หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์

FULLY AUTONOMOUS DRUG AND FOOD DELIVERY ROBOT FOR HOSPITAL AND PATIENT CARE LOGISTIC MANAGEMENT BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

สิทธิกร ฐิตวิริยะ
SITTIKORN TITAVIRIYA
อันติกา เอี่ยมโอภา
ANTICA EAM OPHA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์

FULLY AUTONOMOUS DRUG AND FOOD DELIVERY ROBOT FOR HOSPITAL AND PATIENT CARE LOGISTIC MANAGEMENT BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

สิทธิกร ฐิตวิริยะ
SITTIKORN TITAVIRIYA
อันติกา เอี่ยมโอภา
ANTICA EAM OPHA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2562

สาขาวิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์

Fully Autonomous Drug and Food Delivery Robot for Hospital and Patient Care Logistic Management based on Artificial Intelligence

ผู้จัดทำ สิทธิกร ฐิตวิริยะ รหัสประจำตัว 59011396

อันติกา เอี่ยมโอภา รหัสประจำตัว 59011549

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ลงชื่อ) ....

(ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 21 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์
นักศึกษา	นายสิทธิกร ฐิตวิริยะ 59011396
	นางสาวอันติกา เอี่ยมโอภา 59011549
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์ เป็นนวัตกรรมที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยตัวหุ่นยนต์จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดส่งอาหาร ยาและเวชภัณฑ์ ระหว่างหน่วยงานด้วยกันเองหรือหน่วยงานกับผู้ป่วยซึ่งจะถูกควบคุมการทำงานด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ผ่านเทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะ ซึ่งจะจำลองพื้นที่ใช้งานเพื่อเป็นแผนที่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังบริเวณต่าง ๆ ได้ตามที่กำหนดโดยการระบุพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ เทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์นี้จะถูกประยุกต์การทำงานร่วมกับกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ประมวลผลเป็นภาพสามมิติ (Depth camera) และเทคโนโลยีตรวจจับวัตถุด้วยแสงเลเซอร์ (Lidar) ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu 18.04 และ ROS melodic สำหรับการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ (SLAM) ทำให้หุ่นยนต์มีคุณสมบัติจดจำวัตถุหรือบุคคล รวมถึงสภาพแวดล้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อัตโนมัติ โดยหุ่นยนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานได้ 2 ชั่วโมงที่ความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Fully Autonomous Drug and Food Delivery Robot for Hospital and Patient Care Logistic Management based on Artificial Intelligence
Student	Mister Sittikorn Titaviriya 59011396
	Miss Antica Eam opha 59011549
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Dr.Wibool Piyawattanametha

ABSTRACT

We developed a fully autonomous drug and food delivery robot for hospital and patient care logistic management based on artificial intelligence. This robot will act as an intermediary in delivering food, medicine, and medical supplies among the departments themselves or departments and patients, which will be controlled via a very intuitive software that enables navigation technology with intelligent coordinate systems by simulating the use area as a map to control the movement of the robot. The intelligent coordinate navigation technology for this robot will be integrated with depth camera, and a LIDAR sensor running Ubuntu 18.04 with ROS melodic for SLAM allowing robots to recognize objects or people in the environment. The robot achieves the maximum traveling speed of 0.2 m/s and can operate for 2 hrs via a battery.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ และอาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ท่านอื่น ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น รวมทั้งชี้แนะแนวทางตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่มีจนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง และสมบูรณ์ด้วยดี

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะไม่สำเร็จสมบูรณ์หากปราศจากคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า จากรุ่นพี่ในภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ นายณัฐนันท์ วันลักษณ์ และรุ่นพี่ชมนุมโรบอท นายสมสิน ทองไกรรัตน์ และนายธนภูมิ ภูมี คณะผู้จัดทำ รู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อความ มีน้ำใจเสียสละ และแบ่งปันที่รุ่นพี่มอบอุปกรณ์ส่วนสำคัญ ซึ่งจำเป็นต่องานวิจัย ทั้งเสียสละเวลาช่วยสอน ตอบข้อซักถาม และแนะนำแนวทางในการทำงาน จนปริญญานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้นในท้ายที่สุด

ขอขอบคุณบุคคลผู้มีพระคุณที่คอยให้การสนับสนุนงานวิจัย ขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ รวมทั้ง ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ช่วยเป็นแรงผลักดัน และเป็นกำลังใจให้สามารถก้าวผ่านปัญหา และอุปสรรคต่าง ๆ ไปได้ คอยช่วยเหลือทั้งเป็นที่ปรึกษาที่ดีตลอดงานวิจัย ท้ายที่สุดขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มอบโอกาสในการศึกษาหาความรู้ และอำนวยความ สะดวกในด้านสถานที่รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยแก่คณะผู้จัดทำ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ สมบูรณ์ได้ด้วยดี

สิทธิกร ฐิตวิริยะ
อันติกา เอี่ยมโอภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย....................I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....................II
กิตติกรรมประกาศ....................III
สารบัญ....................IV
สารบัญตาราง....................VI
สารบัญภาพ....................VII
บทที่ 1 บทนำ....................1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....................1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา....................2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา....................3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย....................3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย....................4
1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย....................4
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน....................5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง....................6
2.1 ระบบโลจิสติกส์ภายในโรงพยาบาล....................6
2.2 การประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติ....................20
2.3 ความต้องการของตลาดต่อหุ่นยนต์อัตโนมัติ....................26
2.4 การระบุตำแหน่งและการสร้างแผนที่....................29
2.5 เทคโนโลยีตรวจจับวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์....................33
2.6 กล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ประมวลผลเป็นภาพสามมิติ....................34
2.7 บอร์ดประมวลผล NVIDIA Jetson Nano....................37
2.8 ล้อแมคคานัม (Mecanum wheel)....................40
2.9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor)....................41
2.10 แบตเตอรี่ (Battery)....................44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ระบบปฏิบัติการ Linux และ Ubuntu 47
2.12 ระบบปฏิบัติการที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์ (ROS - Robot Operating System) 48
2.13 ไจโรสโคป (Gyroscope) 49
2.14 บอร์ด Arduino Due 50
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 52
3.1 รูปแบบและโครงสร้างหุ่นยนต์ 52
3.1.1 การออกแบบโครงหุ่นยนต์ 51
3.1.2 การออกแบบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 55
3.2 การเขียนโปรแกรมและซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ 63
3.2.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 63
3.2.2 การสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ในระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ (ROS) 65
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 71
4.1 รูปแบบ และโครงหุ่นยนต์ (Robot frame) 71
4.2 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Motor control) 72
4.3 การแสดงผลของ Depth camera: Intel RealSense D435 74
4.4 การเก็บแผนที่ (gmapping) 75
4.5 ระบบนำทางหุ่นยนต์ (Navigation system) 78
4.6 การแสดงผล และควบคุมหุ่นยนต์ผ่านอุปกรณ์ควบคุม (Remote PC) 80
บทที่ 5 บทสรุป 82
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 82
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ 82
5.3 แนวทางในการพัฒนางานวิจัย 83
เอกสารอ้างอิง 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงแผนการดำเนินงาน....................5
ตารางที่ 2 ตัวอย่าง Node ในกระบวนการโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล....................8
ตารางที่ 3 บทบาทหน้าที่ของคลังสินค้าในโรงพยาบาล....................11
ตารางที่ 4 รูปแบบการขนส่งสินค้าภายในโรงพยาบาล....................19
ตารางที่ 5 ตัวอย่างความถี่ในการเบิกจ่ายสินค้าของโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง....................20
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของกล้อง RealSense....................36
ตารางที่ 7 แสดงหลักการทำงานของระบบ mecanum wheel....................41
ตารางที่ 8 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของ Intel RealSense D435....................62
ตารางที่ 9 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของ Lidar แต่ละตัว....................63
ตารางที่ 10 Ziegler–Nichols method....................64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 กิจกรรมพื้นฐาน 13 กิจกรรมบนระบบโลจิสติกส์ 7

ภาพที่ 2 ระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล 9

ภาพที่ 3 ลักษณะกายภาพของคลังสินค้าในโรงพยาบาล 11

ภาพที่ 4 การแยกกันของระบบสารสนเทศในการจัดการสินค้าคงคลัง 12

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าของโรงพยาบาล 13

ภาพที่ 6 แผนผังกระบวนการจัดซื้อสินค้าของโรงพยาบาล 14

ภาพที่ 7 โครงสร้างระบบอัตโนมัติโดยใช้หุ่นยนต์ในการดำเนินงาน 22

ภาพที่ 8 ภาพตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศอัตโนมัติในโรงพยาบาล 23

ภาพที่ 9 ตัวอย่าง Software Hospital Information System (HIS) 24

ภาพที่ 10 ภาพตัวอย่างหุ่นยนต์อัตโนมัติที่ถูกใช้งานในระบบโรงงาน 25

ภาพที่ 11 มูลค่า และโอกาสทางการตลาดของหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติ 27

ภาพที่ 12 แนวโน้มการเติบโตทางการตลาดของหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติ 28

ภาพที่ 13 แสดงหุ่นยนต์ทางการแพทย์ตามประเภทการใช้งานต่างๆ 29

ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่าง single point LiDAR : laser tape 34

ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่าง Scanning LiDAR 34

ภาพที่ 16 กล้อง RealSense รุ่น R200 36

ภาพที่ 17 กล้อง RealSense รุ่น ZR300 37

ภาพที่ 18 ตัวอย่างลักษณะโดยรวมของบอร์ด Jetson nano 38

ภาพที่ 19 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของ Jetson nano 38

ภาพที่ 20 แสดงส่วน GPIO ของ Jetson nano 39

ภาพที่ 21 ตำแหน่งของตัวเชื่อมต่อขา GPIO บน Jetson nano 39

ภาพที่ 22 แสดงลักษณะของ Mecanum wheel 40

ภาพที่ 23 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 42

ภาพที่ 24 แสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแบตเตอรี่ทุติยภูมิแต่ละชนิด 47

ภาพที่ 25 แสดงลักษณะของ Gyroscope MPUMPU6050 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 26 ลักษณะและรูปแบบการหมุนของ Gyros cope 50
ภาพที่ 27 ตัวอย่างลักษณะโดยรวมของบอร์ด Arduino Due 51
ภาพที่ 28 แสดงการออกแบบในแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์...53
ภาพที่ 29 แสดงการออกแบบในแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์...53
ภาพที่ 30 แสดงการออกแบบแท่นยึดมอเตอร์ส่วนหน้า...54
ภาพที่ 31 แสดงการออกแบบแท่นยึดมอเตอร์ส่วนหลัง 54
ภาพที่ 32 แสดงแผงวงจรภายในหุ่นยนต์..55
ภาพที่ 33 ขั้นตอนการผลิตแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าจากแกลบ.................................56
ภาพที่ 34 กระบวนการผลิตนาโนซิลิกอนสำหรับใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม 57
ภาพที่ 35 ภาพปัจจุบันของโรงงานต้นแบบฯ ณ อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น...58
ภาพที่ 36 แสดงตัวอย่างเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ผลิตโดยโครงการวิจัยแบตเตอรี่ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น...58
ภาพที่ 37 เปรียบเทียบ Voltage Profile ที่ C rate ต่าง ๆ 59
ภาพที่ 38 ตัวอย่างขนาดของแบตเตอรี่...60
ภาพที่ 39 ตัวอย่างของ Battery Management System (BMS) 61
ภาพที่ 40 ตัวอย่างเครื่องอัดประจุ (Charger) ที่สามารถอัดประจุด้วยกำลังสูงสุด 300 W.......................61
ภาพที่ 41 รูปตัวอย่างเครื่องอัดประจุ (Charger) ที่สามารถอัดประจุด้วยกำลังสูงสุด 600 W 61
ภาพที่ 42 แสดงการอ่านค่าเอ็นโค้ดเดอร์ในช่วงเวลาที่กำหนด...63
ภาพที่ 43 แสดงหน้าต่างการ format SD card 65
ภาพที่ 44 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Etcher 66
ภาพที่ 45 แสดงหน้าต่างที่อาจขึ้นมาระหว่างการทำงาน 66
ภาพที่ 46 แสดงหน้าจอแสดงผลของบอร์ด Jetson nano เมื่อลง OS เสร็จและพร้อมใช้งาน................67
ภาพที่ 47 แสดง Folder ภายใน Workspace ที่ใช้งาน...67
ภาพที่ 48 แสดงตัวอย่าง Launch File ภายใน My_package1 68
ภาพที่ 49 แสดง Node ภายใน Package Navigation 69
ภาพที่ 50 แสดงการทำงานของ package ต่าง ๆ บน ROS 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 51 แสดงลักษณะโดยรวมของโครงสร้างภายนอกของหุ่นยนต์ 71
ภาพที่ 52 แสดงการจัดวางองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในส่วนฐานของหุ่นยนต์..72
ภาพที่ 53 แสดงตัวอย่างการต่อ DC Motor เข้ากับบอร์ด Dual motor driver...................................72
ภาพที่ 54 แสดงตัวยึดรอบมอเตอร์ยึด สีน้ำเงิน และตัวยึดแป้นมอเตอร์ด้านหน้า (สีขาว) 73
ภาพที่ 55 แสดงขั้นตอนการปริ้นตัวยึดมอเตอร์ด้วย 3D Printer..73
ภาพที่ 56 แสดงตัวอย่างโค้ดในการรับคำสั่งในโปรแกรม Arduino 74
ภาพที่ 57 แสดงกราฟความถี่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์
ผ่าน Serial plot ในโปรแกรม Arduino 74
ภาพที่ 58 แสดงการแสดงผลในรูปแบบ Video stream ของกล้อง RealSense D435 75
ภาพที่ 59 แสดงแผนที่บนหน้าต่างโปรแกรม Rviz...76
ภาพที่ 60 แสดงแผนที่สภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์ ขณะทำการเก็บข้อมูลแผนที่...................................76
ภาพที่ 61 แสดงตัวอย่างโค้ดภายใน launch file ของ gmapping 77
ภาพที่ 62 แสดงลำดับขั้นการแปลง frame ต่าง ๆ ทั้งความถี่ เวลา และค่าดีเลย์ของแต่ละ frame 77
ภาพที่ 63 แสดงแผนที่สภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์ ขณะทำการเก็บข้อมูลแผนที่...................................78
ภาพที่ 64 แสดงตัวอย่างโค้ดภายใน launch file ของ navigation 79
ภาพที่ 65 แสดงการทำงาน และความเชื่อมโยงของแต่ละ node ใน navigation system 79
ภาพที่ 66 แสดงการใช้งานคำสั่ง SSH เพื่อเข้าควบคุม และสั่งงานหุ่นยนต์ผ่าน remote PC 80
ภาพที่ 67 แสดงหน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม VNC สำหรับเข้าควบคุมหุ่นยนต์จากระยะไกล 81
ภาพที่ 68 แสดงหน้าแอปพลิเคชันที่ใช้งานบนสมาร์ทโฟน..84
ภาพที่ 69 แสดงแผนผังการติดตั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ในหุ่นยนต์ 85
ภาพที่ 70 แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่ประยุกต์ใช้กับ Lidar sensor แสดงผลบน Rviz.........................70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงพยาบาลเป็นองค์กรที่มีระบบบริหารจัดการภายในค่อนข้างซับซ้อน ทั้งยังต้องการความละเอียดอ่อน และความแม่นยำสูงในการจัดการข้อมูล อุปกรณ์ วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ยาและ เวชภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ อาหาร รวมถึงตัวผู้ป่วย และวัสดุเฉพาะทางอื่น ๆ ที่ใช้ในการรักษา เป็นต้น ซึ่งสิ่งดังกล่าวเป็นทรัพยากรที่สำคัญ และมีผลกระทบต่อชีวิตของผู้เข้ารับบริการทางการรักษา ทั้งนี้เนื่องจากการจัดส่งวัสดุ และข้อมูลในโรงพยาบาลมีความซับซ้อน ทำให้แต่ละหน่วยงานในโรงพยาบาลยังไม่สามารถเชื่อมต่อข้อมูล ระหว่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระบบไม่มีการติดตาม และการตรวจสอบย้อนกลับ ยาและเวชภัณฑ์ ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์เกิดปัญหาหรือต้องเรียกคืน

ระบบการจัดการด้านยาและเวชภัณฑ์ หรือระบบยาและเวชภัณฑ์ เป็นระบบที่สำคัญอย่างยิ่งระบบหนึ่งในโรงพยาบาล ที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพ ในด้านการบริหารจัดการ การสื่อสาร และประสานงานร่วมกันของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านยาและเวชภัณฑ์ภายในโรงพยาบาล กิจกรรมเกี่ยวกับการขนส่งดังกล่าว มีจุดมุ่งหมายเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุจากจุดเก็บหรือคลังสินค้า ไปยังจุดที่มีความต้องการใช้งานวัสดุนั้น ๆ โดยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในแง่ของความครบถ้วน ถูกต้อง ในสภาพที่สมบูรณ์และตรงกำหนดเวลาอย่างทันท่วงที กิจกรรมของระบบยาและเวชภัณฑ์เหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงาน ความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ รวมถึงความพร้อมของการให้บริการทางการแพทย์ภายในโรงพยาบาล และเนื่องจากระบบการจัดส่งดังกล่าว จำเป็นต้องดำเนินการผ่านบุคลากรทางการแพทย์หลายหน่วยงาน นั่นหมายถึงอาจก่อให้เกิดความล่าช้า และความข้อผิดพลาดจากขั้นตอนการทำงาน นอกจากนี้การจัดส่งยาและเวชภัณฑ์ แต่ละครั้งสิ้นเปลืองทรัพยากรทั้งทางด้านบุคคล และเวลา รวมถึงเป็นการเพิ่มภาระงานที่ไม่จำเป็นให้แก่บุคลากรภายในโรงพยาบาล ด้วยเหตุผลดังกล่าวระบบอัตโนมัติจึงเริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้น เพื่อรองรับปริมาณของผู้เข้ารับการรักษาที่เพิ่มสูงขึ้น และเพื่อให้การดำเนินงานของหน่วยงานทางการแพทย์เป็นไปอย่างราบรื่น และมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันได้มีการนำหุ่นยนต์อัตโนมัติต่าง ๆ เข้ามาใช้งานในโรงพยาบาล ด้วยความคาดหวังที่ว่าหุ่นยนต์เหล่านั้นจะเข้ามาทำงานแทนที่บุคลากรในโรงพยาบาลในส่วนงานที่มีความยุ่งยาก ซ้ำซ้อน และต้องการความแม่นยำสูง ทั้งมีข้อดีในด้านของการลดต้นทุนการจ้างงานบุคลากรในส่วนงานที่ไม่จำเป็น เพื่อให้เกิดการย่นระยะเวลาในการทำงาน มีจุดมุ่งหวังในการลดความผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในด้านของการทำงาน รวมถึงในด้านของการรักษา ทั้งเพิ่มความสามารถในการรองรับผู้ป่วยที่ต้องการเข้ารับการรักษา ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากจำนวนประชากรผู้สูงอายุในอนาคต

หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์ เป็นนวัตกรรมที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อตอบโจทย์ปัญหาดังกล่าว โดยตัวหุ่นยนต์จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดส่งอาหาร ยาและเวชภัณฑ์ ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยงานด้วยกันเองหรือหน่วยงานกับผู้ป่วยซึ่งจะถูกควบคุมการทำงานด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ผ่านเทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะ ซึ่งจะจำลองพื้นที่ใช้งานเพื่อเป็นแผนที่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังบริเวณต่าง ๆ ได้ตามที่กำหนดโดยการระบุพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ เทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์นี้จะถูกประยุกต์การทำงานร่วมกับกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหว ที่สามารถตรวจจับความลึกได้ ทำให้หุ่นยนต์มีคุณสมบัติจดจำวัตถุหรือบุคคล รวมถึงสภาพแวดล้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อัตโนมัติ เป็นผลให้การทำหน้าที่จัดส่งยาและเวชภัณฑ์ไปสู่เป้าหมายตรงตามกำหนดเวลาตามความต้องการของผู้ใช้เป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ ครบถ้วนสมบูรณ์ และไม่เกิดความผิดพลาดระหว่างดำเนินการ หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารในโรงพยาบาลด้วยระบบนำทางอัตโนมัตินี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดภาระงานที่ไม่จำเป็นของบุคลากรในโรงพยาบาล ให้ตัวบุคลากรได้มุ่งเน้นการทำงานไปกับการดูแลรักษาผู้ป่วยอย่างเต็มศักยภาพ ทั้งยังเพิ่มความปลอดภัย ลดความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาด ลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในแง่ของการจ้างบุคลากรสำหรับภาระงานที่ไม่จำเป็นในระยะยาว อาจรวมถึงช่วยในการลดปริมาณขยะที่เกิดจากระบบติดตาม ส่งต่อ และรายงานผลในรูปแบบเอกสารแบบเก่า เพิ่มความสะดวกสบาย ทั้งยังช่วยให้การบริหารจัดการระบบยาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ง่ายต่อการติดตามผล และตรวจสอบย้อนกลับยาและเวชภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์เกิดปัญหาหรือต้องเรียกคืน นอกจากนี้เทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์จัดส่งยาและเวชภัณฑ์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการจัดส่งพัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์หรือเวชภัณฑ์อื่น ๆ ได้ทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปสู่ระบบติดตามดูแลผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุภายในบ้านจากการระบุพิกัดของตัวหุ่นยนต์ได้อีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารภายในโรงพยาบาลที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้เทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะ ทั้งสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติจากการรับรู้และจดจำสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมสำหรับสั่งงานหรือควบคุมหุ่นยนต์

1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการรวมทั้งวิธีการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ (Simultaneous Localization and Mapping: SLAM) ของเทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะที่ใช้ในหุ่นยนต์

