการในแปลงเกษตรแล้วทำให้ทำงานน้อยลงแต่ผลผลิตยังเหมือนเดิม



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร

ผลการทดสอบระบบโดยใช้แบบจำลองเพทรีเน็ต ในการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่างระบบแปลงเกษตรแบบดั้งเดิมกับระบบวางแผนจัดการแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น จากรูปที่ 4.11 สามารถสรุปผลได้ว่าระบบแปลงเกษตรที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำกว่าระบบแปลงเกษตรแบบดั้งเดิม โดยสามารถลดต้นทุนได้ จำนวน 5,900 บาท แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดี สามารถนำไปใช้วางแผนจัดการในแปลงเกษตรแล้วทำให้ต้นทุนลดลงได้กำไรมากขึ้น



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบต้นทุนของกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร โดยขึ้นด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 20 คน จากตารางที่ 4.4 สามารถสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10

ตารางที่ 4.4 แสดงสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านหน้าที่และความถูกต้องของระบบ	4.55	0.60	ดีมากที่สุด
2. ด้านความสามารถของระบบตามความต้องการ	4.15	0.67	ดีมาก
3. ด้านความสะดวกและความง่ายต่อการใช้งาน	3.85	0.75	ดีมาก
4. ด้านความปลอดภัยของระบบ	3.05	0.83	พอใช้
5. ด้านความสามารถและประโยชน์ของระบบ	4.30	0.57	ดีมาก
ผลสรุป	3.98	0.10	ดีมาก

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 20 คน จากตารางที่ 4.5 สามารถสรุปผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.08 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04

ตารางที่ 4.5 แสดงสรุปผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านความสามารถของระบบตามหน้าที่การทำงาน	4.05	0.69	ดีมาก
2. ด้านความสามารถของระบบตามความต้องการของผู้ใช้งาน	3.95	0.76	ดีมาก
3. ด้านความสะดวกและความง่ายต่อการใช้งาน	4.25	0.79	ดีมาก
4. ด้านความปลอดภัยของระบบ	3.95	0.76	ดีมาก
5. ด้านประโยชน์ของการนำระบบไปใช้งาน	4.20	0.77	ดีมาก
ผลสรุป	4.08	0.04	ดีมาก

สรุปบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินการวิจัยที่ได้จากการจำลองระบบโดยใช้ทฤษฎีเพทรีเน็ต ผลการพัฒนาระบบ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบ ในบทหน้าจะเป็นสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างนวัตกรรมทางด้านการเกษตรโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยได้จำลองสถานการณ์ด้วยทฤษฎีเพทรีเน็ต (Petri Net) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำงานและหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตในแปลงเกษตร สามารถนำระบบไปใช้วางแผนจัดการกับแปลงเกษตรทำให้เกษตรกรได้รับความสะดวกสบาย สามารถลดระยะเวลาและต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ สามารถบริหารจัดการแปลงเกษตรได้จากทุกที่ทุกเวลาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวและโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต รวมถึงยังลดต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตรในด้านแรงงานและทำให้คนรุ่นใหม่หันมาให้ความสำคัญในอาชีพเกษตรกรรมมากยิ่งขึ้น สามารถทำเป็นอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับครอบครัวอีกทางหนึ่ง รวมถึงการได้บริโภคอาหารที่ปลอดภัยไร้สารพิษไว้รับประทานในครัวเรือน ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจเป็นประโยชน์ต่อครอบครัวและประเทศชาติต่อไปในอนาคต

ผลการวิจัยพบว่าเพทรีเน็ตสามารถวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำงานและจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมได้ระหว่างระบบที่พัฒนาขึ้นกับระบบแบบดั้งเดิม สรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดระยะเวลาและต้นทุนในกระบวนการผลิตในแปลงเกษตรได้เท่ากับ 84.38% และ 37.97% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดี สามารถนำไปใช้วางแผนจัดการในแปลงเกษตรได้ นอกจากนี้ยังมีผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 20 คน พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบ โดยผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 20 คน พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.08 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก โดยมีด้านหน้าที่และความถูกต้องในการทำงานของระบบเท่ากับ 91% โดยมีข้อผิดพลาดเท่ากับ 9% และความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับดีมากเท่ากับ 81.6%

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการพัฒนาระบบต่อไป คือการพัฒนาทางด้านระบบจัดเก็บข้อมูลบัญชีรายรับรายจ่ายของเกษตรกรและข้อมูลสภาพแวดล้อมการเกษตรซึ่งนำข้อมูลไปพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเพื่อหาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับผลผลิตที่ได้สูงสุดโดยการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) และระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆ ที่มีความต้องการควบคุมระยะไกลแบบอัตโนมัติต่างๆ เช่น หุ่นยนต์ ยานยนต์ เครื่องบินขนาดเล็ก และบ้านที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Poncharernpong, S. Charanyananda, Y. Silakam, K. Klomkarn and P. Sooraksa. “Communication Network Structure for Robotic Manipulators” **TENCON. IEEE Region 10 Conference.** 2014.
- [2] S. Jindarat, P. Wuttidittachotti. “Smart farm monitoring using Raspberry Pi and Arduino” **International Conference on Computer, Communications and Control Technology.** 2015.
- [3] Mahesh M., Galgalikar. “Real-Time Automization Of Agricultural Environment for Social Modernization of Indian Agricultural System” **International Conference on Computer and Automation Engineering.** 2010.
- [4] R. Piyare. “Internet of Things : Ubiquitous Home Control and Monitoring System using Android based Smart Phone” **International Journal of Internet of Things.** 2013. Pp. 5-11.
- [5] S. Kumar. “Ubiquitous Smart Home System Using Android Application” **International Journal of Computer Networks and Communications.** 2014. Pp. 33-43.
- [6] M. H. Memon, W. Kumar, A. Memon, B. S. Chowdhry, M. Aamir and P. Kumar. “Internet of Things (IoT) enabled smart animal farm” **International Conference on Computing for Sustainable Global Development.** 2016.
- [7] Q. Wang, A. Terzis and A. Szalay. “A Novel Soil Measuring Wireless Sensor Network” **Instrumentation and Measurement Technology Conference.** 2010.
- [8] N. Soontranon, P. Srestasathien and P. Rakwatin. “Rice Growing Stage Monitoring in Small-scale Region Using ExG Vegetation Index” **ECTI-CON.** 2014.
- [9] Rene David and Hassane Alla. “Petri Nets and Grafect” **Eaglewood Cliffs. NJ. Prentice Hall.** 1992.



ภาคผนวก ก.
รหัสต้นฉบับทางด้านฮาร์ดแวร์ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสต้นฉบับทางด้านฮาร์ดแวร์ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ

```

/*Smart_Farm */
int OP1 = 3;
int OP2 = 4;
int OP3 = 5;
int OP4 = 6;
int OP5 = 7;
int OP6 = 11;

/*----( Import needed libraries )----*/
#include <Wire.h> // Comes with Arduino IDE
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Set the LCD I2C address
extern "C"{
    #include "DS1302.h"
    #include "XPORT_linker.h"
    #include "Timer.h"
}
String inputString = ""; // a string to hold incoming data
boolean stringComplete = false; // whether the string is complete
word Timer_Display = 0;
word counter_read;
char RecieveString[100];
int cnt = 0;
void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(OP1, OUTPUT);
    pinMode(OP2, OUTPUT);
    pinMode(A0, OUTPUT); // sets the A0 pin as output TCP Module RESET
    pinMode(OP3, OUTPUT);
    pinMode(OP4, OUTPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(OP5, OUTPUT);
pinMode(OP6, OUTPUT);
digitalWrite(A0, HIGH);
inputString.reserve(100);
Serial.begin(115200);
Serial.println(F("Smart Farm"));
DS1302_write (DS1302_ENABLE, 0);
DS1302_write (DS1302_TRICKLE, 0x00);
lcd.begin(16,2); // initialize the lcd for 16 chars 2 lines, turn on backlight
// ----- Quick 3 blinks of backlight -----
for(int i = 0; i < 3; i++)
{
  lcd.backlight();
  delay(250);
  lcd.noBacklight();
  delay(250);
}
lcd.backlight(); // finish with backlight on
//----- Write characters on the display -----
// NOTE: Cursor Position: (CHAR, LINE) start at 0
lcd.setCursor(0,0); //Start at character 4 on line 0
lcd.print("Smart Farm");
delay(1000);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" By Youtthana.s ");
delay(1000);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("RY1 OFF, RY2 OFF");
}
void loop()
{
  // put your main code here, to run repeatedly:

```

```

ds1302_struct rtc;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if( Timer_Display++ > 10000 ){
    Timer_Display = 0;
    // Read all clock data at once (burst mode).
    DS1302_clock_burst_read( uint8_t *) &rtc;
    lcd.setCursor(0, 0);
    // print the number of seconds since reset:
    lcd.print("Time ");
    lcd.print(bcd2bin( rtc.h24.Hour10, rtc.h24.Hour));
    lcd.print(":");
    lcd.print(bcd2bin( rtc.Minutes10, rtc.Minutes));
    lcd.print(":");
    lcd.print(bcd2bin( rtc.Seconds10, rtc.Seconds));
    lcd.print(" ");
    cpmhour = bcd2bin( rtc.h24.Hour10, rtc.h24.Hour);
    cpmmin  = bcd2bin( rtc.Minutes10, rtc.Minutes);
    cpmsec  = bcd2bin( rtc.Seconds10, rtc.Seconds);
}
if (stringComplete) {
    //Serial.println(inputString);
    XPORT_Receive(RecieveString);
    for(int i = 0; i < 50; i++)
    {
        RecieveString[i] = 0xFF;
    }
    // clear the string:
    inputString = "";
    stringComplete = false;
}
    Check_Timer();
}
}
/*

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SerialEvent occurs whenever a new data comes in the hardware serial RX. This routine is run between each time loop() runs, so using delay inside loop can delay response. Multiple bytes of data may be available.

