



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

TA3BOT: หุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครู

TA3BOT: Teaching Assistant Tree-Robot

นายปิติเชต สุรักษา

นายกฤตากร กล่อมการ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

TA3BOT: หุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครู

TA3BOT: Teaching Assistant Tree-Robot

นายปิติเขต สุรักษา

นายกฤตากร ก่อมการ

12697023

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) TA3BOT: หุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครู

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 1,583,500.00 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2556 ถึง 30 ก.ย. 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายปิติเขต ผู้รักษา ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

นายกฤตากร กลุ่มการ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

บทความวิจัยในหลายประเทศชี้ว่า การใช้หุ่นยนต์ช่วยสอนทำให้ผลสัมฤทธิ์ในการนำเสนอบทเรียนในระดับชั้นต่างๆ ดีขึ้น โดยหุ่นยนต์จะช่วยปรับสภาพความกระตือรือร้นและความอยากเรียนรู้ งานวิจัยนี้มุ่งเป้าในการพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครูเพื่อช่วยสนับสนุนกิจกรรมการเรียนรู้ การเรียนการสอน โดยหุ่นยนต์ต้นแบบสามารถเชื่อมต่อกับคลังข้อมูลที่สามารถเข้าถึงพหุสื่อได้โดยอุปกรณ์มือถือหรือคอมพิวเตอร์พกพา อันทำหน้าที่เสมือนหนึ่งโหนดการกระจายคลังความรู้ในห้องเรียนและชุมชน ถ้าต้นแบบสามารถเก็บสื่อและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนการสอนได้โดยหุ่นยนต์ต้นไม้สามารถเชื่อมต่อกับสื่ออิเล็กทรอนิกส์ทางแสงที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติ อีกทั้งสามารถใช้ปรับสภาพบรรยากาศภายในห้องเรียนให้ผู้เรียนมีความสบายทั้งมิติอุณหภูมิและความชื้นมีความพร้อมในการเรียนรู้

คำสำคัญ: ต้นไม้ หุ่นยนต์ การสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: TA3BOT: Teaching Assistant Tree-Robot

Researcher: Pitikhate Sooraksa and Kitdakorn Klomkarn

Faculty: Engineering

Department: Computer Engineering

ABSTRACT

Research articles published in international journals reveal successful usage of robots as teaching assistant for better learning results in various classes and levels. The teaching assistant robot helps enhance students' motivation. This research aims to develop a prototype of a tree robot having learning contents for download to students' smart phones. The trunk of the tree-robot contains mechatronic teaching aids, the learning access points, a computer server, and a modified-climate controller. Students can connect their smart phones to the robot or get access to a 3-D visual-aid optical-generator. In addition, to maximize the learning environment, the robot provides comfort climate for temperature and humidity at the same time.

Keywords : tree, robot, pedagogy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้บูรณาการศาสตร์การสอนและเทคโนโลยีหุ่นยนต์ นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรี โท และเอก ผู้ช่วยวิจัย และนักวิจัยทั้งในและนอกโครงการทำให้งานวิจัยสำเร็จลงได้ คณะวิจัยขอขอบคุณ ดร. วีระพล โมนยะกุล นักวิจัยพี่เลี้ยงของหัวหน้าโครงการที่ช่วยให้คำปรึกษาปัญหาเทคนิค ขอขอบคุณ ดร. สุวิไล อารีจิตต์ ดร. ภูมิยศ พัทธวรรณ ในงาน โครงสร้างเชิงกลของหุ่นยนต์ต้นไม้ และดร. อนุรักษ์ จันทร์ศรี ในด้าน ช่วยเขียนโปรแกรมการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ นายรัชพงษ์ พงศ์สุทธิยากร นางสาวปณณิการ์ เรณูเกสร สำหรับช่วยการสร้างภาพสามมิติและการสืบค้นเอกสารสิทธิบัตร

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทนายยุทธนา ศิลาคำ ช่วยงานด้านโปรโตคอลหุ่นยนต์ นายณัฐพล ผลเจริญ พงศ์ ช่วยงานในการออกแบบจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ และทดสอบระบบ และนักศึกษาปริญญาตรีอีกนับสิบคนที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้

“การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน โดยสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่จัดสรรให้กับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ”

นายปิติเจต

สุรักษา

นายกฤตดากร

กลุ่มมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย.....	3
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	5
2.1 บทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	5
2.2 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	12
3.1 ระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงาน โดยสังเขป.....	12
3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับสร้างตัวสังเกตปัจจัยแวดล้อมของหุ่นยนต์ต้นไม้.....	15
3.3 การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ตัวสังเกตสภาพบรรยากาศของหุ่นยนต์ต้นไม้.....	20
บทที่ 4 ผลการวิจัย	24
4.1 การทดลองกลไกการปรับสภาพแวดล้อม.....	24
4.2 ผลการสร้างต้นแบบตามกรอบโครงสร้างและองค์ประกอบ.....	33
4.3 การประยุกต์ใช้งานกับการสร้างภาพสามมิติเพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอน.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 บทสรุป.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	49
ประวัตินักวิจัย.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนงานและกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริง.....	4
3.1 ตารางสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ.....	15
3.2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด(RMS) ของการประมาณเมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian.....	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 หุ่นยนต์ผู้ช่วยครูที่สร้างเป็นต้นแบบในประเทศญี่ปุ่น	2
1.2 แนวคิดโครงการวิจัยหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะและฟังก์ชันการทำงาน	3
1.3 แนวคิดการประยุกต์แขนกลอวตารสำหรับทางการแพทย์และเวชศาสตร์ฟื้นฟู	3
1.4 การประยุกต์แขนกลอวตารสำหรับผู้พิการ ไร้ขา สามารถใช้แขนช่วยเดินแทนขาได้	3
1.5 ตัวอย่างการประยุกต์แขนกลอวตารกับ “ชีวิตประจำวัน”	4
1.6 กรอบแนวคิดทฤษฎีอื่นเป็นแนวทางสู่กิจกรรมการออกแบบและสร้าง	5
2.1 ROBOSEM หุ่นยนต์ช่วยสอนของเกาหลีใต้	6
2.2 นักเรียนชั้นประถมตอบสนอบทเรียนจากหุ่นยนต์ Humanoid ขนาดเล็กที่ช่วยสอน	7
2.3 หุ่นยนต์ Humanoid ขนาดเล็กช่วยสอนและรหัส XML	7
2.4 สิทธิบัตรการก้ำยักรากของหุ่นยนต์โครงสร้างอัลกอริทึมต้นไม้อัจฉริยะ	8
2.5 หุ่นยนต์ช่วยเก็บพืชผลทางการเกษตร	9
2.6 ต้นไม้อัจฉริยะใน British Patent Specification # 149917 ปี ค.ศ. 1904	10
3.1 การคายน้ำของพืช	16
3.2 ค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ $X(1,1)$ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian	22
3.3 ค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ $X(2,1)$ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian	22
3.4 ค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ $X(3,1)$ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian	23
4.1 ชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์สำหรับตัวสังเกตสภาพแวดล้อมก่อนประกอบอุปกรณ์	25
4.2 เซนเซอร์ทั้ง 5 จุด เชื่อมต่อเข้ากับระบบประมวลผลกลาง	26
4.3 ระบบดูดความชื้น (dehumidifier) พร้อมต่อเชื่อมกับจุดศูนย์กลางลำต้น	26
4.4 ตัวอย่างข้อมูลสภาพแวดล้อมบรรยากาศ ณ จุดต่าง ๆ จากเซนเซอร์ทั้ง 5 ตัว	27
4.5 ตัวอย่างข้อมูลเฉลี่ยของภาพที่ 4.4	28
4.6 ฮาร์ดแวร์วงจรอุตสาหกรรมอัตโนมัติสำหรับการระเหยน้ำ	29
4.7 แผนผังระบบควบคุมสภาพบรรยากาศ	30
4.8 การจัดวางตำแหน่งเซนเซอร์ในการทดลอง	31
4.9 ผลการทดลองควบคุมสภาพบรรยากาศบันทึกวันที่ 17 พ.ค. 57	31
4.10 ผลการทดลองควบคุมสภาพบรรยากาศในภาวะมีภาระความร้อน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ผลการทดลองควบคุมสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในภาวะมีภาระความร้อน	33
4.12 "ต้นไทรริมสระ" แรงบันดาลใจรูปลักษณ์หุ่นยนต์ต้นไม้	33
4.13 หุ่นยนต์ต้นไม้ที่สร้างมาจากกรอบแนวคิดในภาพที่ 1.2	34
4.14 หุ่นยนต์ต้นไม้	35
4.15 ช่องทางเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตภายในโครงหุ่นยนต์ต้นไม้และติดต่อกับ โคมภายนอก	35
4.16 WIFI/3G Access Point แบบพกพาซ่อนใน โคมประดับรอบต้น	36
4.17 อุปกรณ์ในภาพที่ 4.6 ถ่ายในมุมสูงทำความเข้าใจโครงสร้างลำต้นในภาพที่ 4.18	36
4.18 ช่องใต้ฐานรากสำหรับใส่อุปกรณ์ภายในรูปที่ 4.17	37
4.19 ช่องด้านบนของกิ่งติดโพลีคาร์บอเนตและเซนเซอร์แสง	38
4.20 การทำงานอุปกรณ์รับและส่งภาพ 3 มิติ	39
4.21 การส่งภาพหูฟังผ่านกล้องไร้สายไปยังเครือข่ายสื่อสารของหุ่นยนต์ต้นไม้	40
4.22 กลุ่มนักศึกษาแสดงหูฟังที่รับได้และใช้สมาร์ตโฟนสร้างภาพสามมิติ	40
4.23 ภาพสามมิติผ่านเครือข่ายหุ่นยนต์ช่วยสอน	41
5.1 แนวคิด "ป่าแห่งการเรียนรู้"	43
ผ 1. ข้อมูลการทดลองที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยกำหนดช่วงเวลา	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการวิจัย "หุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครู" ได้แรงบันดาลใจมาจาก "แนวพระราชดำริในพื้นที่การถ่ายทอดแนวคิด ทฤษฎี ผู้เชี่ยวชาญ" [1] ของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช โดยในโครงการนี้จับประเด็นเพียงการมุ่งเน้นการถ่ายทอดองค์ความรู้ผู้เชี่ยวชาญ โดยนำ "ต้นไม้" ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมและเป็นฐานเศรษฐกิจชุมชน มาผสมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่คือ "หุ่นยนต์" ผ่านระบบ "การเรียนการสอน" ที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน สำหรับรายละเอียดจากนี้ไปจะกล่าวในหัวข้อภูมิหลังเพื่อไม่ให้เป็นการซ้ำซ้อนกับเนื้อหาที่จะกล่าวต่อไป ในบทนำนี้จึงกล่าวถึงภาพรวมของโครงการ โดยเริ่มจากภูมิหลังวัตถุประสงค์ของกรวิจัย ขอบเขตการวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับโครงร่างในการนำเสนอในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้โปรดดูจากสารบัญเพื่อที่จะได้ไม่ซ้ำซ้อนในเนื้อหาและเพื่อความกระชับของการนำเสนอ โดยมีจำนวนบททั้งหมด 5 บทด้วยกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่บูรณาการในสามมิติ คือมิติการเลียนแบบ โครงสร้างต้นไม้โดยมิติประยุกต์ระบบหุ่นยนต์เพื่อใช้ในมิติการถ่ายทอดความรู้โดยอาศัยสื่อการสอน โดยจะใช้ประเด็นในมิติทั้งสามนี้เป็นโครงร่างหัวข้อย่อยของรายงานนับจากบทนำเป็นต้นไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ภูมิหลัง

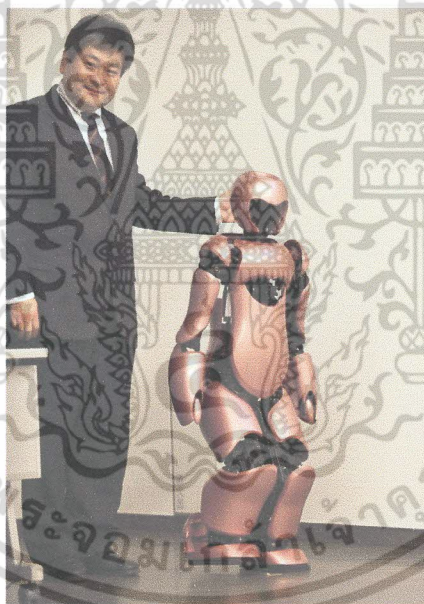
"TA3BOT" หรือ "หุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครู" มาจากคำว่า "TA" ซึ่งเป็นคำย่อที่ทราบกันในวงการศึกษามาจากคำว่า "Teaching Assistant" ซึ่งก็คือ "ผู้ช่วยสอน" ส่วนรหัสเลข "3" ซึ่งในภาษาอังกฤษอ่านว่า "three" ซึ่งเป็นเลขรหัสถัดมาจาก TA คือ คำพ้องใกล้เคียงเสียงของ "tree" ซึ่งหมายถึง "ต้นไม้" ส่วนคำว่า "BOT" เป็นคำสุดท้ายที่มา "สมาสเสมือน" ซึ่งในที่นี้หมายถึงคำเชื่อมที่ "เสมือนคำสมาส" นั้น เห็นได้โดยง่ายว่ามาจากคำย่อของ "ROBOT" ซึ่งหมายถึง "หุ่นยนต์" นั่นเอง

ด้วยสังคมโลกและชีวิตในยุคดิจิทัล (Digital age) นี้มีความซับซ้อนและเชื่อมต่อกันด้วยโลกออนไลน์หรือโลกไซเบอร์ (cyber world) ที่ซ้อนโลกที่เราอาศัยทุกวันนี้ (real world) ส่งผลให้การเรียนการสอนในปัจจุบันต้องปรับเปลี่ยนเพื่อเตรียม "ทรัพยากรมนุษย์" ให้สอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงของโลก ครูผู้สอนเปลี่ยนไปจาก "ผู้สอน" มาเป็น "โค้ช (coach)" หรือ "พี่เลี้ยง (mentor)" ในขณะที่ปริมาณงานและเนื้อหาต่าง ๆ ที่ต้องเตรียมพร้อมเพื่อจัดการเรียนรู้ให้แก่แก่นักเรียนนั้นหนักขึ้นทุกวันยิ่งมากขึ้นทวี ไม่เพียงเท่านั้น สภาพสังคมออนไลน์และรูปแบบชีวิต (life style) ที่เปลี่ยนแปลงได้ดึงความสนใจของผู้เรียนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชั้นเรียนและบทเรียน ซึ่งเกิดขึ้นกับชั้นเรียนทั่วโลก และได้ประจักษ์ในทุกสาขาวิชา ทุกระดับชั้น ทุกสถาบันการศึกษา จากผลกระทบการมีสมาธิสั้นหรือปัญหาความสนใจที่ถูกดึงไปจากบทเรียน

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงมีความจำเป็นที่ครูจะต้องมีผู้ช่วยหรือเทคโนโลยีในการจัดการปัญหาทั้งปัญหาในการเตรียมการสอนและจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน และปัญหาการดึงความสนใจของนักเรียนในห้องเรียนและให้ความคิดอยู่กับเวลาปัจจุบัน ดังนั้น แนวคิดหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูจึงเป็นแนวคิดที่ถึงเวลาในการนำมาใช้ แม้ว่าในอดีตจะเคยมีผู้นำเสนอแนวคิดนี้มาแล้วแต่ในช่วงเวลานั้นยังเป็นช่วงที่ยังไม่ถึงเวลาและไม่มีคามจำเป็นในการใช้งานเนื่องจากสภาพสังคมเดิมและความพร้อมทางเทคโนโลยีตัวขับเคลื่อน (actuator) เช่น เซอร์ (sensor) และราคาอุปกรณ์ต่าง ๆ ทว่า ขณะนี้สถานการณ์เปลี่ยนแปลงไปได้กล่าวไว้ในข้างต้น นักวิจัยทางด้านหุ่นยนต์ทั่วโลกต่างเห็นความสำคัญของการสร้างหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูมาแก้ปัญหา นี้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 1.1 ซึ่งนักวิจัยญี่ปุ่นสร้างหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูโดยอาจารย์ยูอิจิ นากาซาโตะ (Yuichi Nakazato) ซึ่งเป็นศาสตราจารย์จากสถาบันเทคโนโลยี Nippon Institute of Technology



ภาพที่ 1.1 หุ่นยนต์ผู้ช่วยครูที่สร้างเป็นต้นแบบในประเทศญี่ปุ่น [2]

เพื่อให้ไม่ละเมิดสิทธิบัตร เกิดองค์ความรู้ของประเทศไทย และเกิดทรัพย์สินทางปัญญา หุ่นยนต์ผู้ช่วยครูในโครงการนี้จึงต้อง “ไม่มีใครเหมือนและไม่เหมือนใคร” โดยคณะผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างภายใต้แนวคิด “หุ่นยนต์ต้นไม้” ซึ่งเป็นต้นไม้วีเทียมที่เป็นหุ่นยนต์อันมีความสามารถเป็นผู้ช่วยสอนมีอุปกรณ์พหุสื่อ (Multimedia) เป็นทั้งสถานี Wifi ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตสามารถติดต่อสังคมออนไลน์ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดหนังสือ ไฟล์พหุสื่อ และสิ่งตีพิมพ์ประกอบการเรียนการสอน อีกทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้บริการกับผู้เรียน โดยแสดงภาพพหุสื่อการเรียนรู้ที่เป็นภาพสามมิติได้อีกด้วย ซึ่งทำให้แตกต่างจากหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูที่เคยสร้างจากนักวิจัยกลุ่มอื่น ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครูที่สามารถเคลื่อนย้ายใช้งานได้ทุกที่
- 2) จดสิทธิบัตรหุ่นยนต์ที่ได้ในข้อ 1)

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ สร้างหุ่นยนต์ต้นไม้เพื่อเป็นผู้ช่วยครูในการเรียนการสอนในห้องเรียน และจำกัดบริเวณปฏิบัติการ (workspace) นั้น อยู่ในบริเวณห้องเรียนหรือสถานที่จัดประชุมทางวิชาการ

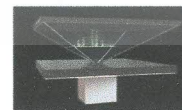
1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

กรอบแนวความคิดงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดหุ่นยนต์เลียนแบบต้นไม้ โดยหุ่นยนต์ต้นไม้จะเป็นผู้ช่วยสอนหรือผู้ช่วยครูที่สามารถแสดงพหุสื่อในรูปแบบภาพสามมิติ เป็นสถานี WIFI เชื่อมต่อสังคมออนไลน์และโลกอินเทอร์เน็ต ให้ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดบทเรียนและพหุสื่อรวมทั้งโปรแกรมใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนได้ และขณะที่ไม่มีการใช้งานหุ่นยนต์ต้นไม้จะเป็นเฟอร์นิเจอร์ในห้องเรียนที่สามารถปรับบรรยากาศควบคุมทั้งความชื้น อุณหภูมิ เป็นเครื่องฟอกอากาศให้ห้องเรียนมีสภาพปลอดเชื้อโรคและสามารถควบคุมโรคติดต่อทางเดินหายใจได้อีกด้วย แนวคิดหุ่นยนต์ต้นไม้แสดงในภาพที่ 1.2



เอาต้นไม้ไปเทียบกับ วิศวกรรม

หน้าที่ของใบ -คายน้ำ -ดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คายออกซิเจน
 เชื่อมกับเครื่องตรวจจับอุณหภูมิ ความชื้น ฟอกอากาศ ปรับอุณหภูมิ
 สร้างแสงสว่างขึ้นกับอุณหภูมิ ในห้อง และมีให้เลือก ความถี่เสียงเบา เสียงดัง
 เป็นแหล่ง ผลิตพลังงานแบบต่างๆ Electrical, Electronic, Control
 Engineering
 หนึ่งที่ใช้พลังงาน - สิ่งเครื่องตรวจจับ Solar cell ไปทำไรต์มอ Energy
 Engineering
 หน้าที่ของราก -ยึดลำต้น -ดูดน้ำดูดอาหาร เหมือนเป็นนำหรือการประปา
 Mechatronic Engineering
 หน้าที่ลำต้น -เป็นทางลำเลียงน้ำ -ซึบ ก้าน ใบ
 เป็นโครงสร้างหลักที่หาไปส่วนประกอบอื่นๆของพืชทำงานได้ Civil
 EEEngineering
 หน้าที่ของดอก -ดอกมีหน้าที่หอมส่วนต่างๆที่จำเป็นในการสืบพันธุ์ของพืช -
 ลมแมลง แสงสีเสียง ใช้สลดคนเข้ามา ยิ่งเทียมไมได้ว่าจะมีอะไรดี
 หน้าที่ของผล -ผลมีหน้าที่ห่อหุ้มต้นอ่อนและเมล็ด และเป็นอาหาร Food
 Engineering
 หน้าที่ของเมล็ด -เมล็ดมีหน้าที่ขยายพันธุ์ Student You are seed



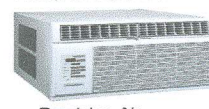
Display 3D เป็น Hologram Pyramid



คอมพิวเตอร์ทำงานผ่าน Wifi Mobile Phone



ลำโพงเสียงเบาและ กลิ่นกับต้นไม้



Precision Air ความสูง
 มาจากอากาศในห้องตามเชิงที่สอน
 อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น



ใบไม้และลำโพง ใบไม้
 Solar Cell

ภาพที่ 1.2 แนวคิด โครงการวิจัยหุ่นยนต์ต้นไม้และฟังก์ชันการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้แสดงในตาราง 1.1 โดยเปรียบเทียบแผนงานที่วางไว้ซึ่งแสดงโดยสัญลักษณ์ ←→ โดยกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริงใช้สัญลักษณ์ *

ตาราง 1.1 แผนงานและกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริง

กิจกรรม	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ขั้นการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literatures)	*	*	*										
2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ควบคู่ไปกับการสร้างฮาร์ดแวร์	*	*	*	*	*								
3. ออกแบบ เขียนซอฟต์แวร์และจำลองผลในข้อที่ 2 ด้วยคอมพิวเตอร์ และทดลองสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารควบคุม รวมทั้งทดสอบวัสดุประกอบต้นแบบ			*	*	*	*	*	*	*				
4. จัดทำรายงานความก้าวหน้ากลางปี						*							
5. วิเคราะห์ระบบการทำงาน						*	*	*	*	*			
6. ทดลองใช้งานและปรับแต่ง					*	*	*	*	*	*	*	*	*
7. สร้างต้นแบบสุดท้าย										*	*	*	
8. เขียนรายงานประจำปีและจดสิทธิบัตร												*	*

ในบทที่ 1 หรือบทนำนี้กล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัย ซึ่งยังไม่ได้ครอบคลุมการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

ในบทนี้จะแสดงวรรณกรรมปริทัศน์เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้าง โดยหาช่องว่างที่ไม่ซ้ำรูปแบบกับงานวิจัยหรือสิทธิบัตรเดิมที่มีอยู่ ดังนั้น ในหัวข้อ 2.1 จะแสดงวรรณกรรมส่วนที่เป็นบทความ และหัวข้อ 2.2 จะเป็นส่วนของสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

วรรณกรรมปริทัศน์ที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์โดยทั่วไปในองค์รวมนั้นมีหลายพันเรื่อง [2-10] ทว่า ในส่วนนี้จะกล่าวอ้างอิงเฉพาะวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะทำวิจัยเท่านั้นและในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ในด้านการใช้หุ่นยนต์ช่วยสอนหรือเป็นผู้ช่วยครูก็มีไม่มากนักไม่เหมือนกับการประยุกต์หุ่นยนต์ทางด้านอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูซึ่งสามารถมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับผู้เรียนได้ ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้ความสามารถของหุ่นยนต์มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว อาทิเช่น ASIMO [11] และ AIBO [12] ที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางทั่วโลก มีผู้คาดการณ์ว่าหุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารถอยู่ร่วมกับมนุษย์ได้ในอนาคต นอกเหนือจากการเป็นของเล่นเด็กแล้วหุ่นยนต์ดังกล่าวยังมีอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ในด้านอื่น ๆ อีก เช่น ในด้านการแพทย์ การสำรวจ ด้านอุตสาหกรรม ด้านความบันเทิง ฯลฯ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์มาใช้ส่งเสริมการเรียนรู้และเพิ่มประสิทธิภาพการสอนภายในห้องเรียน ที่เราเรียกว่าหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนหรือหุ่นยนต์ผู้ช่วยครู และได้มีพัฒนาหุ่นยนต์ประเภทนี้มาเป็นลำดับ จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา Hideki Kozima และคณะ [13] ได้ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กให้มีปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ (interaction) ให้เป็นเพื่อนเล่นและฝึกฝนการพัฒนาการสำหรับเด็ก, Kai-Yi Chin และคณะ [14] ทำการพัฒนาหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนที่มีชื่อว่า Bioloid ที่ครูผู้สอนสามารถใส่โปรแกรมการสอนผ่านคอมพิวเตอร์ ล่าสุด Jaewoo Kim และคณะ [15] ได้พัฒนาหุ่นยนต์มีรูปร่างเหมือนไข่ชื่อว่า Enkey ซึ่งมีความสามารถมากขึ้น หุ่นยนต์ตัวนี้ทำหน้าที่ในการสอนภาษา และ ประยุกต์ใช้เทคนิค three-level robot motion hierarchical structure and a gesture variation method ทำให้หุ่นยนต์สามารถโต้ตอบกับมนุษย์ โดยแสดงอารมณ์ (ร่าเริง, ปกติ, เสียใจ) ออกทางหน้าจอ

ทางด้านความสัมฤทธิ์ผลของการใช้หุ่นยนต์ช่วยสอนนั้น Seymour Papert และคณะ [16] พบว่าเด็กสามารถเรียนรู้จากการออกแบบและการประกอบหุ่นยนต์ของตัวเอง ส่วน Martyn Cooper และเพื่อนร่วมงานของเขา [17] ได้ออกแบบหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนในการสอนคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ Chin-Wei Chang และคณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] ซึ่งให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบโต้ตอบและมีส่วนร่วมจึงจะสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียนและช่วยให้พวกเขาในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา และที่สุดของการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนจะสนับสนุนการสอนและการเพิ่มความเพลิดเพลินของผู้เรียนและการมีส่วนร่วม

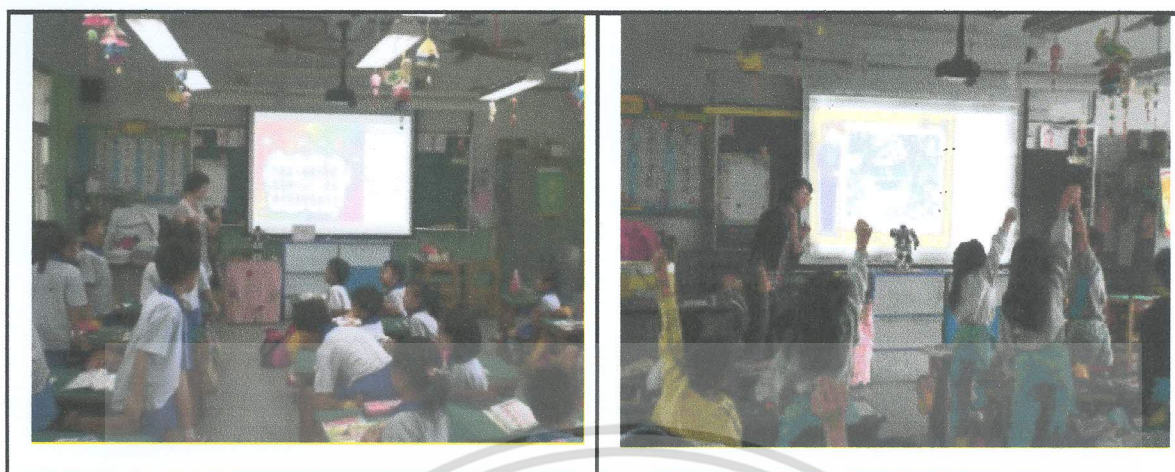
ในปี ค.ศ. 2013 Park และคณะ [19] ได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ ROBOSEM ในเวอร์ชันล่าสุด โดยได้ทดลองใช้กับนักเรียนชั้นประถมในประเทศเกาหลี ซึ่งโครงการนี้เป็นหนึ่งในความมุ่งมั่นสู่ความเป็นเลิศในเทคโนโลยีและการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ของประเทศเกาหลีที่จะใช้หุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนในห้องเรียน [20] ดังภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการช่วยสอนภาษาอังกฤษดูได้จากวีดิโอสาธิตใน YouTube อ้างอิง [21]

ในปี ค.ศ. 2014 Kai-Yi Chin และคณะ [22] ได้ทดลองสอนโดยเปรียบเทียบการสอนโดยให้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนกับการสอนโดยใช้ Power Point แบบดั้งเดิม กับนักเรียนสองชั้นเรียนระดับประถมศึกษาจำนวน 52 คน ดังภาพที่ 2.2-2.3 เครื่องมือทางการประเมินผลที่ใช้คือแบบสำรวจ IMMS (Instruction Material Motivation Survey) ซึ่งวัดองค์ประกอบแรงจูงใจ 4 ด้านคือ ความสนใจ ความเกี่ยวข้องกับผูกพัน ความเชื่อมั่นในการใช้งาน และความพึงพอใจ พบว่าการสอนโดยการใช้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนนั้นโดยภาพรวมดีกว่าการสอนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2.1 ROBOSEM หุ่นยนต์ช่วยสอนของเกาหลีใต้ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 นักเรียนชั้นประถมตอบสนองบทเรียนจากหุ่นยนต์ Humanoid ขนาดเล็กที่ช่วยสอน [22]

The source code of XML-based document
<pre> <Document> <ID>sample001</ID> <Motion>PointRight</Motion> <Speech>tts_lookpoint.wav</Speech> <Text>Look at this place.</Text> <Delay>3</Delay> <Reference> butterfly_lifecycle.jpg </Reference> <Next>sample002</Next> </Document> </pre>

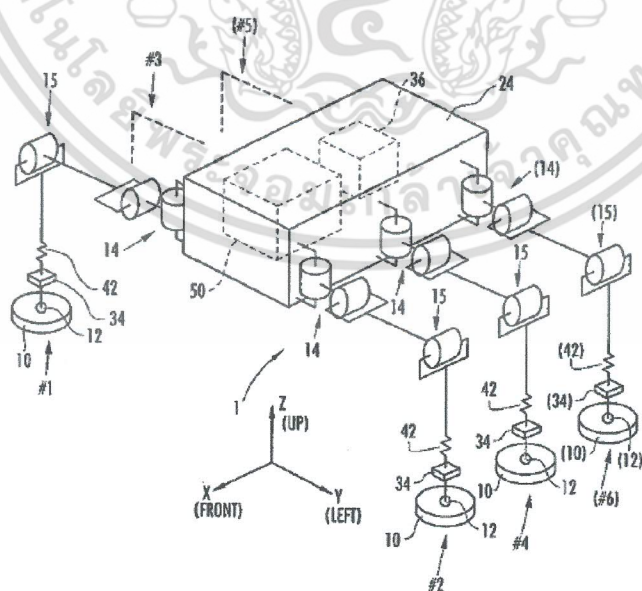
ภาพที่ 2.3 หุ่นยนต์ Humanoid ขนาดเล็กช่วยสอนและรหัส XML [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลิขธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในหัวข้อ 2.1 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาเชิงการนำหุ่นยนต์มาใช้ในการศึกษา ทว่า ไม่ได้ครอบคลุมถึงลิขธิบัตรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องหรือเป็นแนวทางในการค้นคว้าเพื่อต่อยอดพัฒนาจากช่องว่างที่มีอยู่ต่อไป ซึ่งหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลิขธิบัตรที่น่าสนใจพอเป็นสังเขปในหัวข้อนี้

เอกสารลิขธิบัตร EP ของ Takenaka และคณะ [23-24] จัดเป็นชื่อกว้าง ๆ ครอบคลุมการค้ำยันของขาหุ่นยนต์หรือส่วนที่สัมผัสพื้นเพื่อการทรงตัวของหุ่นยนต์ เอกสารนี้นำเสนอโครงร่างที่มีการเรียกระยะก้ำยันและส่วนประกอบอื่นโดยใช้ชื่ออวัยวะต้นไม้ (เรียกตามอัลกอริธึมมากกว่าโครงจริง) เช่นเรียกส่วนสัมผัสที่ค้ำยันติดพื้นว่า "leaf" ซึ่งมีลักษณะเทียบเคียงเสมือนทำหน้าที่คล้ายใบต้นไม้ซึ่งแยกมาจากส่วนกำเนิดคือ "root" หรือรากต้นไม้ซึ่งในที่นี้คือลำตัวหุ่นยนต์ ซึ่งการใช้ภาษาระบุโครงสร้างที่เรียกเป็นต้นไม้กลับหัว คือมีใบติดพื้นแต่รากลอยกลางอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยส่วนหมายเลข 10 ในรูปแสดงถึงส่วนที่แทนโหนด "leaf" ของระยะก้ำยันหมายเลข #1 ซึ่งข้อถ้อยสิทธิที่สำคัญของลิขธิบัตรนี้คือ การละเมิดสิทธิจะเกิดขึ้นถ้าใช้โครงสร้างที่ใกล้เคียงโดยประกอบด้วยส่วนสัมผัสพื้น ระยะก้ำยัน และตัวควบคุมปรับระดับให้หุ่นยนต์อยู่ในท่าที่ต้องการด้วยเทคนิคการคำนวณผลให้มีผลลัพธ์สุดท้ายเป็นตำแหน่งผลรวมโมเมนต์เป็นศูนย์ หรือ Zero Moment Position ซึ่งย่อว่า ZMP โดยการคำนวณนั้นเป็นการคำนวณโดยอาศัยแผนภาพต้นไม้ล้อตามโหนดซึ่งมีลักษณะเป็นต้นไม้กลับหัวแล้วคำนวณย้อนหลังจากรากไปใบ โดยอาศัยจุดสัมผัสพื้นส่งค่าแรงปฏิกิริยาเพื่อกำหนดเป็นค่าเป้าหมาย (set point) แล้วอาศัยการรวมแรงและแรงบิดในภาวะสมดุลพลศาสตร์เพื่อปรับสมดุลสถิตย์ หรือ $acture\ point - set\ point = 0$

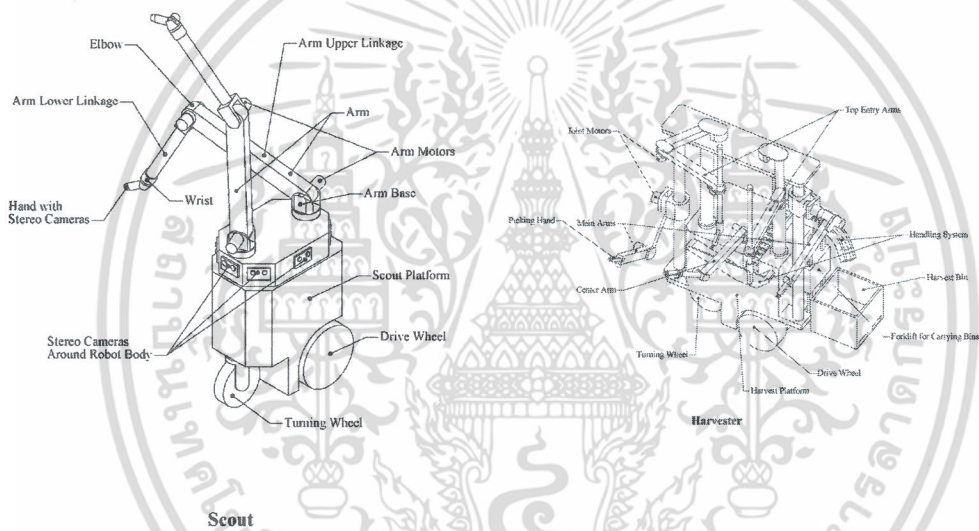


ภาพที่ 2.4 ลิขธิบัตรการค้ำยันรากของหุ่นยนต์โครงสร้างอัลกอริธึมต้นไม้ [23-24]