1.2.4 เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีตรวจจับวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์ (Light Detection and Ranging: LiDAR) และกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ประมวลผลเป็นภาพสามมิติ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้

1.2.5 เพื่อพัฒนาวิธีการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ของเทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในด้านของความละเอียด และความสามารถในการรับภาพ โดยมีความแม่นยำ และความกว้างมากยิ่งขึ้น

1.2.6 เพื่อพัฒนาระบบการจัดการด้านยาและเวชภัณฑ์ รวมทั้งอาหารในโรงพยาบาลให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.7 เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้งพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีใหม่ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากทฤษฎีการสร้างแผนที่และการระบุตำแหน่งด้วยกล้องวิดีโอสามารถตั้งสมมติฐานการวิจัยได้ดังนี้

1.3.1 ถ้าการประยุกต์ใช้ SLAM ด้วย LiDAR ซึ่งเป็นวิธีการสร้างแผนที่ด้วย laser scanner มีระยะการตรวจจับกว้างกว่าวิธีการสร้างแผนที่ด้วยกล้องของ Depth camera จริงดังนั้นการประยุกต์ใช้ LiDAR ร่วมกับ Depth camera จะทำให้ระยะของการตรวจจับและสร้างแผนที่กว้างยิ่งขึ้น

1.3.2 ถ้าการประยุกต์ใช้ SLAM ด้วย Depth camera ซึ่งเป็นวิธีการสร้างแผนที่ด้วยกล้องมีความละเอียดและรวดเร็วยิ่งกว่า วิธีการสร้างแผนที่ด้วย laser scanner ของ LiDAR ดังนั้นการประยุกต์ใช้ Depth camera ร่วมกับ LiDAR จะทำให้ความละเอียดภาพ และความรวดเร็วในการสร้างแผนที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 วิธีการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ (SLAM)

รูปแบบในการอธิบายแผนที่และวิธีการในการแก้ปัญหา SLAM นั้นมักจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์วัดค่า (Sensor) ที่ใช้ซึ่งอุปกรณ์ที่เป็นที่นิยมในการใช้งาน SLAM ได้แก่ อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ (Laser Range Finder), กล้องวิดีโอ (Video Camera) และล่าสุดอุปกรณ์ที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากก็คือ Kinect อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์เป็นอุปกรณ์วัดระยะที่ใช้หลักการสะท้อนของแสงและวัดเวลาในการเดินทางมาคำนวนเป็นระยะทาง ข้อดีของอุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ก็คือ การรู้ระยะทางระหว่างสิ่งแวดล้อมกับหุ่นยนต์ทำให้มีความสะดวกในการสร้างแผนที่ อีกทั้งอุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ ยังถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำ ส่วนข้อเสียก็คือ เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง และวัดค่าได้ช้า (เมื่อเทียบกับกล้องวิดีโอ) เพราะต้อง Scan ค่าทีละเส้น อีกทั้งอุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ นั้นไม่มีข้อมูลภาพทำให้หาความสัมพันธ์ระหว่าง Frame ของข้อมูลได้ยาก

กล้องวิดีโอเป็นอุปกรณ์รับภาพจากสิ่งแวดล้อม ข้อดีของกล้องวิดีโอก็คือ กล้องวิดีโอนั้น จะให้ข้อมูลของสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก (ข้อมูลภาพ) การตอบสนองต่อข้อมูลสิ่งแวดล้อมค่อนข้างเร็วทันการณ์ (Real-time) ราคาถูก (เมื่อเทียบกับ อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์) ข้อเสียของกล้องวิดีโอก็คือ กล้องวิดีโอต้องอาศัยแสงจากภายนอกเพื่อช่วยในการรับภาพ จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของแสงจากสภาพแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อการทำงานของกล้องได้ง่าย นอกจากนี้เนื่องจากกล้องวิดีโอไม่มีข้อมูลระยะ ทำให้ไม่สามารถสร้างแผนที่โดยอาศัยภาพเพียงภาพเดียวได้ (ต้องใช้หลายภาพประกอบกัน)ทำให้การนำข้อมูลมาใช้นั้นมีความยุ่งยาก ใช้เวลาในการประมวลผลนาน

การใช้กล้องวิดีโอสำหรับการสร้างแผนที่นั้น อาศัยหลักการพื้นฐานคือ จะใช้ภาพสิ่งแวดล้อมในมุมมองที่ต่างกันเพื่อ Triangulate หาระยะของสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแผนที่ต่อไป แต่เนื่องจากว่ากล้องวิดีโอแบบทั่วไป มีมุมมองภาพที่แคบทำให้เป็นไปได้ยากที่จะได้ภาพสิ่งแวดล้อมเดิมในตำแหน่งที่ต่างกัน ทำให้ในการใช้งานจริง จึงต้องมีวิธีเคลื่อนกล้องพิเศษ ไม่อาจเคลื่อนไปมาโดยอิสระได้ ในหลาย ๆ งานวิจัยได้หลีกเลี่ยงปัญหาการไม่มีข้อมูลระยะของกล้องวิดีโอด้วยการใช้กล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตอริโอ (Stereo Camera) ซึ่งการใช้ก็จะช่วยให้ได้ข้อมูลความลึกของภาพทำให้สามารถสร้างแผนที่และระบุตำแหน่งได้สะดวกขึ้น [9]

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบระบบหุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์ซึ่งในระบบประกอบด้วย

1.5.1 ระบบพิกัดอัจฉริยะ สำหรับเทคโนโลยีนำทางที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติจากการรับรู้และจดจำสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ โดยการทำงานร่วมกันของเทคโนโลยีตรวจจับวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์ โดยใช้เลเซอร์เซ็นเซอร์ รุ่น RPLidar-A2 และกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ประมวลผลเป็นภาพสามมิติ Intel RealSense รุ่น D435

1.5.2 โครงหุ่นยนต์จากอะลูมินัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 606 มิลลิเมตรและส่วนสูง 995 มิลลิเมตร

1.5.3 ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมสำหรับสั่งงานหรือควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้โอเพนซอร์ส เฟรมเวิร์คสำหรับเขียน หรือพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ (Robot Operating System : ROS) เวอร์ชัน melodic บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu 18.04 และประมวลผลบนบอร์ด Jetson Nano

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.6.1 พัฒนาหุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารภายในโรงพยาบาลที่สามารถเคลื่อนที่โดยเทคโนโลยีนำทางด้วยระบบพิกัดอัจฉริยะไปยังเป้าหมาย และสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยอัตโนมัติ

1.6.2 พัฒนาระบบซอฟต์แวร์หรือโปรแกรม สำหรับสั่งงานหุ่นยนต์

1.6.3 พัฒนาระบบการจัดส่งยาและอาหารภายในโรงพยาบาลที่มีประสิทธิภาพ ลดความผิดพลาด เวลาและต้นทุนในการทำงาน รวมทั้งลดภาระงานของบุคลากรทางการแพทย์

1.6.4 เรียนรู้วิธีการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ (Simultaneous Localization and Mapping: SLAM) ในสามมิติ ที่มีความละเอียดสูง ถูกต้องและแม่นยำ

1.6.5 เรียนรู้ระบบการทำงาน และโครงสร้างของเทคโนโลยีตรวจจับวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์ (Light Detection and Ranging: LiDAR) และกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.6.6 พัฒนาและฝึกฝนทักษะการทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบโครงสร้าง การใช้งานอุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ การเขียนโปรแกรม รวมทั้งประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องในการทำงาน

1.6.7 เป็นแนวทางในการต่อยอดเทคโนโลยีไปสู่ระบบติดตามดูแลผู้ป่วย ผู้สูงอายุภายในบ้านจากระบบการระบุพิกัดของตัวหุ่นยนต์ หรือพัฒนาเทคโนโลยี และนวัตกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงานตั้งแต่ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ณ ห้อง 308 อาคาร B คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 1 แสดงแผนการดำเนินงาน

ที่	การดำเนินการ	ระยะเวลาในการดำเนินงาน (2562-2563)											
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งออกแบบหุ่นยนต์	×	×										
2	ลงมือสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ		×	×									
3	พัฒนาระบบซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์			×	×								
4	ทดสอบซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์					×							
5	รายงานความก้าวหน้า						×						
6	พัฒนาระบบซอฟต์แวร์สำหรับการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์						×						
7	พัฒนาระบบซอฟต์แวร์สำหรับการสร้างแผนที่โดยใช้แสงเลเซอร์และกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหว							×	×				
8	พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการเดินอัตโนมัติและหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์								×	×			
9	ทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบและปรับปรุงระบบการทำงาน										×	×	
10	สรุปผลการทดลอง											×	
11	จัดทำรูปเล่มรายงาน												×

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานที่เกี่ยวกับการจัดการระบบยาและเวชภัณฑ์ภายในโรงพยาบาลในปัจจุบันนั้น จะทำงานภายใต้การดูแลของพยาบาลและบุคลากรตามหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งในด้านของการดำเนินงาน การจัดการทรัพยากร และการจัดการสารสนเทศ ทั้งนี้ในส่วนระบบงานดังกล่าว จะถูกออกแบบและดำเนินการแยกส่วนตามแต่ละหน่วยงาน ทำให้การประสานงานหรือการเชื่อมต่อระบบงานของแต่ละหน่วยงานยังเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ยากต่อการติดตาม และตรวจสอบ รวมทั้งเสียเวลาและทรัพยากรบุคคลอย่างไม่จำเป็น ทั้งในส่วนของระบบสารสนเทศยังมีการดำเนินงานในรูปแบบเอกสาร ส่งผลให้การส่งต่อข้อมูลแต่ละหน่วยงานจำเป็นต้องให้พยาบาลเป็นผู้ดำเนินการ ในส่วนดังกล่าวนี้หุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารด้วยระบบนำทางอัตโนมัติจะเข้ามามีบทบาท ทำหน้าที่แทนบุคลากรทางการแพทย์ในการนำส่งยา อาหาร เอกสาร ไปจนถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์หรือเวชภัณฑ์ใด ๆ ก็ตาม ระหว่างหน่วยงานกับหน่วยงานหรือกระทั่งหน่วยงานกับตัวของผู้ป่วย

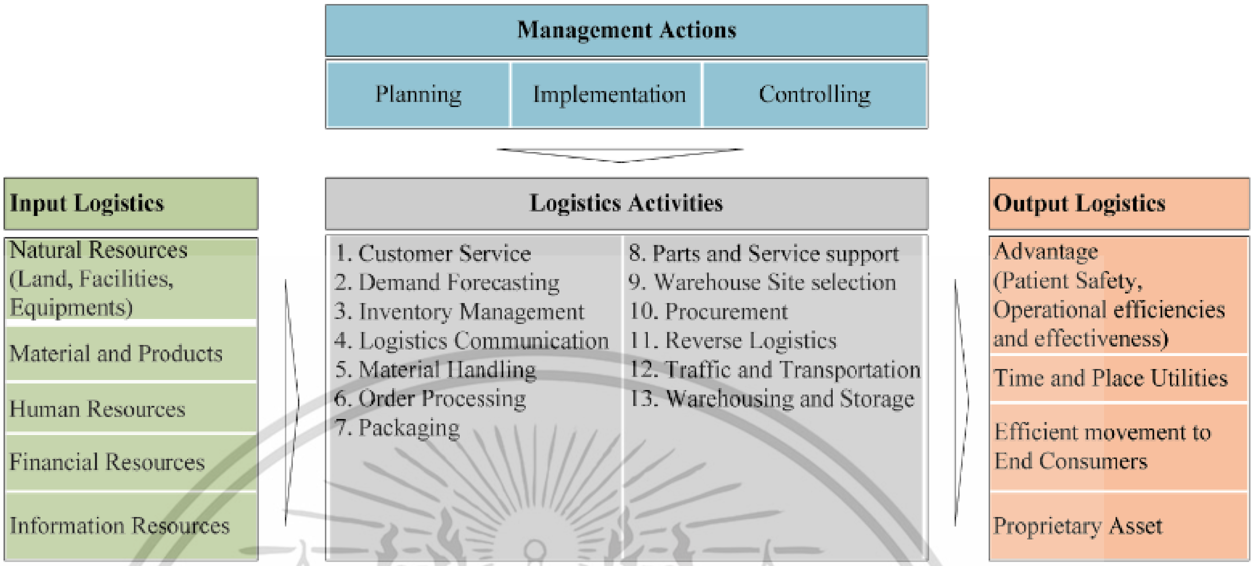
2.1 ระบบโลจิสติกส์ภายในโรงพยาบาล

ความปลอดภัยในการรักษาพยาบาลผู้ป่วย (Patient Safety) ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญทางการแพทย์ เป็นอย่างมาก โดยกระบวนการในการรักษาแต่ละขั้นตอนมีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดได้ โรงพยาบาลเป็นองค์กรที่มีผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ยาและเวชภัณฑ์อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ เป็นต้น ซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญและมีผลกระทบต่อชีวิตผู้เข้ารับบริการทางการรักษา แต่การไหลของวัสดุคนและข้อมูลในโรงพยาบาลมีความซับซ้อน ทำให้แต่ละหน่วยงานในโรงพยาบาลยังไม่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระบบไม่มีข้อมูลในการติดตามและสอบย้อนกลับยาและเวชภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์เกิดปัญหาหรือต้องเรียกคืนสินค้า [1]

โลจิสติกส์เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล ซึ่ง Stock และ Lambert ได้นิยามการไหลนี้ไว้ใน 3 รูปลักษณ์ คือ

1) สินค้า/บริการ (Material Flow) เป็นการไหลในรูปของ Physical Movement
2) ข้อมูล (Information Flow) เป็นการไหลของข้อมูลเพื่อการสื่อสาร เช่น ต้องการสินค้าอะไร จำนวนเท่าใด ราคาสินค้ากี่บาท เป็นต้น
3) เงินหรือผลตอบแทนอื่น (Financial Flow) เช่น ค่าสินค้าหรือบริการที่ต้องจ่ายเพื่อแลกกับสินค้า หรือบริการที่ได้รับ และการไหลที่เกิดขึ้นนี้มุ่งเน้นความสำคัญที่ตัวสินค้าหรือบริการเป็นหลัก โดยมีเป้าหมายว่าไหลอย่างไรจึงจะเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นเพื่อตอบโจทย์ประสิทธิภาพนี้ระบบโลจิสติกส์ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของ 13 กิจกรรม ตามภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 กิจกรรมพื้นฐาน 13 กิจกรรมบนระบบโลจิสติกส์ [1]

2.1.1 องค์ประกอบของระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล

นอกจากนี้ในการศึกษาระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลจะครอบคลุมใน 2 มิติไปพร้อมกันด้วย คือ มิติการจัดการกระบวนการ (Operation Management) และมิติการจัดการสารสนเทศ (Information Management)ทั้งนี้หากวิเคราะห์โดยภาพรวมระบบโลจิสติกส์สุขภาพทั้งในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ในระดับประเทศ ระดับขนาดกลาง เช่น โรงพยาบาลชุมชน หรือขนาดเล็กอย่าง โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) สามารถมอง ได้เป็น 3 องค์ประกอบใหญ่ๆ ได้แก่

2.1.1.1 Nodes & Links

องค์ประกอบส่วนหนึ่งของระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล ประกอบด้วยการขนส่งซัพพลายต่างๆและการขนส่งสำหรับส่วนงานสนับสนุนบริการสุขภาพ จากจุดต้นทางเชื่อมโยง (Link) ไปยังหน่วยงานต่างๆ (Node) เพื่อโรงพยาบาลสามารถให้บริการต่อผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย Node คือ โรงพยาบาล และซัพพลายเออร์ส่วน Link คือ กระบวนการทางธุรกิจ (Business Process) ระหว่างโรงพยาบาลกับซัพพลายเออร์เช่น การสั่งซื้อ การผลิต การจัดเก็บ

การปฏิบัติการโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลจึงแบ่งได้Node และ Link โดยพบว่ามี Node ที่เกี่ยวข้องอยู่ใน 3 กลุ่มงานคือ งานบริการผู้ป่วยนอก งานบริการผู้ป่วยใน และงานสนับสนุนบริการ มีรายละเอียด ดังนี้

1. งานบริการผู้ป่วยนอกรับผิดชอบงานบริการการพยาบาลผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจรักษาโรคทั่วไปหรือรับการรักษาในคลินิกพิเศษที่โรงพยาบาลเปิดให้บริการ โดยไม่ต้องนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาลโดยทั่วไปแล้วผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล มักเป็นผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บป่วยเล็ก ๆ น้อย ๆ ไม่จำเป็นต้องรอดูอาการ หรือเป็นผู้ป่วยที่มาพบแพทย์ตามที่นัดไว้เพื่อตรวจอาการเจ็บป่วย ซึ่งงานบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลประกอบด้วย งานผู้ป่วยนอก (โรคทั่วไป, คลินิกพิเศษ) งานอุบัติเหตุ-ฉุกเฉิน งานฉีดยา-ทำแผล งานห้องผ่าตัด-วิสัญญีงานทันตกรรม งานห้องคลอด แพทย์แผนไทย และงานเวชกรรมฟื้นฟู (กายภาพบำบัด)

2. งานบริการผู้ป่วยในรับผิดชอบงานบริการการพยาบาลแก่ผู้ป่วยที่แพทย์รับไว้รักษาต่อในโรงพยาบาลเช่น ผู้ป่วยหนัก ผู้ป่วยที่รอผ่าตัด เป็นต้น โดยโรงพยาบาลให้การพยาบาลครอบคลุมต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตามสภาพปัญหา และความต้องการในการดูแลรักษาของผู้ป่วยแต่ละรายตามแผนการรักษาของแพทย์เฝ้าระวังอันตราย ภาวะแทรกซ้อน และแก้ไขปัญหาที่เกิดจากภาวการณ์เจ็บป่วยของผู้ป่วยใน

3. งานสนับสนุนบริการรับผิดชอบปฏิบัติงานร่วม หรือสนับสนุนการปฏิบัติงานของหน่วยบริการผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง หรือที่ได้รับมอบหมาย เพื่อให้งานบริการผู้ป่วยของโรงพยาบาลไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตอบสนองความพึงพอใจของผู้รับบริการ ตัวอย่างงานสนับสนุนบริการของโรงพยาบาลประกอบด้วย งานเวรเปล งานเวชระเบียน ห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์งานรังสีวินิจฉัยงานเภสัชกรรมหน่วยจ่ายกลาง-ซักรีด งานโภชนาการ และงานคลังสนับสนุนอื่น ๆ เช่น วัสดุการแพทย์วัสดุสำนักงาน งานบ้าน เป็นต้น

จากข้างต้น สามารถสรุป Node ในกระบวนการโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลทั้ง 3 กลุ่มงานที่เกี่ยวข้อง คือ งานบริการผู้ป่วยนอก งานบริการผู้ป่วยใน และงานสนับสนุนบริการ ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง Node ในกระบวนการโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล [1]

งานบริการผู้ป่วยนอก	งานบริการผู้ป่วยใน	งานสนับสนุนบริการ
งานผู้ป่วยนอก	หอผู้ป่วยใน	เวรเปล
อุบัติเหตุ-ฉุกเฉิน		เวชระเบียน-ห้องบัตร
งานฉีดยา-ทำแผล		ห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์
ผ่าตัด-วิสัญญี		รังสีวินิจฉัย
ทันตกรรม		เภสัชกรรม
งานห้องคลอด		หน่วยจ่ายกลาง-ซักรีด
แพทย์แผนไทย		โภชนาการ
เวชกรรมฟื้นฟู (กายภาพบำบัด)		งานคลังสนับสนุนอื่นๆ
อื่นๆ -		

2.1.1.2 Materials Management

Material หรือสินค้า เป็นบุคคล วัตถุ หรือสิ่งของ ที่ไหลอยู่ในกระบวนการโลจิสติกส์เพื่อบริการ หรือสนับสนุนบริการให้โรงพยาบาลสามารถให้บริการตามขอบเขต ภารกิจที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งสามารถแบ่งสินค้าเหล่านี้ออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ ผู้ป่วย สินค้า และขยะ ตามรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ป่วย ครอบคลุมผู้ป่วยนอกที่มารับบริการ ผู้ป่วยใน ผู้ป่วยคลอด และผู้ป่วยรับส่ง ต่อมาจากโรงพยาบาลเครือข่าย และผู้ป่วยส่งต่อไปรักษาในโรงพยาบาลอื่น

สินค้า ครอบคลุมยา อาหารผู้ป่วย เวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุทันตกรรม วัสดุชันสูตร วัสดุการแพทย์ทั่วไป ครุภัณฑ์การแพทย์เวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ เครื่องผ้า และวัสดุสำนักงานต่าง ๆ

ขยะ ครอบคลุมขยะทั่วไป ขยะติดเชื้อ และขยะนำกลับมาใช้ใหม่

2.1.1.3 Information Management

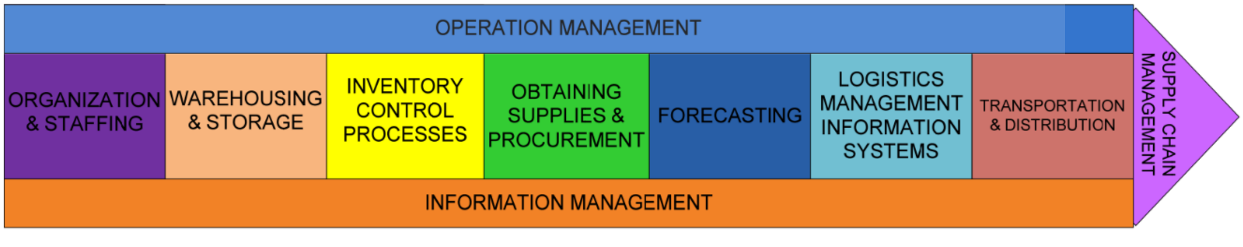
ข้อมูลสารสนเทศ เป็นข้อมูลที่ผูกติด สัมพันธ์หรือผลักดันให้เกิดการไหลของสินค้าในกระบวนการโลจิสติกส์ของโรงพยาบาล ข้อมูลสารสนเทศเป็นตัวขับสำคัญที่ก่อให้เกิดการไหลต่างๆ ทั้งหมดในโรงพยาบาล ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลสารสนเทศออกเป็น 2 กลุ่มคือ ข้อมูลสัมพันธ์กับตัวผู้ป่วย และข้อมูลสัมพันธ์กับสินค้า ตามรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลสัมพันธ์กับตัวผู้ป่วย เป็นข้อมูลสารสนเทศที่สัมพันธ์โดยตรงกับตัวผู้ป่วย เช่น ข้อมูลในเวชระเบียนผู้ป่วย ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ผลการเอ็กซเรย์รายละเอียดการสั่งยาแก่ผู้ป่วย เป็นต้น