```

*/
void serialEvent() {
  while (Serial.available()) {
    // get the new byte:
    char inChar = (char)Serial.read();
    if(inChar == '$')
    {
      counter_read = 0;
      RecieveString[counter_read] = '$';
    }
    RecieveString[counter_read] = inChar;
    counter_read++;
    // add it to the inputString:
    inputString += inChar;
    // if the incoming character is a newline, set a flag
    // so the main loop can do something about it:
    if (inChar == '\n') {
      stringComplete = true;
    }
  }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการ การประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์

ในวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....เวลา.....น.

ณ.....

คำชี้แจง ๑. แบบสอบถามนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปลงเลขศร
อัจฉริยะและเป็นข้อมูลในการดำเนินงานครั้งต่อไป

๒. โปรดทำเครื่องหมาย หรือเขียนข้อความลงในช่องที่ต้องการ

๓. ความหมายของระดับความพึงพอใจ

๕ หมายถึงมากที่สุด ๔ หมายถึงมาก ๓ หมายถึงปานกลาง ๒ หมายถึงน้อย ๑ หมายถึงน้อยที่สุด

๑. ข้อมูลทั่วไป

- ๑.๑ เพศ ชาย หญิง
- ๑.๒ อายุ ต่ำกว่า ๓๐ ปี ๓๐ - ๓๙ ปี
 ๔๐ - ๔๙ ปี ๕๐ ปีขึ้นไป
- ๑.๓ การศึกษา ปวช. ปวส. หรืออนุปริญญา ปริญญาตรี
 ปริญญาโท ปริญญาเอก
- ๑.๔ สถานภาพ ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ พนักงานบริษัทเอกชน
 นักศึกษา อื่นๆ
- ๑.๕ กลุ่มอาชีพ ผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้งานทั่วไป

๒. ประสิทธิภาพของระบบ

หัวข้อประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	๕	๔	๓	๒	๑
๒.๑ ด้านหน้าที่และความถูกต้องในการทำงานของระบบในลักษณะภาพรวม					
๒.๒ ด้านหน้าที่และความถูกต้องในการทำงานของระบบตามความต้องการ					
๒.๓ ด้านความสะดวกและความง่ายต่อการใช้งาน					
๒.๔ ด้านความปลอดภัยของระบบ					
๒.๕ ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใช้
กรุณาคลิก มีต่อด้านหลัง 

๓. ประเด็นที่จะนำไปปฏิบัติ

.....

.....

.....

.....

.....

๔. ข้อเสนอแนะ



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ด้วยความขอบคุณ

นายยุทธนา ศิลาคำ สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการ การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบโดยผู้ทั่วไป

ในวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....เวลา.....น.

ณ.....

- คำชี้แจง
๑. แบบสอบถามนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมโครงการ และเป็นข้อมูลในการดำเนินงานครั้งต่อไป
 ๒. โปรดทำเครื่องหมาย หรือเขียนข้อความลงในช่องที่ต้องการ
 ๓. ความหมายของระดับความพึงพอใจ
 - ๕ หมายถึงมากที่สุด ๔ หมายถึงมาก ๓ หมายถึงปานกลาง ๒ หมายถึงน้อย ๑ หมายถึงน้อยที่สุด

๑. ข้อมูลทั่วไป

- ๑.๑ เพศ ชาย หญิง
- ๑.๒ อายุ ต่ำกว่า ๓๐ ปี ๓๐ - ๓๙ ปี
 ๔๐ - ๔๙ ปี ๕๐ ปีขึ้นไป
- ๑.๓ การศึกษา ปวช. ปวส. หรืออนุปริญญา ปริญญาตรี
ปริญญาโท ปริญญาเอก
- ๑.๔ สถานภาพ ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ พนักงานบริษัทเอกชน
นักศึกษา อื่นๆ
- ๑.๕ กลุ่มอาชีพ ผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้งานทั่วไป

๒. ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบ

หัวข้อประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	๕	๔	๓	๒	๑
๒.๑ ด้านความสามารถของระบบตามหน้าที่การทำงาน					
๒.๒ ด้านความสามารถของระบบตามความต้องการของผู้ใช้งาน					
๒.๓ ด้านความสะดวกและความง่ายต่อการใช้งาน					
๒.๔ ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ					
๒.๕ ด้านค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อระบบมาใช้งาน					

กรุณาพลิก มีต่อด้านหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓. ประเด็นที่จะนำไปปฏิบัติ

.....

.....

.....

.....

.....

๔. ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ด้วยความขอบคุณ

นายยุทธนา ศิลาคำ สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ยุทธนา ศีลาคำ, กฤดากร กล่อมการ และ ปิติเขต สุธีรักษา. “ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ” การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ. ปีที่ 8, ตุลาคม 2559. หน้า 265-271.
- [2] ยุทธนา ศีลาคำ. “การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อรายงานสภาพการจราจรด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรม การเคลื่อนที่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. ปีที่ 7, พฤษภาคม 2558. หน้า 89-92.
- [3] N. Poncharernpong, S. Charanyananda, Y. Silakam, K. Klomkarn and P. Sooraksa. “Communication Network Structure for Robotic Manipulators” TENCON. IEEE Region 10 Conference. 2014.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ

ยุทธนา ศิลาคำ กฤตากร กล่อมการ และปิติเขต สุรัรักษา

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

Emails: realkhen99@gmail.com, kkkitdak@kmitl.ac.th, kspitikh@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอนวัตกรรมเปลี่ยนการเกษตรจากแปลงเกษตรแบบดั้งเดิมที่มีกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรที่ซับซ้อนเป็นแปลงเกษตรสมัยใหม่ที่มีกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรที่ง่าย โดยมีแนวคิดหลัก คือ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เข้าไปพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าเกษตร ประกอบด้วย การรดน้ำ การใส่ปุ๋ย การให้น้ำและอาหารสัตว์ การเปิดหรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงการสังเกตการณ์ด้วยกล้องและตรวจสอบสภาพแวดล้อมของแปลงเกษตร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและความชื้นของดิน จะเห็นได้ว่าเกษตรกรรมมีการผลิตที่ซับซ้อนใช้ระยะเวลานานและต้องพึ่งพาแรงงาน ประเด็นปัญหาที่ทำให้การเกษตรขาดการพัฒนา ได้แก่ ภาคการเกษตรเผชิญกับภาวะขาดแคลนแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานสูง การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ กระแสกดดันทางการค้าและการใช้แรงงานเด็ก กระบวนการและปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการนำระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นไปใช้แทนแปลงเกษตร โดยระบบสามารถบริหารจัดการด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้จากทุกที่และตลอดเวลา ทั้งแบบสั่งงานแบบปกติและตั้งเวลาให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ระบบนี้มีต้นทุนต่ำทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ง่ายและนำไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสินค้าเกษตร ลดระยะเวลาและกระบวนการทำงาน ลดจำนวนคนในการทำงานเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน คนที่มีงานประจำและผู้สูงอายุสามารถทำการเกษตรได้ง่ายๆ ด้วยระบบนี้

ผลการวิจัยนี้ได้นำนวัตกรรมใหม่ทางการเกษตรแบบบูรณาการประกอบด้วยวงจร (schematic) ลายวงจร (PCB) และซอร์สโค้ด (Source code) สามารถนำไปพัฒนาและต่อยอดได้ในอนาคตเพื่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ ผลการทดสอบระบบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบกล่องดำ (Black box Testing) โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ พบว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบ พบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดีมากมีความถูกต้อง 93.4% มีข้อผิดพลาด 6.6% และความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ-- เกษตรอัจฉริยะ; ไมโครคอนโทรลเลอร์; แอปพลิเคชัน; อินเทอร์เน็ต

1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อำนวยความสะดวกสบายต่อการดำรงชีวิตอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีได้เข้ามาเสริมปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การผลิตสินค้าเกษตรเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ช่วยทำให้ระบบสามารถผลิตสินค้าเกษตรได้จำนวนมากแต่ใช้ต้นทุนต่ำและราคาถูกลง จากการศึกษาปัญหาทางด้านเกษตรพบประเด็นการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลายประการ ดังนี้ ราคาอาหารในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทำให้โลกร้อน เกิดภัยธรรมชาติอย่างรุนแรงส่งผลกระทบต่อการผลิตสินค้าเกษตรโดยตรง นโยบายผลิตอาหารเลี้ยงตัวเองของประเทศผู้นำเข้าส่งผลทำให้ราคาสินค้าเกษตรในตลาดโลกแปรปรวน ภาคเกษตรกรรมต้องเผชิญกับการขาดแคลนแรงงานซึ่งเป็นปัญหาหลักของภาคเกษตรกรรมเพราะรายได้จากอาชีพการเกษตรไม่แน่นอน เมื่อเทียบกับภาคอุตสาหกรรมและบริการ ทำให้จำนวนประชากรอยู่ในภาคอุตสาหกรรมและบริการเป็นจำนวนมาก จึงเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยนี้เพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เข้าไปพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าเกษตรแบบบูรณาการ เช่น การให้น้ำ ให้ปุ๋ย ให้อาหาร และเปิดหรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้แรงงานคนสามารถสั่งการได้ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้จากทุกที่และทุกเวลา ทำให้เกิดการสร้างงาน สร้างอาชีพ สร้างรายได้และบริการใหม่ๆ เพื่อพัฒนาเกษตรกรรมให้เข้มแข็ง มีมั่นคงนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืน

2. ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ใช้ในการศึกษาหรือทดสอบในครั้งนี้ได้แก่ วิศวกร โปรแกรมเมอร์ ช่างเทคนิค และพนักงานทั่วไปที่กำลังศึกษาเกี่ยวกับการเกษตร จำนวน 18 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

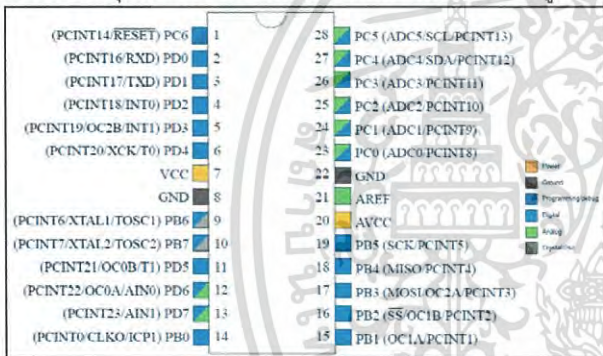
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตด้านระบบ การวิจัยนี้ใช้บริการ Dynamic DNS ของ MyZykel.in.th และใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตของบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) โดยผลิตภัณฑ์และบริการที่ใช้ทดสอบ คือ myCAT และ C internet โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับ โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ตั้งแต่เวอร์ชัน 2.2 ถึง เวอร์ชัน 7.0

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

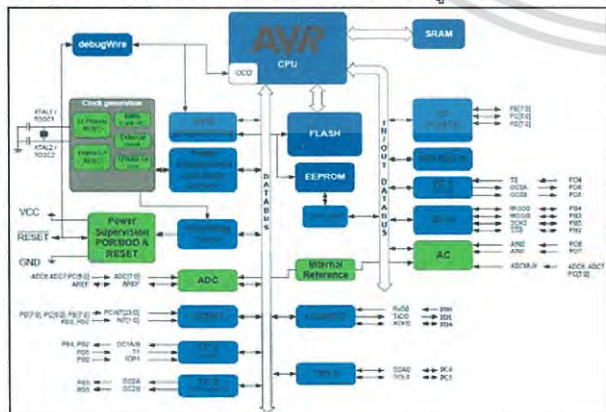
3.1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU

ATmega328P-PU เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดเล็ก สามารถ ออกแบบวงจรได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง ในการพัฒนาโปรแกรมบน platform ของ Arduino ต้องติดตั้งเฟิร์มแวร์ (Firmware) ก่อนโดยวิธีการ ทำ bootloader ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมใช้ภาษา C++ และสามารถ ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น สร้างเครื่องใช้อัจฉริยะ เครื่องข่าย หุ่นยนต์กู้ภัย [1] รับผิดชอบจากสวิทช์หรือเซนเซอร์ ควบคุมหลอดไฟ มอเตอร์ และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยมีโครงสร้างตำแหน่งขา แสดงดังรูปที่ 1.



รูปที่ 1. ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ATmega328P-PU

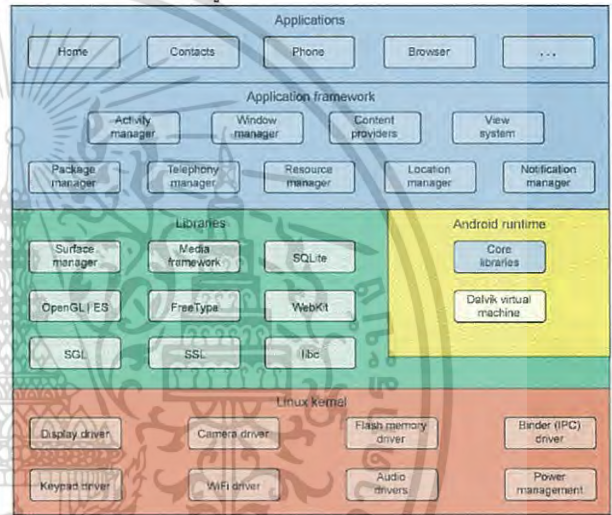
ประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุต ไม่ว่าจะเป็น port digital, port analog, PWM และ Serial port สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ สถาปัตยกรรมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU แสดงดังรูปที่ 2.



รูปที่ 2. สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ATmega328P-PU

3.2. สถาปัตยกรรมของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นซอฟต์แวร์ที่มีโครงสร้างแบบสแต็ก (Stack) ซึ่งรวมเอาระบบปฏิบัติการ (Operating System) มิดเดิลแวร์ (Middleware) และแอปพลิเคชันที่สำคัญเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อใช้สำหรับ ทำงานบนอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่ (Mobile Devices) สามารถสร้างแอป พลิเคชันนำไปประยุกต์ใช้งานได้ เช่น รายงานสภาพจราจร และบ้าน อัจฉริยะ การทำงานของแอนดรอยด์มีพื้นฐานอยู่บนระบบลินุกซ์ เคอร์เนล (Linux Kernel) ซึ่งใช้ Android SDK เป็นเครื่องมือสำหรับการ พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android และใช้ภาษาจาวาใน การพัฒนาโปรแกรม สถาปัตยกรรมของแอนดรอยด์ถูกแบ่งออกเป็น ลำดับชั้น 4 ชั้น แสดงดังรูปที่ 3.



รูปที่ 3. สถาปัตยกรรมของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [2] เป็นการพัฒนาระบบเกษตร โดยได้นำกลุ่มเครือข่าย เซ็นเซอร์ไร้สายแบบลำดับชั้นสำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ของดิน เช่น อุณหภูมิและความชื้น โดยการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุผ่านโมดูลแต่ละ โมดูลไปยังโมดูลฐานที่เชื่อมต่อกับเวิร์กสเตชัน โดยใช้โปรโตคอลการ สื่อสาร แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการ เกษตร

งานวิจัย [3] การเกษตรในประเทศอินเดียเป็นการทำฟาร์มแบบดั้งเดิม โดยใช้เทคนิคที่ได้รับการพัฒนามาหลายร้อยปีและขาดการอนุรักษ์ ทรัพยากร ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ การแก้ปัญหาโดยการ ใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 และเครื่องรับสัญญาณ รหัสผ่าน GSM ดำเนินงานผ่าน SMSES และมีการเชื่อมโยงระหว่าง หน่วยงานประมวลผล ARM7 ในการรับส่งข้อมูลเข้าไปตรวจสอบโดยใช้ เซ็นเซอร์ในการตรวจสอบแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อนำผลที่ได้ไป บริหารจัดการน้ำเพื่อใช้สำหรับการเกษตร

งานวิจัย [4] การพัฒนาระบบสังเกตการณ์และควบคุมอุปกรณ์ภายใน บ้านโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Arduino และเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบฝังตัวโดยไม่ต้องใช้เครื่องแม่ข่ายทำให้ต้นทุนต่ำ และใช้วิธีของ REST ในการสร้าง Web Service โดยเรียกใช้ผ่านทางโปรโตคอล HTTP ซึ่งมี Method เช่น GET และ POST ส่งข้อมูลออกมาในรูปของ XML และใช้ JSON แลกเปลี่ยนข้อมูลกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ได้ เช่น หลอดไฟ ปลั๊กไฟ ประตูบ้านและประตูรั้ว โดยแสดงผลอุณหภูมิและมีเตอร์ไฟฟ้าบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1. การศึกษาปัญหาและความต้องการของระบบ

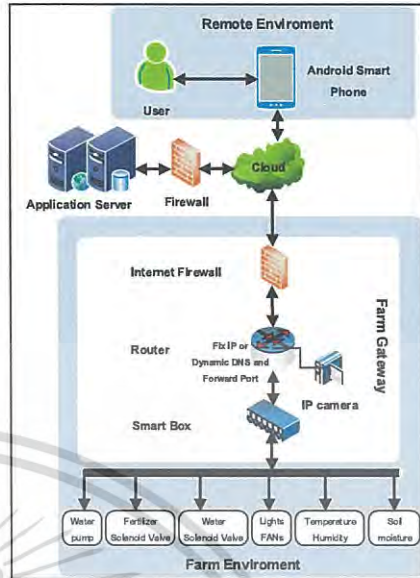
ขั้นตอนการศึกษาปัญหาและความต้องการของระบบเป็นการกำหนดปัญหาและความเป็นไปได้ โดยรวบรวมข้อมูลจากทฤษฎี งานวิจัย และจากเกษตรกรแล้วนำมาพัฒนาระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะซึ่งเป็นระบบเกษตรสมัยใหม่ที่นำเอาเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ ทำให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการแปลงเกษตรหรือฟาร์ม (Farm) ได้ทุกที่ทุกเวลา เพียงมีโทรศัพท์เคลื่อนที่และเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ช่วยลดเวลาและต้นทุนในการจ้างแรงงานดูแลฟาร์ม สามารถควบคุมปริมาณการให้น้ำและอาหารได้อย่างเหมาะสมซึ่งในระบบบริหารจัดการฟาร์มแบบดั้งเดิมต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักในการดูแลฟาร์ม เช่น การให้อาหารสัตว์ การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ การใช้แรงงานคนนั้นต้องอาศัยความเอาใจใส่ในการดูแลอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีนั้นผู้ดูแลควรให้อาหารหรือปุ๋ยที่เพียงพอ และควรให้น้ำได้ตลอดเวลาทำให้ไม่สามารถละทิ้งหน้าที่การดูแลฟาร์มได้ นอกจากนี้การทำการเกษตรแบบดั้งเดิมยังไม่มีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและความชื้นของดิน ในแต่ละวันต้องพึ่งพาธรรมชาติ เมื่อมีการลดลงของผลผลิตทำให้ผู้ดูแลไม่สามารถทราบสาเหตุที่ชัดเจนได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้ เช่น หากมีความชื้นของดินต่ำควรให้น้ำปริมาณเพิ่มมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. แนวคิดและรูปแบบการพัฒนาแปลงเกษตร