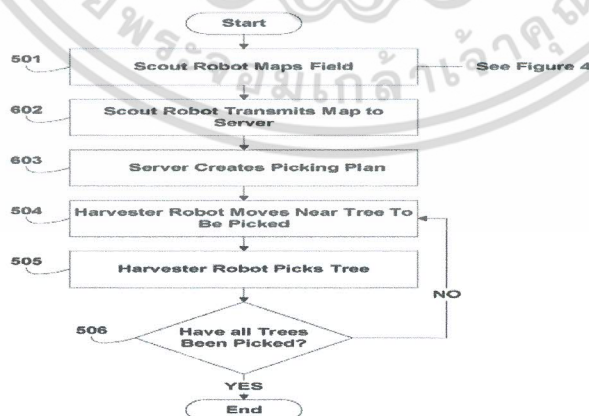
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารสิทธิของ EP และ JP ที่สืบค้น ได้มีเพียงของ Takenaka และคณะที่ใกล้เคียงกับโครงการนี้ ทว่า รูปลักษณะและลักษณะการใช้งานยังไม่ตรงกับแผนงานหุ่นยนต์ต้นไม้มองโครงการจึงเป็นช่องว่างทางสิทธิบัตรที่สามารถยื่นครอบครองได้

อย่างไรก็ตาม ยังมีสิทธิบัตรที่น่าสนใจที่สืบค้น โดยคำสำคัญว่า tree + robot คือ สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกา หรือ USP ที่ได้ประกาศรับสิทธิคุ้มครองในปี ค.ศ. 2013 เป็นสิทธิบัตรในการใช้งานหุ่นยนต์กับต้นไม้ โดย Koselka และ Wallach [25] โดยอ้างสิทธิคุ้มครองการประดิษฐ์การใช้งานในการตัด ถอน และทำกิจกรรมอเนกประสงค์โดยตัวของหุ่นยนต์เพื่อการเกษตร ซึ่งเน้นการใช้งานหุ่นยนต์โดยโปรแกรมการทำงานในการเก็บเกี่ยวพืชผัก ตัดต้นไม้ และกิจกรรมอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



(ก) รูปลักษณะและฟังก์ชันการทำงานหุ่นยนต์



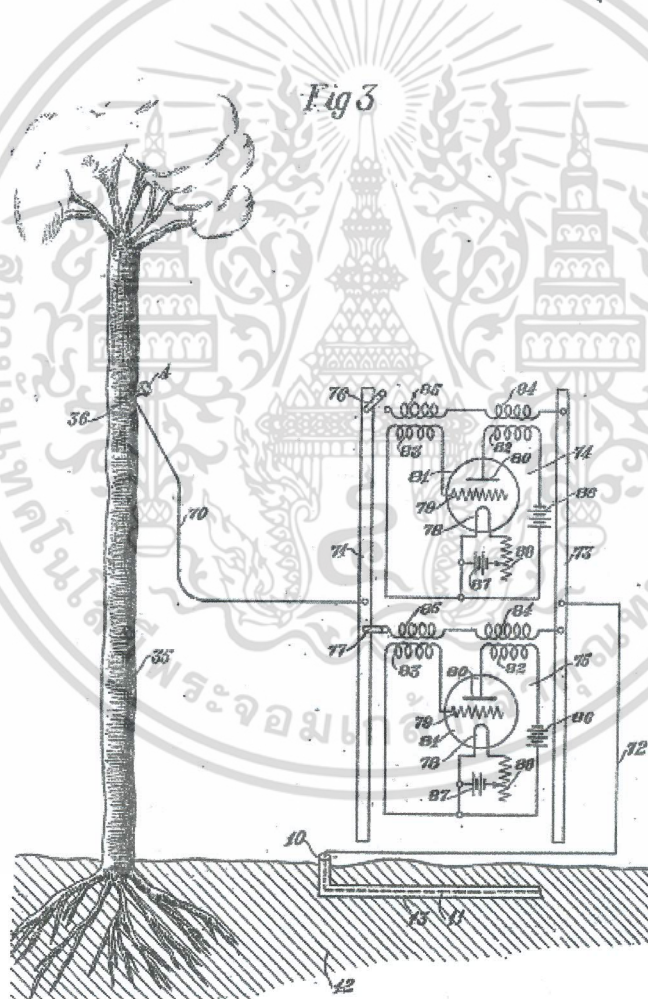
(ข) แผนผังการทำงานของโปรแกรม

ภาพที่ 2.5 หุ่นยนต์ช่วยเก็บพืชผลทางการเกษตร [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าสิทธิบัตรที่ได้สืบค้นที่ใกล้เคียงกับโครงการนี้ในข้อมูลของสิทธิบัตรยุโรป ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาซึ่งถือว่าเป็นฐานข้อมูลต้นกำเนิดนวัตกรรมแหล่งใหญ่และสำคัญของโลกยังไม่มีกรรมนำเสนอมุขมนตรีที่ไช้ต้นไม้เป็นโครงสร้างหลัก

นอกจากนี้ โครงสร้างที่ใกล้เคียงที่สุดในการใช้โครงสร้างต้นไม้ในเชิงเทคโนโลยีสื่อสาร คือ เอกสารสิทธิบัตร British Patent Specification ที่หมดอายุแล้วของ Goerge O. Squier ในปี ค.ศ. 1904 ซึ่งประดิษฐ์ Tree Antenna โดยการฝังสายอากาศส่งและรับคลื่นวิทยุกับต้นไม้จริง ดังแสดงในรูปที่ 26 จากการอาศัยโครงสร้างธรรมชาติของต้นไม้และฝังสายอากาศส่วนรับและส่วนที่ส่งเข้าไปในต้นไม้ร่วมกับการปรับระยะทางที่เหมาะสมให้ต้นไม้ฝังสายอากาศอยู่ห่างกันด้วยระยะที่รับส่งคลื่นวิทยุได้สัญญาณที่ชัดเจน จัดเป็นคุณูปการณ้ในการใช้สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติกับงานทางวิศวกรรมสื่อสารในยุคเริ่มต้น



ภาพที่ 2.6 ต้นไม้สายอากาศ ใน British Patent Specification # 149917 ปี ค.ศ. 1904 [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าจะมีสิทธิบัตรที่น่าสนใจอีกเป็นจำนวนมากที่ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและตรวจสอบแล้ว แต่เนื่องจากไม่ตรงประเด็นหรือเป็นเพียงแค່ส่วนย่อยที่เกี่ยวข้องจึงไม่กล่าวถึงให้เป็นการสับสน ณ ที่นี้ ทว่า ร่างสิทธิบัตรและสิทธิบัตรในภาพที่ 2.4-2.6 เป็นสิทธิบัตรที่น่าสนใจที่จะสามารถนำมาประยุกต์ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะเปลี่ยนโครงสร้างรูปลักษณะให้เหมาะแก่การใช้งานไม่ซ้ำกับข้อถือสิทธิในเอกสารสิทธิดังกล่าวข้างต้น เช่น การปรับเทคโนโลยีใหม่มาฝังตัวในต้นไม้แทนเทคโนโลยีวิทยุแบบดั้งเดิมในยุคแรกซึ่งสามารถทำได้โดยง่ายด้วยเทคโนโลยีสื่อสารและอินเทอร์เน็ตไร้สายในปัจจุบัน [28-36]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจากบทความที่น่าสนใจและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องโดยอาศัยคำสำคัญหลักคือ การเรียนการสอน หุ่นยนต์ และต้นไม้ จากแหล่งความรู้จากฐานข้อมูลทางวิชาการที่เข้าถึงได้ จะเห็นได้ว่าแม้ว่าจะมีผู้พัฒนาหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูในต่างประเทศ ทว่า เทคโนโลยีนี้ยังไม่ได้เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย นอกจากนี้ยังไม่พบวรรณกรรมใด ๆ ในวารสารนานาชาติและสิทธิบัตรนานาชาติที่ระบุถึงการใช้หุ่นยนต์ต้นไม้มาเป็นผู้ช่วยครูจึงเป็นช่องว่างทางเทคโนโลยีที่ตอบ โจทย์ปัญหาได้โดยบูรณาการศาสตร์เทคโนโลยีหุ่นยนต์ การเรียนการสอน และสารสนเทศเข้าด้วยกัน ดังจะกล่าวรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยในบทถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ผ่านมาเป็นการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้นำเสนอการดำเนินการวิจัยและผลเบื้องต้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการหาผลเฉลยที่ได้ปรับปรุงขึ้นจากวิธีการเดิม โดยจะกล่าวถึงระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัยโดยเป็นสังเขปในหัวข้อ 3.1 ในหัวข้อ 3.2 จะกล่าวถึงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างตัวสังเกต (observer) ให้กับฟังก์ชันหลักของหุ่นยนต์ต้นไม่ซึ่งจะต้องวัดและควบคุมสภาพบรรยากาศของสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับสภาพการเรียนรู้การสอนให้ผู้เรียนเกิดความสบายเนื่องจากประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งมีสภาพอากาศร้อนชื้น อันเป็นช่องว่างของการสร้างโจทย์วิจัยที่ยังไม่มีนักวิจัยทางด้านหุ่นยนต์ศาสตร์ท่านอื่นครอบคลุม ณ จุดนี้ ส่วนผลเบื้องต้นจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการทดลองในบทรถัดไป จะแสดงในหัวข้อที่ 3.3

3.1 ระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงานโดยสังเขป

หัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล ซึ่งการดำเนินการวิจัยเป็นไปตามมาตรฐานการดำเนินการที่ใช้กันทั่วไปในทางวิศวกรรมศาสตร์ ดังนี้คือ

3.1.1 สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นนี้เป็นการดำเนินงานที่สำคัญเพราะหากทบทวนเอกสารไม่ครอบคลุมจะทำให้เสียเวลาในการคิดค้น โดยต้องไปเสียเวลากับกิจกรรมวิจัยบางอย่างที่ต้องลองผิดลองถูก (trial and error) ทำให้การวิจัยไม่เสร็จตามเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ การตรวจดูเอกสารสิทธิบัตรและงานวิจัยในวารสารนานาชาติมีความจำเป็นเพราะจะทำให้ทราบถึงการดำเนินการคิดค้นที่ผ่านมาแล้วในรายละเอียดเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้อง ทำให้ย่นระยะเวลาศึกษาหรือทำการต่อ ยอดจากองค์ความรู้ที่มีอยู่ได้เลย ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตรวจดูเอกสารสิทธิบัตรและบทความที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูล IEEE และ Science Directs เป็นหลักเนื่องจากเน้นการศึกษาโดยอาศัยศาสตร์ทางวิศวกรรมไฟฟ้าในหัวข้อหุ่นยนต์กับการศึกษา และตรวจดูเอกสารสิทธิ EP, JP และ US เป็นแนวทางการศึกษา อย่างไรก็ตาม เอกสารสิทธิบัตรหรือบทความที่เกี่ยวข้องมีเป็นรายปลีกย่อยมีเป็นจำนวนมากไม่เหมาะสมที่จะนำมาแสดงทั้งหมด แต่แสดงงานที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ในบทที่ 2 ที่ผ่านมาเพื่อช่วยผู้สนใจอ่านเป็นแนวทางแรกในการศึกษาเพื่อประยุกต์กับงานในลักษณะเดียวกัน และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าประเด็นที่ควรเน้นในการวิจัยครั้งนี้คือ การปรับสภาพบรรยากาศห้องเรียนให้มีความสบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโหนดกระจายคลื่นทำซ้ำ (repeater nodes) เพื่อครอบคลุมและส่งสัญญาณ 3G และ WIFI ในปริมาณที่ทดสอบ

3.1.3 ออกแบบระบบควบคุมและสื่อสารของหุ่นยนต์ควบคู่กับการเขียนซอฟต์แวร์
 ดังได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า การสื่อสารและควบคุมของหุ่นยนต์ต้นไม้ม้าจากรากคึกของ อัลกอริทึมตัดแปลงเมตริกซ์ความแปรปรวนของ Kalman [40] ซึ่งได้อัลกอริทึมที่ให้ค่าดีกว่า ของนักวิจัยท่านอื่นที่เคยทำมา [38-40] ซึ่งจะได้เผยแพร่ในวารสารนานาชาติต่อไป ส่วนใน รายงานนี้จะรายงานเฉพาะส่วนสำคัญพอเป็นสังเขปให้ทราบถึงที่มาและรายละเอียดสำคัญ ให้เห็นภาพความเชื่อมโยงพารามิเตอร์และองค์ประกอบรวมที่เป็นหลักในการเขียน ซอฟต์แวร์สำหรับตัวสังเกตซึ่งในที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC มาสร้างฮาร์ดแวร์

3.1.4 จำลองการควบคุมและสื่อสารในฟังก์ชันตามที่กำหนด
 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์นี้จะมุ่งเน้นจำลองผลในส่วนที่สอดคล้องกับที่ได้กล่าวมาใน หัวข้อย่อยข้างต้น ซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 3.3

3.1.5 วิเคราะห์การทำงานของระบบ

ในขั้นนี้ จะวิเคราะห์การทำงานของระบบในภาพรวมและในองค์ประกอบย่อย ก่อนที่จะ ประยุกต์ใช้งานเพื่อเตรียมพร้อมจากสเกลห้องปฏิบัติการสู่สเกลสนาม ดังจะกล่าวถึงต่อไป ในบทที่ 4

3.1.6 ทดลองและประยุกต์ใช้งาน

3.1.7 ทดลองและประเมินผลหากยังไม่ได้ตามเกณฑ์ประเมินกลับไปทำข้อ 3.1.6

3.1.8 นำต้นแบบที่ได้ทดลองในภาคสนาม และปรับแต่งจนได้ต้นแบบสมบูรณ์

เพื่อความกระชับของเนื้อหา ขันตอน 3.16-3.1.8 จะกล่าวถึงโดยนำเสนอแทรกในเนื้อหา ต่อไปในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับสร้างตัวสังเกตปัจจัยแวดล้อมของหุ่นยนต์ต้นไม้

กระบวนการที่สำคัญในการเลียนแบบ (mimic) การทำงานในการปรับอุณหภูมิและความชื้นของต้นไม้ในธรรมชาติเพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้คือ กระบวนการคายน้ำ โดยกระบวนการนี้กล่าวสรุปย่อแสดงในวิกิพีเดียว่า [41]

"การคายน้ำ เป็นการแพร่ของน้ำออกจากใบของพืชโดยผ่านทางปากใบ โดยทั่วไปปากใบปิดเวลากลางคืนและเปิดในเวลากลางวัน การคายน้ำมีความสำคัญต่อพืชในด้านการควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำในพืช ทำให้น้ำเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นไปด้านบนมากขึ้นเรื่อยๆ ควบคุมการดูดซึมธาตุอาหารของพืช เพราะธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ได้ต้องอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ ทำให้อุณหภูมิของใบลดลง โดยลดความร้อนที่เกิดจากแสงแดดที่ใบ ในกรณีที่ในอากาศอึดอัดด้วยน้ำ มีความชื้นสูง การคายน้ำเกิดขึ้นได้น้อย แต่การคายน้ำของรากยังเป็นปกติ พืชจะเสียน้ำในรูปของหยดน้ำเรียกว่ากัตเตชัน (guttation) พืชไม่สามารถคายน้ำในสภาพที่แคบจัด เพราะอาจเสียน้ำมากเกินไปและเหี่ยวก่อนที่รากจะลำเลียงน้ำได้ทัน" ดังสรุปปัจจัยที่มีผลในการคายน้ำดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ (คัดลอกส่วนที่เกี่ยวข้องมาจาก [41])

ลักษณะ	ผลต่อการคายน้ำ
จำนวนปากใบ	ปากใบที่มีมากขึ้นจะทำให้มีช่องสำหรับระเหยน้ำมากขึ้น
แสงสว่าง	การมีแสงสว่างจะกระตุ้นการเปิดของปากใบ ยกเว้นพืชที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบแคม
อุณหภูมิ	มีผลกระทบสามแบบคือ: 1) เพิ่มการคายน้ำเพราะอุณหภูมิสูงทำให้เสียน้ำมากขึ้น 2) ลดความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกของใบ 3) เพิ่มพลังงานให้กับอนุภาคของไอน้ำและการแพร่ออกจากใบ
ความชื้นสัมพัทธ์	หากมีความชื้นต่ำจะเพิ่มการคายน้ำ
ลม	ลมจะพัดชั้นของไอน้ำที่ปกคลุมผิวใบออกไป จึงเกิดการคายน้ำได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

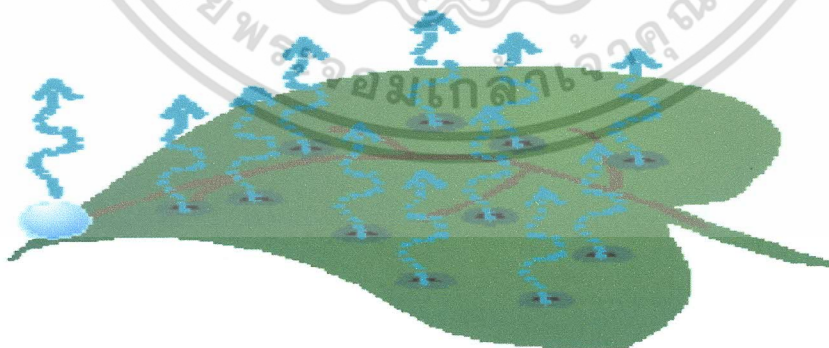
สำหรับรายละเอียดในเรื่องกลไกการคายน้ำของพืชดังแสดงในภาพที่ 3.1 นั้น ผู้สนใจสามารถหาอ่านได้จากแบบเรียนชีววิทยาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับอุดมศึกษา [42] โดยกระบวนการนี้และกระบวนการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวตามสภาพแวดล้อมของพืชสามารถเลียนแบบทางวิศวกรรม (engineering imitation) ได้โดยเริ่มต้นจากการสร้างตัวสังเกตเพื่อใช้เป็นการวัดป้อนกลับ (feedback measurement) ให้กับระบบ โดยการพิจารณาจากแบบจำลองปริภูมิสถานะสำหรับตัวกรอง Kalman (state-space equation for Kalman filter) ในรูปสมการ

$$\begin{aligned} X_{(k+1)} &= \Phi_{(k)} X_{(k)} + \Gamma_{(k)} W_{(k)} \\ Z_{(k+1)} &= H_{(k+1)} X_{(k+1)} + V_{(k+1)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} E[W_{(k)}] &= 0 \\ \text{cov}[W_{(k)}] &= Q_{(k)} \\ E[V_{(k)}] &= 0 \\ \text{cov}[V_{(k)}] &= R_{(k)} \\ \text{cov}[W_{(k)}, V_{(k)}] &= 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