ข้อมูลสัมพันธ์กับสินค้า เป็นข้อมูลสารสนเทศที่สัมพันธ์กับตัวสินค้า เช่น ยอดคงเหลือ คุณภาพของสินค้า ข้อมูลใบเบิกสินค้า ใบเบิกยาและเวชภัณฑ์ใบนำส่งสินค้าระหว่างหน่วยบริการต่างๆ เป็นต้น

2.1.2 การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล

หลักการการจัดการห่วงโซ่อุปทานเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมกิจกรรมและทรัพยากรทั้งระบบ จึงได้สามารถนำมาวิเคราะห์การจัดการระบบโลจิสติกส์โรงพยาบาลในประเทศไทยได้ในการวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ด้าน โดยแต่ละด้านสามารถวิเคราะห์ได้ 2 มิติ สรุปได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 หน่วยงานและบุคลากรที่รับผิดชอบดูแลกระบวนการโลจิสติกส์ (Organization and Staffing) บุคลากรเป็นกลไกที่สำคัญยิ่งในการดำเนินงานตามกระบวนการโลจิสติกส์งานโลจิสติกส์ตามกรอบ การศึกษานี้ครอบคลุมกิจกรรมการคัดเลือกสินค้า ประเมินผู้ขาย ต่อรองราคา วางแผนการใช้และจัดหาสินค้า ประมาณการยอดการใช้งานสินค้า จัดเก็บและกระจายสินค้าให้ถึงมือผู้รับบริการ รวมถึงการบำรุง รักษาดูแล เครื่องมือและอุปกรณ์เช่น ชั้นวางสินค้า รถเข็น เทอโมมิเตอร์ เป็นต้น ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

ในโรงพยาบาลส่วนมากไม่มีแผนก ฝ่ายหรือหน่วยงานโลจิสติกส์ในแผนผังองค์กรโดยเฉพาะ การดำเนินงานใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานโลจิสติกส์เช่น การคัดเลือกสินค้า จัดหาหรือจัดซื้อสินค้า เก็บรักษาสินค้า และจัดส่ง แจกจ่ายสินค้า อยู่ภายใต้ขอบเขตงานของฝ่ายหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบสินค้านั้นๆ กล่าวคือ ฝ่ายเภสัชกรรมรับผิดชอบงานโลจิสติกส์ของยาและเวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุการแพทย์ หน่วยทันตกรรมรับผิดชอบ วัสดุทันต กรรม ห้องชันสูตรรับผิดชอบวัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์และ ฝ่ายบริหารทั่วไป รับผิดชอบครุภัณฑ์และวัสดุสำนักงาน

ส่วนงานขนส่ง แจกจ่ายสินค้า หน่วยสนับสนุนบริการหรือหน่วยบริการผู้ป่วยเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบงานขนส่ง เคลื่อนย้าย ขึ้นกับชนิดของสินค้า เช่น หอผู้ป่วยเป็นผู้มารับยาและเวชภัณฑ์ตามใบสั่งแพทย์และวัสดุการแพทย์ทั่วไป หน่วยซักรีด ดูแล รับผิดชอบ เก็บรวบรวมผ้าสกปรกใช้แล้วนำไปซักรีด เป็นต้น

ตามแผนผังองค์กรโดยมากพบว่าโรงพยาบาลมีคณะกรรมการบริหารที่มีผู้อำนวยการเป็นประธานและมีหัวหน้ากลุ่มงานต่างๆ เป็นกรรมการ คณะกรรมการดังกล่าวมีบทบาท ความรับผิดชอบในการพิจารณางบประมาณในการจัดซื้อยา เวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุการแพทย์วัสดุทันตกรรม วัสดุชันสูตรและวัสดุสำนักงานครุภัณฑ์ต่างๆ มีการประชุมเป็นวาระ มีกรอบเวลาชัดเจน เพื่อพิจารณาปรับแผนการจัดซื้อให้สอดคล้องกับสภาวการณ์ ณ ขณะเวลานั้น

2.1.2.2 คลังหรือพื้นที่ในการจัดเก็บ รักษาสินค้า (Warehousing and Storage) เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการบริหารจัดการพื้นที่ เพื่อจัดเก็บ ดูแลและรักษาสินค้าคงคลังให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ครอบคลุมงานเก็บรักษาสินค้า การจัดการพื้นที่ในคลังสินค้า ดูแลอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ที่จำเป็นในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ภายในคลังสินค้า เช่น รับสินค้า ตรวจสอบและตรวจรับสินค้าตรวจนับยอดคงเหลือของสินค้า เบิกจ่ายและรับคืนสินค้า เป็นต้น

คลังส่วนมากในโรงพยาบาลจะมีพื้นที่ รั้วรอบขอบชิดในการเก็บสินค้า มีการบันทึกรายการรับจ่ายสินค้า และสามารถตรวจสอบยอดคงเหลือ ณ ขณะเวลาใดเวลาหนึ่งได้โดยมากจะมีคลังสินค้า 2 ประเภทด้วยกัน คือ (1) คลังเวชภัณฑ์เก็บรักษายาและเวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุการแพทย์ วัสดุทันตกรรม และวัสดุชันสูตร (2) คลังพัสดุเก็บรักษาวัสดุสำนักงาน งานบ้าน งานครัวลักษณะของคลังในโรงพยาบาลจะแบ่งออกได้เป็นคลังเดี่ยวและคลังแยก ดังนี้

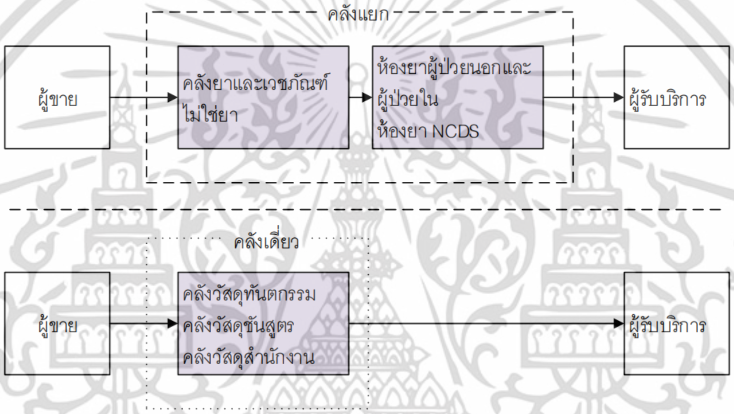
คลังเดี่ยว เป็นคลังสินค้าที่ทำหน้าที่เบิกจ่ายสินค้าให้กับผู้รับบริการโดยตรง ไม่มีคลังย่อยหรือจุดพักสินค้าย่อยๆ อื่นๆ อีก เช่น คลังเวชภัณฑ์ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของยา เวชภัณฑ์วัสดุการแพทย์ที่เบิกเพื่อสำรองคลังและ คลังวัสดุสำนักงาน งานบ้าน งานครัว

คลังแยก เป็นคลังสินค้าที่ทำหน้าที่จัดเก็บสินค้าเช่นเดียวกับคลังเดี่ยว แต่มีคลังย่อยหรือจุดพักย่อยๆ อื่นอีก ก่อนส่งมอบสินค้านั้นให้กับผู้รับบริการ คลังสินค้าของโรงพยาบาลที่เข้าข่ายคลังแยก ประกอบด้วย คลังเวชภัณฑ์ในส่วนของยาและเวชภัณฑ์ตามใบสั่งแพทย์ซึ่งนอกจากคลังดังกล่าวแล้ว ยังมีการสำรองยาและเวชภัณฑ์ในห้องยาผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยใน ในโซ่อุปทานก่อนส่งมอบให้กับผู้รับบริการในที่สุด

ตัวอย่างลักษณะคลังในโรงพยาบาล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะกายภาพของคลังสินค้าใน

บทบาทและหน้าที่ของคลังสินค้าของโรงพยาบาล สามารถอธิบายตามรายละเอียดใน

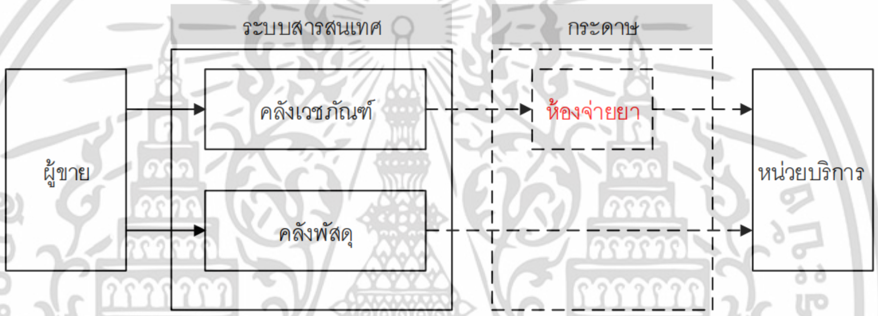
ตารางที่ 3 บทบาทหน้าที่ของคลังสินค้าในโรงพยาบาล [1]

คลังสินค้า	บทบาท หน้าที่
คลังเวชภัณฑ์	• เก็บรักษายา ตามลักษณะของยาเช่น ยาน้ำ ยาเม็ด ยาฉีด ยาครีม ยาควบคุมอุณหภูมิ ยาเสพติด ยาออกฤทธิ์ต่อจิตประสาท ยาช่วยชีวิต เป็นต้น • เก็บรักษาเวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา เช่น น้ำเกลือ สำลี เจล ยาล้างแผล เป็นต้น • เก็บรักษาวัสดุการแพทย์ เช่น หลอดทดลอง หน้ากากอนามัย กระบอกฉีดยา หัวเข็ม เป็นต้น • เก็บรักษาวัสดุที่ใช้ในงานทันตกรรม • เก็บรักษาวัสดุที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ เช่น หลอดเจาะเลือด น้ำยาในการวิเคราะห์ เป็นต้น
คลังพัสดุ	เก็บรักษาวัสดุสำนักงาน วัสดุอุปกรณ์ น้ำยาที่ใช้งานทำความสะอาด อะไหล่ใช้ในงานซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจกรรมหลักของคลังสินค้ามีการตรวจรับสินค้า การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ จัดเก็บ และการเบิกจ่ายให้กับผู้รับบริการ รวมถึงการตรวจนับยอดคงเหลือของสินค้าตามรอบเวลาที่กำหนด เช่น ทุก ๆสัปดาห์หรือทุก ๆ เดือน เป็นต้น รายละเอียดข้อมูลที่มีบันทึกในขั้นตอนรับจ่ายสินค้าของคลังสินค้าพบว่า มีการบันทึกข้อมูลอย่างน้อยดังนี้ชื่อสินค้าจำนวนและหน่วยนับที่ขอเบิก เลขที่ล๊อตการผลิต และวันหมดอายุของสินค้านั้น ๆ

อย่างไรก็ตาม พบว่าการติดตามยอดคงเหลือของสินค้า (On Hand) สามารถติดตามได้เฉพาะสินค้าที่มีการจัดเก็บอยู่ภายในคลังสินค้าหลักเท่านั้น เมื่อมีการเบิกจ่ายออกจากคลังหลักไปแล้วระบบจะตัดยอดคงเหลือออกจากระบบสารสนเทศในทันทีแม้ว่าตามข้อเท็จจริง สินค้านั้นๆ ยังไม่ได้นำไปใช้งานก็ตาม ส่งผลให้ยอดคงเหลือของสินค้าในระบบสารสนเทศแสดงผลเฉพาะสินค้าที่จัดเก็บในคลังหลักเท่านั้น ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแยกกันของระบบสารสนเทศในการจัดการสินค้าคงคลัง [1]

2.1.2.3 การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Control Processes) เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง ทั้งนี้ปริมาณสินค้าส่งผลกระทบต่อโรงพยาบาลในแง่ของเงินทุนที่ใช้ไปในการสำรองสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้รับบริการ หากมีการสำรองสินค้าคงคลังไว้มากแม้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้รับบริการได้ดีแต่ในขณะเดียวกันปริมาณสินค้าคงคลังที่มากนี้ก็ย่อมส่งผลต่อโรงพยาบาลในแง่ของการเสียโอกาสในการนำเงินทุนไปหมุนเวียน เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้า ดังนั้นการบริหารระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการในต้นทุนที่เหมาะสมนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งของโรงพยาบาลในภาวะปัจจุบัน โดยปกติแล้วโรงพยาบาลมักจะมีการสำรองคลังสินค้าใน 6 กลุ่มคือ (1) ยา (2) เวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา (3) วัสดุการแพทย์ (4) วัสดุทันตกรรม (5) วัสดุชันสูตร (6) วัสดุสำนักงาน

ส่วนสินค้ากลุ่มที่ไม่มีการสำรองคลังคือ เครื่องผ้า และส่วนประกอบอาหารผู้ป่วย อย่างไรก็ตาม พบว่า วัสดุสำนักงานมีการสำรองคลังน้อยมาก เนื่องจากมีการจัดซื้อในพื้นที่เมื่อมีความต้องการใช้งาน เมื่อรับสินค้าแล้ว ส่งมอบต่อให้กับผู้รับบริการทันที ระยะเวลาในการเก็บสินค้าสำรองคลังขึ้นกับกลุ่มสินค้าในโรงพยาบาลโดยมากเฉลี่ยที่ 1.5-2 เดือน เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้รับบรการิ และครอบคลุมความแปรปรวนในการส่งมอบสินค้าของผู้ขาย อย่างไรก็ตาม พบว่ายังมีเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

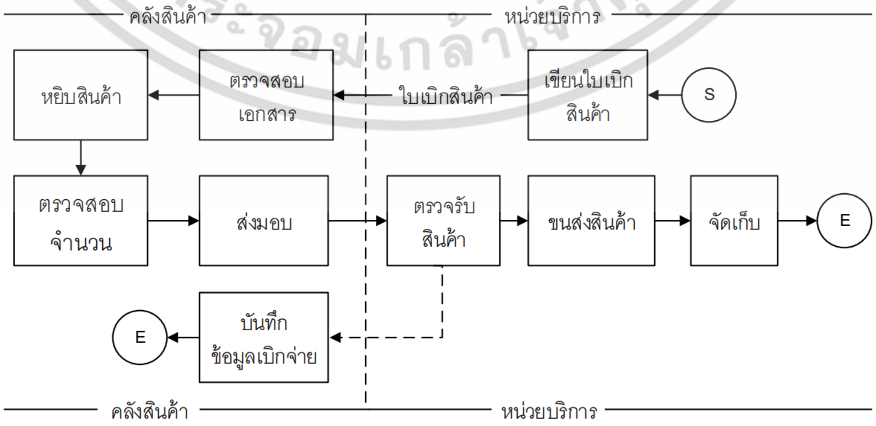
สินค้าขาดคลัง การส่งคืน แลกเปลี่ยนสินค้ากับผู้ขาย อันเนื่องมาจากสินค้าเสื่อมสภาพหรือหมดอายุของสินค้านั้นๆ เนื่องจากสินค้าคงคลังของโรงพยาบาลส่วนมากมีลักษณะเป็นคลังแยกตามที่กล่าวมาข้างต้น และมีการจัดเก็บกระจายอยู่สถานีต่างๆ เช่น คลังหลัก ห้องจ่ายยาหอผู้ป่วย เป็นต้น เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานสินค้าได้ทันท่วงที

การบริหารสินค้าคงคลังของโรงพยาบาล แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ สินค้าตามใบสั่งแพทย์และสินค้าสำรองคลัง ตามรายละเอียด ดังนี้

สินค้าตามใบสั่งแพทย์	เป็นการบริหารจัดการยาและเวชภัณฑ์ที่แพทย์เป็นผู้สั่งจ่ายไม่มีการเก็บสต๊อกย่อยในหน่วยบริการ เป็นการให้บริการตรงกับผู้ป่วยเป็นรายๆ ไป ตามแผนการรักษา พยาบาล
สินค้าสำรองคลัง	เป็นการบริหารจัดการยา เวชภัณฑ์วัสดุการแพทย์วัสดุสำนักงาน ที่ใช้สนับสนุนการดำเนินงาน เช่น แอลกอฮอล์ถุงมือ เจลล้างมือ วัสดุสำนักงาน เป็นต้น ซึ่งหน่วยบริการเป็นผู้เบิกออก และนำไปใช้งานตามความจำเป็นในหน่วยบริการนั้นๆ

การเบิกสินค้า เพื่อใช้กับผู้ป่วยตามใบสั่งแพทย์เป็นการเบิกวันต่อวัน ส่วนการเบิกเพื่อสำรองคลังความถี่ขึ้นกับคลังสินค้าและหน่วยบริการจะตกลงกัน ว่าให้มีการเบิกในวัน เวลาใด การเบิกจ่ายสินค้า หน่วยบริการหรือผู้ร้องขอเป็นผู้ออกเอกสารใบเบิกสินค้าส่วนจำนวนที่ขอเบิกในแต่ละครั้ง อาศัยข้อมูลอัตราการใช้ย้อนหลังเฉลี่ย อัตราการใช้ณ ขณะเวลาปัจจุบัน ยอดคงเหลือ ณ ขณะเวลาปัจจุบัน และแนวโน้มความต้องการเพิ่มเติมอื่นๆ ที่หน่วยบริการพิจารณาแล้วเห็นว่ามีจำเป็นต้องสำรองสินค้าให้มากขึ้น เช่น มีผู้ป่วยเฉพาะโรคที่อาจใช้วัสดุเภสัชกรรมบางชนิดมากขึ้น เป็นต้น

ในการเบิกจ่ายสินค้า ใช้การเบิกจ่ายตามใบเบิกสินค้าเป็นรายๆไป (Order Picking) ไม่มีการนำใบเบิกสินค้าหลายๆ ใบมารวมกันแล้วทำการเบิกสินค้าในครั้งเดียว ขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าของโรงพยาบาล [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

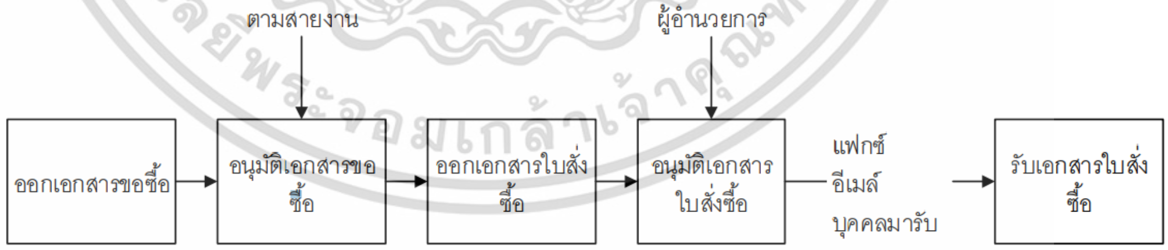
การตรวจนับสินค้าคงเหลือ ณ ขณะเวลาใดๆ พบว่า ใช้วิธีเทียบจำนวนสินค้าคงเหลือในระบบสารสนเทศกับยอดคงเหลืออยู่จริงที่จัดเก็บในคลังสินค้า กรณีที่คลังสินค้าไม่มีระบบสารสนเทศรองรับ อาศัยบัญชีคุมสินค้าเป็นเครื่องมือเทียบแทนความถี่ในการนับ

อย่างไรก็ตาม พบว่ายังไม่มีการนำเทคนิคการแบ่งกลุ่ม ตามปริมาณการเคลื่อนไหวของสินค้า (ABC) เข้ามาใช้ประโยชน์ในการนับสินค้าแต่อย่างใด โรงพยาบาลมีการนับสินค้ารายปีๆ ละครั้ง ตามระเบียบกรมบัญชีกลาง กรณีที่ยอดคงเหลือแตกต่างกันระหว่างสินค้าที่มีอยู่จริงกับที่มีในระบบคอมพิวเตอร์หรือบัญชีคุมสินค้า ต้องทำบันทึกรายงานสิ้นปีต่อคณะกรรมการเพื่อดำเนินการสอบสวนสาเหตุและดำเนินการปรับปรุงยอด หรือสั่งการอื่นๆ ตามความเหมาะสมในการปรับปรุงยอดสินค้าต่อไป

2.1.2.4 กระบวนการจัดหา จัดซื้อ หรือทำให้ได้มาซึ่งสินค้าที่ใช้ในหน่วยบริการ (Obtaining Supplies and Procurement)

เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการจัดหา จัดซื้อสินค้า ครอบคลุมการคัดเลือกผู้จำหน่าย กำหนดช่วงเวลาและปริมาณในการสั่งซื้อ และประสานงานการจัดส่งสินค้า เพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าในเวลาที่ถูกต้องและเพียงพอต่อความต้องการใช้งานของหน่วยบริการต่าง ๆภายในโรงพยาบาล