4.2. การวิเคราะห์ระบบ

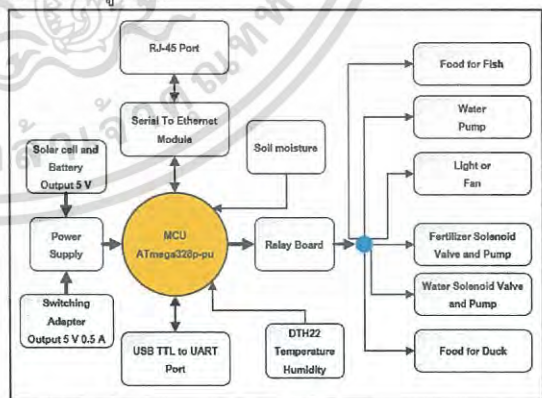
ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ระบบ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุมระยะไกลด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Remote environment) ส่วนเครือข่ายพื้นฐาน (Network infrastructure) และส่วนแปลงเกษตร (Farm environment) แสดงดังรูปที่ 5.



รูปที่ 5. ภาพรวมของสถาปัตยกรรมตามแนวความคิด

4.3. การออกแบบระบบ

ระบบนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ดังนี้ ในส่วน Hardware เป็นการออกแบบวงจรและสายวงจรของระบบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ATmega328P-PU หรือ Arduino Chip เป็นตัวประมวลผลหลักทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ของระบบ ได้แก่ Serial to Ethernet Module, Sensor, Relay Board, DS1302, Power Supply, IP Camera, Solar cell and Battery โดยได้ออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกและแบตเตอรี่สำรองทำให้ระบบสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 6.

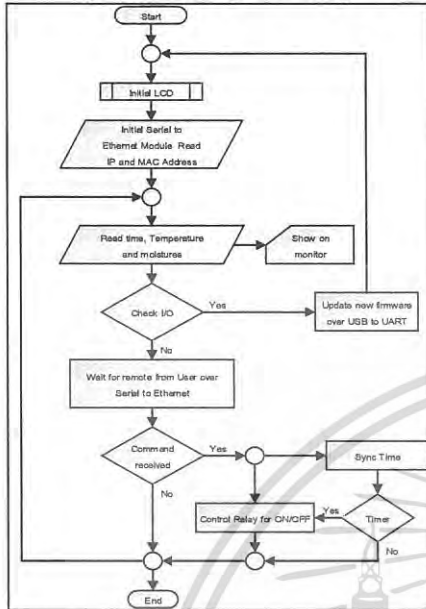


รูปที่ 6. สถาปัตยกรรมทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ

ในส่วน Software เป็นการออกแบบแผนผัง (Flow chart) การทำงานของโปรแกรม โดยเริ่มจากการกำหนดค่าเครือข่ายจาก Serial to Ethernet Module และอ่านค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและความชื้นของดิน ลำดับต่อมาตรวจสอบอินพุตและเอาต์พุต รับผิดชอบคำสั่งจากผู้ใช้งานระบบผ่าน

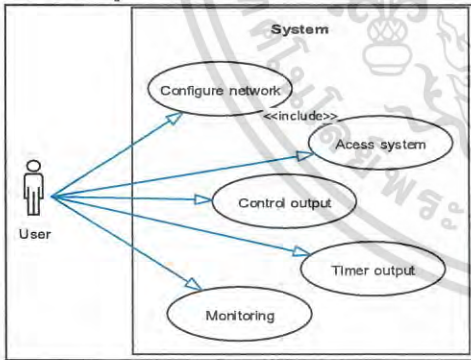
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่

เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อควบคุมส่วนรีเลย์เอาต์พุต แล้ววนรอบซ้ำไปเรื่อยๆ เพื่อรอรับข้อมูลหรือคำสั่งจากผู้ใช้ แสดงดังรูปที่ 7.



รูปที่ 7. แผนผังด้านฮาร์ดแวร์ของระบบ

การออกแบบส่วนควบคุมระยะไกลเพื่อแสดงผลออกทางจอภาพของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้แผนภาพยูเอสเคไออะแกรม (Use Case Diagram) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับขบวนการทำงานตามหลักการของแบบจำลองยูเอ็มแอล (UML: Unified Modeling Language) แสดงดังรูปที่ 8.



รูปที่ 8. ยูเอสเคไออะแกรมของระบบ

4.4. การพัฒนาระบบ

ขั้นตอนนี้ทำให้ระบบเกิดผลเป็นรูปธรรมโดยการพัฒนาการเขียนโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ ในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมใช้วิธีการเขียนโปรแกรมภาษาซี (C++) ซึ่งใช้เครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์หรือแอปพลิเคชัน (Application) ของ Arduino IDE และส่วนของโมบายแอปพลิเคชันเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวา ซึ่งใช้เครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชันของ Android studio หลักการส่งข้อมูลแบบ TCP/IP ผ่านทาง Socket ปกติแล้วการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์พวก

Device Server จำเป็นต้องส่งข้อมูลผ่านทาง IP และ Socket ซึ่งปลายทางทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Internet เป็น Serial สาเหตุที่เราต้องแปลงสัญญาณข้อมูลเป็น Serial เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถถอดรหัสสัญญาณ TCP ได้ นอกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ใหม่ ที่รองรับ TCP Stack ก็สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ Internet ได้โดยตรง

ชุดคำสั่งควบคุมเอาต์พุตและการตั้งเวลาของระบบประกอบด้วยชุดคำสั่ง ดังนี้ อันดับแรก ชุดคำสั่งเปิด Output แต่ละ Channel คือ "\$XPORT=ONL1 + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" เมื่อส่งงานสำเร็จจะส่งข้อความกลับเป็น "\$SW=ON1" อันดับที่สอง ชุดคำสั่งปิด Output แต่ละ Channel คือ "\$XPORT=OFL1 + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" เมื่อส่งงานสำเร็จจะส่งข้อความกลับเป็น "\$SW=OF1" อันดับที่สาม ชุดคำสั่งตั้งเวลา Output แต่ละ Channel ระบบทำการ Sync เวลาใหม่ทุกครั้ง ชุดคำสั่ง SYNC RTC คือ "\$XPORTSYNRTC + (ตัวแบ่งข้อมูล) + วัน : เดือน : ปี : DOW* : ชั่วโมง : นาที : วินาที + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" โดย DOW คือ date of week (Sunday = 0, Monday = 1, ...Saturday = 7) จากนั้นหน่วงเวลา 500 ms แล้วส่งคำสั่งตั้งเวลาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดคำสั่งตั้งเวลา คือ "\$XPORTSETSW + SW1 + ":ON:" + ชั่วโมง : นาที + ":OFF:" + ชั่วโมง : นาที + Loop + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง" โดย Loop คือ การให้ Output ทำงานซ้ำในแต่ละวัน Loop = 1 แต่ถ้าต้องการตั้งเวลาอย่างเดียว Loop = 0 และสุดท้าย ชุดคำสั่งเคลียร์ระบบคือ "\$XPORTOFFALL + ***** ให้ครบ 120 ตำแหน่ง"

4.5. การทดสอบระบบ

การทดสอบระบบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบกล่องดำ (Black box Testing) เพื่อเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น การทดสอบระบบประกอบด้วยการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์จำนวน 6 คน และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบ โดยผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 12 คน โดยการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยกำหนดเกณฑ์ของค่าเฉลี่ยการประเมินแสดงในตาราง 1.

ตาราง 1. เกณฑ์การให้คะแนนของการสรุปผลการประเมิน

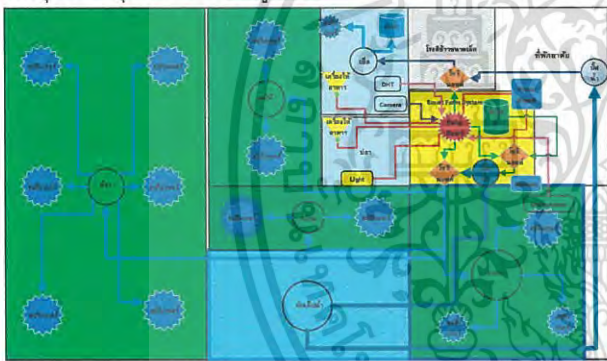
ระดับเกณฑ์	ระดับการประเมิน
4.51-5.00	ดีมากที่สุด
3.51-4.50	ดีมาก
2.51-3.50	พอใช้
1.51-2.50	น้อย
1.00-1.50	น้อยที่สุด

4.6 การนำระบบไปใช้งาน

ขั้นตอนนี้เป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบของเกษตรกรทำหนึ่เป็นการทำเกษตรแบบผสมผสาน พื้นที่จำนวน 6 ไร่ ได้แบ่งพื้นที่การปลูกพืช เลี้ยงสัตว์ ปศุเก็บน้ำ และที่อยู่อาศัยในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยสามารถแบ่งประเภทได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มพืช ได้แก่ ข้าว กล้วย