ในที่นี้กำหนดให้ $Q_{(k)}$ และ $R_{(k)}$ เป็นเมตริกซ์ความแปรปรวนอินพุต ที่มีสัญญาณรบกวนสีขาว (white noises) $W_{(k)}$ และสัญญาณรบกวนจากการวัด (measurement noise) $V_{(k)}$ และกำหนดให้ $X_{(k)}$ และ $Z_{(k)}$ เป็นเวกเตอร์สถานะและเวกเตอร์จากการวัดตามลำดับ ณ เวลาวิยุต (discrete time) k -th. โดยที่ Φ เป็นเมตริกซ์เปลี่ยนผ่าน (transition matrix) และ Γ เป็นเมตริกซ์รบกวนอินพุต (input noise matrix) และ H เป็นเมตริกซ์การวัดค่าความไว (the measurement sensitivity matrix)



ภาพที่แสดงการคายน้ำ (Transpiration) ของพืชทั่วไป (Cornell University, The Department of Crop and Soil Sciences, 2006)
ที่มา : <http://www.css.cornell.edu/faculty/hmv1/watrshed/Etrans.htm>

ภาพที่ 3.1 การคายน้ำของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทบทวนคุณลักษณะของตัวกรอง Kalman ให้กระชับ ภาพที่ 3.2 สรุปย่อองค์ประกอบโดยโครงสร้างและการใช้งานตัวกรอง Kalman และในการเริ่มใช้งานนั้น จำเป็นต้องทราบสมมติฐานทางสถิติ โดยเฉพาะค่าเริ่มต้นของสถานะที่ทราบค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรร่วม

$$E[x(0)|Z^0] = \hat{x}(0|0) \quad (3.3)$$

$$\text{cov}[x(0)|Z^0] = P(0|0) \quad (3.4)$$

ที่ Z^0 เป็นค่าเริ่มต้นของข้อมูล

สัญญาณรบกวนของระบบและการวัดเป็นสัญญาณรบกวนสีขาวแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และทราบค่าความผันแปรร่วม

$$E[v(k)] = 0 \quad (3.5)$$

$$E[v(k)v(j)'] = Q(k)\delta_{kj} \quad (3.6)$$

$$E[w(k)] = 0 \quad (3.7)$$

$$E[w(k)w(j)'] = R(k)\delta_{kj} \quad (3.8)$$

ซึ่งทั้งหมดจะเป็นอิสระต่อกัน โดย

$$E[x(0)v(k)'] = 0 \quad (3.9)$$

$$E[x(0)w(k)'] = 0 \quad (3.10)$$

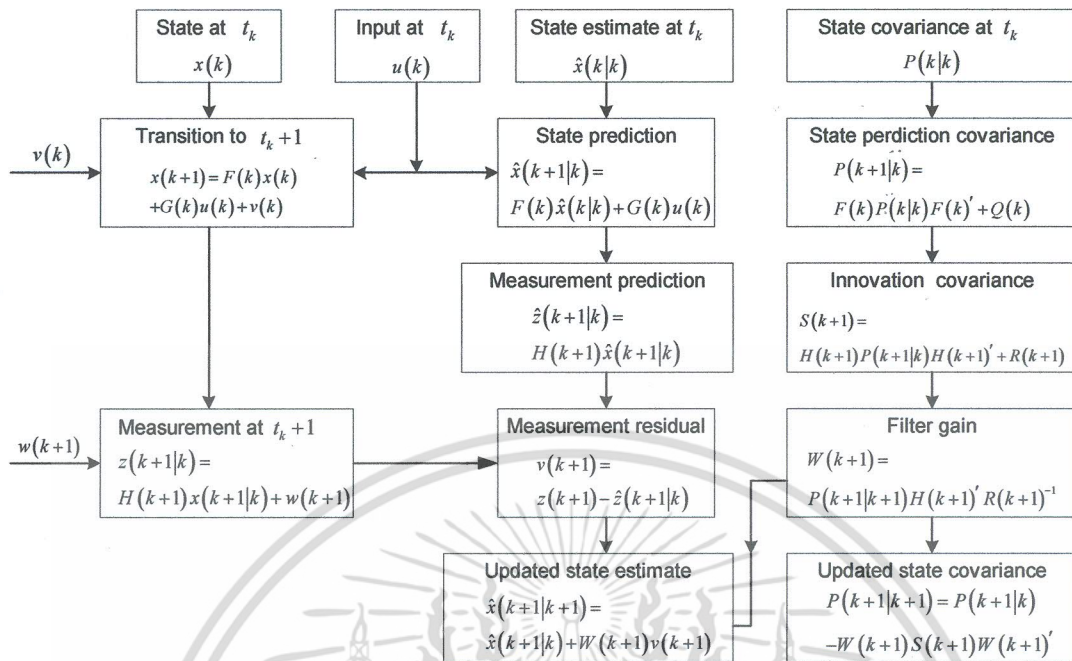
$$E[v(k)w(j)'] = 0 \quad (3.11)$$

เราสามารถแสดงให้เห็นว่า ภายใต้สมมติฐานของเกาส์เซียน สัญญาณรบกวนจะมีค่าเป็น

$$E[v(k)|Z^k] = E[v(k)] = 0 \quad (3.12)$$

$$E[w(k)|Z^{k-1}] = E[w(k)] = 0 \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนผัง โครงสร้างการทำงานของตัวกรอง Kalman

เนื่องจากการคำนวณค่าตัวประกอบความแปรปรวนของแบบจำลองทางพลศาสตร์ใด ๆ ไม่อาจทำได้โดยตรง จึงใช้หลักการหาค่าส่วนเหลือ (predicted residuals) ของค่าของสัญญาณรบกวนของการวัด (Measurement noise: $V_{(k+1)}$) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากการประมาณโดย $Vh_{(k+1)}$ เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของ $V_{(k+1)}$ หาได้จาก

$$Vh_{(k+1)} = Z_{(k+1)} - H_{(k+1)}\hat{X}_{(k+1|k)} \quad (3.14)$$

โดยที่

$$\text{cov}[Z_{(k+1)}] = \sigma_{R0}^2 R_{(k+1)}$$

$$\text{cov}[X_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 P_{(k+1|k)}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเศษเหลือทำนาย (predicted residuals) สามารถหาได้โดย:

$$\text{cov}[Vh_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 H_{(k+1)} P_{(k+1|k)} H_{(k+1)}^T + \sigma_{R0}^2 R_{(k+1)} \quad (3.15)$$

ดังนั้น

$$E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 \text{tr}[R_{(k+1)}^{-1} H_{(k+1)} P_{(k+1|k)} H_{(k+1)}^T] + \sigma_{R0}^2 \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของกฎการคาดหว้งวนรอบซ้ำ (Law of iterated expectations) คือ

$$E[E[X_k | Z^k]] = E[X_k]$$

และจากวิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่าย (Sample Mean)

$$\text{เมื่อ } E[X] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

ดังนั้น

$$E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} P_{(i+1/i)} H_{(i+1)}^T] + \sigma_{R0}^2 \quad (3.17)$$

ในการประมาณในรายงานฉบับนี้ จะทำการคำนวณค่าตัวประกอบความแปรปรวน (variance factor) ของแบบจำลองทางพลศาสตร์ โดยที่ค่าตัวประกอบความแปรปรวน (variance factor) ของการวัดหาได้โดย

$\text{cov}[Z_{(k+1)}] = \sigma_{R0}^2 R_{(k+1)}$ ซึ่งสามารถหาค่าของ σ_{X0}^2 ได้จาก

$$\sigma_{X0}^2 = [E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] - \sigma_{R0}^2] / \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} P_{(i+1/i)} H_{(i+1)}^T] \quad (3.18)$$

โดยอาศัยการคำนวณข้างต้น จะสามารถหาค่าตัวประกอบความแปรปรวน (variance factor) สำหรับแบบจำลองของสัญญาณรบกวนของระบบได้โดยอาศัยสมการ

$$\sigma_{Q0}^2 = [E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] - \sigma_{X0}^2 \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} \Phi_{(i)} P_{(i/i)} \Phi_{(i)}^T H_{(i+1)}^T] - \sigma_{R0}^2] / \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} \Gamma_{(i)} Q_{(i)} \Gamma_{(i)}^T H_{(i+1)}^T] \quad (3.19)$$

วิธีการดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้จะนำมาใช้ในหัวข้อและในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ตัวสังเกตสภาพบรรยากาศของหุ่นยนต์คันไม้

ในการจำลองผลเพื่อทดสอบสมรรถนะการคำนวณด้วยวิธีการที่ได้ดัดแปลงโดยผู้วิจัย จะใช้ตัวอย่างของระบบ Kalman (KF) แบบดั้งเดิม [40] และแบบปรับเปลี่ยนได้ (adaptive KF) เป็นคู่เทียบกับอัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งมี ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ ดังนี้

$$\Phi_{(k)} = \begin{bmatrix} 1.1269 & -0.4940 & 0.1129 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_{(k)} = \begin{bmatrix} -0.3832 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5919 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5191 \end{bmatrix}$$

$$H_{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองของระบบข้างต้นนี้เป็นค่าตั้งต้นที่ใช้ในการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม Matlab โดยอาศัยการสมมติพารามิเตอร์สุขภาพ (Health parameter) ซึ่งมีผลต่อสถานะโดยการสมมุติในที่นี้อ้างอิงถึงห้องเรียนที่มีการปรับสภาวะสภาพบรรยากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์เพื่อป้องกันการกระจายเชื้อต่าง ๆ เช่น เชื้อรา เชื้อแบคทีเรียหรืออื่นๆ ซึ่งเป็นกรณีสมมุติการอยู่ร่วมกัน สำหรับในทางวิศวกรรมนั้นการจำลองผลดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกรอง Kalman ในแต่ละแบบ ภายใต้สมมติฐานว่าเป็นระบบที่มีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian เพราะเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่จะใช้ทดลองนั้นจะอยู่ในบริเวณที่ไม่มีอินพุตที่มาจากระบบคล้ายกันอื่น ๆ รบกวนนอกจากมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งมีพฤติกรรมการรบกวนแบบ Gaussian

ในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบผลจากการทดลอง โดยใช้ตัวกรอง Kalman แต่ละแบบ เมื่อให้สัญญาณรบกวนที่มีในระบบเป็นสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian และกำหนดค่าของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนของระบบ ($Q_{(k)}$) และเมทริกซ์ค่าความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนจากการวัด ($R_{(k)}$) ให้มีค่าคงที่เพื่อใช้ในการจำลองการทดสอบ โดยให้

$$Q_{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ
$$R_{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

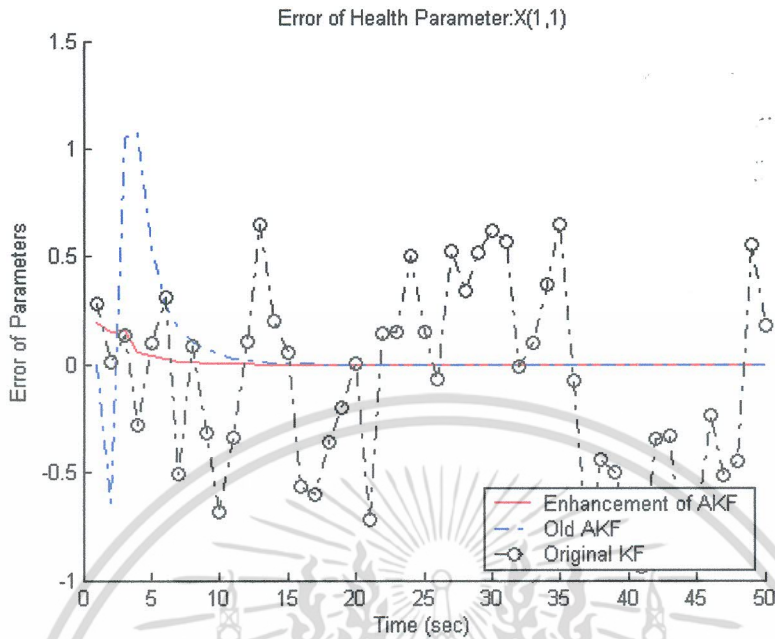
ซึ่งผลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรม Matlab แสดงในตารางที่ 3.2 โดยเป็นค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด (RMS: Root Mean Square Error) ของการประมาณ โดยใช้ตัวกรอง Kalman ในแต่ละแบบ เปรียบเทียบกัน โดย KF แบบดั้งเดิมหมายถึงตัวกรอง Kalman ที่เป็นแบบดั้งเดิม (original) [40] แบบปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ตัวเองได้ (old adaptive Kalman filter) และแบบปรับปรุงใหม่ที่น่าเสนอ (enhanced adaptive Kalman filter) จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยในแต่ละพารามิเตอร์ย่อย และเฉลี่ยรวมของ KF ในรุ่นที่ปรับปรุงใหม่นี้ให้ค่าต่ำที่สุดคือ 0.0050 ในขณะที่ KF แบบปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้แบบเก่าที่น่าเสนอโดย [39] นั้นให้ค่าความผิดพลาดรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.0143 จากการเฉลี่ยรวม ซึ่งจัดสมรรถนะจากการเปรียบเทียบเป็นอันดับสอง ส่วน KF แบบดั้งเดิมมีค่าผิดพลาด RMS เท่ากับ 0.0613

จะเห็นได้ว่า KF แบบที่ปรับปรุงใหม่นี้ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบที่มีการนำเสนอที่ผ่านมาจากที่เปรียบเทียบการทำงาน ณ ที่นี้ ซึ่งหมายถึงการรับประกันการนำ KF ที่นำเสนอในบทนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ดังจะใช้เป็นแนวทางในการเขียนซอฟต์แวร์ต่อไป สำหรับค่าความผิดพลาดในเชิงพลศาสตร์ที่เปลี่ยนตลอดเวลานั้นแสดงภาพที่ 3.2-3.4 โดยแสดงค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์แต่ละตัวเปรียบเทียบกัน สำหรับพารามิเตอร์ X(1,1), X(2,1) และ X(3,1) ตามลำดับซึ่งได้จากการประมาณ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian จะเห็นจากทั้งสามภาพว่าเส้นสีแดงซึ่งแทน AKF (A แทนคำว่า Adaptive) ที่นำเสนอในรุ่นปรับปรุงใหม่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ตามด้วยแบบที่น่าเสนอใน [40] ซึ่งเป็นรุ่นที่ปรับตัวได้แบบเก่า (AKF) และแบบดั้งเดิม (KF) ตามลำดับ

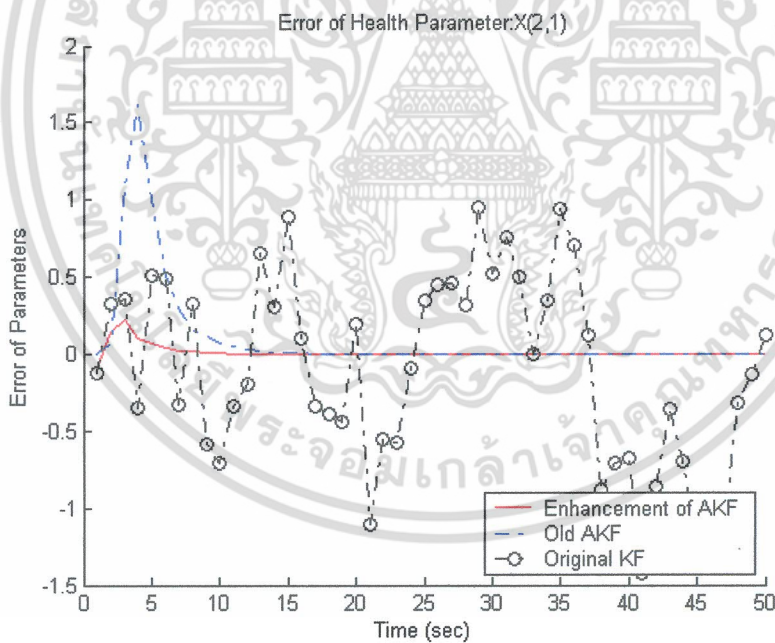
ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด(RMS) ของการประมาณเมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian

พารามิเตอร์	KF แบบดั้งเดิม [40]	KF แบบปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ตัวเองได้เอง [39]	KF แบบปรับปรุงใหม่ที่น่าเสนอ
X(1,1)	0.0625	0.0191	0.0039
X(2,1)	0.0623	0.0092	0.0054
X(3,1)	0.0592	0.0147	0.0057
ค่าเฉลี่ย	0.0613	0.0143	0.0050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

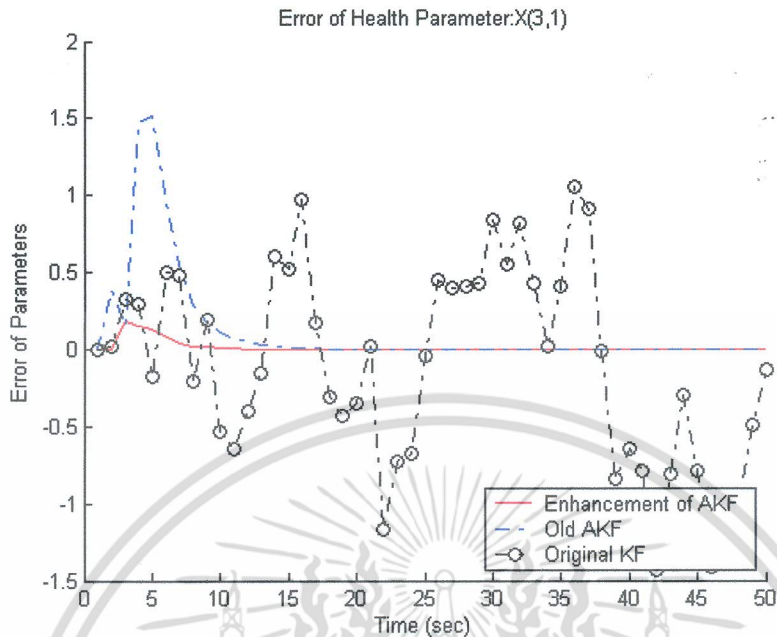


ภาพที่ 3.2 ค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ $X(1,1)$ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian



ภาพที่ 3.3 ค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ $X(2,1)$ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ $X(3,1)$ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian

ดังจะเห็นได้จากการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำจากตัวสังเกตซึ่งในที่นี้ใช้ตัวกรอง Kalman หรืออีกนัยคือตรวจสอบความผิดพลาดของตัวสังเกตเพื่อที่จะได้นำไปใช้ในการสร้างจริงต่อไป สาเหตุที่นำเสนอการสร้างตัวสังเกตในบทนี้เนื่องจากว่าตัวสังเกตที่ได้นี้จะป็นอัลกอริทึมสำคัญในการใช้งาน เพราะหากตัวสังเกตขาดความแม่นยำ พารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เป็นตัวควบคุมบรรยากาศโดยอาศัยกลไกเลียนแบบ การคายน้ำโดยหุ่นยนต์ต้นไม้อีกจะผิดเพี้ยนไป ดังจะได้กล่าวถึงการสร้างจริงและผลการทดลองในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวในบทที่ผ่านมาในการดำเนินการวิจัยซึ่งมุ่งเน้นการประดิษฐ์เป็นวัตถุประสงค์เพื่อขยายผลต่อไป ดังนั้นในบทนี้จะได้นำเสนอโดยอาศัยแนวทางที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นจึงแสดงลำดับการนำเสนอเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการติดตาม จึงกล่าวถึงผลการทดลองสร้างตัวสังเกตสภาพแวดล้อมในหัวข้อ 4.1 ซึ่งเชื่อมโยงกับกระบวนการคายน้ำของพืชที่ขึ้นกับปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศ ณ ที่นั้น ในหัวข้อ 4.2 แสดงผลการประดิษฐ์เพื่อให้เห็นองค์ประกอบตามโครงสร้างและฟังก์ชันการทำงานของหุ่นยนต์ต้นไม้ และแสดงการประยุกต์ใช้งานการแสดงผลภาพ 3 มิติสำหรับการเรียนการสอนในหัวข้อ 4.3

4.1 การทดลองกลไกปรับสภาพแวดล้อม

4.1.1 การสร้างตัวสังเกต

โดยอาศัยอัลกอริธึมตัวกรอง Kalman ปรับเปลี่ยนค่าได้นำเสนอในบทที่ 3 ซึ่งเป็นงานอัลกอริธึมที่ดัดแปลงมาจากตัวกรอง KF แบบดั้งเดิม สำหรับในการนำผลที่ได้ไปการเขียนมอดูลโปรแกรมที่นำเสนอในบทนี้จะอาศัยการเขียนโปรแกรมแบบ Synchronous Programming โดยใช้โครงสร้าง ดังนี้

Get user input (number of iteration, gains, set point, ...)