การจัดซื้อสินค้าต่าง ๆ ของโรงพยาบาลอิงตามระเบียบระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ. 2535 และ ระเบียบบริหารจัดการด้านยาและเวชภัณฑ์มิใช่ยา พ.ศ. 2557 ส่วนงานการจัดหา จัดซื้อสินค้า ดำเนินการเป็นเอกเทศแยกตามกลุ่มสินค้า ดังนี้คือ ฝ่ายเภสัชกรรมเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดหา จัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุการแพทย์ทั่วไป ฝ่ายบริหารทั่วไปเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบวัสดุสำนักงานห้องปฏิบัติการเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดซื้อวัสดุชันสูตร แต่มีวัสดุชันสูตรทั่วไปที่ใช้ร่วมกับเครือข่าย รพ.สต. ฝ่ายเภสัชกรรมเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดซื้อในสินค้ากลุ่มนี้และหน่วยทันตกรรม เป็นผู้รับผิดชอบในกระบวนการจัดซื้อวัสดุทันตกรรมทั้งหมด ตัวอย่างขั้นตอนการจัดซื้อสินค้าของโรงพยาบาลแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนผังกระบวนการจัดซื้อสินค้าของโรงพยาบาล [1]

รูปแบบการสั่งซื้อของโรงพยาบาลชุมชน มี 2 ลักษณะคือ จัดซื้อร่วมโดยสาธารณสุขจังหวัด และจัดซื้อทั่วไปที่โรงพยาบาลดำเนินการเอง รายละเอียดในการสั่งซื้ออธิบาย ดังนี้

จัดซื้อร่วม เป็นการสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์วัสดุการแพทย์ที่มีอัตราการใช้ในปริมาณมาก คือยากลุ่ม NCDs (การต่อรองราคา) และยาที่มีการใช้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Economic of Scale) โรงพยาบาลจะส่งความต้องการใช้ยาและเวชภัณฑ์ให้กับสาธารณสุขจังหวัดเพื่อจัดหาราคากลางและคัดเลือกผู้ขาย

จัดซื้อทั่วไป เป็นการจัดซื้อที่โรงพยาบาลดำเนินการซื้อตรงกับผู้ขาย ขณะเดียวกันก็มีการจัดซื้อให้กับเครือข่าย รพ.สต. ด้วย

โรงพยาบาลมีการทำแผนจัดซื้อรายปีเพื่อสำรองสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้รับบริการที่คาดว่าจะเข้ารับบริการในปีถัดไป ส่วนการเรียกเข้าสินค้าในแต่ละช่วงเวลาใช้ใบสั่งซื้อเป็นกลไก

ในการจัดซื้อระหว่างปีมีการจัดซื้อแยกตามกลุ่มสินค้าคือ ยาและเวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุทางการแพทย์และพัสดุและครุภัณฑ์วิธีปฏิบัติคือ ให้หน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลรักษาสินค้านั้นๆ เป็นผู้พิจารณาจำนวนในการสั่งซื้อแต่ละครั้ง โดยอาศัยข้อมูลอัตราการใช้ย้อนหลังเฉลี่ย ยอดคงเหลือของสินค้า ณ ขณะเวลาปัจจุบันและแนวโน้มการใช้สินค้าในอนาคต เช่น ณ เวลาขณะนั้นๆ มีภาวะการแพร่ระบาดของโรคตามฤดูกาล ก็จะมีการสั่งซื้อยาสำรองคลังเพิ่มขึ้น จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point) คือ ยอดคงเหลือของสินค้ามีน้อยกว่าค่าอัตราการใช้เฉลี่ย 1 เดือน จะมีการเติมเต็มสินค้าดังกล่าวในจำนวนรวมเท่ากับ 1.5-2 เดือน

เมื่อได้จำนวนสินค้าที่ต้องการสั่งซื้อแล้ว หน่วยงานเป็นผู้ออกใบสั่งซื้อ และอนุมัติตามขั้นตอน ในการสั่งซื้อต้องผ่านการอนุมัติจากผู้อำนวยการทุกครั้ง กรณีที่การอนุมัติไม่สามารถดำเนินการได้ทัน โรงพยาบาลแก้ไขปัญหาโดยการขอยืมสินค้าจากผู้ขายมาก่อน และส่งใบสั่งซื้อตามหลังอีกที

รูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลพบว่า เมื่อผู้อำนวยการอนุมัติใบสั่งซื้อแล้ว หน่วยงานใช้การรับส่งแฟกซ์อีเมล หรือโทรศัพท์เป็นหลักในการนำส่งใบสั่งซื้อให้กับผู้ขาย ผู้ขายรายหลักคือองค์การเภสัชกรรม และบริษัทเอกชนที่เป็นผู้จัดจำหน่าย ผู้ขายยังไม่มีระบบแจ้งการจัดส่งสินค้าล่วงหน้า มีเพียงการกำหนดกรอบเวลาในการจัดส่งคร่าวๆ เช่น จัดส่งสินค้าภายในกรอบเวลา 1 เดือน เท่านั้น

นอกเหนือจากการจัดซื้อโดยตรง โรงพยาบาลยังได้รับการสนับสนุนยาและเวชภัณฑ์ผ่านโครงการเบิกชดเชยยาของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติด้วย การใช้ยาและเวชภัณฑ์ผ่านโครงการเบิกชดเชยยานั้นฝ่ายเภสัชกรรมเป็นผู้บันทึกข้อมูลการใช้ยาและเวชภัณฑ์ผ่านโปรแกรมเบิกชดเชยยาและเวชภัณฑ์ตามใบสั่งแพทย์เมื่อสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติได้รับข้อมูลการใช้ยาดังกล่าวแล้ว ก็จะสั่งซื้อและส่งมอบยาและเวชภัณฑ์ดังกล่าวชดเชยให้กับโรงพยาบาลนอกจากนี้โรงพยาบาลได้รับการสนับสนุนยาและเวชภัณฑ์โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดต้นสังกัดในพื้นที่ด้วย เป็นกรณีๆ ไป ขึ้นกับโครงการต่างๆ

ขณะเดียวกัน โรงพยาบาลยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรวบรวมยอดความต้องการยาและเวชภัณฑ์ของ รพ.สต. ในเครือข่ายและโรงพยาบาลเป็นผู้ออกใบสั่งซื้อรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการจัดซื้อสินค้าชนิดอื่นพบว่า หน่วยงานที่รับผิดชอบสินค้านั้นๆ เป็นผู้ออกใบสั่งซื้อและดำเนินการประสานงาน ติดตาม การสั่งซื้อกับผู้ขายโดยตรง เช่น การจัดซื้อวัสดุสำนักงาน ครุภัณฑ์ ฝ่ายบริหารทั่วไป เป็นผู้ดำเนินการ เป็นต้น

ปัญหาการจัดซื้อพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดซื้อใช้เวลานาน มีระเบียบขั้นตอนมาก และความไม่แน่นอนในการส่งมอบสินค้ากล่าวคือ สินค้าขาดตลาด มีการส่งมอบสินค้าล่าช้า ส่งผลให้โรงพยาบาลมีความจำเป็นต้องสำรองคลังมากขึ้น ขาดสภาพคล่องทางการเงิน โดยเฉพาะสินค้าในกลุ่มยาและเวชภัณฑ์

2.1.2.5 การประมาณการพยากรณ์ยอดความต้องการใช้สินค้า (Forecasting) เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับประมาณการความต้องการใช้งานสินค้าของหน่วยบริการต่างๆ ในอนาคต การประมาณการล่วงหน้าเป็นเครื่องมือในการวางแผนการจัดเตรียมสินค้า บุคลากร หรืออุปกรณ์มากน้อยเพียงใดหากการประมาณการมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการจัดเก็บ สั่งซื้อ หรือขนส่งสินค้ารวมไปถึงการมีสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้รับบริการ หรือในทางกลับกัน อาจมีสินค้ามากเกินความจำเป็น ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพ หมดอายุการใช้งานของสินค้านั้น

โรงพยาบาลส่วนใหญ่มีการประมาณการยอดการใช้สินค้ารายปีเพื่อทำกรอบงบประมาณในการจัดซื้อสินค้าเท่านั้น ส่วนการประมาณการยอดการใช้สินค้าในระยะย่อยลงมา เช่น รายไตรมาส รายเดือน เป็นต้น ไม่ค่อยพบการดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรมแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตาม มีการวางแผนการเติมสินค้าระหว่างหน่วยบริการและคลังสินค้ากล่าวคือมีการกำหนดปริมาณสูงสุด ของรายการสินค้าแต่ละชนิดเป็นกรอบรายการสินค้าของแต่ละหน่วยบริการเพื่อให้มีสินค้าเพียงพอต่อรอบการเบิกจ่ายสินค้านั้นๆ เช่น รอบการเบิกจ่ายคือ 1 สัปดาห์ปริมาณสูงสุดที่จัดเก็บคือให้เพียงพอต่อการใช้งานใน 1 สัปดาห์กรณีที่สินค้าสำรองในหน่วยบริการมีไม่เพียงพอ หน่วยบริการจะประสานหน่วยบริการข้างเคียงเพื่อขอยืมสินค้านั้นๆ มาใช้งานก่อน และเมื่อได้รับสินค้าตามสิทธิ์ของตนจากการเบิกจ่ายในรอบถัดไปแล้ว ก็จะชดเชยคืนให้กับหน่วยบริการที่ขอยืมสินค้านั้น หรืออาจร้องขอการเบิกสินค้าเป็นกรณีฉุกเฉินจากคลังสินค้า หากหน่วยบริการข้างเคียงประสบปัญหาเช่นเดียวกัน

โดยมากไม่ค่อยพบการประมาณการเชิงปริมาณ อันมีสาเหตุจากระบบสารสนเทศอาจจะไม่พร้อมในการรวบรวม และประมวลผลข้อมูลยอดคงเหลือและอัตราการใช้สินค้าในระดับองค์กรเพื่อประมาณการยอดการใช้สินค้า ลักษณะการประมาณการที่มองเห็นได้จะเป็น การประมาณการเชิงคุณภาพเท่านั้น

2.1.2.6 เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับจัดการกระบวนการโลจิสติกส์ (Logistics Management Information System) เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลโลจิสติกส์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพระหว่างหน่วยบริการต่างๆภายในโรงพยาบาล รวมถึงการสื่อสารกับผู้เกี่ยวข้องอื่นๆภายนอกโรงพยาบาล นับเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจในด้านต่างๆ ให้สามารถทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงพยาบาลส่วนใหญ่มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอยู่ 2 กลุ่ม คือ ระบบสารสนเทศเพื่อบริการผู้ป่วยและระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการคลังสินค้า ตามรายละเอียด ดังนี้

งานบริการผู้ป่วย สารสนเทศ	งานบริการผู้ป่วยส่วนใหญ่ ใช้โปรแกรม HOSxP เป็นระบบหลัก โดยอาจจะร่วมกับการใช้โปรแกรม LIS ในการตรวจวิเคราะห์ผลทางห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ซึ่งโปรแกรม LIS สามารถส่งข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ให้กับโปรแกรม HOSxP ได้โดยตรง เพื่อให้แพทย์วินิจฉัยสมมติฐานโรคได้รวดเร็วขึ้น
งานบริหารจัดการ คลังสินค้า	คลังเวชภัณฑ์บริหารยาและเวชภัณฑ์ไม่ใช่ยา วัสดุทางการแพทย์วัสดุทันตกรรม วัสดุชันสูตร ส่วนใหญ่ใช้โปรแกรม INV DOS หรือที่พัฒนาขึ้นเองร่วมกับบัตรคุมสินค้าในการ ควบคุมการเบิกจ่ายสินค้าส่วนคลังพัสดุ บริหารวัสดุสำนักงาน งานบ้านงานครัว ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยโรงพยาบาลหรือโปรแกรมพื้นฐาน เช่น Microsoft Access ในการควบคุมการเบิกจ่ายสินค้า

นอกจากโปรแกรมตามที่กล่าวมาข้างต้น ทางโรงพยาบาลได้มีการพัฒนาต่อยอดการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในงานต่างๆ เพิ่มเติม เช่น ใช้ระบบเอ็กซเรย์แบบดิจิทัลแทนการใช้ฟิล์มสามารถส่งข้อมูลได้ทางอิเล็กทรอนิกส์

2.1.2.7 การขนส่งและแจกจ่ายสินค้าให้กับหน่วยบริการหรือผู้ป่วย (Transportation and Distribution) เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการขนส่ง เคลื่อนย้ายสินค้าจากจุดเก็บหรือพักสินค้า (Pick-Up Location) ไปยังจุดที่มีความต้องการใช้งานสินค้านั้นๆ (Drop-Off Location) ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในแง่ของความครบถ้วน ถูกต้อง ในสภาพที่สมบูรณ์และตรงกำหนดเวลา

โรงพยาบาลส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้าย ขนส่งสินค้า 2 ลักษณะ คือ เคลื่อนย้ายผู้ป่วยและขนส่งสินค้าตามรายละเอียดดังนี้

เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	เป็นการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่เข้ามารับบริการ กรณีผู้ป่วยสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ผู้ป่วยจะเป็นผู้เดินไปตามหน่วยบริการต่างๆ ด้วยตนเอง ในทางกลับกัน หากผู้ป่วยไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้จะมีเจ้าหน้าที่ช่วยเหลือผู้ป่วย (เวรเปล) เป็นผู้รับผิดชอบในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และช่วยเหลือผู้ป่วยตามหน่วยบริการต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนส่งสินค้า	เป็นการขนส่งสินค้าต่างๆ ที่มีใช้งานในโรงพยาบาลจากจุดที่มีการจัดเก็บหรือพักสินค้าไปยังจุดที่ต้องการใช้งานสินค้านั้นๆ
การขนส่งสินค้า	สามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะย่อยคือ หน่วยบริการต้นทางนำส่ง หน่วยบริการปลายทางมารับ และแบ่งความรับผิดชอบกัน ตามรายละเอียดดังนี้
หน่วยบริการต้นทางนำส่ง	หน่วยสนับสนุนบริการเป็นผู้นำส่ง และแจกจ่ายให้กับผู้ป่วยหรือหน่วยบริการ เช่น หน่วยซักรีด นำส่งผ้าสะอาด หน่วยจ่ายกลางนำส่งเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อให้หอผู้ป่วย ห้องทันตกรรม เป็นต้น
หน่วยบริการปลายทางมารับ	หน่วยบริการมารับสินค้านั้น ณ จุดจ่ายสินค้า และนำกลับไปยังหน่วยบริการของตนเองเช่น การรับยาและเวชภัณฑ์ตามใบสั่งแพทย์การเบิกพัสดุครุภัณฑ์เป็นต้น
ผสมผสาน แบ่งความรับผิดชอบกัน	หน่วยบริการและหน่วยสนับสนุนบริการร่วมกันดำเนินการขนส่งเคลื่อนย้ายสินค้า เช่น หอผู้ป่วยทำหน้าที่เก็บรวบรวมผ้าใช้แล้ว และนำส่ง ณ จุดรวบรวมผ้าใช้แล้ว จากนั้นหน่วยซักรีดจะทำหน้าที่เก็บรวบรวมจากจุดรวบรวมผ้าใช้แล้วนำไปทำความสะอาดต่อไป หรือการเก็บกำจัดขยะหน่วยบริการเป็นผู้รับผิดชอบรวบรวมขยะที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ของตนเองและนำส่ง ณ จุดรวบรวมขยะชั่วคราวต่อจากนั้นแม่บ้านของหน่วยขยะจะเก็บรวบรวมตามจุดรวบรวมขยะชั่วคราว และนำไปกำจัดตามประเภทของขยะในลำดับถัดไป

ตามที่กล่าวมาข้างต้น รูปแบบการขนส่งสินค้าภายในโรงพยาบาลโดยส่วนมากสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 รูปแบบการขนส่งสินค้าภายในโรงพยาบาล [1]

สินค้า	ผู้รับผิดชอบ		รายละเอียดเพิ่มเติม
	ต้นทาง	ปลายทาง	
ผู้ป่วย	–	–	เวรเปลหรือตัวผู้ป่วย
อาหาร	●	–	หน่วยโภชนาการเป็นผู้นำส่งและแจกจ่ายอาหารให้ผู้ป่วย รวมถึงเก็บรวบรวมภาชนะใช้แล้ว พยาบาลมีการสุ่มเช็คอาหารเฉพาะผู้ป่วยในบางกรณีเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
ผ้า	●	–	หน่วยบริการรวบรวมผ้าใช้แล้วนำส่ง ณ จุดพัก และหน่วยซักรีดเก็บรวบรวมนำไปทำความสะอาด พร้อมจ่ายให้หน่วยบริการซึ่งจะมารับในช่วงบ่าย
ยาผู้ป่วยนอก	–	–	ผู้ป่วยรับเอง
ยาผู้ป่วยใน	–	●	หอผู้ป่วยมารับตามใบสั่งแพทย์ส่วนยาสำรองคลังมารับตามรอบเวลา
วัสดุการแพทย์	–	●	หน่วยบริการมารับที่คลังเวชภัณฑ์ตามรอบเวลา
เวชภัณฑ์	–	●	หน่วยบริการมารับที่คลังเวชภัณฑ์ตามรอบเวลา
เวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ	–	●	หน่วยบริการนำส่งเวชภัณฑ์ใช้แล้วพร้อมใบนำส่ง และแลกเปลี่ยนรับเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อตามกำหนดรอบเวลาที่ตกลงกัน
ขยะ	●	●	หน่วยบริการรวบรวม และนำส่งจุดพักขยะในบริเวณที่กำหนด และแม่บ้านของหน่วยขยะมารวบรวมและนำไปกำจัด

หมายเหตุ:● เป็นผู้ดำเนินการขนส่ง,–ไม่ใช่ผู้ดำเนินการขนส่ง

ความถี่ในการขนส่ง เคลื่อนย้ายสินค้า มีความแตกต่างกันตามชนิดของสินค้านั้น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการประมาณการยอดการใช้ของสินค้าแต่ละประเภท โดยสามารถยกตัวอย่างอธิบายรายละเอียดจากโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง ได้ดังตารางที่ 5 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ตัวอย่างความถี่ในการเบิกจ่ายสินค้าของโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง [1]

สินค้า	ความถี่ในการเบิกจ่ายสินค้า
ยาผู้ป่วยนอก	• ห้องยา เบิกจ่ายทุกวันสำหรับผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยในและผู้ป่วยอุบัติเหตุ-ฉุกเฉิน • สำหรับยาสำรองคลัง ห้องอุบัติเหตุ-ฉุกเฉิน เบิกจ่ายทุกวันนอกเวลาทำการสำหรับ ผู้ป่วยอุบัติเหตุ-ฉุกเฉิน
ยาผู้ป่วยใน	• ยาตามใบสั่งแพทย์ เบิกจ่ายทุกวัน • ยาสำรองคลังในหน่วยบริการ ยาช่วยชีวิต ยาเย็น ยาความดัน เบิกทดแทนเมื่อมีการใช้งานยาและเวชภัณฑ์นั้นๆ • น้ำเกลือสำรองคลังในหน่วยบริการ เบิกจ่ายสัปดาห์ละครั้ง
เวชภัณฑ์	เบิกจ่ายสัปดาห์ละครั้ง
วัสดุทางการแพทย์	เบิกจ่ายสัปดาห์ละครั้ง
อาหารผู้ป่วย	บริการอาหารผู้ป่วยวันละ 3 มื้อ
เครื่องผ้า	หน่วยบริการนำส่งผ้าใช้แล้วที่จุดพักและหน่วยซักรีดเก็บรวบรวมวันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้า และในช่วงบ่าย ส่วนผ้าสะอาดหน่วยบริการไปรับในช่วงบ่าย

2.2 การประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ไม่เคยหยุดนิ่งทำให้เกิดการพัฒนาหุ่นยนต์อัตโนมัติ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลาย โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมการผลิตมีการนำหุ่นยนต์ในรูปแบบต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้ การก้าวสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) ของหลายๆประเทศทั่วโลก ทำให้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ในภาคบริการเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะเทคโนโลยี AI (Artificial Intelligence) ซึ่งถือเป็นรูปแบบหนึ่งของหุ่นยนต์ที่มีความอัจฉริยะ และถือเป็นเทคโนโลยีหุ่นยนต์ล้ำสมัยที่สามารถตอบโจทย์การอยู่ร่วมกันระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์ในอนาคตได้อย่างใกล้เคียงและชัดเจนที่สุด การใช้เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในการช่วยดูแลและรักษาผู้สูงอายุที่เจ็บป่วยเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การใช้งานเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ จึงเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่บริษัทผู้ผลิตหุ่นยนต์ได้นำมาใช้แก้ปัญหาและอำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิต [2]

หุ่นยนต์ที่นำมาใช้แก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลจะลดการใช้ทรัพยากรและแรงงาน เช่น การทำหน้าที่ของพยาบาลที่ต้องเข็นหรือผลักดันรถขนของที่น้ำหนักมาก โรงพยาบาลมีการจ้างการบริการจัดส่งสินค้าที่จะส่งมอบรายการ เช่น ชุดยาและผ้า ชุดอาหาร ยารักษาโรคและวัสดุสิ้นเปลือง หรือแม้กระทั่งกากของเสียจากสถานที่หนึ่งของโรงพยาบาลไปยังอีกสถานที่หนึ่ง และสำหรับการใช้งานที่หลากหลายในการขนส่งวัสดุ ระบบจะมีส่วนช่วยให้การขนส่งวัสดุได้จำนวนครั้งที่เพิ่มมากขึ้นและใช้เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานลดน้อยลงซึ่งหุ่นยนต์สามารถมีการจัดตารางเวลาในการทำงานและผู้ใช้สามารถที่จะควบคุมระบบให้แยกประเภทการใช้งานในโรงพยาบาลที่มีการแลกเปลี่ยนกำหนดการอยู่ตลอดเวลา [2]