มะนาว และผลไม้ มีความต้องการน้ำและปุ๋ย และกลุ่มสัตว์ ได้แก่ ปลา และเป็ด มีความต้องการแสงสว่าง น้ำและอาหาร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ ได้แก่ บั๊มน้ำ โซลินอยด์วาล์ว เครื่องให้อาหาร ถังใส่ปุ๋ยน้ำ สปริงเกอร์ ท่อน้ำ วาล์วน้ำ ข้อต่อท่อ กาว เชื่อมท่อ และเทปกั้นซึม นอกจากนี้ยังมีส่วนของระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กล้องและ เซนเซอร์ ขั้นตอนแรกติดตั้งระบบท่อน้ำในแปลงเกษตรเข้ากับสปริงเกอร์ ต่อมาเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบ โดยเชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุต ช่องที่ 1 เข้ากับโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการให้ปุ๋ยแก่พืช เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 2 เข้ากับโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการให้น้ำแก่พืช เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 3 เข้ากับระบบแสงสว่าง เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 4 เข้ากับเครื่องให้อาหารปลา เชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 5 เข้ากับเครื่องให้อาหารเป็ด และเชื่อมต่อรีเลย์เอาต์พุตช่องที่ 6 เข้ากับโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการให้น้ำแก่เป็ด ต่อมาติดตั้งกล้องและตั้งค่าเริ่มต้นให้กับระบบเครือข่าย สุดท้ายทำการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับระบบและอุปกรณ์ ทำให้ได้แปลงเกษตรอัจฉริยะไร้คนเฝ้าดูแลแปลงเกษตรเพราะสามารถบริหารจัดการแปลงเกษตรแบบออนไลน์ได้จากทุกที่และทุกเวลา แสดงดังรูปที่ 9.

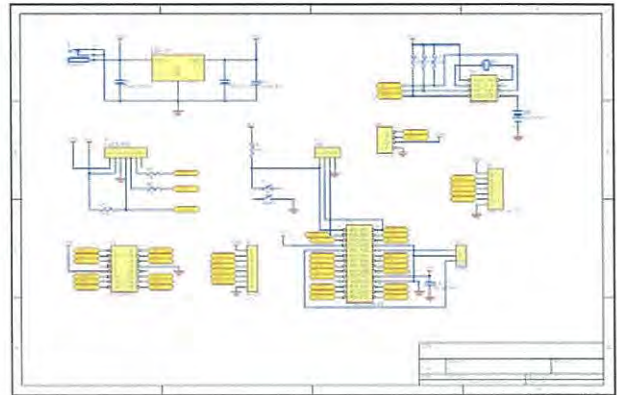


รูปที่ 9. โดะแกรมการติดตั้งระบบเข้ากับแปลงเกษตร

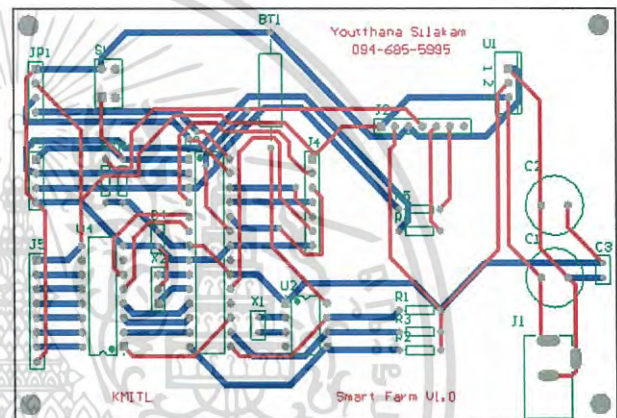
5. ผลการดำเนินการวิจัย

5.1. ผลการพัฒนาาระบบ

ผลการพัฒนาระบบส่วน Hardware ทั้งวงจร (schematic) และลายวงจร (PCB) ของระบบ โดยใช้เครื่องมือพัฒนาโปรแกรม Altium Designer ซึ่งใช้งานง่ายและปรับปรุงแก้ไขได้สะดวกในภายหลังโดยไม่กระทบต่อส่วนอื่น แสดงดังรูปที่ 10. และ รูปที่ 11.



รูปที่ 10. วงจร schematic ส่วน Hardware ของระบบ



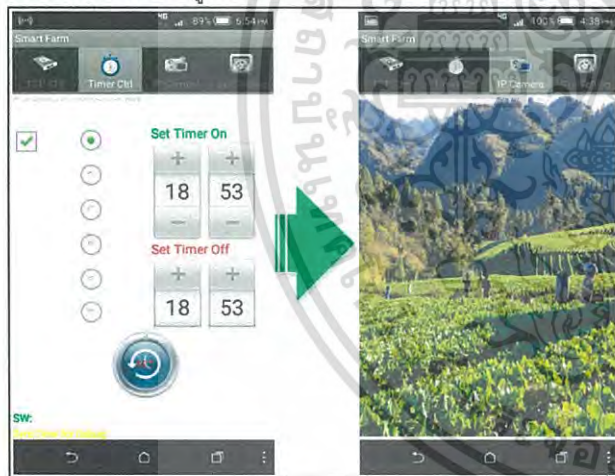
รูปที่ 11. ลายวงจรพร้อมอุปกรณ์ ส่วน Hardware ของระบบ

ผลการพัฒนาระบบส่วน Software หรือโมบายแอปพลิเคชันสามารถสั่งการได้ 2 รูปแบบ คือ แบบธรรมดาและแบบตั้งเวลา ระบบสามารถรองรับอุปกรณ์เอาต์พุตได้จำนวน 6 ช่อง การเข้าระบบโดยการระบุ IP หรือ URL ที่ลงทะเบียนไว้ และระบุ Port ที่ได้กำหนดไว้ในกล่องอัจฉริยะ (Smart Box) และเราเตอร์ (Router) จากนั้นกดปุ่ม Start เพื่อเข้าระบบ ในหน้าจอ TCP Client สามารถส่งควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในแปลงเกษตรผ่านอินเทอร์เน็ตหรือสั่งงานผ่านระบบ 3G และมีส่วนแสดงสภาพแวดล้อมของแปลงเกษตร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและความชื้นดิน แสดงดังรูปที่ 12.



รูปที่ 12. การแสดงผลด้วยหน้าจอเข้าระบบและหน้าจอ TCP Ctrl

ในหน้าจอ Timer Ctrl สามารถตั้งเวลาควบคุมอุปกรณ์แบบอัตโนมัติและสามารถกำหนดเป็น Loop ได้ เมื่อระบบการสื่อสารใช้งานไม่ได้แต่ระบบนี้สามารถทำงานได้ด้วยการตั้งเวลาควบคุม และในหน้าจอ IP Camera เป็นการเชื่อมต่อกล้องไอพีเพื่อแสดงภาพภายในแปลงเกษตร แสดงดังรูปที่ 13.



รูปที่ 13. การแสดงผลด้วยหน้าจอ Timer Ctrl และ IP Camera

5.2. ผลการทดสอบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 6 คน แสดงในตาราง 2.

ตาราง 2. สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านหน้าที่และความถูกต้องในการทำงานของระบบในลักษณะภาพรวม	4.67	0.52	ดีมากที่สุด
2. ด้านหน้าที่และความถูกต้องในการทำงานของระบบตามความต้องการ	4.17	0.75	ดีมาก
3. ด้านการใช้งาน	3.83	0.75	ดีมาก

4. ด้านความปลอดภัยของระบบ	3.00	0.89	พอใช้
5. ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ	4.33	0.52	ดีมาก
ผลสรุป	4.00	0.17	ดีมาก

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะโดยผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 12 คน แสดงในตาราง 3.

ตาราง 3. สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านความสามารถของระบบตามหน้าที่การทำงาน	4.00	0.74	ดีมาก
2. ด้านความสามารถของระบบตามความต้องการของผู้ใช้งาน	3.75	0.75	ดีมาก
3. ด้านความสะดวกและความง่ายต่อการใช้งาน	4.08	0.90	ดีมาก
4. ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ	4.17	0.72	ดีมาก
5. ด้านค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อระบบมาใช้งาน	4.25	0.75	ดีมาก
ผลสรุป	4.05	0.07	ดีมาก

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างนวัตกรรมทางการเกษตรโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยนำระบบไปใช้กับแปลงเกษตรทำให้เกษตรกรได้รับความสะดวกสบาย สามารถบริหารจัดการแปลงเกษตรได้จากทุกที่ทุกเวลาเพียงมีโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต รวมถึงยังลดต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตรในด้านแรงงานและทำให้คนรุ่นใหม่หันมาให้ความสำคัญในอาชีพเกษตรกรรมมากยิ่งขึ้นสามารถทำเป็นอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับครอบครัวอีกทางหนึ่ง รวมถึงการได้บริโภคอาหารที่ปลอดภัยไร้สารพิษไว้รับประทานในครัวเรือนส่งผลให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจเป็นประโยชน์ต่อครอบครัวและประเทศชาติต่อไปในอนาคต

ผลการวิจัยการทดสอบระบบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบแบล็กบ็อกซ์ โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์จำนวน 6 คน พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.17 และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีผลต่อระบบ โดยผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 12 คน พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.07 ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากมีข้อผิดพลาดน้อยและความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับดีมาก

6.2. ข้อเสนอแนะ

ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะแนวทางการพัฒนาระบบต่อไปควรมีระบบบัญชีรายรับรายจ่ายและฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลการเกษตรแล้วนำข้อมูลไปพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตโดยการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เพื่อหาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับผลผลิตที่ได้สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Poncharernpong, S. Charanyananda, Y. Silakam, K. Klomkam, P. Sooraksa, "Communication Network Structure for Robotic Manipulators", IEEE, 978-1-4799-4075-2/14/\$31.00 © 2014.
- [2] Q. Wang, A. Terzis and A. Szalay, "A Novel Soil Measuring Wireless Sensor Network", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, pp. 412-415, 2010.
- [3] M. Mahesh Galgalikar, "Real-Time Automization Of Agricultural Environment for Social Modernization of Indian Agricultural System", IEEE, 978-1-4244-5586-7/10/\$26.00 C, 2010.
- [4] R. Piyare, "Internet of Things: Ubiquitous Home Control and Monitoring System using Android based Smart Phone", International Journal of Internet of Things, 2(1):5-11, 2013.



บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อรายงานสภาพการจราจรด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ Development of Algorithms for real time Traffic reports with Analysis motion Behavior of Mobile phone

ยุทธนา สีลาคำ¹

¹สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail : realkhen99@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อรายงานสภาพการจราจรด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือสมาร์ทโฟน (Smart phone) เนื่องจากปัญหาการจราจรที่ติดขัดในเขตเมือง ณ ปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งที่ต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว แนวทางหนึ่งคือการรายงานสภาพการจราจรแบบเวลาจริง (Real time) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) โดยใช้เทคนิคการเก็บข้อมูลจากผู้ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนเสมือนกับยานพาหนะแจ้งสถานะความหนาแน่นของการจราจร วิธีการหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่ง (Location-Based) การประมาณค่าความหนาแน่น การวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่และการรายงานสภาพการจราจร เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ มีความรวดเร็วในการใช้งานและครอบคลุมพื้นที่ในวงกว้าง ผลการวิจัยพบว่าสามารถออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมที่มีความถูกต้องและประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ตลอดเวลา ในส่วนของผลการทำงานของโปรแกรมทำงานได้ถูกต้องมากกว่า 80% ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นองค์ความรู้และเทคโนโลยีฐานอันสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในภาคส่วนต่างๆ ต่อไปได้อีกในอนาคต

คำสำคัญ : อัลกอริทึม, การเก็บข้อมูลภูมิสารสนเทศ, ระบุตำแหน่ง, การแยกพฤติกรรมเคลื่อนที่, โปรแกรมแอนดรอยด์

Abstract

This paper presents the development of algorithms for traffic reports with analysis of the motion of a mobile phone or smart phone. The problem of traffic jams in the city at present is a critical issue to find solutions to such problems. Another approach is to report real-time traffic conditions which research was applied smart phones are widely used in the present conjunction with Information and Communications Technology (ICT) by using techniques to collect information from users of smart phones with virtual vehicle indicates the density of traffic. How to find the coordinates using location technology. Density estimation. Analysis of behavior movement and traffic reports. Due to low cost, Is quick to use and cover broad areas. The results showed that the design

and development of the algorithm is accurate and efficient. It can also be working at any time. The result of the application works correctly more than 80%. The results of this research is a body of knowledge and technology base that can be applied to actually applications in various sectors. The future possibilities.

Keywords: algorithms, geocoding, location base, movement's behavior clustering, android application.

1. บทนำ

ปัญหาการจราจรหนาแน่นเป็นปัญหาสำคัญของหลายประเทศทั่วโลกซึ่งเป็นปัญหาที่ใกล้ตัวและก่อให้เกิดความเสียหายทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม การจราจรติดขัดอาจเกิดขึ้นมาจากหลายสาเหตุ ทั้งอุบัติเหตุหรือสภาพพื้นผิวถนนชำรุดโดยมีผลกระทบต่อระบบการขนส่งบนท้องถนน สิ่งสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการทราบปริมาณรถที่ใช้ในแต่ละเส้นทางเพื่อทำให้ผู้ใช้รถใช้ถนนสามารถหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรติดขัดและช่วยบรรเทาการจราจรติดขัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันความต้องการอุปกรณ์เก็บข้อมูลจราจรอัตโนมัติมีจำนวนมากขึ้นตามปริมาณการจราจรที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแหล่งข้อมูลจราจรที่ระบบนำมาใช้งานในปัจจุบันมาจากหน่วยงานภาครัฐประกอบด้วย กองบังคับการตำรวจจราจรและกรมทางพิเศษ ข้อมูลที่มาจากผู้ใช้รถใช้ถนนทั่วไป เช่น ค่าพิกัดจากเครื่อง GPS ข้อความความคิดเห็นจากเครือข่ายสังคมออนไลน์ และอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพการจราจรประกอบด้วย แมกเนติกเซ็นเซอร์ [1] อินดักทีฟลูบเซ็นเซอร์ เบลดเซ็นเซอร์ร่วมกับกล้องวงจรปิด [2] เลเซอร์เซ็นเซอร์ร่วมกับกล้องวงจรปิด [3] อินฟราเรดเซ็นเซอร์ [4] เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาระบบสูงแล้วข้อมูลจราจรที่มีอยู่มาจากหลายแหล่งข้อมูลและไม่อยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำไปใช้งานได้ทันที ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีแบบใหม่เพื่อนำมาแทนการเก็บข้อมูลแบบเดิม โดยใช้เทคนิคการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์โทรศัพท์สมาร์ทโฟนจากผู้ใช้ผ่าน โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพราะมีจุดเด่นหลายประการเช่น ต้นทุนต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ไม่ต้องติดตั้งสะดวกในการบำรุงรักษา และขยายขนาดเครือข่ายทำได้ง่าย

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

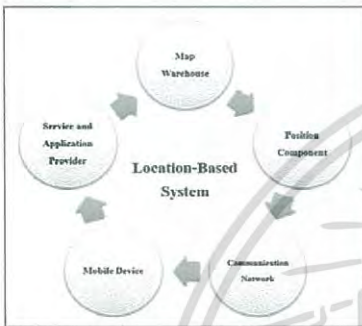
Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบระบุตำแหน่ง (Location-Based System : LBS)

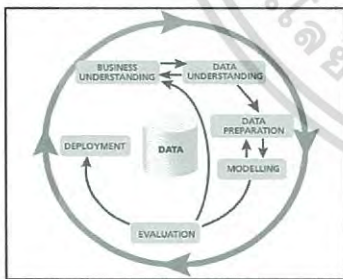
ระบบระบุตำแหน่งต้องกระทำผ่านทางโทรศัพท์มือถือ โดยใช้เครือข่ายไร้สายต่างๆ เชื่อมต่อการทำงาน ทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่อยู่ของโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์ไร้สายนั้นๆ ได้อย่างถูกต้องและสะดวกรวดเร็ว ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งในการให้บริการ LBS นั้นต้องมีส่วนประกอบพื้นฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่ง

2.1.2 การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) [5]

การทำเหมืองข้อมูล หมายถึงกระบวนการที่ใช้สำหรับสกัดหรือสืบค้นความรู้ที่น่าสนใจจากข้อมูลปริมาณมาก ๆ หรือเรียกว่า “Knowledge Discovery from very large Databases: KDD” โดยขั้นตอนการทำเหมืองข้อมูล สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานตามโมเดลมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบมาตรฐานการทำเหมืองข้อมูล CRISP-DM

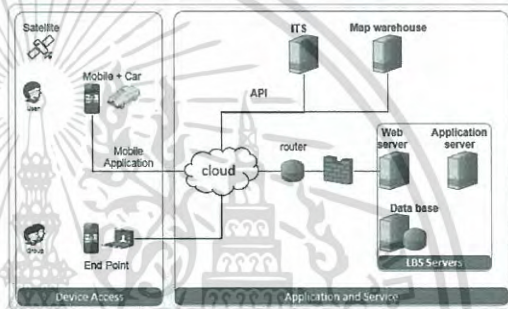
2.2 วิจัยวรรณกรรม

งานวิจัย [6] ได้ศึกษาพฤติกรรมของผู้ขับขี่ภายใต้สภาพการจราจรที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสจากการเคลื่อนตัวของรถบันทึก ซึ่งอุปกรณ์จีพีเอสมีความถูกต้องมากกว่า 1 เซนติเมตร ทุกๆ 0.1 วินาที ถูกนำมาหาความเร็วและความเร่ง [7] จากนั้นนำมาหาพฤติกรรมการขับขี่ สำหรับงานวิจัย [8] ได้ศึกษาการพัฒนาาระบบที่ให้บริการเสมือน

จริงและสามารถมองเห็นการเคลื่อนไหวของยานพาหนะบนแผนที่ออนไลน์ที่มีการรวมวิดีโอสดจากยานพาหนะ โดยใช้เทคโนโลยี LBS และโปรโตคอล DCCP ในการส่งวิดีโอสด ระบบนี้ยังถูกนำมาใช้ในการป้องกันการเกิดภัยพิบัติและระบบฉุกเฉิน

3. วิธีการพัฒนาระบบและอัลกอริทึม

การพัฒนาาระบบด้วยภาษาจาวาบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีความต้องการใช้อินเตอร์เน็ต จีพีเอส และ Library ของ Google เป็นตัวช่วยพัฒนาแอปพลิเคชัน สถาปัตยกรรมของระบบประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ ส่วนเก็บข้อมูลเบื้องต้น ส่วนประมวลผลและส่วนกระจายข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมของระบบรายงานสภาพการจราจร

ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ เริ่มจากขั้นตอนแรกการเก็บข้อมูล โดยระบบตรวจสอบสิทธิ์การใช้งานบนโทรศัพท์มือถือเพื่อส่งข้อมูลผ่านโปรแกรมที่พัฒนาโดยใช้ IP และ Port ของ Service ซึ่งต้องเขียนโปรแกรมดอครหัสข้อมูลที่เข้ามาตาม Port ของเครื่องตามรูปแบบที่กำหนด จากนั้นบันทึกที่ฐานข้อมูลบนเครื่องแม่ข่าย ซึ่งข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลพิกัด ความเร็ว ความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 การออกแบบฐานข้อมูลในตาราง geocode