Initial I/O ports, internal observe variables

For specified number of iterations:

 Read Temp RH etc

 Compute the filter output based on the proposed KF algorithm

 Compare the measurement order of magnitude for accuracy

 Sent the output to the display

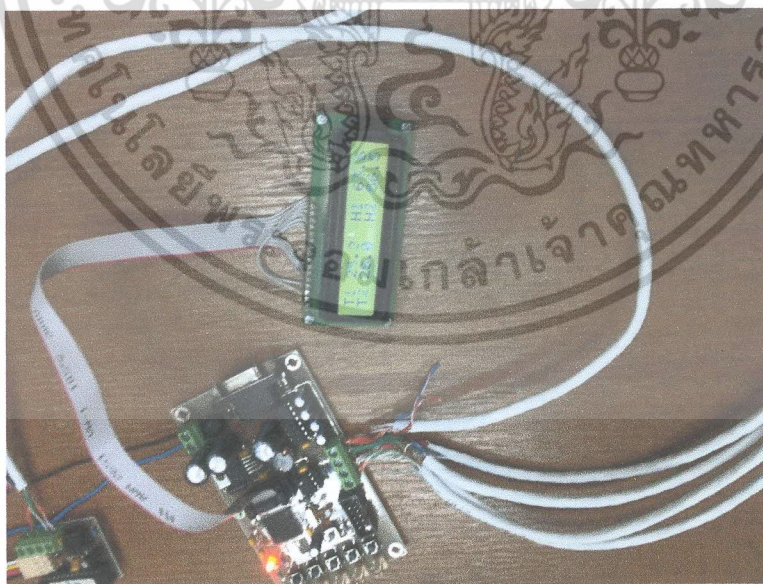
Report results

อย่างไรก็ตาม การใช้งานในการเขียนโปรแกรมในเวลาจริงนั้น สิ่งสำคัญคือฟังก์ชันการ Interrupt ซึ่งเป็นการทำโครงสร้างโปรแกรมขนานเทียม (psuedo-parallel structure) สำหรับการเขียนลำดับ Event ในการทำงานนั้นมีการเรียงลำดับปฏิสัมพันธ์จากขั้นตอน ก-ข ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก. ใช้คำสั่ง Interrupt ฮาร์ดแวร์
- ข. ใช้คำสั่ง Recognize โปรเซสเซอร์
- ค. รัน โปรแกรมจนกว่าจะจบคำสั่งที่มีอยู่ใน Task ปัจจุบัน
- ง. บันทึกสถานะข้อมูลปัจจุบันภายในโปรเซสเซอร์
- จ. เริ่ม Foreground task
- ฉ. จบ Foreground task
- ช. กลับไปที่ Background

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ตัวสังเกตแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 โดยในภาพที่ 4.1 นั้นแสดงชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์ก่อนที่จะประกอบอุปกรณ์ต่อพ่วงกับตัวแสดงผล ส่วนในภาพ 4.2 เป็นเซนเซอร์ที่แสดงสภาวะอากาศในส่วนอุณหภูมิและความชื้นทั้งหมด 5 จุด โดยทั้ง 5 จุดนี้จะต่อพ่วงเข้ากับอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ประมวลผล โดยทดลองติดตั้งกับตู้ทดลองขนาดเล็กโดยอาศัยการทดสอบการวัดความชื้นด้วยระบบคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.3 และบันทึกข้อมูลกลางดงแสดงในภาพที่ 4.4 ซึ่งแสดงในกราฟข้อมูลที่เก็บได้จากเซนเซอร์ทั้ง 5 จุด ซึ่งเป็นภาพเวลาจริงและเวลาย้อนหลังตามแต่จะเรียกดู (data acquisition) ผลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นของภาพที่ 4.4 แสดงในภาพที่ 4.5 ส่วนตัวอย่างข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมสามารถดูจากภาคผนวกเพื่อความกระชับของรายงานการวิจัย



ภาพที่ 4.1 ชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์สำหรับตัวสังเกตสภาพแวดล้อมก่อนประกอบอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เซนเซอร์ทั้ง 5 ชุด เชื่อมต่อเข้ากับระบบประมวลผลกลาง



ภาพที่ 4.3 ระบบลดความชื้น (dehumidifier) พร้อมต่อเชื่อมกับจุดศูนย์กลางลำต้น

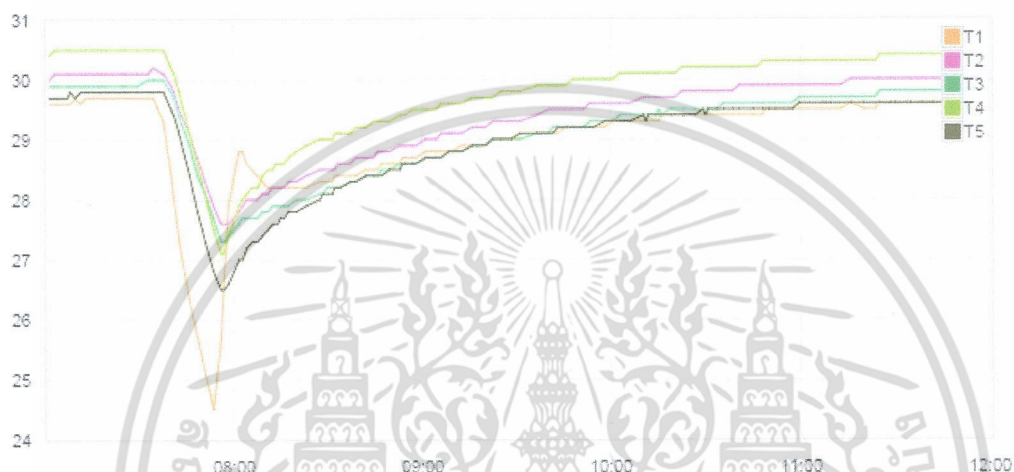
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Latkrabang

Summary of last 24 hours

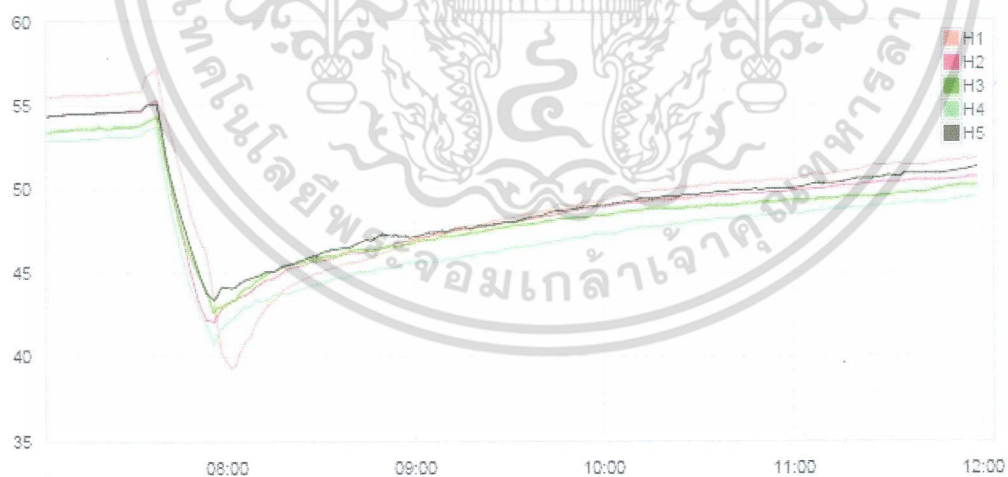


Temperature



(ก) อุณหภูมิ

Humidity

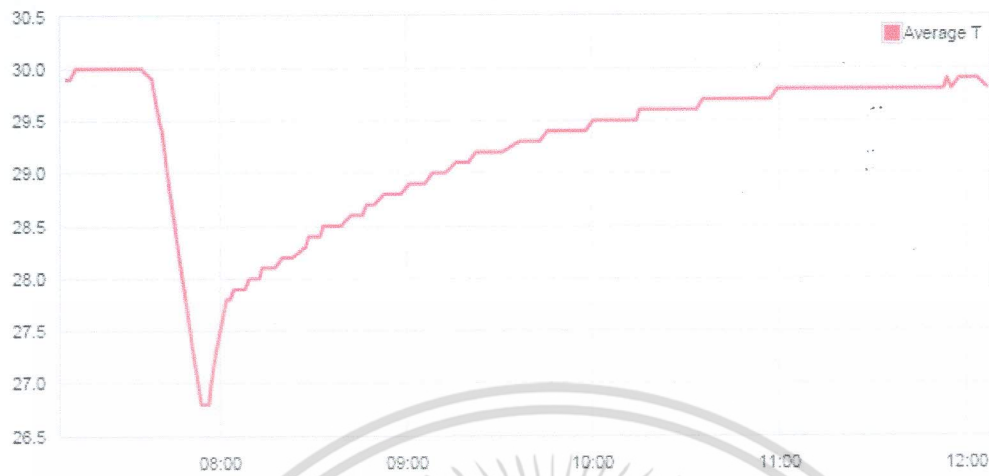


(ข) ความชื้น

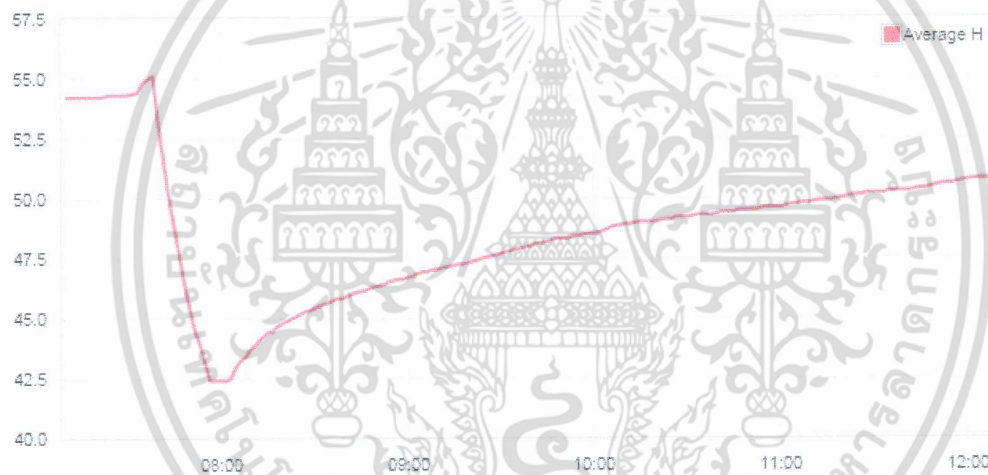
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลสภาพแวดล้อมบรรยากาศ ณ จุดต่าง ๆ จากเซนเซอร์ทั้ง 5 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Average Temperature



Average Humidity

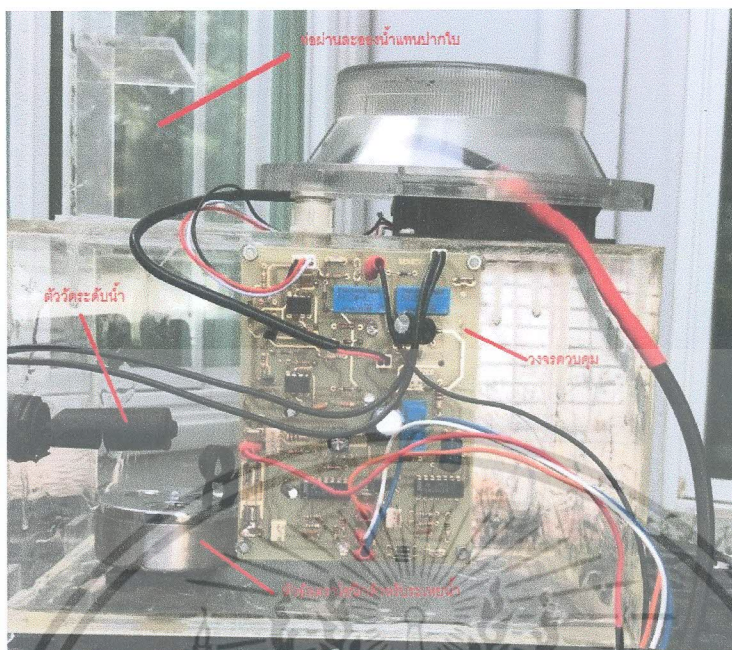


ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลเฉลี่ยของภาพที่ 4.4

4.1.2 การสร้างตัวควบคุม

การเขียนโปรแกรมระบบควบคุมสภาพบรรยากาศตามรอบแนวคิดให้ระบบย่อยที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของต้นไม้ประพาศิตนดั่งรูใบ (stomata) ดังแสงในบทที่ผ่านมาแล้วนั้น จะใช้กระบวนการควบคุมความชื้นในอากาศด้วยเทคโนโลยีการทำความเย็น โดยดึงความชื้นผ่านคอยล์เย็นซึ่งใช้เป็นตัว (dehumidifier) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ส่วนการเพิ่มความชื้นนั้นจะทำโดยอาศัยการระเหยน้ำด้วยอุลตราโซนิคส์ซึ่งใช้เป็นตัวให้ความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศ (humidifier) ดังภาพที่ 4.6 การทดลองการระเหยน้ำแบบวงรอบปิดแสดงเบื้องต้นในภาพที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ฮาร์ดแวร์วงจรอุตุตราโชนิกสำหรับการระเหยน้ำ

โปรแกรมหลัก (main program) ในการสร้างโปรแกรมสำหรับตัวควบคุม (controller) เขียนโดยใช้หลักการดำเนินงานต่อเนื่องของโปรแกรม ดังนี้

Main:

Repeat continuously:

Get user command (single letter commands)

Interpret and execute the command

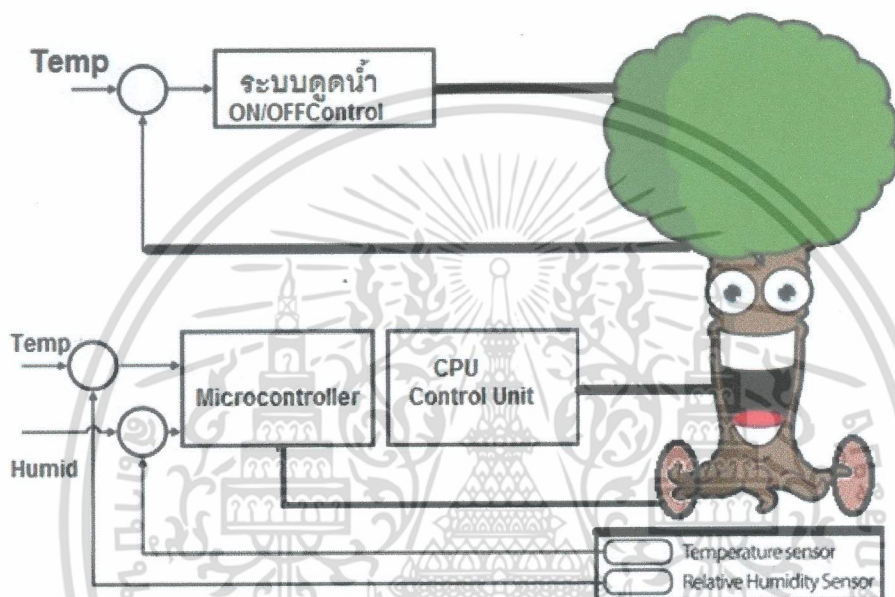
Command Interpreter:

Execute subroutine block or module that matches the single letter command:

- x exit from program
- g set controller gain
- v set the set point value (desire temp rh)
- c control for specified number of iteratins
- i initialize the system
- else print an error message

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ program ย่อยในการควบคุม RH และ Temp จาก [43-44] ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคการควบคุมระบบที่ไขว้ตัวแปร (cross coupling) ด้วยตัวควบคุมแบบ fuzzy pid ซึ่งเป็นการไขว้ระบบและแยกระบบควบคุมที่ตัวแปรหนึ่งเกี่ยวข้องกับอีกตัวแปรหนึ่ง จึงจำเป็นต้องแยกตัวแปร ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวแปรอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักในการควบคุม แผนภาพการทำงานในภาพที่ 4.7