2.2.1 โครงสร้างระบบอัตโนมัติ

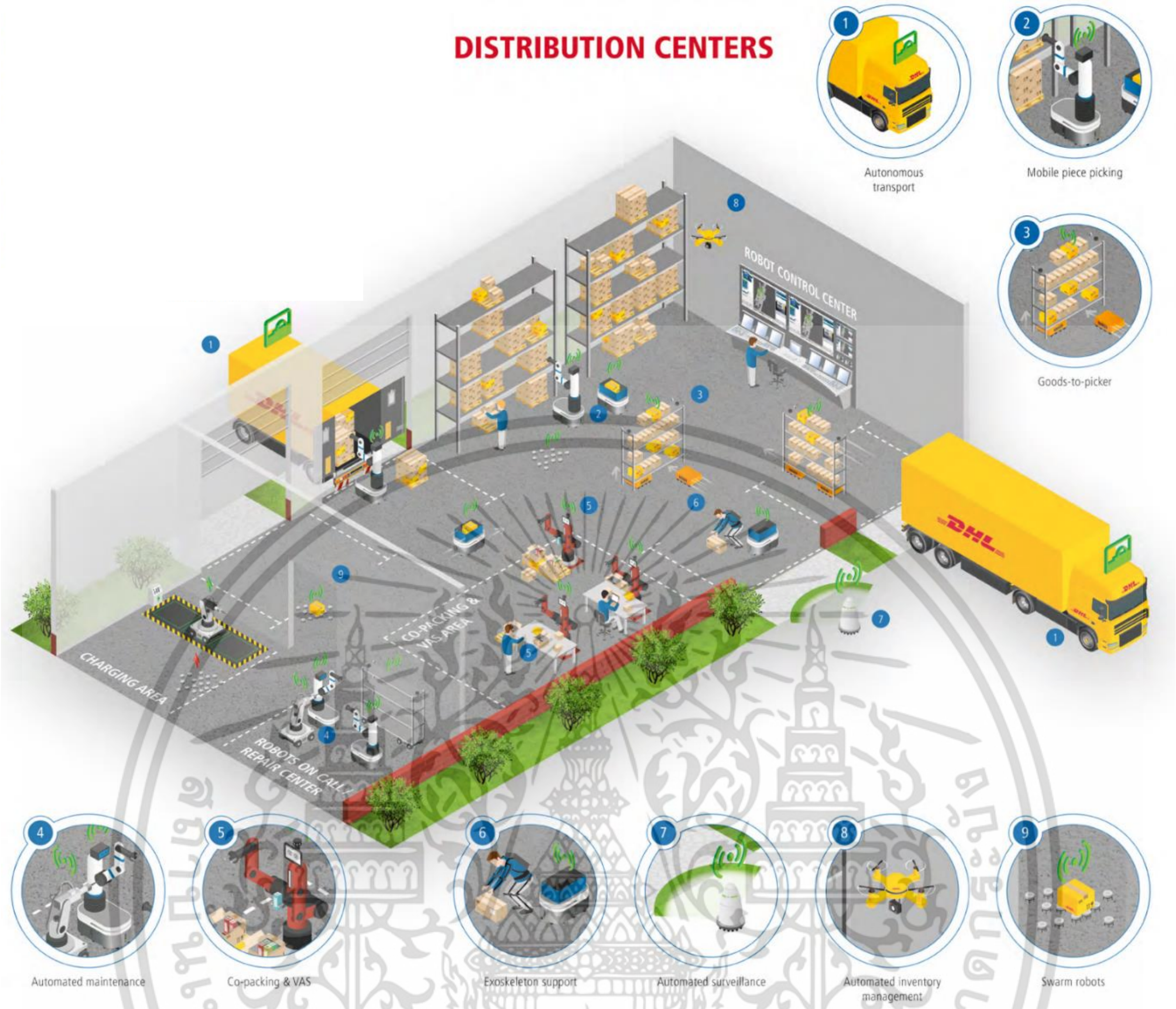
ในยุคปัจจุบันการเติบโตอย่างรวดเร็วของรูปแบบการค้าดิจิทัล ทำให้กลุ่มผู้ผลิตหลายรายต้องเผชิญกับความท้าทายทางด้านโลจิสติกส์ เพื่อตอบสนองความต้องการ และความคาดหวังของผู้บริโภคอย่างทันท่วงที ศูนย์กระจายสินค้าต่างๆ ต้องพบกับความยากลำบากในการจัดการกับคำสั่งซื้อสินค้าชนิดเดียวจำนวนมากด้วยวิธีการจัดการแบบเก่า ดังนั้นเพื่อการตอบสนองที่รวดเร็ว และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการ กลุ่มผู้ผลิตจึงมองหาระบบอัตโนมัติที่จะเข้ามาช่วยจัดการ ด้วยความคาดหวังที่จะย่นระยะเวลาในการทำงาน ให้การตอบสนองด้านกระจายสินค้าต่างๆทันท่วงที ตามคำสั่งซื้อที่เพิ่มสูงขึ้น

จากภาพที่ 7 เป็นตัวอย่างโครงสร้างการจัดระบบกระจายสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าโดยใช้หุ่นยนต์อัตโนมัติที่สามารถควบคุมการทำงานได้แบบออนไลน์ ในอนาคตโครงสร้างนี้มีแนวโน้มที่จะถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากทุกสัดส่วนงานสามารถถูกปรับปรุงและใช้หุ่นยนต์อัตโนมัติมาแทนที่การดำเนินการได้ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้การทำงาน รวมทั้งการจัดระบบงานมีความรวดเร็ว และยืดหยุ่นมากขึ้นส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและจำนวนผลผลิตที่จะผลิตได้

โครงสร้างการทำงานของระบบอัตโนมัติดังภาพที่ 7 จะเป็นการทำงานร่วมกันของหุ่นยนต์ประเภทต่างๆหลายส่วน ทั้งหุ่นยนต์สำหรับขนถ่ายสินค้า หุ่นยนต์สำหรับบรรทุกสินค้า หุ่นช่วยเหลือในการบรรจุสินค้า หุ่นยนต์ตรวจสอบหรือจัดส่งสินค้า เป็นต้น

หุ่นยนต์ทั้งหมดในระบบอัตโนมัติจะทำงานสอดประสานกันผ่านระบบจัดการคลังสินค้าขั้นสูงโดยจะมีการติดตั้งซอฟแวร์วางแผนงาน เพื่อติดตามการทำงาน และความคืบหน้าของคลังสินค้าหรือระบบงานที่กำลังดำเนินไป การทำงานผ่านระบบอัตโนมัติจะมีความแม่นยำสูงและสามารถตรวจสอบได้ทั้งยังมีความน่าเชื่อถือสูง ยิ่งไปกว่านั้นการใช้งานหุ่นยนต์อัตโนมัติแทนที่ในส่วนบุคคล หากเกิดกรณีเสียหายเราสามารถเปลี่ยนตัวหุ่นยนต์ได้ในทันที ทำให้ระบบงานไม่ชะงักและเป็นไปได้อย่างราบรื่น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 โครงสร้างระบบอัตโนมัติโดยใช้หุ่นยนต์ในการดำเนินงาน [3]

2.2.2 การประยุกต์ใช้ทางด้านสารสนเทศในโรงพยาบาล

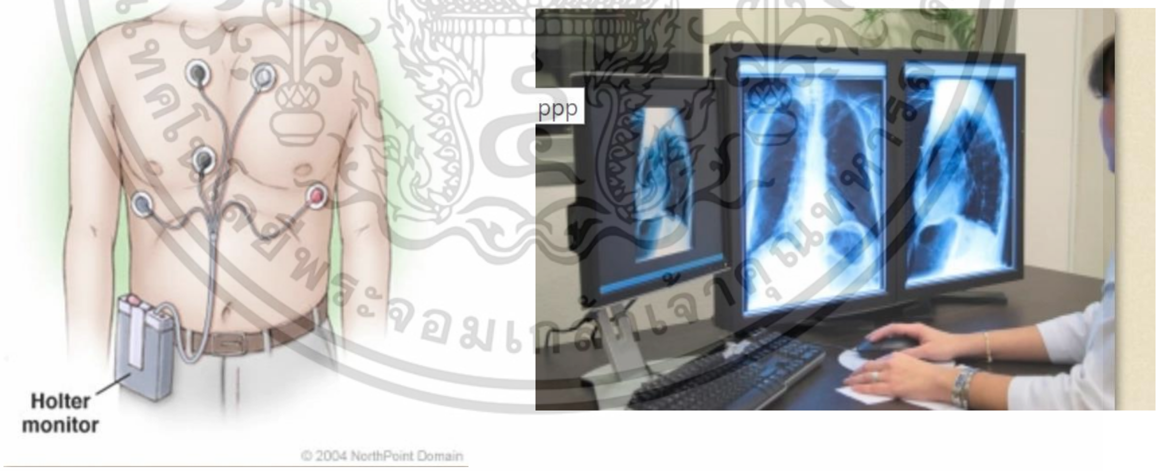
เป็นการนำระบบสารสนเทศ เทคโนโลยีสารสนเทศ มาประยุกต์ใช้ในกิจการต่าง ๆ ของโรงพยาบาล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถดำเนินการต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องตรงตามเป้าหมายหลักของโรงพยาบาล พร้อมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างถูกต้องในทุกขั้นตอน ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างเกิดประโยชน์สูงสุดประกอบด้วยระบบสารสนเทศ 2 ชนิดระบบ

2.2.2.1 ระบบสารสนเทศทางคลินิก (Clinical information system) เป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ แพทย์และพยาบาลจะใช้ระบบนี้ในการเข้าถึงข้อมูลผู้ป่วยเพื่อใช้ในการวางแผนการนำไปใช้ และการ ประเมินการดูแลผู้ป่วย

ระบบติดตาม (Monitor system)	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดทางชีวภาพแบบอัตโนมัติในหน่วยวิกฤตและหน่วยเฉพาะโรค รูปแบบของระบบติดตามจะมีการเตือนเมื่อพบสิ่งที่ผิดปกติ ระบบติดตามแบบเคลื่อนที่ การบันทึกสิ่งค้นพบที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	สามารถถ่ายโอนข้อมูลผู้ป่วยเข้าไปสู่ระบบอื่นได้ เพื่อที่จะได้มีการบันทึกข้อมูลผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องดังตัวอย่างในภาพที่ 8 (A)
ระบบห้องปฏิบัติการ (Laboratory system)	บันทึกข้อมูลผลการตรวจต่างๆ ทางห้องปฏิบัติการ สามารถเข้าถึงผลการตรวจได้อย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น ช่วยลดความผิดพลาดในการรายงานผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่เกิดจากคน ตัวอย่าง เช่น ระบบฐานข้อมูลห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา
ระบบรังสี (Radiology system)	เก็บข้อมูลเป็นภาพดิจิตอลแทนฟิล์มรังสีแบบเดิม สามารถเข้าถึงข้อมูลภาพทางรังสีได้อย่างรวดเร็วขึ้น สามารถส่งต่อภาพรังสีไปยังแหล่งอื่นๆ เพื่อส่งต่อการ รักษาไปยังโรงพยาบาลอื่น ตัวอย่าง เช่น ระบบฐานข้อมูล x-ray ของโรงพยาบาลศิริราชระบบ SIPACS ดังตัวอย่างในภาพที่ 8 (B)
ระบบเภสัชกรรม (Pharmacy system)	ให้ข้อมูลเกี่ยวกับยา สามารถเข้าถึงประวัติผู้ป่วยและการให้ยาได้ รวมทั้งประวัติการแพ้ยาและข้อมุ,ส่วนบุคคล ช่วยแพทย์ในการตัดสินใจว่ายาตัวไหนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และขนาดยาที่เหมาะสมกับผู้ป่วยการคำนวณการใช้ยา ค่าใช้จ่ายและออกใบเสร็จรับเงิน

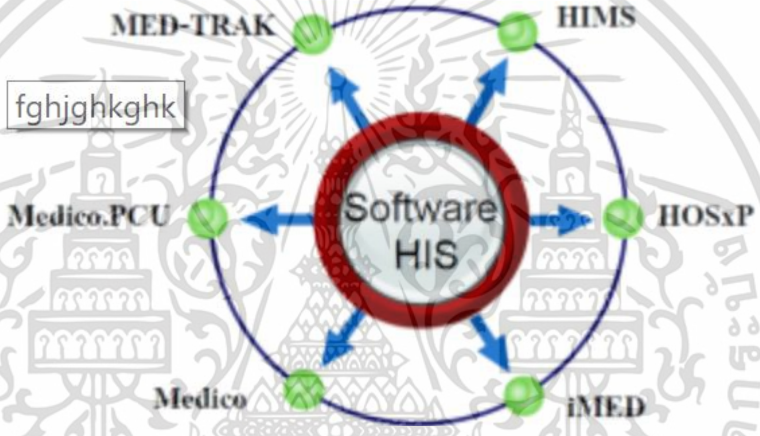


(A) ตัวอย่างระบบติดตามทางการแพทย์ (B) ตัวอย่างระบบรังสีทางการแพทย์

ภาพที่ 8 ภาพตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศอัตโนมัติในโรงพยาบาล [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ระบบสารสนเทศทางการบริหาร (Administrative information system) ตัวอย่างเช่น ระบบการลงทะเบียนผู้ป่วย ระบบเงินเดือนและทรัพยากรมนุษย์ ระบบประกันคุณภาพ ระบบการเงิน เป็นต้น โดยการประยุกต์การทำงานจริงกับระบบโรงพยาบาล ทางโรงพยาบาลจะมีการพัฒนาระบบ Instant messaging โดยใช้ระบบ Robot โดยใช้เทคโนโลยีของ Chat-Bot เมื่อผู้ป่วย login เข้ามาในระบบแล้ว ทางโรงพยาบาลมี Robot ที่ค่อยรับการติดต่อสื่อสารกับทางผู้ป่วยโดย Robot จะสอบถามรายละเอียดของตัวผู้ป่วยที่ต้องการจะนัดกับทางแพทย์ โดยจะมีรายละเอียดที่สำคัญในการสอบถาม คือ ชื่อ นามสกุล เพศ ผู้ป่วยต้องการตรวจกับแพทย์สาขาไหน วันเวลาที่สะดวก อาการป่วยเบื้องต้นของผู้ป่วย เป็นต้น จากนั้น Robot จะตรวจสอบข้อมูลที่กำหนดไว้ และทำการนัดหมายกับผู้ป่วยอีกที



ภาพที่ 9 ตัวอย่าง Software Hospital Information System (HIS) [4]

ระบบโรงพยาบาล (Hospital Information System : HIS) ประกอบด้วย ระบบผู้ป่วยใน, ระบบห้องผ่าตัด, ระบบห้องคลอด, ระบบห้องปฏิบัติการ, ระบบเวชระเบียนผู้ป่วยในระบบการเงินผู้ป่วยนอกและระบบการเงินผู้ป่วยใน ระบบสั่งอาหาร On Line Windows ประกอบด้วย ระบบเวชระเบียน, ระบบผู้ป่วยนอก,ระบบนัดหมาย, ระบบการเงินผู้ป่วยนอก, ระบบการเงินผู้ป่วยใน แสดงตัวอย่างโปรแกรมดังภาพที่ 9

Med-Tark	ซึ่งมีระบบเวชระเบียน ระบบห้องยา ระบบการเงิน ส่วนโปรแกรมสำนักงาน (back office) ที่มีใช้ช่วยในงานบริการ เช่น โปรแกรมการเงินการบัญชี โปรแกรมเงินเดือน โปรแกรมพัสดุ โปรแกรมครุภัณฑ์ เป็นต้น พัฒนาจากโปรแกรม Visual FoxPro
HOSxP	เป็นซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน สำหรับสถานพยาบาล สถานีอนามัย และโรงพยาบาล พัฒนาโดยบุคลากรที่อาสาสมัครมาจากหลายโรงพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	มีเป้าหมายที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศ ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถนำไปใช้งานได้จริงทั้งในระดับสถานีอนามัย ไปจนถึงโรงพยาบาลศูนย์
iMed	ซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน สำหรับสถานพยาบาล สถานีอนามัย และโรงพยาบาลเพื่อใช้ในการให้บริการผู้ป่วยในระบบงานส่วนหน้า (Front office) ของสถานพยาบาล ซึ่งครอบคลุมการให้บริการผู้ป่วยตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ
MIMS	ระบบงานการบริหารโรงพยาบาลในการบริหารจัดการให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว, เที่ยงตรง แม่นยำ หลีกเลี่ยงการทำงานที่ซ้ำซ้อน โดยเน้นให้ทุกฝ่ายในองค์กรใช้ฐานข้อมูลที่มีการ Access ในลักษณะ Real Time ร่วมกัน ทำให้ Output ของระบบหนึ่งจะกลายเป็น Input ของอีกความสามารถในการตรวจสอบ, จัดการ, ติดตามระบบหนึ่งโดยไม่ต้อง Re-Key ข้อมูลใหม่ ส่งผลให้เพิ่มขีดและรายงานข้อมูลที่เกิดขึ้นจากทุกฝ่ายในองค์กร [4]

2.2.3 ข้อดีของการทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์

การทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ในปัจจุบันถูกเรียกเป็น "การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สี่" ข้อมูลทางสถิติจำนวนมากเป็นหลักฐานยืนยันว่าหุ่นยนต์นั้นได้ถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งในระบบโรงงานจนถึงระบบในโรงพยาบาล ซึ่งมาพร้อมกับความแม่นยำ ผลิตผลและความยืดหยุ่น นอกจากนี้ โรงงานต่าง ๆ ยังเห็นความก้าวหน้าในหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานร่วมกับคนได้อย่างคล่องแคล่วเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการทำงาน แม้การลงทุนในตอนแรกอาจจะค่อนข้างหนักพอสมควร แต่หากมองในระยะยาวย่อมมีแต่ความคุ้มค่า

ภาพที่ 10 ภาพตัวอย่างหุ่นยนต์อัตโนมัติที่ถูกใช้งานในระบบโรงงาน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต้นทุนการผลิตที่ลดลง: ผลตอบแทนการลงทุน (ROI) ภายในเวลาอันสั้นนั้นมากกว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งครั้งแรก เมื่อมีการใช้งานหุ่นยนต์ ความรวดเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการผลิตโดยตรง

2. รอบการผลิตที่สั้นลง: ระบบการผลิตแบบลีนเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งหุ่นยนต์อัตโนมัตินั้นมีความสามารถในการทำงานที่รวดเร็วอย่างคงที่โดยไม่มีการพักเบรคหรือวันหยุด และมีศักยภาพในการผลิตในจำนวนที่มากขึ้นในเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับคนงาน

3. พัฒนาคุณภาพและสามารถไว้ใจได้: แอปพลิเคชั่นนั้นทำงานด้วยความแม่นยำและสามารถรักษามาตรฐานได้ในทุกๆครั้ง สามารถมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์จะได้รับการผลิตด้วยมาตรฐานเดียวกันทุกชิ้น ซึ่งข้อผิดพลาดนั้นเกิดขึ้นได้น้อยมาก

4. การใช้พื้นที่ภาคพื้นดินที่มีประโยชน์มากขึ้น: โดยการลดการกินพื้นที่ทำงานโดยชิ้นส่วนอัตโนมัติของสายการผลิตซึ่งคุณสามารถใช้พื้นที่สำหรับงานอื่นๆ เพื่อให้กระบวนการนั้นไหลลื่นมากขึ้น

5. ลดจำนวนขยะ: หุ่นยนต์มีความแม่นยำสูงโดยสามารถลดจำนวนของวัตถุดิบลงได้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายกับของที่เสียไป

6. ดึงดูดลูกค้ามากขึ้น: การลดระยะเวลารวมถึงค่าใช้จ่ายนั้นจะสามารถดึงดูดลูกค้า ซึ่งระบบอัตโนมัติจะให้ผลผลิตที่มากด้วยต้นทุนที่น้อยที่สุด

7. เพิ่มความปลอดภัย: หุ่นยนต์เพิ่มความปลอดภัยให้กับสถานที่ทำงาน ซึ่งจะทำให้พนักงานสามารถทำหน้ากำกับดูแลเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องลงมือทำงานที่เสี่ยงในพื้นที่อันตราย โดยจะมีที่กำบังเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานอยู่ในความเสี่ยง

8. การประหยัดมากขึ้น: สามารถช่วยคำนวนจำนวนเงินที่คุณสามารถประหยัดได้จากการใช้หุ่นยนต์ นอกจากนี้ ความปลอดภัยของคนงานที่ดีขึ้นนั้นจะนำไปสู่การประหยัดทางการเงินโดยที่ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับสุขภาพหรือการประกันภัยสำหรับพนักงาน และยังให้คุณภาพและความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งหมายความว่าลูกค้าจะกลับมาใช้บริการธุรกิจที่มากขึ้น

9. ผู้เชี่ยวชาญด้านแอปพลิเคชันหลายประเภท: การทำงานแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตเป็นการบูรณาการอุตสาหกรรมเครื่องจักรให้สามารถทำงานต่างๆได้อย่างอัตโนมัติ เช่น การเชื่อม การจัดการวัสดุ การบรรจุ การเคลื่อนย้าย การแจกจ่ายและการตัด [5]

2.3 ความต้องการของตลาดต่อหุ่นยนต์อัตโนมัติ

หุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติเริ่มเป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่รู้จักมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาบนพื้นฐานของ IoT (Internet of Things) และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ซึ่งช่วยให้หุ่นยนต์สามารถโต้ตอบและเรียนรู้กับสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ หุ่นยนต์อัตโนมัติกำลังค่อยๆปฏิวัติระบบโลจิสติกส์ให้ก้าวสู่ความทันสมัยยิ่งขึ้น ซึ่งในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะมาพร้อมกับโอกาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางการค้า จากความต้องการของตลาดที่เพิ่มสูงขึ้น ล้วนผลักดันให้เกิดการเติบโตของตลาดหุ่นยนต์ทั่วโลก