ขั้นตอนที่สองการประมวลผลข้อมูล ประกอบด้วย Web server Application server และ Database server โดยเครื่องแม่ข่ายวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการการทำเหมืองข้อมูลด้วยโปรแกรม “RapidMiner” เพื่อแบ่งกลุ่ม (K-means Clustering) พฤติกรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไข/ดัดแปลง/บิดเบือน และต้องอ้างถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

เคลื่อนที่โดยมีความเร็วเป็นตัวระบุได้ว่าเป็นการหยุดหรือเคลื่อนที่ไม่ว่าเป็นการเดินหรือเคลื่อนที่โดยยานพาหนะ

ขั้นตอนสุดท้ายการรายงานสภาพการจราจรแบบความเร็วจุด (spot speed) บนแผนที่ Google Map ผ่าน API ซึ่งการดึงข้อมูลจาก MySQL ในฝั่ง Server นั้นใช้ PHP ในการดึงข้อมูลและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของ JSON เพื่อสามารถนำมาใช้กับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

3.1 วิธีการคำนวณหาระยะทาง (Harversine formula)

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (1)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right) \quad (2)$$

$$s = R \cdot c \quad (3)$$

โดยที่ s คือ ระยะห่างระหว่างจุด

R คือ รัศมีโลก (รัศมีโลกเฉลี่ย = 6,371,000 เมตร)

$\Delta\phi$ คือ ผลต่างของค่าละติจูด

$\Delta\lambda$ คือ ผลต่างของค่าลองจิจูด

3.2 วิธีการคำนวณหาความเร็วการเคลื่อนที่

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (4)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ ณ เวลาหนึ่ง

Δs คือ ระยะการกระจัดขนาดหนึ่ง

Δt คือ ช่วงเวลาหนึ่ง

3.3 วิธีการจำแนกความหนาแน่นของการจราจร

$$d = \frac{v}{l} \quad \{d = 0, 1, 2, 3, 4, 5\} \quad (5)$$

โดยที่ d คือ ระดับความหนาแน่นของการจราจร

v คือ ความเร็วของการเคลื่อนที่ ณ เวลาหนึ่ง

l คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 20

3.4 วิธีการวิเคราะห์พฤติกรรม (K-means Clustering)

$$\text{argmin}_S = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (6)$$

$$S_i^{(t)} = \left\{ x_p : \left\| x_p - m_i^{(t)} \right\|^2 \leq \left\| x_p - m_j^{(t)} \right\|^2 \forall j, \right. \quad (7)$$

$$\left. 1 \leq j \leq k \right\}$$

$$m_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j \quad (8)$$

โดยที่ μ_i เป็นค่าเฉลี่ยของจุดใน S_i

x_p ถูกกำหนดให้เป็นค่าหนึ่งหรือหลายค่าใน $S^{(t)}$

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับจีพีเอส

การทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่เก็บจากเครื่องโทรศัพท์สมาร์ตโฟนด้วยโปรแกรมที่พัฒนาค่าพิกัดอ้างอิงจาก Google map ค่าพิกัดคือ ละติจูดที่ 13.878662 และลองจิจูดที่ 100.573567 การทดลองได้เก็บค่าจำนวน 20 ครั้ง แล้วคำนวณค่าพิกัดเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องโทรศัพท์ ดังแสดงในตารางที่ 1

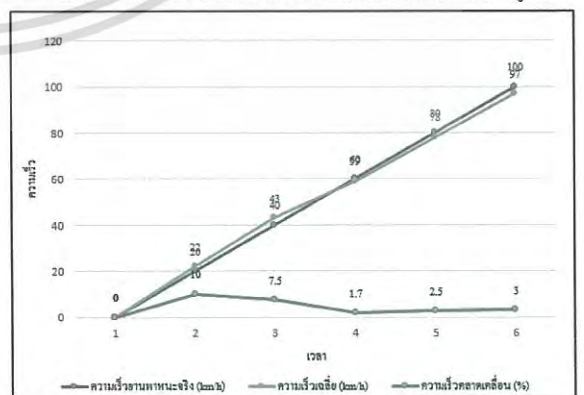
ตารางที่ 1 ค่าพิกัดเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องโทรศัพท์

พิกัด	ค่าพิกัดเฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
ละติจูด	13.87864575	0.000117086
ลองจิจูด	100.5735702	0.000003182

ระยะห่างระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดเฉลี่ย เท่ากับ 0.00001656 กำหนดให้มาตราส่วน 0.00001 เท่ากับ 1.1132 เมตร ดังนั้นระยะห่างระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.84 เมตร

4.2 ผลการทดลองตรวจสอบความเร็วของการเคลื่อนที่

การทดลองหาค่าความเร็วของระบบที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเร็วอ้างอิง โดยกำหนดค่าความเร็วอ้างอิงจากความเร็วยานพาหนะจริง การทดลองได้เก็บค่าความเร็วจากระบบจำนวนอย่างละ 20 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อน

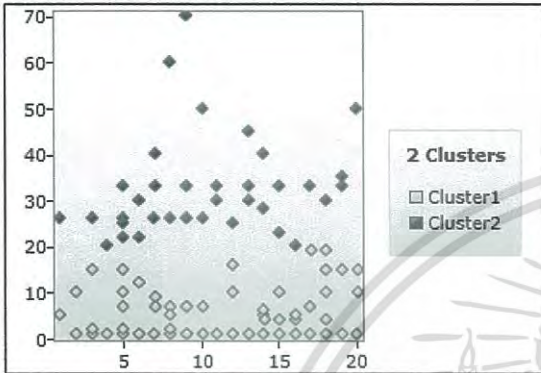
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

4.3 ผลการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมรถเคลื่อนที่

การทดลองแบ่งกลุ่มพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ เพื่อแบ่งกลุ่มรถเคลื่อนที่โดยยานพาหนะหรือการเคลื่อนที่แบบอื่นๆ เช่น หยุดนิ่ง การเดิน เป็นต้น โดยกำหนดพฤติกรรมรถเคลื่อนที่จริงของสมาร์ตโฟน ที่มีค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ ณ เวลาหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแบ่งกลุ่มข้อมูลเชิงพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ออกเป็นสองกลุ่ม

4.4 ผลการรายงานสภาพการจราจร

การทดลองได้จำลองค่าพิกัด ความเร็ว ในฐานข้อมูลตารางชื่อ geocode จำนวน 52 แถวและระดับความหนาแน่นของการจราจรสามารถจำแนกได้ 5 ระดับ ซึ่งแสดงตามสี เช่น แดง ส้ม ชมพู เขียวอ่อน เขียวเข้ม โดยมีความหนาแน่นมากไปหาน้อยตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการรายงานสภาพการจราจรบนแผนที่ออนไลน์

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อรายงานสภาพจราจร โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการระบุตำแหน่งร่วมกับการทำเหมืองข้อมูล จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ กล่าวคือ สามารถแสดงตำแหน่งยานพาหนะได้อย่างละเอียด สามารถหาความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ สามารถแยก

พฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของสมาร์ตโฟนได้ว่าเป็นการเคลื่อนที่โดยยานพาหนะหรือไม่ใช่การเคลื่อนที่โดยยานพาหนะ สามารถจำแนกความหนาแน่นของการจราจรบนแผนที่ออนไลน์ได้แบบทันที อีกทั้งยังรายงานสภาพจราจรแบบจุดต่อจุดเหมือนกับยานพาหนะแจ้งสถานะความหนาแน่นผ่านระบบที่พัฒนา งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ เช่น ระบบขนส่งโลจิสติกส์ ระบบรายงานอุบัติเหตุ ระบบรายงานรถประจำทาง และระบบรายงานสภาพพื้นผิวถนน

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Keawkamnerd, J. Chinrungrueng, C. Jaruchart, "Vehicle Classification with low computation magnetic sensor," *ITS Telecommunications*, 2008. ITST2008. 8th International Conference, Thailand, Oct, 2008.
- [2] C. Oh, and S. G. Ritchie, "Recognizing vehicle classification information from blade sensor signature," *Pattern Recognition Letters* 28 (2007), USA, July, 2007.
- [3] C. Harlow, and S. Peng, "Automated Vehicle Classification System with rang sensors," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, USA, August, 2001.
- [4] T. M. Hussain, T. N. Saadawi, A. Ahmed, "Overhead Infrared Sensor for Monitoring Vehicular Traffic," *IEEE transactions on vehicular technology*, Nov, 1993.
- [5] Chapman Pete, Clinton Julian, Kerber Randy, eds, *CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide*, SPSS Inc., USA, 2000.
- [6] Phongsavanh Inthavongsa. "Determination of driver's behavior for car-following model using GPS data. Thesis (M.Eng.)," *Chulalongkorn University*, 2004.
- [7] L. Yanying and M. McDonald, "Link travel time estimation using single GPS equipped probe vehicle," in *Intelligent Transportation Systems*, 2002. *Proceedings. The IEEE 5th International Conference on 2002*, pp. 932-937.
- [8] Oudom Keo, Sangwook Bae, Hyunsook Kim, Sunyoung Han, "Chun-Hyon Chang, Young-Guk Ha, Vehicle Movement Tracking Using Online Map with Real-time Live Video in 3G Network," *IEEE International Conference on Sensor Networks*, 2010.