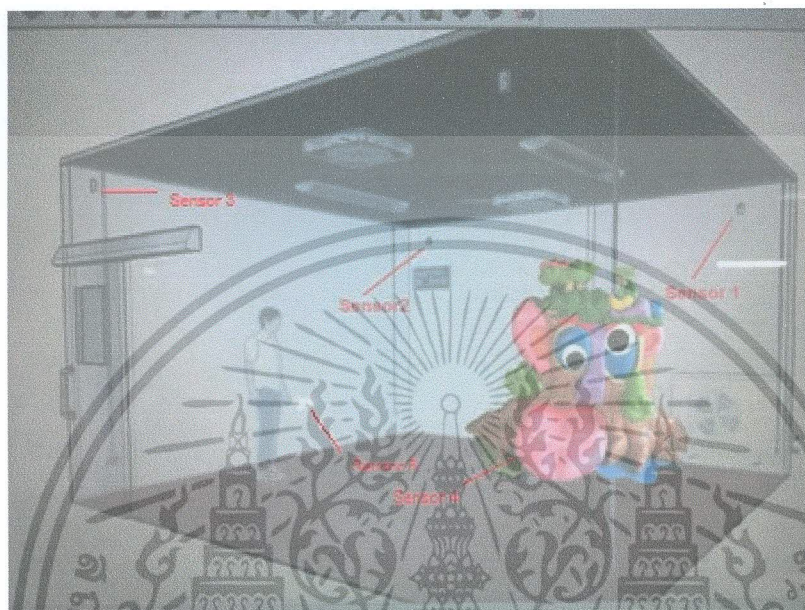


ภาพที่ 4.7 แผนผังระบบควบคุมสภาพบรรยากาศ

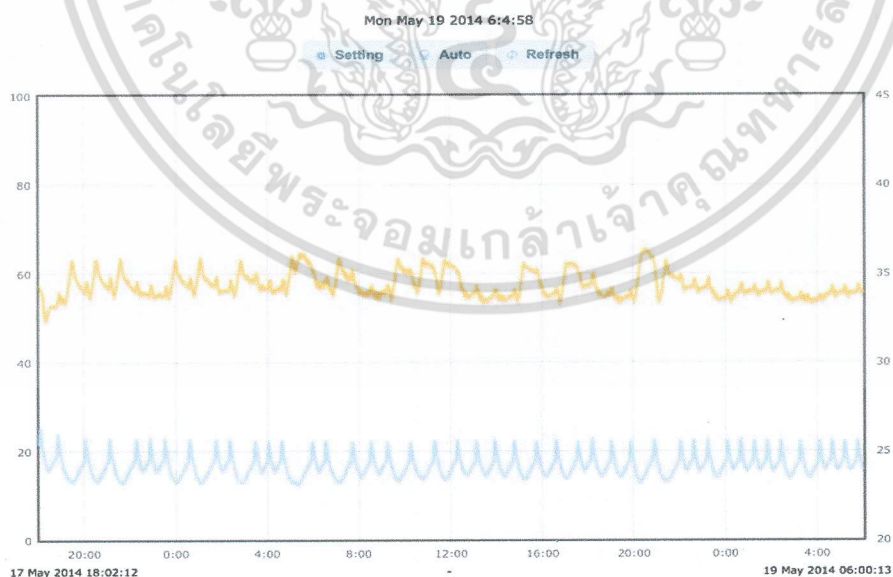
ในการเก็บข้อมูลจากการวิจัยผู้วิจัยสนใจตัวแปรเกี่ยวกับสภาพอากาศและปัจจัยการคายน้ำและการลดความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมโดยการปรับสภาพบรรยากาศจากหุ่นยนต์ต้นไม้ ซึ่งการเก็บข้อมูลทำมาตั้งแต่เดือน พ.ศ. 2557 เป็นต้นมา โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทำขึ้นเองด้วยการออกแบบและสร้างของคณะวิจัยดังกล่าวที่ 4.2 ในหัวข้อที่ผ่านมา ในการเก็บข้อมูลจากการวิจัยทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการ E12-905 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดย ซึ่งตัวอย่างข้อมูลนี้เป็นตัวอย่างการควบคุมสภาวะบรรยากาศดังมีแผนผังการเก็บข้อมูลสำหรับตำแหน่งเซนเซอร์ดังภาพที่ 4.8 โดยตำแหน่งภาวอาคารต้นต้นไม้หุ่นยนต์เป็นตำแหน่งวางตู้ควบคุมสภาพบรรยากาศ ภาพที่ 4.9 เป็นตัวอย่างข้อมูลที่เก็บบันทึกของวันที่ 17 พ.ศ. 2557 ซึ่งเก็บข้อมูลบรรยากาศมุ่งเน้นตัวแปรอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยเส้นสีน้ำตาลคืออุณหภูมิ เส้นสีฟ้าคือความชื้นสัมพัทธ์ โดยตัวอย่างข้อมูลดังกล่าวอ่านจากเซนเซอร์ตัวที่ 4 โดยแกนตั้งขวาคืออุณหภูมิและแกนตั้งด้านซ้ายคือความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งตั้งค่า setpoint ที่ temp = 34 C และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RH=18% จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นดังกล่าวเป็นไปตามที่กำหนด จะเห็นได้ว่าในสถานะการทำงานของระบบควบคุมนี้มี duty cycle ของระบบอยู่ที่ 30% หมายถึงภาวะดังกล่าวเป็นภาวะประหยัดพลังงาน (energy sufficient) อันเป็นข้อดีของระบบ



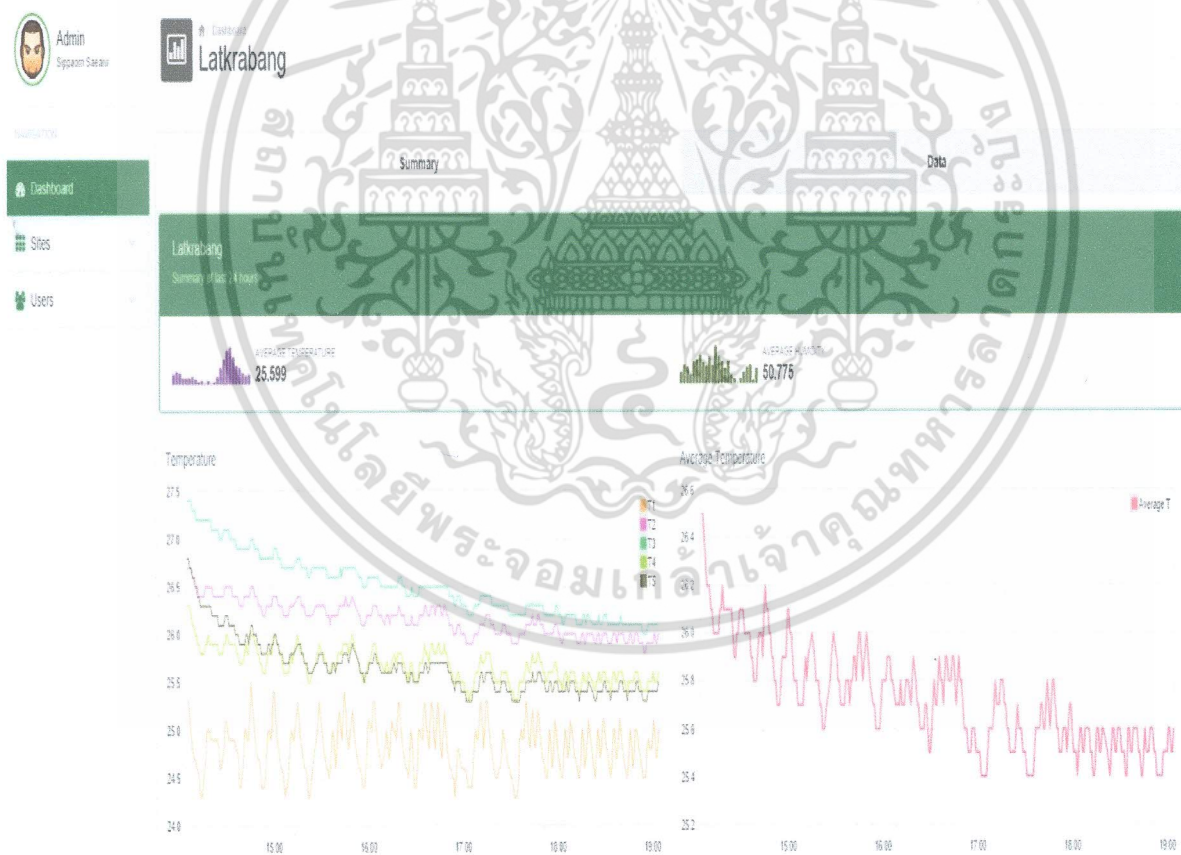
ภาพที่ 4.8 การจัดวางตำแหน่งเซนเซอร์ในการทดลอง



ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองควบคุมสภาพบรรยากาศบนที่กวันที่ 17 พ.ค. 57

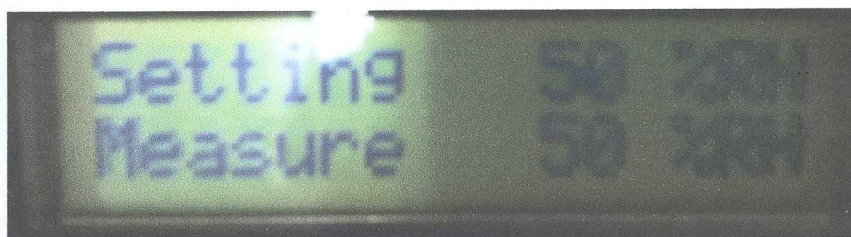
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.10 แสดงตัวอย่างผลการทดลองในชุดที่เก็บวันที่ 28 กันยายน 2557 ทดลองโดยใช้สภาวะภาระความร้อน (thermal load) ที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียสครอบครอง 3/5 ของพื้นที่ห้องโดยตำแหน่งที่วางคือกึ่งกลางห้องรจากตัวควบคุมประมาณ 1 เมตรในห้องขนาด 20 ตารางเมตรโดยอุณหภูมิอากาศที่วัดได้ ณ จุดต่าง ๆ แสดงดังภาพโดยการตั้งจุดเซตอุณหภูมิห้องเป็นค่าเป้าหมายที่ 25.5 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้ ทั้ง 5 จุดเข้าสู่ค่าที่ต้องการในช่วงเวลาภายในหนึ่งชั่วโมง โดยเซนเซอร์หมายเลข 4 (สีดำ) เป็นตำแหน่งที่ตั้งของตัวควบคุม โดยอ่านค่าที่วัดได้เท่ากับค่าเป้าหมายที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.11 โดยถ่ายภาพจากจอแสดงผลเครื่องมือวัดเซนเซอร์หมายเลข 4 สำหรับข้อมูลการทดลองในชุดอื่น ๆ ที่เก็บจนเสร็จสิ้นโครงการนั้น ผู้สนใจสามารถขอเพิ่มเติมได้จากคณะวิจัยหรือติดต่อหัวหน้าโครงการ



ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองควบคุมสภาพบรรยากาศในภาวะมีภาระความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ผลการทดลองควบคุมสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในภาวะมีภาระความร้อน

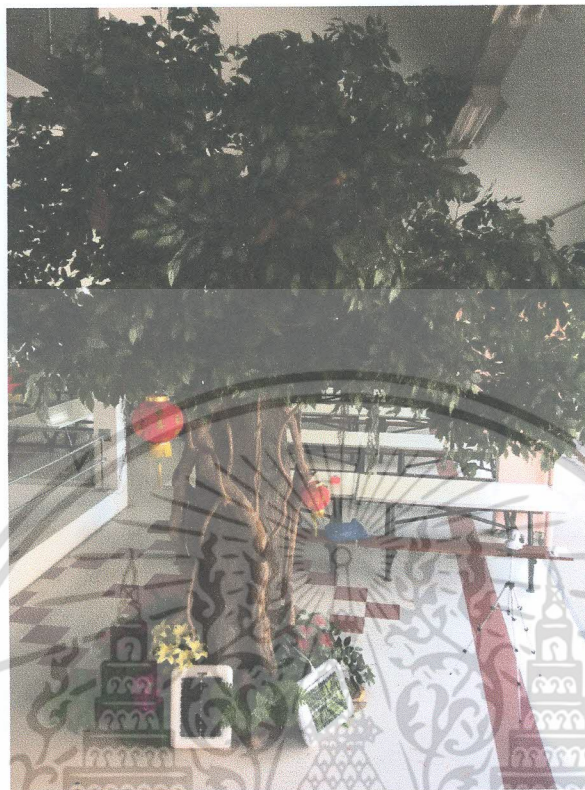
4.2 ผลการสร้างต้นแบบตามกรอบโครงสร้างและองค์ประกอบ

จากหัวข้อ 4.1 ซึ่งเป็นฟังก์ชันหลักที่จะมาประกอบเป็นหุ่นยนต์ต้นไม้ หัวข้อ 4.2 นี้แสดงผลการสร้างต้นแบบแนวคิดมาจากแรงบันดาลใจของต้นไทรริมสระน้ำซึ่งตั้งอยู่ทางด้านขวาของประตูทางเข้าหลักหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ดังภาพที่ 4.12 ซึ่งกลายมาเป็นหุ่นยนต์ต้นไม้ดังภาพที่ 4.13 หุ่นยนต์ต้นไม้ซึ่งขึ้นรูปเป็นต้นไทรนี้มีขนาดสูง 4 เมตร และกว้าง 5 เมตร ภายในบรรจุคอมพิวเตอร์และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุมและสื่อสาร มีแผงโซลาร์เซลล์ที่บริเวณโคนต้นเพื่อสร้างพลังงาน



ภาพที่ 4.12 "ต้นไทรริมสระ" แรงบันดาลใจรูปสัญลักษณ์หุ่นยนต์ต้นไม้

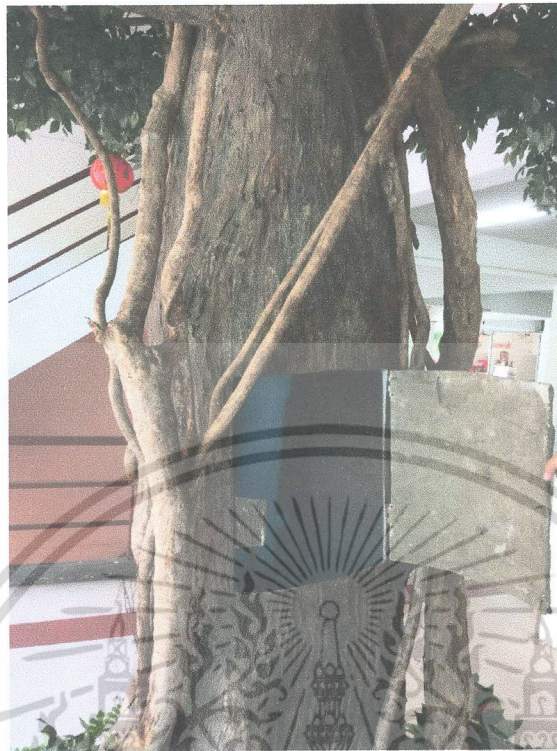
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



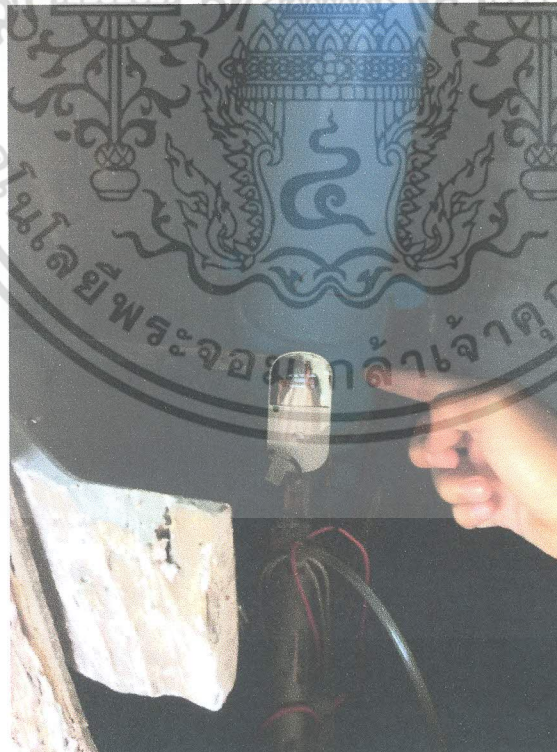
ภาพที่ 4.13 หุ่นยนต์ต้นไม้ที่สร้างมาจากกรอบแนวคิดในภาพที่ 1.2

ภายในลำต้นมีอุปกรณ์สื่อสารและระบบลำเลียงสิ่งของด้วยมอเตอร์ที่เลียนแบบมาจากไซเลม (xylem) และโฟลเอ็ม (phloem) [42] ของต้นไม้ ซึ่งสามารถลำเลียงสิ่งของที่ต้องการออกมา ณ บริเวณกิ่งแนวคิด เหมือนกับการลำเลียงไบโอแมส (biomass) ขึ้นหอคอยในบทความ [45] ในที่นี้ย่อนทางโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโลกและการป้อนดันโดยมอเตอร์ ภายในโพรงต้นไม้ในภาพที่ 4.14 มีอุปกรณ์สื่อสารดังขยายในภาพที่ 4.15 ซึ่งเป็นฮับส่งสัญญาณสื่อสารติดต่อครอบคลุมด้วยระบบ 3G และ WIFI โดยการกระจายคลื่นผ่านฮับที่ซ่อนอยู่ในรูปโคมไฟในภาพที่ 4.16 ซึ่งในที่นี้มีตัวส่งสัญญาณภายในโคม ซึ่งสามารถให้บริการโดยเพิ่มกลุ่มสายและขนาดความกว้างแบนด์ (bandwidth) ได้ตามที่ต้องการ หรือสามารถเชื่อมสัญญาณกับช่องสัญญาณดาวเทียมที่เช่าช่องจากการสื่อสารแห่งประเทศไทย หรือ CAT ดังแสดงการเชื่อมต่อสัญญาณผ่านสถาปัตยกรรมสื่อสารในรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในบทความประชุมวิชาการนานาชาติ TENCON 2014 ที่แสดงไว้ในภาคผนวก นอกจากนี้ ยังมีช่องบริการในภาพที่ 4.18 ด้านฐานรากต้นไม้เพื่อใส่อุปกรณ์ทำความชื้นในภาพที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 หุ่นยนต์ต้นไม้