มีการคาดการณ์ว่าตลาดหุ่นยนต์ทั่วโลกในอนาคตส่วนมากจะถูกครอบครองโดยกลุ่มผู้ผลิตในภูมิภาคยุโรปเนื่องจากเม็ดเงินลงทุนจำนวนมากทางด้านการวิจัยที่ผลักดัน และส่งเสริมให้เกิดการสร้างธุรกิจสตาร์ทอัพ คาดว่าเยอรมนี และสหราชอาณาจักรจะครองตลาดหุ่นยนต์ในยุโรป ตามมาด้วยฝรั่งเศสและเนเธอร์แลนด์ ตามลำดับ นอกจากที่ทางด้านอเมริกาเหนือจะเป็นประเทศที่ตลาดหุ่นยนต์อัตโนมัติจะเติบโตได้อย่างรวดเร็วที่สุด ภายใต้แรงหนุนของกฎหมายที่ถูกปรับปรุงใหม่ รวมทั้งการยอมรับการใช้งานหุ่นยนต์อัตโนมัติ ส่งผลให้เกิดแรงกระตุ้นทางการค้าแก่กลุ่มธุรกิจในระดับประเทศ และระดับโลก [6]

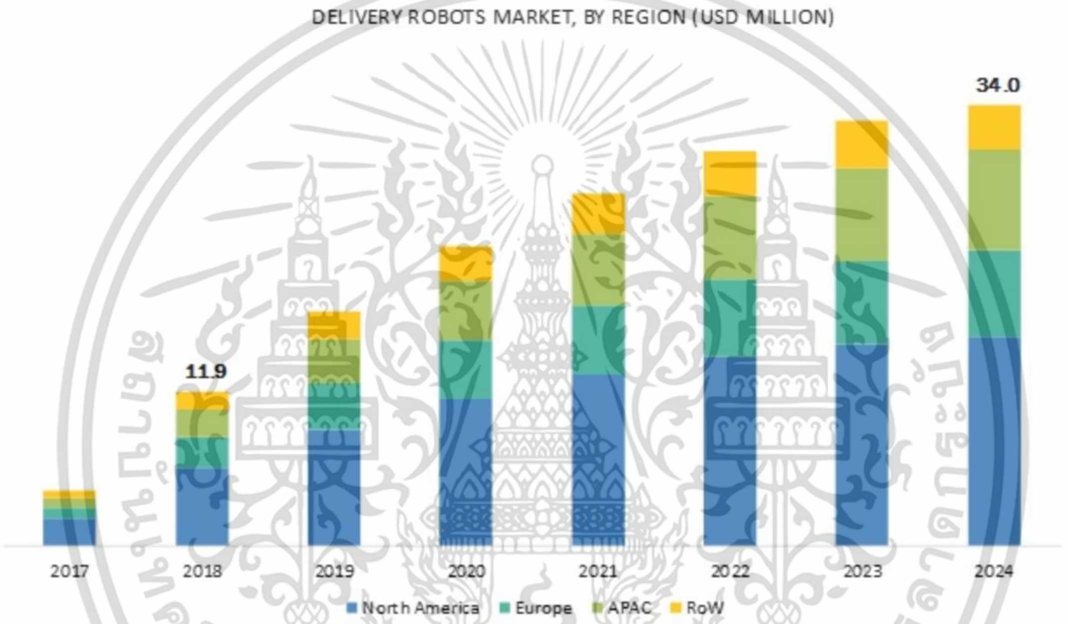
ภาพที่ 11 มูลค่า และโอกาสทางการตลาดของหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติ [7]

ในอนาคต จากภาพที่ 11 ตลาดของหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติจะมีมูลค่าที่เติบโตขึ้นจาก 11.9 ล้านเหรียญสหรัฐในปี 2018 เพิ่มขึ้นเป็น 34.0 ล้านเหรียญสหรัฐภายในปี 2024 ด้วยอัตรา CAGR 19.15% ในช่วงระยะเวลาคาดการณ์ ซึ่งในปัจจุบันจากการคำนวณค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าโดยใช้พนักงานมีมูลค่าอยู่ที่ 1.60 USD ต่อครั้ง ทว่าในทางตรงข้ามหากใช้หุ่นยนต์อัตโนมัติในการจัดส่งจะมีต้นทุนเฉลี่ยลดลงอยู่ที่ 0.06 USD ต่อครั้ง จากตัวเลขดังกล่าวจะเป็นแรงผลักดันที่ดีต่อการเติบโตของตลาดหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติ

การคาดการณ์การเติบโตของตลาดทางด้านภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกในช่วงปี 2018-2024 พบว่าในประเทศออสเตรเลียและญี่ปุ่นมีการทดสอบ และส่งมอบหุ่นยนต์ในช่วงสิ้นไตรมาสที่สองของปี 2019 คาดว่าประเทศเหล่านี้จะมีการส่งออกหุ่นยนต์ที่ถูกพัฒนาในประเทศ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการเติบโตของตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

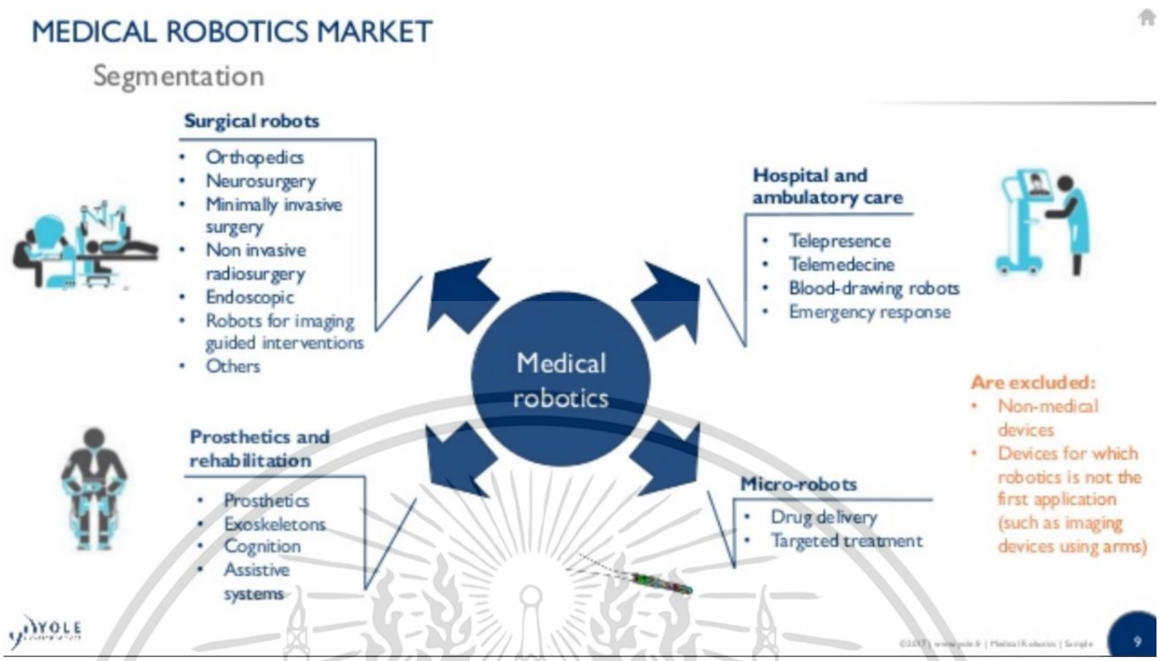
หุ่นยนต์อัตโนมัติในภูมิภาคนี้มีแนวโน้มที่ดีกว่าอย่างมาก ดังภาพเปรียบเทียบแนวโน้มทางการตลาด ภาพที่ 12 ด้วยแนวโน้มของการเพิ่มความตระหนักเกี่ยวกับศักยภาพของหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าในขณะที่มีต้นทุนต่ำกว่ากระบวนการเดิมที่ถูกใช้ในปัจจุบัน ทั้งด้วยเหตุผลที่ว่าในภูมิภาคนี้มีบริษัทยักษ์ใหญ่ทางด้านอิเล็คทรอนิกส์ เช่น Amazon, Walmart และ Alibaba จึงเกิดเป็นโอกาสที่ดีของนักลงทุนในตลาดหุ่นดังกล่าว ด้วยความต้องการสินค้าที่เพิ่มขึ้นและราคาที่ต่ำลงของชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิกส์สำคัญ จึงไม่ใช่เรื่องน่าแปลกใจที่ตลาดหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติในภูมิภาคนี้จะมีอนาคตที่สดใสกว่า [7]



ภาพที่ 12 แนวโน้มการเติบโตทางการตลาดของหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติ [7]

นอกจากหุ่นยนต์จัดส่งอัตโนมัติจะมีการเติบโตทางการตลาดอย่างเห็นได้ชัดแล้ว หุ่นยนต์ชนิดอื่นๆก็มีแนวโน้มทางการตลาดที่ดีไม่แพ้กัน ในทางการแพทย์มีการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์เข้ามามีบทบาทมากขึ้นทั้งในการผ่าตัด การตรวจวัด ไปจนกระทั่งหุ่นยนต์ผู้ช่วยจัดการในด้านงานบริการอื่น ๆที่เกี่ยวข้อง ดังภาพที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 13 แสดงหุ่นยนต์ทางการแพทย์ตามประเภทการใช้งานต่าง ๆ [8]

2.4 การระบุตำแหน่งและการสร้างแผนที่ (SLAM; Simultaneous Localization And Mapping)

การสร้างแผนที่ (Mapping) ของสิ่งแวดล้อม คือกระบวนการที่นำเอาข้อมูลการวัดที่ตรวจวัดได้จากสิ่งแวดล้อมจากอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ (Sensors) มาใช้ประกอบกันเพื่อสร้างเป็นโครงสร้างข้อมูลสำหรับอธิบายสิ่งแวดล้อม ณ บริเวณนั้น ส่วนการระบุตำแหน่ง (Localization) คือการอธิบายการวางตัวของหุ่นยนต์ หรือวัตถุต่าง ๆ ที่เราสนใจในแผนที่ โดยแผนที่นั้นอาจเป็นแผนที่ที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว หรืออาจเป็นแผนที่ ซึ่งสร้างไปพร้อม ๆ กับการระบุตำแหน่ง

ในการทำงานของหุ่นยนต์นั้น การระบุตำแหน่งและการสร้างแผนที่ (Localization and Mapping) ถือเป็นงานที่มีความสำคัญสำหรับหุ่นยนต์เป็นอย่างมาก เนื่องจากว่าหุ่นยนต์ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลแผนที่ ประกอบกับข้อมูลตำแหน่งของหุ่นยนต์ในการวางแผน เพื่อกระทำกิจกรรมต่าง ๆ ตอบสนองตามสภาพแวดล้อมนั้น อาทิเช่น การเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์สำรวจอัตโนมัติ, หุ่นยนต์กู้ภัย, หุ่นยนต์แม่บ้าน หรือ แม้แต่การหยิบจับสิ่งของ หุ่นยนต์ก็จำเป็นจะต้องรู้ตำแหน่งของ สิ่งของที่จะหยิบจับ และตำแหน่งของมือตนเองด้วย

แผนที่ที่ใช้สำหรับอธิบายสิ่งแวดล้อมของหุ่นยนต์นั้นมีได้หลายรูปแบบ ตามแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานของหุ่นยนต์ โดยอาจอยู่ในรูปแบบที่มนุษย์เข้าใจหรือไม่เข้าใจก็ได้ เช่นแผนที่ซึ่งอธิบายสิ่งแวดล้อมด้วย ตำแหน่งของจุดสำคัญต่าง ๆ , การอธิบายสิ่งแวดล้อมด้วยกลุ่มจุดจำนวนมาก (Point Cloud), การอธิบายสิ่งแวดล้อมด้วยตำแหน่งวัตถุที่หุ่นยนต์สนใจ หรือ การอธิบายสิ่งแวดล้อมด้วยโครงสร้างความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมก็เป็นได้ (Topology)

วิธีการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ (Simultaneous Localization and Mapping:SLAM) เป็นกระบวนการที่หุ่นยนต์จะสร้างแผนที่ของสภาพแวดล้อมในขณะที่กำลังเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และระบุตำแหน่งของตัวเองในเวลาพร้อม ๆ กัน โดยที่หุ่นยนต์นั้นไม่มีข้อมูลของสิ่งแวดล้อมมาก่อน ซึ่ง SLAM นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับหุ่นยนต์ที่ต้องการการโต้ตอบแบบทันการณ์ [9]

2.4.1 Monocular Vision-based SLAM

กล้องวิดีโอ (Video Camera) ถือเป็นอุปกรณ์วัดค่าที่เป็นที่นิยมใช้ในงาน SLAM มากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีราคาถูก ใช้งานง่าย ให้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีความเร็วในการรับข้อมูลสูง (Real-time) แต่ปัญหาสำหรับกล้องวิดีโอ คือ ข้อมูลที่ได้มาจากกล้องนั้นเป็นภาพในสองมิติ ดังนั้นการสร้างแผนที่สำหรับสิ่งแวดล้อมซึ่งต้องอาศัยข้อมูลระยะนั้น จึงเกิดความยุ่งยาก ในงานวิจัยหลาย ๆ งานจึงมีเทคนิคในการช่วยหาข้อมูลระยะ เช่น การใช้กล้องสเตอริโอ (Stereo Camera), การใช้กล้องวิดีโอ ร่วมกับเซนเซอร์วัดระยะอื่นเช่นอุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ (Laser Range Finder) อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่จากความเฉื่อย (inertia -sensors) หรืออุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วจากล้อ (wheel encoders), แต่ถึงกระนั้นก็ยังมีงานวิจัยที่อาศัยข้อมูลรูปภาพจากกล้องเพียงอย่างเดียวในการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่

งานระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ โดยอาศัยกล้องวิดีโอเพียงตัวเดียวที่น่าสนใจ ถูกนำเสนอโดย Davison (MonoSLAM) และ Eade และ Drummond โดยในงานของ Davison นั้นได้ใช้ EKF-SLAM ส่วน Eade และ Drummond ใช้ Fast SLAM 2.0 ในการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ ทั้งสองงานได้ใช้ตำแหน่งของ Landmark ในการอธิบายแผนที่ และก็สามารถระบุตำแหน่งของกล้องได้ดีในเวลา Real-Time อย่างไรก็ดี ข้อจำกัดของงานทั้งสองงานข้างต้นก็คือไม่สามารถทำงานในสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ได้

ในปี 2008, Klein และ Murray ได้นำเสนอ PTAM ซึ่งเป็นวิธีในการติดตามตำแหน่งของกล้อง (Tracking) และสร้างแผนที่ (Mapping) โดยใช้ Local Bundle Adjustment การใช้ Bundle Adjustment นั้นถึงแม้จะสิ้นเปลืองประสิทธิภาพในการคำนวน แต่ก็ได้คำตอบที่มีความแม่นยำสูง และการใช้ Bundle Adjustment เฉพาะส่วนบนแผนที่ ทำให้ยังคงประสิทธิภาพแบบ Real-Time ได้ อย่างไรก็ดี PTAM ได้เน้นเฉพาะในการติดตามตำแหน่งของกล้อง (Tracking) เพื่อใช้ในงาน AR (Augmented Reality) เท่านั้น การสร้างแผนที่จึงไม่สมบูรณ์เพราะไม่มีการ Close Loop วิธีการที่คล้ายคลึงกับ PTAM ก็คือการนำเอา Visual Odometry มาใช้ร่วมกับ SLAM

ในปี 2011, Civera et al. ได้นำเสนอ semantic SLAM algorithm ซึ่งเป็นการนำข้อมูล semantic จากสิ่งแวดล้อมมาช่วยในการทำงาน Monocular SLAM อย่างไรก็ดี การที่จะต้อง Learn Object Database สำหรับทำ Object Recognition ถือเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก และไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมทั่วไป

ในระยะหลังนี้การใช้กล้องวิดีโอเพียงตัวเดียวในการสร้างแผนที่แบบหนาแน่น (Dense Mapping) เริ่มเป็นที่นิยม โดยในปี 2010 Newcombe และ Davison ได้นำสนอวิธีสร้างแผนที่แบบหนาแน่นแบบ Real-Time จากจุด Feature จำนวนมาก หลังจากนั้น งานที่นำเสนอวิธีการ การติดตามตำแหน่งของกล้องและสร้างแผนที่แบบหนาแน่น (Dense Tracking and Mapping: DTAM) ซึ่งอาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภาพเพียงอย่างเดียวถูกนำเสนอโดย New combeet al. ในปี 2011 และในปีเดียวกัน Graber et al. ก็นำเสนอการสร้างแผนที่แบบหนาแน่น (Dense Mapping) ในแบบที่คล้ายคลึงกัน

ข้อดีของ DTAM ก็คือการใช้ข้อมูลทั้งหมดของภาพมาใช้ในการ การติดตามตำแหน่งของกล้อง และสร้างแผนที่ แทนที่จะใช้ข้อมูลแค่จุด Feature บางจุดจะทำให้แผนที่และตำแหน่งของกล้องมีความแม่นยำมากกว่า แต่ข้อเสียก็คือ การสร้างแผนที่แบบหนาแน่นจะใช้เวลาในการคำนวนมาก ไม่สามารถทำงานในสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ได้ และ แผนที่ยังปรับแก้ได้ยากจึงยังไม่อาจถือเป็น SLAM

2.4.2 Large Scale SLAM

ปัญหาใหญ่ของการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ในสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ ก็คือปัญหาด้านเวลาในการคำนวน (ประสิทธิภาพของ SLAM Algorithm ทั่วไปจะเป็น O (n^2) ต่อหนึ่ง step) โดยที่ n เป็นขนาดของแผนที่ เนื่องจากการทำงานของ SLAM นั้นจะใช้ค่าที่ได้จากการวัดจาก Sensor มาปรับปรุงการกระจายความน่าจะเป็นของแผนที่ทั้งหมด ทำให้เมื่อแผนที่มีขนาดใหญ่ เวลาในการคำนวนก็มากขึ้นด้วย

สำหรับงานวิจัยแรก ๆ ที่เริ่มพยายามแก้ปัญหา SLAM สำหรับแผนที่ขนาดใหญ่ ได้แก่ Hierarchical SLAM ซึ่งจะใช้วิธีตัดแบ่งแผนที่ออกเป็นหลาย ๆ ส่วนเรียกว่า Local Map แล้วจึงแผนที่ย่อยหลาย ๆ ส่วนมาต่อกันกลายเป็นแผนที่ใหญ่ สำหรับงานวิจัยนี้ถึงแม้จะเรียกว่า “ Hierarchical SLAM” แต่ความจริงแล้ว มีแผนที่เพียงสองลำดับขั้นเท่านั้นคือ Local Map และ Global Map การทำ SLAM ในแผนที่ย่อยจะสามารถรับประกันเวลาในการคำนวนได้ แต่เวลาที่ใช้ในการร่วมแผนที่จะมากขึ้นตามจำนวน Local Map อยู่ดี ดังนั้นจึงพูดได้ว่างานนี้สามารถลดเวลาในการคำนวนได้ แต่ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมยังคงเป็น O (n^2) นอกจากนี้ความแม่นยำในการคำนวนของวิธีการแบ่งแผนที่เป็น Local Map จำนวนมากจะลดลง ไม่เทียบเท่าการประมาณแผนที่แบบทั้งหมด เพราะ Local Map แต่ละอันนั้นถูกสร้างขึ้นมาแบบไม่ขึ้นต่อกัน

ในปี 2006, Udo Frese ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา SLAM สำหรับแผนที่ขนาดใหญ่ โดยใช้ TreeMap พร้อมทั้งรับประกันเวลาในการคำนวนเป็น O (log(n)) ต่อหนึ่ง step แนวคิดของ TreeMap คือการแบ่งแผนที่ให้อยู่ในลักษณะของ Tree โดย node พ่อก็จะเก็บข้อมูลที่จาเป็นของ node ลูกไว้ ส่วนขั้นตอนในการปรับแก้แผนที่ก็จะใช้การ propagate ข้อมูล ภายใน tree อย่างไรก็ดี TreeMap นั้นมีความซับซ้อน ในการ implement มากเพราะนอกเหนือจากการ propagate ข้อมูลใน Tree แล้ว ยังจะต้องจัดการ balance tree ให้มีความสมดุลทาให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวน นอกจากนี้ TreeMap ยังมีปัญหาในเรื่องการแบ่ง Tree ว่าการแบ่งแบบไหนถึงจะเหมาะสม

Divide and Conquer: EKF SLAM ถูกนำเสนอในปี 2008 โดย Paz et al. อาศัยหลักการที่ง่ายกว่า TreeMap ก็คือจะสร้างแผนที่เป็นแผนที่ย่อยจำนวนมาก (คล้าย Hierarchical SLAM) จากนั้นในขั้นตอนการรวมแผนที่จะใช้การร่วมแบบ Hierarchy ก็คือ รวมแผนที่ย่อยที่อยู่ใกล้กันให้เป็นแผนที่ที่ใหญ่ขึ้น จากนั้นก็วนซ้ำเพื่อรวมแผนที่ให้ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้แผนที่ใหญ่สุดอันเดียว เวลาในการคำนวนของ Divide and Conquer SLAM นั้นจะเป็น O (n) ต่อหนึ่ง step แต่ข้อเสียของงานวิจัยนี้ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายกับ Hierarchical SLAM ก็คือเป็นการสร้างแผนที่แบบประมาณเท่านั้น ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่เทียบเท่าการปรับแก้แผนที่พร้อมกันทั้งหมด