ยุทธนา ศิลาคำ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม-โทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ งานวิจัยที่สนใจการพัฒนาโปรแกรมแอนดรอยด์และการเข้ารหัสข้อมูล

Communication Network Structure for Robotic Manipulators

Nuttapon Poncharernpong, Sunchanan Charayananda, Youtthana Silakam, Kitdakorn Klomkarn, Pitikhate Sooraksa
Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Bangkok, Thailand 10520

Abstract— This article presents the design and implementation of communication networks for robotic manipulator. The aim of this work is to investigate a suitable pattern for communication network structure. The designed network can be used under disaster environment through a group of information-communication robots.

Keywords— *Wireless Network, Robot Network Topologies, Disaster*

I. INTRODUCTION

Our civilization has been moved to the world of digital and information technology. World-Wide-Web has changed the way we work, which is currently World-Wide-Work. Robotics and other multi-disciplinary technologies also change academia and industry, which makes possible by combining the internet, WIFI, ad-hoc networks, and any communication physical and protocol with the electro-mechatronic bases [1-10]. Today work is not the same as twenty years ago in lieu of advanced in communication. Engineers can work in New York and control a robot in Bangkok. Although today technologies may provide solution to easier work in various aspects, but there are still a gap of technology between the developed countries and the developing ones. To bridge the gap of the development, it is better for Thailand to initialize research of merging robotic engineering, information and communication technology, which is a part of motivation in this work.

This paper describes a brief investigation on selection of various pattern of network architecture under the field tests. In-house robots built by the authors are used in the experiment. Four types of robots are assigned for each communication node providing a real physical environment. The robot manipulators are used for installation of communication system, which imbedded in the manipulator or the robot arm or inside the robot in the lotus shape. Four types of robots in used are as follows:

- Chongko Alpha (CK- α) is a robot assigned as Node 1 shown in Figure 1. An arm of this robot is employed to hold an antenna under test. The robot height is 3 m and the arm length can be extended to 2 m. With plenty of working space around the CK-Alpha, we have free choices to locate communication circuits, which may be equipped at the end-effector of the manipulator during performing tests.
- Chongko Beta (CK- β) is a robot used for Node 2 shown in Figure 2. This robot has a lotus shape installed on the roof of Dean Building at KMITL. The shape of the robot is a sky-lotus.

- Chongko Gamma (CK- γ) is a robot used for Node 3 as shown in Figure 3. The robot has a lotus shape equipped with two solar cell panels floating in the pool at KMITL.
- Chongko Delta (CK- δ) is a mobile robot assigned as Node 3 operating on the floor.



Fig. 1 Chongko Alpha used for Node 1.



Fig. 2 Chongko Beta used for Node 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



Fig. 3 Chongko Gamma used for Node 3.



Fig. 4 Chongko Delta used for Node 4.

Test 3 involves a file transmission using the *ping* command from Node 1 to Node 4 using a sequential pattern. The intermodal distance is variable and the packet size is fixed at 65,500 bytes. The results are in milliseconds. The communication pattern is shown in Fig. 5.

Test 4 involves a file transmission using the *ping* command from Node 1 to Node 4 using a star pattern. The intermodal distance is variable and the packet size is fixed at 65,500 bytes. The results are in milliseconds. The communication pattern is shown in Fig. 6.

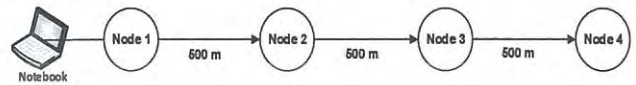


Fig. 5. Robotic communication network pattern for multi-hop ping from Node 1 to Node 4.

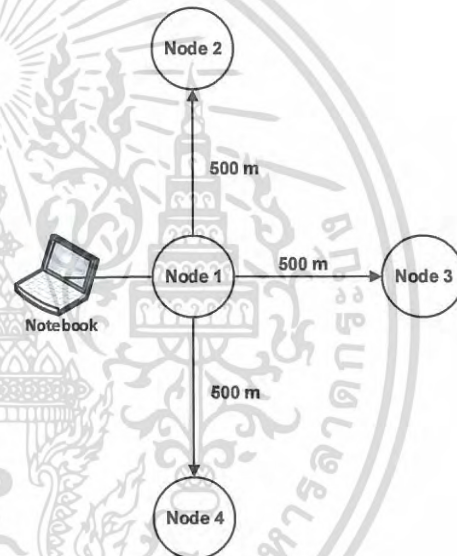


Fig. 6. Single-hop ping from Node 1 to Node 4 with a star topology.

II. TESTING PATTERN AND EXPERIMENTAL DESIGN

To initialize the working platform, four basic tests are conducted. The tests are designed as follows:

Test 1 involves a file transmission using the *ping* command from Node 1 to Node 2. The intermodal distance is variable and the packet size is fixed at 32,750 bytes. The results are in milliseconds.

Test 2 involves a file transmission using the *ping* command from Node 1 to Node 2. The intermodal distance is variable and the packet size is fixed at 500 bytes. The results are in milliseconds.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

Tables 1-4 show experimental results of the field tests using tests designed in Section II. The *ping* command is represent a package of control instruction to the robot destination. For the field test of the transmitter performance, the *ping* command was used to test the network connectivity (units in milliseconds). The single-hop signal range was measured to have a radius of 1 km. The 65,500-byte ping packet was received without any packet loss at a range of 500 meters.

Tables 3-4 illustrate the presence of other external factors out of our experimental control such as terrain obstacles such

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

as cars, trees and other radio-frequency interference (RFI) nearby that could have affected the ping delay.

TABLE 1 TEST RESULTS FOR EXPERIMENT 1.

Trial	Packet Size (bytes)	Distance (meters)	Time (ms)
1	32750	100	27
2	32750	200	33
3	32750	300	61
4	32750	400	81
5	32750	500	105
6	32750	600	133
7	32750	700	260
8	32750	800	413
9	32750	900	702
10	32750	1000	998

TABLE 2 TEST RESULTS FOR EXPERIMENT 2.

Trial	Packet Size (bytes)	Distance (meters)	Time (ms)
1	500	6550	112
2	500	13100	129
3	500	19650	135
4	500	26200	124
5	500	32750	140
6	500	39300	155
7	500	45850	170
8	500	52400	190
9	500	58950	210

10	500	65500	240
----	-----	-------	-----

TABLE 3 TEST RESULTS FOR EXPERIMENT 3.

Node	Packet Size (bytes)	Distance (meters)	Time (ms)
1 to 2	65500	500	233
1 to 3	65500	1000	336
1 to 4	65500	1500	552

TABLE 4 TEST RESULTS FOR EXPERIMENT 4.

Node	Packet Size (bytes)	Distance (meters)	Time (ms)
1 to 2	65500	500	222
2 to 3	65500	500	246
3 to 4	65500	500	215

IV. CONCLUSION

Patterns of communication networks for robotic system are designed, assigned, and tested using an in-house robotic group of four. As physics implied the star topology provides better results than the sequential one due to its minimum package delay. The inverse square law for strength of the signals is also governed by reducing power of the control packet from node to node. It is recommended to conduct further investigation on this similar type robotic communication network for a complex system.

Acknowledgment

This work is fully supported by National Research Council of Thailand (NRCT) and Innovation Fund of Faculty of Engineering, KMITL, for the year 2012-2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

References

- [1] J. Sun, X. Zhu, C. Zhang and Y. Fang, "RescueMe: Location-Based Secure and Dependable VANETs for Disaster Rescue," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, March 2011.
- [2] C.E. Perkins, E.M. Royer, and S.R. Das, "Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks", In *Proceedings of the IEEE Infocom*, pp.3-12. Israel : Tel Aviv, March 2000.
- [3] T. Larsson and N. Hedman, "Routing Protocols in Wireless Ad-hoc Networks, A Simulation Study," Master's thesis in Computer Science and Engineering, Lulea University of Technology, Stockholm, 1998.
- [4] H. Lundgren, E. Nordstrom, and C. Tschudin, "Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks," Department of Information Technology, Uppsala University, September 2002.
- [5] H. Lundgren, D. Lundberg, J. Nielsen, E. Nordstrom and C. Tschudin, "A Large-scale Testbed for Reproducible Ad hoc Protocol Evaluations," In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC02)*, March 2002.
- [6] D. Lundberg, "Ad hoc Protocol Evaluation and Experience of Real World Ad Hoc Networking," Department of Information Technology, Uppsala University, 2002.
- [7] NTT Docomo, "The Inspection of the Damage of the NTT Docomo System and the Recovery Plan of the Total System and its Real Record of the Recovery Process in East Japan Great Disaster," July 19, 2011.
- [8] Shoichi Noguchi, "The Design Principle of the Robust Communication System under the Great Disaster Environment," *IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2012)*, March 26, 2012.
- [9] M. Ceccarelli and V.A. Glazunov, "Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators" In *Proceedings of Romansy 2014 XX CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators (Mechanisms and Machine Science)*, June, 2014
- [10] R.R. Murphy, *Disaster Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents series)*, The MIT Press, March, 2014



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายยุทธนา ศิลาคำ
วัน เดือน ปีเกิด	19 มิถุนายน 2525 ที่เพชรบูรณ์
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 5 ซอยลาดพร้าว 101 ซอย 42 แยก 16 (เทพวี 10) แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240
ประวัติการศึกษา	2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป วิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์ 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ 2.) ระบบการประชุมออนไลน์ทางไกล (Web Conference) 3.) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการ Android
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2546-2551	ตำแหน่งช่างเทคนิค บริษัท ทู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)
พ.ศ.2551-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกร บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)
ผลงานวิจัย	1.) Communication Network Structure for Robotic Manipulators. 2.) โปรแกรมประชาสัมพันธ์องค์กรบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 3.) บ้านอัจฉริยะผ่านอินเทอร์เน็ต (i-SmartHome) 4.) การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อรายงานสภาพการจราจรด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5.) ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้