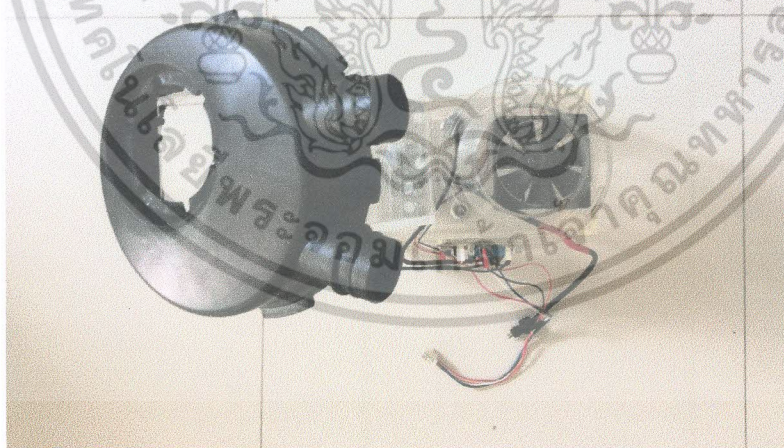


ภาพที่ 4.15 ช่องทางเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตภายในโครงหุ่นยนต์ต้นไม้และติดต่อกับคอมพิวเตอร์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 WIFI/3G Access Point แบบพกพาซ่อนใน โคมประดับรอบต้น



ภาพที่ 4.17 อุปกรณ์ในภาพที่ 4.6 ถ่ายในมุมสูงทำความเข้าใจโครงสร้างลำต้นในภาพที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ช่องใต้ฐานรากสำหรับใส่อุปกรณ์คายนํ้าในรูปที่ 4.17

ช่องบริการ (service channel) ในภาพที่ 4.19 เป็นช่องโพรงอีกชุดหนึ่งที่เจาะจากท่อพีวีซีซึ่งอยู่ในกึ่ง จะติดโพลคเซลและเซนเซอร์แสงเพื่อตรวจจับการดำเลียงสิ่งของภายในลำต้นถึงจุดนั้น และฝังเซนเซอร์อื่น ๆ เช่น เซนเซอร์ความชื้นและเซนเซอร์อุณหภูมิภายในเพื่อตรวจสอบความกระจายทั่วถึงของอากาศภายใน ช่องว่างว่าเป็นไปตามที่ตั้งค่าเป้าหมายไว้หรือไม่ การใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ สามารถทำได้โดยอาศัยการควบคุมระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ดังจะเห็นได้ว่ามีเซนเซอร์และอุปกรณ์ทรอนิกส์และไอทีจำนวนมากฝังตัว (embedded) อยู่ใน ส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้หุ่นยนต์ ซึ่งทำให้การเขียนซอฟต์แวร์มีความซับซ้อน ซึ่งจะต้องมีการจัดการอินเทอร์เน็ตที่ที่ดี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วทันทีที่สัญญาณนาฬิกาของ "timer service" ถือว่ามีการเรียก "first call" และเริ่มต้น ฟังก์ชันอินเทอร์เน็ตรัพท์ ส่วน "second call" จะเซตโปรโตคอลเป็นการ "reset" กลับไปที่สถานะเดิมซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ตรัพท์ฮาร์ดแวร์ (i-signal) ภายใต้แนวคิดโปรโตคอล เป็น

i-signal(XTIMER, timer-service)

...

i-signal(XTIMER, default)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



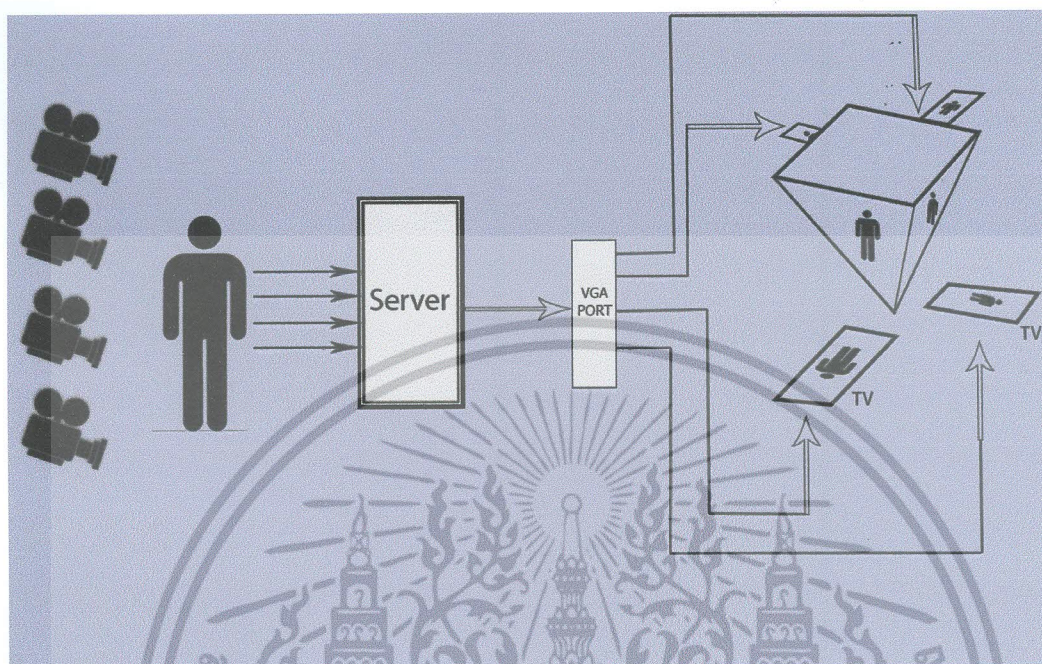
ภาพที่ 4.19 ช่องด้านบนของกิ่งติดโพลดเซลล์และเซนเซอร์แสง

4.3 การประยุกต์ใช้งานกับการสร้างภาพสามมิติเพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอน

ในหัวข้อที่ 4.2 แสดงฮาร์ดแวร์ที่เป็นองค์ประกอบของหุ่นยนต์ต้นไม้มือ ในบทนี้เป็นการแสดงการประยุกต์ใช้งานหุ่นยนต์ต้นไม้มือในฐานะผู้ช่วยสอนเพื่อเป็นตัวอย่างการใช้งานในด้านสารสนเทศ ซึ่งในตัวอย่างนี้จะใช้หุ่นยนต์ต้นไม้มือในฐานะเป็นตัวส่งผ่านรูปทูลี่แสดงในภาพที่ 4.20 จากโรงอาหารชั้น 2 อันเป็นที่ตั้งของหุ่นยนต์ต้นไม้มือไปยังห้อง E12-905 ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น 9 ตึก 12 ชั้นเรียนรวมของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. โดยใช้ตัวทวนสัญญาณ (repeater)

หลักในการสร้างอุปกรณ์การแสดงผลภาพในรูปแบบภาพ 3 มิติ ทำได้โดยใช้หลักการอ้างอิงจากการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดทำให้เกิดภาพสะท้อน โดยภาพที่นำมาแสดงนี้จะเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีลักษณะเป็น Real-time กล่าวคือ เป็นภาพที่มาจากการบินที่ภาพเคลื่อนไหว ณ เวลานั้น โดยวิธีการจะเริ่มจากจำลองห้องขึ้นมาติดกล้องไว้ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นกล้องจะจับภาพวัตถุที่อยู่ภายในห้องจำลอง ภาพจากกล้องแต่ละตัวก็จะถูกส่งมารวมกันที่เครื่อง Server ซึ่งฝังตัวอยู่ในลำต้นของหุ่นยนต์ต้นไม้มือเพื่อทำการประมวลผลว่า กล้องจากตัวไหนเป็นภาพด้านไหนในการแสดงผล จากนั้นเครื่อง Server ก็ทำการกลับด้านของภาพ (Flip Horizontal) ให้ภาพมีลักษณะที่ตรงข้ามกัน เพื่อที่เวลาฉายจริงภาพที่ถูกสะท้อนออกมาจะมีลักษณะเป็นภาพที่เหมือนกับภาพที่ส่งมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 การทำงานอุปกรณ์รับและส่งภาพ 3 มิติ

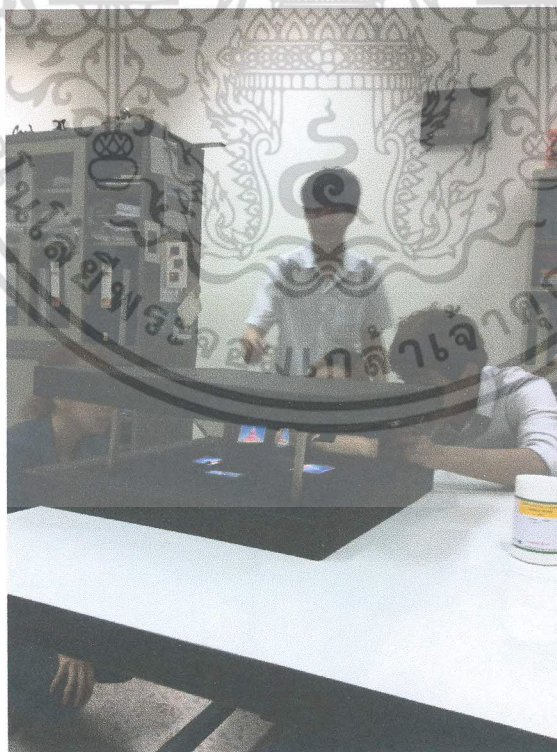
หลังจากนั้น เครื่อง Server ก็จะนำภาพไปยัง VGA Port เพื่อทำการแยกภาพ โดยในการส่งภาพแต่ละครั้งความล่าช้าในการส่ง (delay) จะต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุด จากนั้นภาพจะถูกส่งออกไปยังหน้าจอตั้งสี่จอ โดยแต่ละมุมจะถูกกำหนดไว้แล้วว่าเป็นภาพจากมุมใดแต่ภาพที่ปรากฏบนหน้าจอจะมีลักษณะที่สลับซ้าย-ขวา กับภาพจริง เพื่อทำการสะท้อนภาพ(Reflection) จากหน้าจอไปบนแผ่นอะคริลิก (Acrylic) ที่มีรูปทรงพีระมิดคว่ำดังรูปทำให้ภาพที่ถูกสะท้อนออกมาจะมีลักษณะเป็นภาพเหมือนสามมิติ (Hologram) โดยอ้างอิงจากหลักการ Reflection Hologram ในการสร้างภาพสามมิติ

ในการสาธิตการทำงานนี้จะใช้ประโยชน์จากสมาร์ทโฟนให้เป็นส่วนที่ส่งผ่านภาพใช้สัญญาณ WIFI ที่ส่งโดยอาศัยเครือข่ายผ่านเซิร์ฟเวอร์ของหุ่นยนต์ต้นไม้ ในขณะที่เดียวกันก็จะใช้สมาร์ทโฟนแทน TV หรือแผ่นสะท้อนแสดงภาพ ในภาพที่ 4.21 นักศึกษาผู้ช่วยวิจัยส่งภาพผ่านกล้องไร้สายส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ในหุ่นยนต์ต้นไม้ ภาพดังกล่าวจึงสามารถดาวน์โหลดและรับภาพจากกลุ่มนักศึกษาที่ห้อง E12-905 โดยสามารถแสดงผลผ่านสมาร์ทโฟน และนำสมาร์ทโฟนของนักศึกษาทั้งสี่คนมาประกอบกันแสดงภาพสามมิติที่เห็นได้ทุกทิศทางในภาพที่ 4.22 และ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

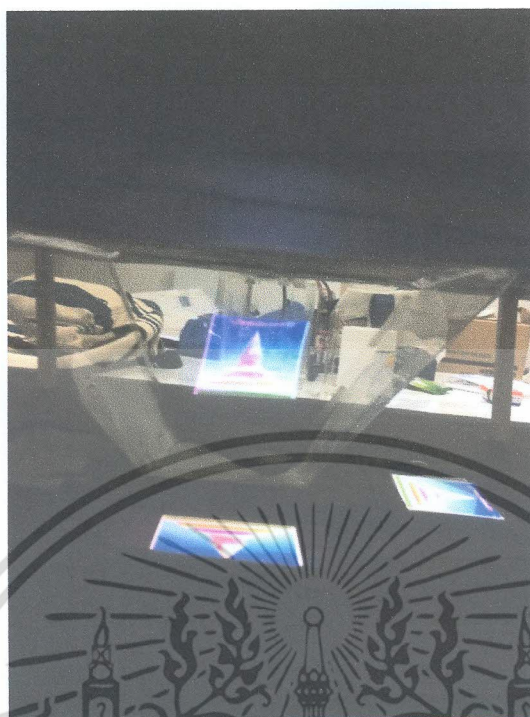


ภาพที่ 4.21 การส่งภาพพหุสื่อผ่านกล้องไร้สายไปยังเครือข่ายสื่อสารของหุ่นยนต์ต้นไม้



ภาพที่ 4.22 กลุ่มนักศึกษาแสดงพหุสื่อที่รับได้และใช้สมาร์ทโฟนสร้างภาพสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 ภาพสามมิติผ่านเครื่องฉายหุ่นยนต์ช่วยสอน

ดังแสดงการประดิษฐ์ที่ผ่านมาในบทนี้ แม้ว่าขนาดของต้นไม้มที่ทำหุ่นยนต์จะมีขนาดที่อาจจะต้องใช้จำนวนผู้ขนย้ายหลายคน ทว่า การอาศัยการลดขนาดและเพิ่มล้อ รวมทั้งแนวทางปฏิสัมพันธ์มนุษย์ตามแนว [46-49] สามารถปรับปรุงในรุ่นที่ดีขึ้นได้ต่อไป

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการมุ่งเน้นการจดทรัพย์สินทางปัญญาดังนั้นผู้วิจัยจึงสงวนสิทธิในการเปิดเผยรายละเอียดของการประดิษฐ์ ณ ที่นี้เนื่องจากอยู่ในระหว่างการร่างเอกสารสิทธิและข้อถือสิทธิ จึงขอกล่าวถึงผลการวิจัยให้ทราบความสัมพันธ์ผลของการดำเนินงานพอเป็นสังเขป จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาจากการทบทวนเอกสารในบทที่ 2 และยังแตกต่างจากสังคมออนไลน์ช่วยการเรียนการสอนในเอกสารอ้างอิงที่ [51]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับการเรียนการสอนเป็นแนวโน้มการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ในเวลาที่ถูกต้องสมควรเนื่องเพราะความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศเอื้อประโยชน์ให้ความสะดวกทางด้านเนื้อหา ดิจิทัล (digital contents) และสาธารณูปการทางข้อมูล (data infrastructure) ด้วยเหตุที่เทคโนโลยีหุ่นยนต์ เป็นสหวิทยาการ อาศัยองค์พหุปัญญาเป็นบูรณาการจึงต้องรวมศาสตร์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันสร้างสรรค์ ความก้าวหน้าให้กับวงการหุ่นยนต์ศาสตร์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อสร้างหุ่นยนต์ต้นไม่ผู้ช่วยสอน ที่ ยังไม่มีผู้ใดนำเสนอมาก่อนเพื่อจกเอกสารสิทธิ์เป็นภูมิปัญญาของไทยให้คนรุ่นต่อมาได้ต่อยอด งานวิจัยจึงมุ่ง ตอบโจทย์วิจัยดังกล่าว และได้ผลลัพธ์ตลอดจนผลกระทบสำเร็จสนองจุดประสงค์ในงานวิจัยที่กำหนดไว้ ดัง มีข้อสรุปและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 บทสรุป

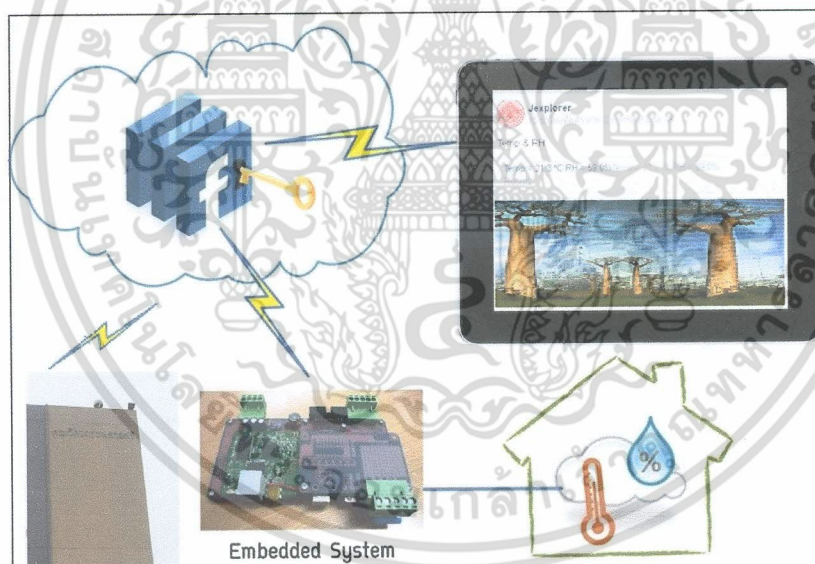
1) องค์ความรู้ งานวิจัยนี้ได้ตัวสังเกตแบบปรับเปลี่ยนค่าได้เอง โดยใช้อัลกอริธึมตัวกรอง Kalman ซึ่งใน ที่นี้พบว่าการใช้เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมมาถ่วงน้ำหนักจะให้ค่าการลู่เข้าสู่ค่าจริงในการสังเกตท่ามกลาง สัญญาณรบกวนสีขาว ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ชี้ว่าวิธีการตัดแปลงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ดีกว่าคู่ เทียบในรุ่นที่ตัดแปลงโดยใช้น้ำหนักแบบที่เป็นค่าคงที่และแบบดั้งเดิม นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวสามารถ นำไปสร้างจริงและให้ผลลัพธ์ที่ดีดังแสดงจากผลการทดลองที่สังเกตได้ องค์ความรู้ในส่วนนี้สามารถนำไป เผยแพร่ในวารสารนานาชาติที่มีคุณภาพต่อไป