และในปีเดียวกัน, Piniés และ Tardós ได้นำเสนอ Large Scale SLAM โดยใช้ Conditionally Independent Local Maps ซึ่งแนวคิดของงานวิจัยนี้จะคล้ายคลึงกับงานวิจัยอื่น ๆ คือแบ่งแผนที่เป็นแผนที่ย่อยเพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ แต่ความต่างของงานวิจัยนี้ กับงาน Hierarchical SLAM และ Divide and Conquer SLAM ก็คืองานวิจัยนี้ สร้างแผนที่ย่อยแบบ Conditionally Independent นั่นคือมีความขึ้นต่อกันระหว่าง Local Map ทาให้แผนที่ร่วมมีความถูกต้องมากขึ้น

iSAM (Incremental Smoothing and Mapping) ถูกเสนอขึ้นโดย Kaess et al. ในปี 2008 โดยมีแนวคิดในการใช้ QR factorization ของ Information Matrix เพื่ออธิบายแผนที่ ซึ่งการปรับแก้แผนที่บน QR factorization จะมีประสิทธิภาพกว่าการปรับแก้บน Information Matrix เพราะขั้นตอน State Recovery นั้นสิ้นเปลืองเวลา หลังจากนั้น iSAM2 (Incremental Smoothing and Mapping version 2) ก็ถูกนำเสนอโดยมีการใช้ Bayes tree ร่วมในการอธิบายแผนที่ ทำให้ลดความซ้ำซ้อนและขั้นตอนที่ไม่จะเป็นของการคำนวณลงไปได้ นอกจากนี้คำตอบที่ได้ยังเป็น Exact Solution (เทียบเท่าการปรับแก้แผนที่พร้อมกันทั้งหมด)

นอกจากนี้ยังมีงานอื่น ๆ ที่แก้ปัญหา Full SLAM โดยมุ่งเน้นเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการทำแผนที่ขนาดใหญ่ไม่ว่าจะเป็นงาน “Hierarchical Optimization on Manifolds for Online 2D and 3D Mapping” ซึ่งตั้งใจจะทำ General Framework สาหรับการ optimize pose โดยทำงานแบบ Hierarchy หรืองาน “Information-Based Compact Pose SLAM” ซึ่งนำเสนอการลด pose keyframe ที่ไม่จำเป็น และนำเสนอการสร้าง Balanced Tree สาหรับ Poses เพื่อให้การปรับแก้แผนที่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับงานวิจัยส่วนใหญ่ของปัญหา Large Scale SLAM จะนำเสนอในรูปของทฤษฎีซึ่งสามารถนำไปประยุกต์กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งนี้ก็ยังมีการนำเสนอ Large Scale SLAM สำหรับการใช้งานจริง ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานกับกล้องวิดีโอเพียงอย่างเดียว การใช้อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์เพียงอย่างเดียว การใช้อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ร่วมกับกล้องวิดีโอสำหรับการสร้างแผนที่ Outdoor การใช้กล้องสเตอริโอ

2.4.3 Loop Closure Detection

ปัญหาสำคัญอีกประการของการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ในสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ก็คือปัญหาการตรวจหา Loop Closure ซึ่งหมายความถึง การตรวจวัดว่าหุ่นยนต์ได้วิ่งวนซ้ำมายังตำแหน่งเดิมหรือยัง สำหรับ Large Scale SLAM การตรวจหา Loop Closure ถือเป็นความยุ่งยากทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางไกล ความไม่แน่นอนของตำแหน่งหุ่นยนต์เทียบกับตำแหน่งตอนเริ่มต้นย่อมมีความคลาดเคลื่อนมาก ทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของ Feature ได้ด้วยวิธีการทางความน่าจะเป็นแบบปรกติ ต้องอาศัยวิธีพิเศษในการตรวจหา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วก็จะนิยมข้อมูล Vision มาใช้วิเคราะห์ Loop Closure และวิธีที่เป็นที่นิยมมีอยู่สองวิธีด้วยกัน ก็คือการใช้ Feature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Patch ในการตรวจหาความสอดคล้องในภาพ หรือการใช้ Feature Descriptor (SIFT, SURF, MSER) เพื่อหาความสัมพันธ์ของ Feature ในภาพสองภาพ

ในปี 2008, Williams et al. ได้นำเสนอวิธี detect loop closure สำหรับ Monocular SLAM โดยใช้วิธี image-to-map ซึ่งก็คือการนำ Feature Patch ที่เก็บไว้ใน Map มาค้นหาความสอดคล้องในภาพ และในปี 2009 เขาก็ได้แบ่งรูปแบบการตรวจหา Loop closure เป็นสามแบบ ได้แก่

- image-to-image ซึ่งก็คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพโดยตรง
- map-to-map ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์โดยพิจารณาสร้างแผนที่เฉพาะส่วน
- image-to-map ซึ่งเป็นการ Project ข้อมูลแผนที่ลงบนภาพเพื่อหาความสัมพันธ์

และได้ทำการเปรียบเทียบ Loop Closure Detection ทั้งสามแบบนั้นพร้อมทั้งสรุปว่า วิธีตรวจหา Loop Closure แบบ image-to-map นั้นให้ผลดีสุด อย่างไรก็ดีวิธีการตรวจหา Loop Closure ที่เหมาะสมนั้น มักจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

นอกเหนือจากวิธีในการตรวจหา Loop Closure แล้ว ปัญหาที่สำคัญอีกประการสำหรับ Large Scale SLAM ก็คือปัญหาด้านเวลาในการคำนวนทั้งนี้เนื่องจากว่า ถ้าต้องทำการเปรียบเทียบ ภาพปัจจุบันกับภาพในเวลาก่อนหน้าทั้งหมดเพื่อตรวจหา Loop closure ย่อมต้องเสียเวลามาก ทั้งนี้ปัญหาด้านเวลาในการคำนวนสามารถแก้ได้ ซึ่งในหลายงานวิจัยได้เสนอวิธีการที่คล้าย ๆ กัน ก็คือการจัดกลุ่ม Feature Descriptor ให้เป็น Vocabulary ซึ่งมีจำนวนจำกัด จากนั้นก็ทำการค้นหาบน Vocabulary โดยอาจจะมีการใช้โครงสร้างต้นไม้ มาใช้ร่วมเพื่อลดเวลาในการค้นหา [9]

2.5 เทคโนโลยีตรวจจับวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์ (LIDAR; Light Detection and Ranging Data)

เป็นเทคโนโลยีที่ทำงานเหมือนเรดาร์ แต่เป็นการวัดระยะจากระยะเวลาในการเดินทางของลำแสงเลเซอร์จากตัวเซ็นเซอร์ไปยังวัตถุเป้าหมายและเดินทางกลับมายังเซ็นเซอร์มีความละเอียดสูง ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบ 3 มิติ [10] โดยมีความถี่อยู่ที่ช่วง 600-1000 nm แต่ความถี่นี้สามารถเข้าไปในดวงตาได้ ดังนั้นกำลังของเลเซอร์จะถูกจำกัดอยู่ที่ class 1 [11] (เป็นเลเซอร์ที่กำลังน้อยมากจนถือได้ว่าปลอดภัย โดยเลเซอร์ระดับนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อตา ผิวหนัง หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย) LiDAR ประสิทธิภาพสูงมันจะใช้ที่ความถี่ 1550 nm ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อดวงตา ถ้าใช้ในระดับพลังงานที่สูง

2.5.1 Single point LiDAR

ขึ้นอยู่กับการใช้งาน LiDAR สามารถวัดระยะโดยใช้ single point-and-shoot หรือสามารถทำงานโหมดสแกนก็ได้ ส่วนใหญ่การวัดระยะโดย single point-and-shoot มักจะพบใน laser tape ดังภาพที่ 14 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่าง single point LiDAR : laser tape [11]

2.5.2 Scanning LiDAR

Scanning LiDAR จะสามารถหมุนและวัดระยะได้รอบด้าน 360 องศา โดยมีความถี่ในการหมุนเท่ากับพัลส์ของคลื่นที่ปล่อยออกมา โดยมีลักษณะดังภาพที่ 15 [10]

ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่าง Scanning LiDAR [12]

2.6 กล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ประมวลผลเป็นภาพสามมิติ (Intel RealSense 3D)

กล้อง Intel RealSense 3D เป็นเทคโนโลยีที่สามารถตรวจจับความลึกได้ เพื่อให้คอมพิวเตอร์มองเราในลักษณะที่เหมือนเรามองสิ่งของต่าง ๆ ในแนวลึกได้ หรือแบบ 3D นั่นเอง กล้องจะตรวจจับการเคลื่อนไหวและประมวลผลเป็นภาพสามมิติ ทำให้สามารถควบคุมคอมพิวเตอร์ด้วยท่าทาง มีการจำลองพื้นที่หรือสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ทั้งยังสามารถจดจำท่าทางและใบหน้าได้ ตัวกล้องมีขนาดเล็กพกพาสะดวก ทั้งยังมีต้นทุนต่อชิ้นไม่สูงเกินไปเหมาะแก่การนำไปพัฒนาต่อยอดร่วมกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

ภายในตัวกล้องจะประกอบด้วยเลนส์สามชนิดที่ช่วยกันประมวลผลภาพ ได้แก่ เลนส์ปกติ เลนส์ที่เอื้อต่อการใช้ระบบแสงอินฟาเรด และเลนส์ฉายเลเซอร์อินฟาเรด โดยอุปกรณ์ทั้งสามอย่างจะทำงานประสานกัน ช่วยตรวจจับแสงอินฟาเรดที่ปล่อยออกมาจากวัตถุ (วัตถุทุกชนิดปล่อยคลื่นนี้อยู่แล้ว) ประกอบกับ Software ติดตามการเคลื่อนไหว ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ ROS ช่วยให้สามารถติดตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และระบุสภาพสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้นำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการควบคุมอินเตอร์เฟสหน้าจอ โดยไม่ต้องใช้นิ้วสัมผัส หรือจากใช้ใบหน้าหรือศีรษะแทนได้อีกด้วย [13]

2.6.1 ลักษณะการทำงาน

กล้อง RealSense เป็นเทคโนโลยีตรวจจับความลึกแบบสามมิติ เนื่องจากตัวกล้องสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุ ทั้งยังสามารถแยกตัววัตถุที่เราสนใจออกจากส่วนของพื้นหลัง ทำให้สามารถรับรู้ตำแหน่งของวัตถุที่ชัดเจน รวมไปถึงการรับรู้ลักษณะของใบหน้า ท่าทาง การกระทำบางอย่างของผู้ใช้งานอย่างแม่นยำ

2.6.1.1 Mapping and Navigation ตัวกล้องมีเทคโนโลยี SLAM ซึ่งใช้ fisheye camera, accelerometer, gyroscope และ depth camera สำหรับติตามการเคลื่อนไหว นอกจากนี้ตัวระบบจะมีการจดจำตำแหน่งที่แมพบนแผนที่ไว้ก่อนหน้า เมื่อมีการใช้งานจะเกิดการเรียกข้อมูลซ้ำนำมาแปลผลตำแหน่งในปัจจุบันและตำแหน่งอื่นๆในแวดล้อมรอบด้าน ณ ขณะนั้น

2.6.1.2 Facial Recognition/Person Tracking การจดจำใบหน้า หรือการติดตามบุคคลของกล้อง RealSense จะมีการจดจำจุดสังเกตทั้งหมด 78 จุด เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับใบหน้า 3 มิติ แม้ว่าจะมีการหมุนหรือการบิดใบหน้ากล้องก็ยังสามารถตรวจจับได้ ทั้งยังจดจำได้มากถึง 4 ใบหน้าในช่วงระยะ สูงสุด 1.2 เมตร

2.6.1.3 Obstacle avoidance ไม่ว่าจะเป็นโดรนที่บินบนอากาศ หรือหุ่นยนต์ที่ใช้กล้อง RealSense ในระบบทั่วไปภายในบ้าน ตัวกล้องจะช่วยให้หุ่นยนต์ระบุตำแหน่งตนเองและควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางที่ตรวจพบแบบเรียลไทม์ได้จากการคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง

2.6.2 รุ่นของกล้อง RealSense

กล้อง RealSense แต่ละรุ่นจะมีประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกันไปทั้งในด้านของความคมชัดของภาพ ความละเอียด ระยะภาพที่สามารถตรวจจับได้ เป็นต้น การเลือกใช้งานกล้อง RealSense ต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับรุ่นของตัวกล้องด้วย ดังภาพที่ 18 เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกล้อง RealSense บางรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของกล้อง RealSense [13]

	INTEL REALSENSE R200	INTEL REALSENSE SR300	INTEL REALSENSE ZR300
Indoor Range	0.7m – 3.5m	0.2m – 1.5m	0.55m-2.8m
Outdoor Range	10m	N/A	>3.5m pending lighting conditions
Depth FoV (WxH)	56°x43°	68°x54°	*IR Laser Projector:* 60°x60° *Infrared Camera:* 59°x46° *Color Camera:* 68°x41.5° *Fisheye Camera:* 133°x100°
Depth FPS	30,60,90	30,60	30, 60
IR FPS	30,60,90	5-200	30, 60
Depth Method	Active Stereo IR	Coded Light IR	Active IR Stereo
Minimum F/W	1.0.72.04	3.21.0.0	N/A

บริษัท Intel ได้สนับสนุนนักพัฒนาด้วยการผลิตชุดพัฒนาที่เหมาะสมกับกล้องแต่ละรุ่นออกมาเพื่อรองรับการใช้งาน และความต้องการของตลาด แบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

2.6.2.1 Intel RealSense Robotic Development Kit : เป็นกล้อง RealSense R200 ที่เปิดโอกาสให้นักพัฒนาสามารถนำชุดเครื่องมือนี้เป็นใช้ร่วมกับหุ่นยนต์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเอง เพื่อให้หุ่นยนต์มีคุณสมบัติในการจดจำวัตถุหรือบุคคล รวมไปถึงสภาพแวดล้อม ซึ่งจะมาพร้อม Linux และสนับสนุนกับ Robot Operating System (ROS) [14]

ภาพที่ 16 กล้อง RealSense รุ่น R200 [13]

2.6.2.2 Intel RealSense ZR300 Development Kit : ชุดกล้อง RealSense แบบใหม่ ที่สามารถตรวจวัดเชิงลึกพร้อมเซนเซอร์ติดตามการเคลื่อนไหวที่มีความแม่นยำสูง จับคู่กับ Intel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RealSense SDK สำหรับลินุกซ์ ช่วยในการทำแผนที่และการนำทาง เหมาะสำหรับหุ่นยนต์, โดรน, เทคโนโลยี VR และ AR [14]

ภาพที่ 17 กล้อง RealSense รุ่น ZR300 [13]

2.6.2.3 Intel RealSense Camera 400 Series : เป็นรุ่นต่อยอดของกล้อง RealSense ที่ให้ความแม่นยำ ถูกต้องของจำนวนจุด 3D เพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่า และช่วยขยายระยะของการทำงานเพิ่มขึ้นอีก 2 เท่า สนับสนุนให้นักพัฒนาสามารถสร้างแอพพลิเคชั่นที่ตื่นตาตื่นใจได้ [14]

2.6.2.4 Intel Euclid Developer Kit : ชุดอุปกรณ์ที่เสมือนคอมพิวเตอร์แบบ all-in-one ที่มาพร้อมกล้อง RealSense, ชิปประมวลผล Intel Atom, สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบไร้สาย และมีชุดโปรแกรม Utility ที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างสรรค์แอพพลิเคชั่นด้วย RealSense ได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย เหมาะสำหรับนักวิจัย, ผู้ผลิต, และนักพัฒนาหุ่นยนต์ [14]

2.7 บอร์ดประมวลผล NVIDIA Jetson Nano

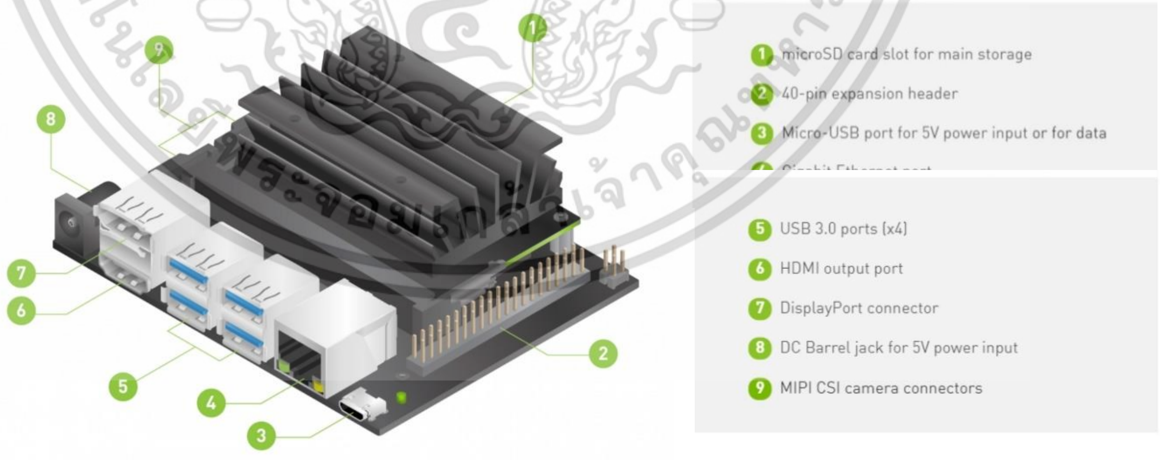
NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit คือชุดคิทสำหรับพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ Machine Learning โดย Jetson Nano เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีพลังการประมวลผลมหาศาลผ่าน GPU ของค่าย Nvidia สามารถรัน neural networks ได้หลายๆ ตัวพร้อมกัน หากใครต้องการทำงานประเภท image classification, object detection, speech processing สามารถทำได้บน Jetson Nano ตัวนี้ได้อย่างง่ายดายโดยบอร์ดใช้พลังงานแค่ 5 watts สเป็คของ NVIDIA Jetson Nano Developer Kit มีดังนี้ [15]

- GPU 128-core Maxwell
- CPU Quad-core ARM A57 @ 1.43 GHz
- Memory 4 GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s
- Storage microSD (not included)
- Video Encode 4K @ 30 | 4x 1080p @ 30 | 9x 720p @ 30 (H.264/H.265)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Video Decode 4K @ 60 | 2x 4K @ 30 | 8x 1080p @ 30 | 18x 720p @ 30 (H.264/H.265)
- Camera 1x MIPI CSI-2 DPHY lanes
- Connectivity Gigabit Ethernet, M.2 Key E
- Display HDMI 2.0 and eDP 1.4
- USB 4x USB 3.0, USB 2.0 Micro-B
- Others GPIO, I2C, I2S, SPI, UART
- Mechanical 100 mm x 80 mm x 29 mm

ภาพที่ 18 ตัวอย่างลักษณะโดยรวมของบอร์ด Jetson nano [15]

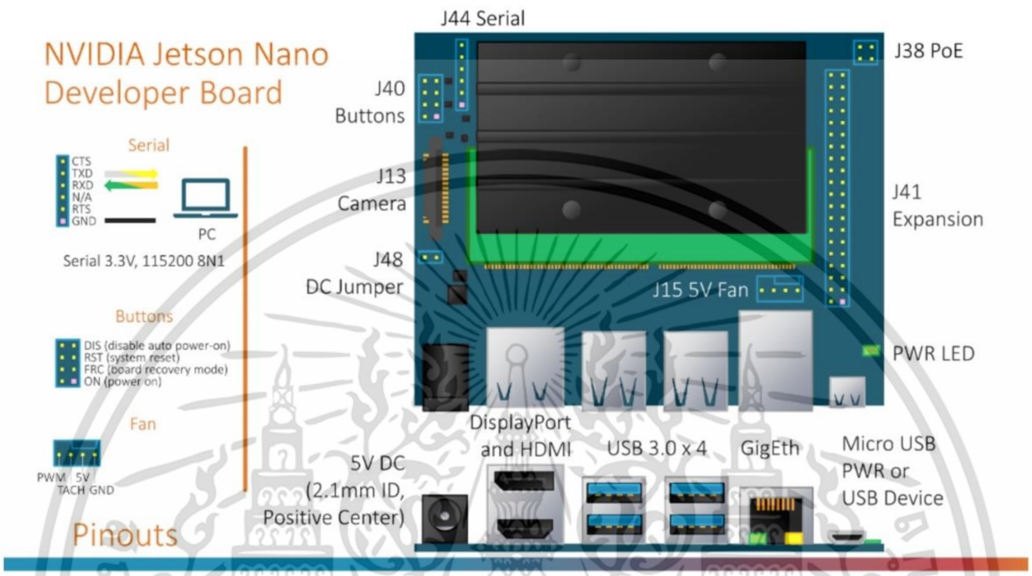


ภาพที่ 19 ส่วนประกอบต่างๆของ Jetson nano [16]

บนบอร์ด Jetson nano จะมีสิ่งที่เรียกว่า GPIO (General Purpose Input-Output) ดังภาพที่ 20 ซึ่งมันคือส่วนที่เอาไว้ต่อสัญญาณ Input / Output เข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกได้การรับ/ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ Input/Output ผ่าน GPIO จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมสั่งงาน โดยภาษาที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ ภาษา Python แต่นอกจากภาษา Python แล้ว ก็ยังมีภาษาอื่น ๆ ให้เลือกใช้กันอีก เช่น C/C++, Shell Script และภาษาอื่น ๆ



ภาพที่ 20 แสดงส่วน GPIO ของ Jetson nano [17]

Alt Function	Linux(BCM)	Board Label			Board Label	Linux(BCM)	Alt Function
DAP4_DOUT	78(21)	D21	40	39	GND		
DAP4_DIN	77(20)	D20	38	37	D26	12(26)	SPI2_MOSI
UART2_CTS	51(16)	D16	36	35	D19	76(19)	DAP4_FS
		GND	34	33	D13	38(13)	GPIO_PE6
LCD_BL_PWM	168(12)	D12	32	31	D6	200(6)	GPIO_PZ0
		GND	30	29	D5	149(5)	CAM_AF_EN
		D1/ID_SC	28	27	D0/ID_SD		
SPI1_CS1	20(7)	D7	26	25	GND		
SPI1_CS0	19(8)	D8	24	23	D11	18(11)	SPI1_SCK
SPI2_MISO	13(25)	D25	22	21	D9	17(9)	SPI1_MISO
		GND	20	19	D10	16(10)	SPI1_MOSI
SPI2_CS0	15(24)	D24	18	17	3.3V		
SPI2_CS1	232(23)	D23	16	15	D22	194(22)	LCD_TE
		GND	14	13	D27	14(27)	SPI2_SCK
DAP4_SCLK	79(18)	D18	12	11	D17	50(17)	UART2_RTS
		RXD/D15	10	9	GND		
		TXD/D14	8	7	D4	216(4)	AUDIO_MCLK
		GND	6	5	SCL/D3		
		5V	4	3	SDA/D2		
		5V	2	1	3.3V		