2) การประดิษฐ์ รูปแบบหุ่นยนต์ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นต้นไม่หุ่นยนต์ที่บูรณาการระบบสังเกต และระบบการควบคุมบรรยากาศหรือสภาพอากาศรอบๆรวมทั้งระบบสื่อสารเข้าด้วยกัน โดยที่ต้นไม่หุ่นยนต์ จะประพดีตัวเหมือนศูนย์กลางระบบควบคุมไร้สาย โดยฟังก์ชันการทำงานนี้สามารถเป็นเซิร์ฟเวอร์ในการ ให้บริการสื่อการเรียนการสอนและให้บริการสัญญาณ WIFI และอินเทอร์เน็ตเฉพาะที่สำหรับเครือข่าย ท้องถิ่นเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงสื่อต่างๆ ได้โดยง่าย จุดเด่นประการสำคัญของหุ่นยนต์ต้นไม่ในงานวิจัย นี้คือความสามารถในการเข้าถึงการควบคุมสถานะบรรยากาศในห้องเรียนโดยผ่านเครือข่ายที่เข้าถึงได้ด้วย ระบบสมาร์ตโฟนซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้องเรียนให้มีความเหมาะสมได้ด้วยวิธีการที่ บรรยายเป็นสังเขปในงานวิจัยนี้ ส่วนรายละเอียดการประดิษฐ์นั้นผู้วิจัยขอสงวนสิทธิเปิดเผยต่อไปหลังยื่นจด สิทธิบัตรเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ฟังก์ชันหนึ่งของหุ่นยนต์ต้นไม้อาจไม่สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและ WIFI ที่องถึนได้ด้วยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ (available network) แต่เครือข่ายที่ยังไม่ได้สร้างและควรรขยายผลคือ เครือข่ายหุ่นยนต์ (robotic network) ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นหุ่นยนต์ประเภทเดียวกันแต่สามารถเชื่อมต่อถึงกันเพื่อขยายเครือข่ายของการเรียนรู้โดยอาศัยแนวทางหุ่นยนต์ต้นไม้อาจงานวิจัยนี้ โดยการสร้างต้นไม้หุ่นยนต์ สัตว์หุ่นยนต์หรือหุ่นยนต์เลียนแบบธรรมชาติอื่น ๆ มาเชื่อมต่อถึงกันแบบ Ubiquitous ซึ่งอาศัยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (embedded system) เชื่อมถึงกันผ่านสังคมออนไลน์ (social network) ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ประกอบเป็น "ป่าแห่งการเรียนรู้ (Forest of learning)" โดยผู้เรียนสามารถเข้าถึงสื่อการเรียนรู้และสามารถควบคุมบรรยากาศการเรียนรู้และอุปกรณ์การเรียนรู้อื่น ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการค้นหาทั้งในส่วนฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ การสื่อสารผ่านเครือข่ายหุ่นยนต์บริการที่องถึน โดยจะอาศัยแนวทางที่ได้เรียนรู้จากงานวิจัยนี้ขยายผลและสร้างในเฟสถัดไป



ภาพที่ 5.1 แนวคิด "ป่าแห่งการเรียนรู้"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://th.wikipedia.org/wiki/พระราชกรณียกิจของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช>
วันที่สืบค้น 5 ธันวาคม 2554
- [2] <http://www.manager.co.th/cyberbiz/ViewNews.aspx?NewsID=9520000156173>
วันที่สืบค้น 25 เมษายน 2555
- [3] Choset, H., Lynch, K., Hutchinson, S., Kantor, G., Burgard, W., Kavraki, L., and Thrun, S., *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation*, Cambridge, MA, MIT Press, 2005.
- [4] Dudek, G., and Jenkin, M., *Computation of Principles of Mobile Robotics*, New York, NY, Cambridge Press, 2000.
- [5] Turk, V., "The 24 robot arms of the K-Band Multi-Object Spectrograph," *Wired Magazine*, May 29, 2013.
- [6] Sooraksa, P., and Chen, G., "Mathematical Modeling and Fuzzy Control of a Flexible-Link Robot Arm," *J. of Mathematical Computing and Modeling*, Vol. 27, pp. 73-93, 1998.
- [7] Patently Apple, "New robotic arm finishing system for iPhone," <http://www.patentlyapple.com>.
- [8] Lam, C. P., Chou, C.T., Chiang, K.H., and Fu, L.C., "Human-Centered Robot Navigation-Towards a Harmoniously Human-Robot Coexisting Environment," *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 27, No. 1, pp. 99-112, Feb. 2011
- [9] Khatib, O., "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," *Int. J. Robot. Res.*, Vol. 5, pp. 90-98, 1986.
- [10] LaValle, S.M., and Kuffner, Jr., J.J., "Randomized kinodynamic planning," *Int. J. Robot. Res.*, Vol. 20, pp. 378-400, 2001.
- [11] Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y. and Takenaka, T., "The development of the Honda humanoid robot," *In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New York: IEEE, May 1998.
- [12] Fujita, M., "AIBO: Towards the era of digital creatures," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 20, pp. 781-794, July, 2001.
- [13] Kozima, H., [Marek Piotr Michalowski](#), and Cocoro Nakagawa "Keepon: A playful robot for research, therapy, and entertainment" *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

January, 2009

- [14] Chin, K-Y., Wu, C-H., and Hong, Z-W., "A Humanoid Robot as a Teaching Assistant for Primary Education," Fifth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, pp. 21-24, 2011.
- [15] Jaewoo Kim Kyoung Soo Chun ; Dong-Soo Kwon "Gesture motion programming by applying robot motion hierarchy structure for the educational/entertainment robot Engkey," *The Proceeding of 2012 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, pp.36 - 39, May 2012
- [16] Papert, S., *The Children's Machine*, Basic Books, New York. 1993.
- [17] Cooper, M., Keating, D., Harwin, W. and Dautenhahn, K., *Robots in the Classroom-Tools for Accessible Education*, IOS Press, Christian Buhler and Harry Knops, 1999.
- [18] Chang, C-W., Lee, J-H., Chao, P-Y., and Chen, G-D., "Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school," *Educational Technology & Society (IFETS)*, Vol. 13(2), pp. 13-24, January 2010.
- [19] Park, S. J., Han, J. H., Kang, B. H., and Chin, K. C., "Teaching assistant robot, ROBOSEM, in English class and practical issues for its diffusion," *IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts*, pp. 8-11, October 2011.
- [20] Saenz, A., "Another robot teacher enters Korean classroom," <http://singularityhub.com/2011/02/26/another-robot-enters-korean-classrooms-as-automated-teaching-advances/> Retrieved Date: Sept 15, 2014.
- [21] *Smart English Teaching Robot, ROBOSEM*, <http://www.youtube.com/watch?v=JLGwSX03M7Q> Retrieved Date: Sept 15, 2014.
- [22]Chin, K-Y., Wu, C-H., and Hong, Z-W., "Impact of Using an Educational Robot-based Learning System on Students' Motivation in Elementary Education," *IEEE Trans. on Learning Technology*, Online: DOI 10.1109/TLT.2014.2346756, 2014.
- [23]Takenaka, T., Matsumoto, T., Yoshiike, T., "Control device for mobile body," *European Patent EP169439A1*, 06-09-2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] Takenaka, T., Matsumoto, T., Yoshiike, T., "Control device for mobile body," *European Patent EP169439A2*, 06-09-2006.
- [25] Koselka, H., and Wallach, B., Agricultural robot system and method, " *US Patent US8381501 B2*, 26-2-2013.
- [26] Squier, G. O., "Improvement in and related to radio communication systems," *British Patent Specification #149917*, 1904.
- [28] Sun, J., Zhu, X., Zhang C., and Fang, Y., "RescueMe: Location-Based Secure and Dependable VANETs for Disaster Rescue," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, March, 2011.
- [29] K Kanchanasut, "Building A Long-distance Multimedia Wireless Mesh Network for Collaborative Disaster Emergency Responses", *Publisher: Internet Education and Research Laboratory*, Asian Institute of Technology (AIT), pp. 1-19 , " April, 2007.
- [30] Tony L. "Routing Protocols in Wireless Ad-hoc Networks, A Simulation Study," *Master's thesis in Computer Science and Engineering*, Lulea University of Technology, Stockholm, 1998.
- [31] Lundgren, H., Nordstrom, E., and Tschudin, C., *Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks*, Department of Information Technology, Uppsala University, September 2002.
- [32] Lundgren, H. et.al, "A Large-scale Testbed for Reproducible Ad hoc Protocol Evaluations," *In Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC02)*, March 2002.
- [33] Lundberg, D., *Ad hoc Protocol Evaluation and Experience of Real World Ad Hoc Networking*, Department of Information Technology, Uppsala University, 2002.
- [34] Corson, S. and Macker, J., "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," *RFC 2501*, January 1999.
- [35] O'Hara, B., Petrick, A., *IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion*, IEEE Press, New York 2011.
- [36] Lau, B. K., and Matinez-Vazquez, M., Guest Editorial: IEEE AWPL special cluster on terminal antenna systems for 4G and beyond," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 12, pp. 1669-1672, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [37] Zeiger, E., Farquhar, G.D. and Cowan, I. R. (Eds)., *Stomatal Function*, Stanford University Press, Stanford, California, 1987.
- [38] Chen, G., *Approximate Kalman Filtering*, World Scientific, New York, 1993.
- [39] Dahshayani BP, Ananthasayanam MR, Vighnesam NV, "Adaptive Kalman filter Technique for relative orbit estimation for collocate deostationary satellites," *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, pp. 481-484, 2001.
- [40] Brown, R. G., and Hwang, P. Y. C., *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering with Matlab Exercises*, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [41] <http://th.wikipedia.org/wiki/การคายน้ำ>, วันที่สืบค้น 25 มิถุนายน 2557.
- [42] Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Jackson, R. B., Campbell Biology, 9Ed, Pearson: New York, 2011.
- [43] Heidar A. Malki, Huaidong Li, Guanrong Chen. "New Design and Stability Analysis of Fuzzy Proportional- Derivative Control Systems". *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, Nov., pp. 245-254, 1994.
- [44] Onboonare, T. , Charumartphan, S. and Sooraksa, P., "A Geno-Fuzzy P²ID Controller For Mobile Robots". *Processdings of the Third Asian Conference on Industrial Automation and Robotics*, Bangkok, Thailand, pp. 189-192, May. 8-9, 2003.
- [45] Payakkawan, P., Areejit, S., and Sooraksa, P. "Design , fabrication, and operation of continuous microwave biomass carbonization system," *Renewable Energy*, Vol. 66, pp. 49-55, June 2014.
- [46] Sisbot, E. A., Marin-Urias, L. F., Alami, R. and Simeon, T., "A human aware mobile robot motion planner," *IEEE Trans. Robot.*, Vol. 23, No. 5, pp. 874–883, Oct. 2007.
- [47] Takeshi, S. and Hideki, H., "Human observation based mobile robot navigation in intelligent space," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2006, pp. 1044–1049.
- [48] Minguez, J., and Montano., L., "Nearness Diagram (ND) Navigation: Collision Avoidance in Troublesome Scenarios," *IEEE Trans. Robot.*, Vol.20, No.1, pp. 45-59, Feb. 2004.
- [49] Fox, D., Burgard, W., and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, Vol. 4, No.1, pp. 23-33, Mar. 1997.
- [50] Alami, R., Belousov, I., Fleury, S., Herrb, M., Ingrand, F., Minguez, J., and Morisset, B., "Diligent: towards a human-friendly navigation system," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, 2000,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pp. 21–26.

[51] www.quipperschool.com/th/signup1.html Retrieved date: October 3, 2014.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ก. ตัวอย่างฟอร์มการเก็บข้อมูลการทดลอง

การเก็บข้อมูลจากการทดลองนั้นผู้วิจัยเก็บข้อมูลไว้ในเซิร์ฟเวอร์ที่บรรจุไว้ในหุ่นยนต์ต้นไม้และเซิร์ฟเวอร์สำรองที่ได้เตรียมไว้ โดยผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดหลังจากที่ได้สิทธิผ่านใช้งานข้อมูล ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกวัน เดือน หรือกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการข้อมูลได้ ดังภาพที่ ผ. 1 ข้างล่างนี้

The screenshot shows the Latkrabang web interface. At the top left is the 'Latkrabang' logo and a 'Dashboard' link. The main area is divided into 'Summary' and 'Data' sections. Under 'Filters', there is a date selector set to '2014-08-27' and a calendar icon showing '2014-08-10'. Below the filters is a 'Download Wizard' section with four buttons: 'Download Current Page', 'Download Last 24 hrs', 'Download This Week', and 'Download Last Month'. To the right of these buttons are 'Refresh Results' and 'Download' buttons. Below the wizard, it says 'Results: 30 records from 564 records'. A table of data is displayed with the following columns: ID, Site, Time stamp, T1, H1, T2, H2, T3, H3, T4, H4, T5, H5, TAVG, and HAVG. The table contains 8 rows of data.

ID	Site	Time stamp	T1	H1	T2	H2	T3	H3	T4	H4	T5	H5	TAVG	HAVG
69495	1	2014-10-30 15:44:30	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.9	30.2	50.7	29.5	52.1	29.7	51.8
69494	1	2014-10-30 15:42:37	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.9	30.2	50.7	29.5	52.1	29.7	51.8
69493	1	2014-10-30 15:40:21	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.9	30.2	50.8	29.5	52.1	29.7	51.8
69492	1	2014-10-30 15:38:29	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.9	30.2	50.8	29.5	52.1	29.7	51.8
69491	1	2014-10-30 15:36:53	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.9	30.2	50.8	29.5	52.2	29.7	51.8
69490	1	2014-10-30 15:36:03	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.8	30.2	50.8	29.5	52.1	29.7	51.8
69489	1	2014-10-30 15:35:13	29.4	52.7	29.9	51.8	29.5	51.9	30.2	50.8	29.5	52.1	29.7	51.8

ภาพที่ ผ. 1. ข้อมูลการทดลองที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยกำหนดช่วงเวลา

ข. การเผยแพร่ผลงานบางส่วน

บทความวิจัยในหน้าถัดไปเป็นผลงานส่วนหนึ่งที่เป็นผลพลอยได้จากทุนวิจัยนี้และได้เสนอต่อที่ประชุมนานาชาติ IEEE TENCON 2014 ในช่วงวันที่ 22-25 ตุลาคม 2557 ณ รร. แสงกรีตา กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IEEE TENCON-2014 Bangkok, Thailand

22 - 25 October 2014

Leveraging Technology for a Better Tomorrow



IEEE TENCON 2014 Bangkok, Thailand 22 - 25 October 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Communication Network Structure for Robotic Manipulators

Nuttapon Poncharernpong, Sunchanan Charanyananda, Youtthana Silakam, Kitdakorn Klomkarn, Pitikhate Sooraksa
Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of Technology Lardkrabang (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.

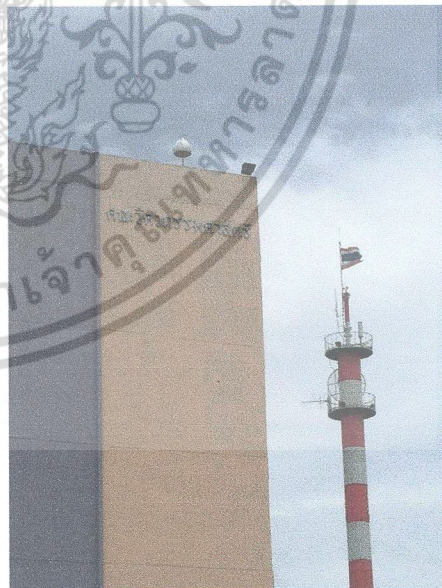


Fig. 2 Chongko Beta used for Node 2.

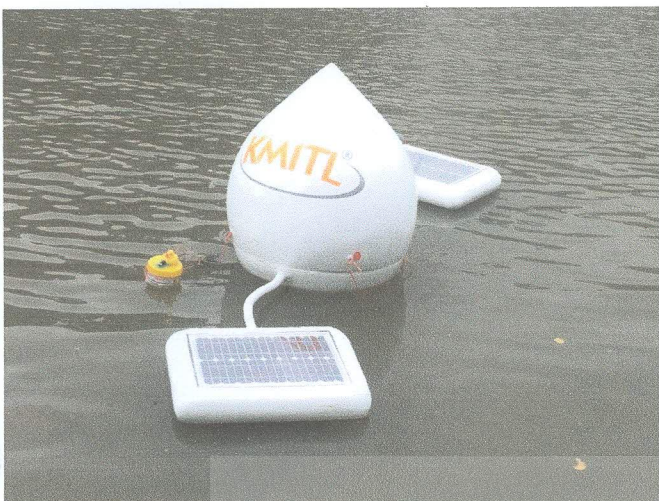


Fig. 3 Chongko Gamma used for Node 3.



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.

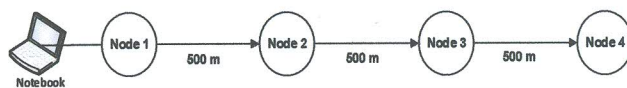


Fig. 5. Robotic communication network pattern for multi-hop ping from Node 1 to Node 4.

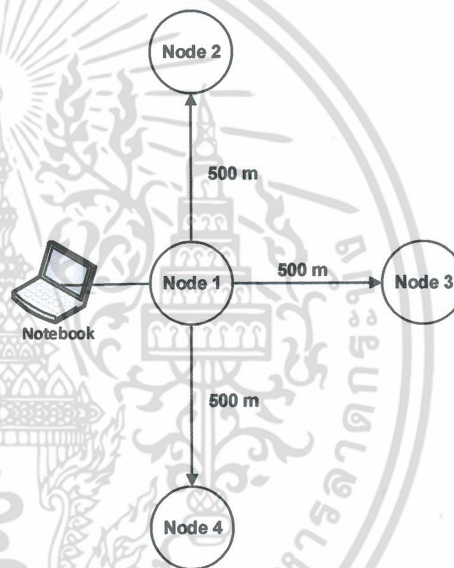


Fig. 6. Single-hop ping from Node 1 to Node 4 with a star topology.

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

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

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

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 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

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

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, KMUTL, for the year 2012-2014.

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



ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล ปิติเขต สุวรรณา

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

การศึกษาสูงสุด Ph.D. (Electrical Engineering) University of Houston, USA

ได้รับรางวัลงานวิจัยดีเด่นปี 2542 และ 2551 มอบโดย สกว. รางวัลต้นแบบโทรคมนาคมยอดเยี่ยม ปี 2553

และสิทธิบัตร World Patent PCT 2008: An Authentication Device ร่วมกับ กฤตากร กล่อมการ



ชื่อ-สกุล กฤตากร กล่อมการ

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

การศึกษาสูงสุด D. Eng. KMITL

ได้รับรางวัลงานวิจัยดีเด่นปี 2551 มอบโดย สกว. และรางวัลต้นแบบโทรคมนาคมยอดเยี่ยม ปี 2553 และ

สิทธิบัตร World Patent PCT 2008: An Authentication Device ร่วมกับ ปิติเขต สุวรรณา

และครุฑทองคำรางวัลข้าราชการดีเด่น ปี 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้