ภาพที่ 21 ตำแหน่งของตัวเชื่อมต่อขา GPIO บน Jetson nano [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ล้อแมคคานัม (Mecanum wheel)

Mecanum wheel คิดค้นโดย Bengt Erland Ilon วิศวกรจากบริษัทสวีเดน Mecanum AB หลักการทำงานของ Mecanum wheel ใช้ชุด roller ที่ติดอยู่รอบ Mecanum wheel สามารถทำให้ Mecanum wheel มีความพิเศษที่คาดไม่ถึง เมื่อผสานรวมกับการหมุนของล้อทั้ง 4 ข้าง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้รอบทิศทางอย่างมหัศจรรย์ [18]

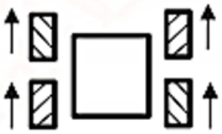
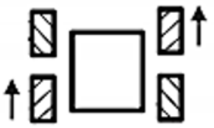
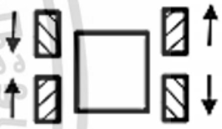
ภาพที่ 22 แสดงลักษณะของ Mecanum wheel [19]

Mecanum wheel เป็นการออกแบบให้เป็นล้อทรงกลมที่ติดตั้ง roller ทำมุม 45° เรียงรายกันอยู่บน Mecanum wheel เพื่อรองรับการหมุนด้านข้าง ยานยนต์ที่ติดตั้ง Mecanum wheel จะต้องมีการสั่งการด้วยไฟฟ้าแบบแยก 4 ล้อ เพราะการทำงานของ Mecanum wheel จะใช้ความสัมพันธ์ในการหมุนของล้อทั้ง 4 โดยการทำงานที่สัมพันธ์ทั้ง 4 ล้อ หมุนไปในด้านเดียวกันจะทำให้ ยานยนต์ ที่ติดตั้ง Mecanum wheel เกิดการเคลื่อนที่เดินหน้า และถอยหลัง เหมือนล้อ และยางปกติที่ใช้กัน หาก Mecanum wheel ทำงานสัมพันธ์กันแบบทแยงมุม คือ การหมุนที่เหมือนกัน 2 ชุด ล้อซ้ายบนหมุนไปทางเดียวกับขวาล่าง และขวาบนหมุนไปทางเดียวกับซ้ายล่าง จะทำให้ยานยนต์ที่ใส่ Mecanum wheel เกิดการเคลื่อนที่ด้านข้างโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนหน้ารถ ด้วยการเคลื่อนที่ลักษณะนี้ roller ที่อยู่บน Mecanum wheel จะทำหน้าที่ในการหมุนเคลื่อนที่ได้อย่างไม่เสียสมดุล [19]

Mecanum wheel ยังมีการเคลื่อนที่แบบพิเศษนั้นคือการหมุนรอบตัวเองโดยใช้การหมุนที่สัมพันธ์กันของล้อ Mecanum wheel ด้านซ้ายทั้งบน และล่างจะหมุนไปในทางเดียวกัน และจะต้านด้วยล้อด้านขวา ทั้งบน และล่างที่หมุนไปในทางตรงข้ามของ ล้อด้านซ้ายทั้งบนและล่างทำให้เกิดการหันของหน้ายานยนต์นั้น ๆ ได้อย่างสมดุล ดังตารางที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงหลักการทำงานของระบบ mecanum wheel [20]

ทิศทางการเคลื่อนที่	ทิศทางของล้อ	ทิศทางการเคลื่อนที่	ทิศทางของล้อ
เดินหน้า		เดินหน้าทแยงขวา	
ถอยหลัง		เดินหน้าทแยงซ้าย	
ซ้าย		ถอยหลังทแยงขวา	
ขวา		ถอยหลังทแยงซ้าย	
หมุนซ้าย		เลี้ยวขวา	
หมุนขวา		เลี้ยวซ้าย	

2.9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ 1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor) 2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor) 3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor) [21]

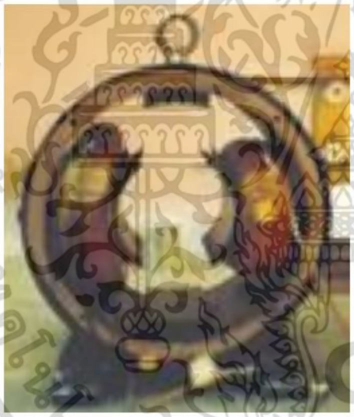
2.9.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

- เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก

- ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรก แกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรมส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์ เรียกว่า ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด จะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยัง โรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน ส่วนที่สองขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆ แกนขั้วแม่เหล็ก ขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น [21]


(A)

(B)

ภาพที่ 23 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [21]
(A) ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (B) ขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.9.1.2 ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

- แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

- คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลาเป็นรูปกลมทรงกระบอกมีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวด อาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้ว เรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์(Motor action)

- ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ

2.9.2 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นและกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกันทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้สวมอยู่กับ ตลับลูกปืนของมอเตอร์ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุนการที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกันทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์หมุนไปนั้น เป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming left hand rule) [21]

2.9.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.9.3.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม กับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่าซีรีสฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้ เป็นต้น กำลังของรถไฟฟ้ารถยกของ เครนไฟฟ้าความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวดของมอเตอร์ไม่เป็นอันตรายจากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้าจักรเย็บผ้าเครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบจะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้น เมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ

2.9.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์มอเตอร์แบบขนานนี้ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวดชุดอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมเจอร์มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะมีความเร็วคงที่แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมะกับ งานดังนี้ พัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย [21]

2.9.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้จะนำคุณลกัษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High staring torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั้งมีโหลดเต็มที่

2.10 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่มี 2 ประเภท

2.10.1 แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Batteries)

เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วไม่สามารถชาร์จประจุเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก (ไม่สามารถเก็บพลังงานได้) แบตเตอรี่ชนิดนี้มักจะเรียกกันว่า "ถ่าน" ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ (Alkaline) ถ่านลิเทียม (Lithium) ที่มีทั้ง ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ สำหรับวิทยุ นาฬิกา และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถเก็บพลังงานได้สูง (high energy density) และไม่มีการรั่วไหลของพลังงาน (self-discharge) จึงมีอายุการใช้งาน ค่อนข้างยาวนอกจากนั้นยังใช้งานได้สะดวกอีกด้วย แต่ว่าเมื่อใช้พลังงานหมดแล้วก็จะถูกทิ้งเป็นขยะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม [22]

2.10.2 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Batteries)

เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อใช้ "หมด" แล้วสามารถชาร์จประจุเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก แบตเตอรี่ประเภทนี้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ที่ทำจากตะกั่ว (Lead-acid battery) แบตเตอรี่มือถือที่ทำจากนิกเคิล-แดดเมี่ยม (Nickel-cadmium battery) นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-metal hydride bettery) หรือลิเทียมไอออน (Lithiumion battery) และแบตเตอรี่เก็บพลังงานขนาดใหญ่ที่ทำจากโซเดียม-ซัลเฟอร์ (sodium-sulphure battery) และ วาเนเดี่ยม (vanadium battery) [22]

2.10.2.1 Nickel Cadmium(Ni-Cd)

แบตเตอรี่นิกเกิล - แคดเมียม (แบตเตอรี่ NiCd หรือแบตเตอรี่ NiCad) เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อหมดสามารถชาร์จประจุและนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้นิกเกิลออกไซด์ไฮดรอกไซด์และแคดเมียมโลหะเป็นขั้วไฟฟ้า แบตเตอรี่ Ni-Cd นั้นจะรักษาระดับแรงดันและการชาร์จเมื่อไม่ใช้งาน อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ NI-Cd เมื่อถูกนำไปชาร์จอีกครั้งจะทำให้ความจุของแบตเตอรี่ในครั้งต่อไปลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แบบชาร์จได้ชนิดอื่น ๆ แบตเตอรี่ Ni-Cd ให้วงจรชีวิตที่ดีและมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่ำด้วยความจุที่พอเหมาะ แต่ข้อดีที่สำคัญที่สุดคือความสามารถในให้ความจุสูงสุดในอัตราการคายประจุที่สูง มีขนาดแตกต่างกันรวมถึงขนาดที่ใช้สำหรับแบตเตอรี่อัลคาไลน์, เซลล์ AAA ถึง D. Ni-Cd มีการใช้งานเดี่ยว ๆ หรือประกอบเป็นแพ็คตั้งแต่สองเซลล์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป ส่วนชุดเล็กๆ นี้ใช้ในอุปกรณ์พกพา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และของเล่น ในส่วนที่ใหญ่กว่าใช้ในแบตเตอรี่เริ่มต้นของเครื่องบิน ยานพาหนะไฟฟ้า และแหล่งจ่ายไฟสำรอง [23]

คุณสมบัติของแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม

- Specific Energy: 40-60W-h/kg
- Energy Density: 50-150 W-h/L
- Specific Power: 150W/kg
- Charge/discharge efficiency: 70-90%
- Self-discharge rate: 10%/month
- Cycle durability/life: 2000cycles

2.10.2.2 Nickel-Metal Hydride(Ni-MH)

นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH) เป็นโครงสร้างทางเคมีอีกประเภทหนึ่งที่ใช้สำหรับแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้ ปฏิกิริยาทางเคมีที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่มีความคล้ายคลึงกับเซลล์นิกเกิล - แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ทั้งสองชนิดใช้นิกเกิลออกไซด์ไฮดรอกไซด์ตัวเดียวกัน (NiOOH) อย่างไรก็ตามขั้วลบในนิกเกิล - เมทัลไฮไดรด์ใช้โลหะผสมที่ดูดซับไฮโดรเจนแทนแคดเมียมที่ใช้ในแบตเตอรี่ NiCd

แบตเตอรี่ NiMH ใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการการคายประจุสูงสูง เนื่องจากความจุและความหนาแน่นพลังงาน แบตเตอรี่ NiMH สามารถจุได้สองเท่าถึงสามเท่าของความจุของแบตเตอรี่ NiCd ที่มีขนาดเท่ากันและความหนาแน่นของพลังงานสามารถเข้าใกล้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ซึ่งแตกต่างจาก NiCd แบตเตอรี่ที่ใช้เคมีของ NiMH จะไม่ไวต่อ memory effect [23]

คุณสมบัติของนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์แบตเตอรี่

- Specific Energy: 60-120h/kg
- Energy Density: 140-300 Wh/L
- Specific Power: 250-1000 W/kg
- Charge/discharge efficiency: 66% - 92%
- Self-discharge rate: 1.3-2.9%/month at 20oC
- Cycle Durability/life: 180 -2000

2.10.2.3 Lithium-ion(Li-ion)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นหนึ่งในแบตเตอรี่ชาร์จได้ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ที่ใช้ในอุปกรณ์พกพา โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์สมาร์ท และอุปกรณ์แบตเตอรี่อื่น ๆ ที่ใช้ในบ้าน รวมถึงในด้านการบินและอวกาศ และการทหารเนื่องจากมีน้ำหนักเบา

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ชนิดชาร์จใหม่ได้ซึ่งไอออนลิเทียมจากขั้วลบจะถูกโอนไปยังขั้วบวกในระหว่างการคายประจุและโอนกลับไปยังขั้วลบเมื่อชาร์จประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ Li-ion ใช้สารประกอบลิเทียม เป็นวัสดุสำหรับอิเล็กโทรดหนึ่ง เทียบกับลิเทียมโลหะที่ใช้ในแบตเตอรี่ลิเทียมที่ไม่สามารถชาร์จใหม่ได้

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยทั่วไปมีความหนาแน่นพลังงานสูงมีผลต่อหน่วยความจำน้อยหรือไม่มีเลยและมีการคายประจุเองน้อยเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น ประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายแตกต่างกันไปในแต่ละกรณีการใช้งาน เช่น แบตเตอรี่ Li-ion ที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพามักใช้ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO2) ซึ่งให้ความหนาแน่นพลังงานสูงและความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำ สำหรับลิเทียมเหล็กฟอสเฟตที่ให้ความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่าปลอดภัยกว่าเนื่องจากมีโอกาสน้อยที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องมือไฟฟ้าและเครื่องมือแพทย์ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต่ออัตราส่วนน้ำหนักด้วยแบตเตอรี่ลิเทียมซัลเฟอร์ที่ให้อัตราส่วนสูงสุด [23]

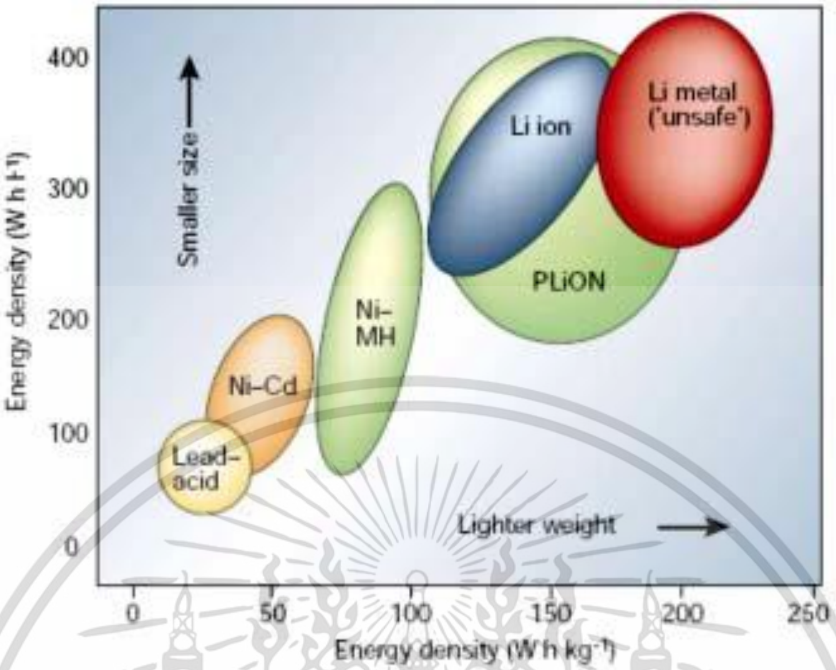
คุณสมบัติของลิเทียมไอออนแบตเตอรี่

- Specific Energy: 100: 265W-h/kg
- Energy Density: 250: 693 W-h/L
- Specific Power: 250: 340 W/kg
- Charge/discharge percentage: 80-90%
- Cycle Durability: 400: 1200 cycles
- Nominal cell voltage: NMC 3.6/3.85V

2.10.2.4 Lead-Acid

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่ที่เหมาะสำหรับการใช้งานหนัก มักจะมีขนาดใหญ่มากและเนื่องจากน้ำหนักจึงไม่เหมาะกับการใช้งานแบบพกพา จึงมักใช้สำหรับการจัดเก็บพลังงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์จุดระเบิดและไฟยานพาหนะ พลังงานสำรอง และระดับการโหลดในการผลิต/จำหน่ายกระแสไฟฟ้า แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้ที่เก่าแก่ที่สุดและยังมีความเกี่ยวข้องและมีความสำคัญต่อโลกปัจจุบัน แบตเตอรี่กรดตะกั่วมีพลังงานต่ำมากต่อปริมาตรและอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนัก แต่มีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ค่อนข้างใหญ่และทำให้สามารถจ่ายกระแสไฟกระชากได้มากเมื่อต้องการ คุณลักษณะเหล่านี้ควบคู่ไปกับต้นทุนที่ต่ำทำให้แบตเตอรี่เหล่านี้น่าสนใจสำหรับการใช้งานที่ต้องการกระแสสูง เช่น การจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์สตาร์ทรถยนต์และสำหรับการจัดเก็บในแหล่งจ่ายไฟสำรอง [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 24 แสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแบตเตอรี่ทุติยภูมิแต่ละชนิด [23]

2.11 ระบบปฏิบัติการ Linux และ Ubuntu

2.11.1 Linux คืออะไร

ลินุกซ์ (Linux) และรู้จักกันโดยทั่วไปในชื่อ กนู/ลินุกซ์ (GNU/Linux)หมายถึงระบบปฏิบัติการแบบยูนิกซ์ โดยใช้ลินุกซ์ เคอร์เนล เป็นศูนย์กลางทำงานร่วมกับไลบรารีและเครื่องมืออื่น ๆ จึงทำให้ลินุกซ์มีบทบาทในฐานะซอฟต์แวร์เสรีและซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สที่ประสบความสำเร็จและมีชื่อเสียงอีกประเภทหนึ่งที่ทุก ๆ คนสามารถดูหรือนำโค้ดของลินุกซ์ไปใช้งาน,แก้ไข และแจกจ่ายได้อย่างเสรี หรือเรียกกันง่ายๆว่า "ฟรี" หรืออาจจำหน่ายในลักษณะเป็นเพคเกจ โครงการต่าง ๆ ของลินุกซ์ที่ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเช่น Ubuntu, Mozilla Firefox และโครงการซอฟต์แวร์อื่น ๆ อีกจำนวนมาก ที่ทุก ๆ คนอาจจะเคยใช้งานมาบ้างไม่มากก็น้อย

ลินุกซ์ ได้ถือกำเนิดขึ้นในประเทศฟินแลนด์ ราวปี ค.ศ.1980 โดย ลีนุส โทรวัลด์ส (Linus Trovalds) ในช่วงเริ่มแรกเป็นการเลียนแบบเคอร์เนลของ UNIX และทำงานได้บนสถาปัตยกรรม i386 เท่านั้นแต่ปัจจุบันนี้นักพัฒนาได้มีความพยายามเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาลินุกซ์ ทำให้ Linux สามารถทำงานได้บนสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ๆเกือบทุกชนิด โตร์วัลดส์ยังคุงมุ่งพัฒนาระบบต่อไป ซึ่งต่อมาก็สามารถรันบน X Window System และมีการเลือกเพนกวินที่ชื่อ Tux ให้เป็นตัวนำโชคหรือ Mascot ของระบบลินุกซ์ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 Ubuntu คืออะไร

อูบุนตู (ubuntu) คือ ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่อยู่ใน ตระกูลหรือสายพันธุ์เดียวกันกับ Linux ที่เป็น (Open Source) ภายใต้สัญญาอนุญาติแบบ GNU/GPL สามารถนำ Linux ตัวนี้ ไปใช้, ปรับปรุง, เปลี่ยนแปลง ได้อย่างเสรี ฟรีๆ ไม่มีค่าใช้จ่าย ลิขสิทธิ์ ubuntu มาจากคำใน ภาษาซูลู และภาษาโคซา ในแอฟริกาใต้ แปลว่า Humanity of Others ถ้าแปลเป็นไทย แปลว่า การช่วยเหลือกันของมวลมนุษย์ ubuntu ถูกสร้างจากDebian โดย Mark Shuttleworth Mark Shuttleworth เป็นคนแรกที่พัฒนา ubuntu ขึ้นมา ในปี 2004 โดย Mark Shuttleworth เกิดและโตที่แอฟฟริกาในปี 1995 ก่อตั้ง Thante และขายให้ VeriSign ในปี 1999 ต่อมาก็ก่อตั่ง Conoical เพื่อมาพัฒนา ubuntu อย่างเต็มตัว ระบบปฏิบัติการตระกูล Ubuntu เป็นระบบปฏิบัติการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ห่างจากที่ 2 คือ Open source เป็นเท่าตัว เป็นเพราะมีการใช้งานที่ง่าย สวยขึ้นและการเข้าได้กับอุปกรณ์ต่อพวงต่าง ๆ ทำให้ Ubuntu ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นๆตลอดมา

Ubuntu เป็นตัวที่สามารถป้องกันไวรัสในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม Antivirus มีลูกเล่นเยอะ และได้มีการUpdateโปรแกรมหรือเวอร์ชั่นใหม่ ๆ ทุก ๆ 6 เดือน นอกจากนี้ยังมีอื่น ๆ เช่น

- รองรับการทำงานกับทั้ง CPU ชนิด 32bit และชนิด 64bit
- รูปแบบการติดตั้งง่าย
- ใช้ระบบ APT และ Synaptic ในการจัดการโปรแกรมของระบบ
- Ubuntu สามารถรองรับการใช้งานร่วมกับ Software และ Hardware ได้อย่างหลากหลาย
- Ubuntu สามารถทำเมนูการใช้งานทั้งหมดเป็นภาษาไทยได้สมบูรณ์แบบเช่นเดียวกับ Linux TLE
- Ubuntu ใช้ทรัพยากรเครื่องคอมพิวเตอร์น้อยและมีความรวดเร็ว [24]

2.12 ระบบปฏิบัติการที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์ (ROS - Robot Operating System)

ROS คือ กรอบการทำงาน (framework) ที่มีความยืดหยุ่นสำหรับการเขียนโปรแกรมทางด้านหุ่นยนต์ โดยได้รวบรวมเครื่องมือและไลบรารีไว้เป็นหมวดหมู่ ลดความซับซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานกับแพลตฟอร์มที่หลากหลายของหุ่นยนต์ หรืออาจกล่าวได้ว่า ROS ได้รวบรวมไลบรารีและเครื่องมือไม่ว่าจะเป็น hardware abstraction, device drivers, libraries, visualizers, message-passing, package management และอื่น ๆ อีกมากมาย เพื่อช่วยให้นักพัฒนาซอฟต์แวร์ในการสร้างแอพพลิเคชันทางด้านหุ่นยนต์ ที่สำคัญ ROSเป็นโอเพ่นซอร์ส

ทำไมถึงต้องใช้ ROS เพราะการสร้างซอฟต์แวร์ที่รองรับงานทุก ๆ อย่างที่จำเป็นสำหรับหุ่นยนต์เป็นเรื่องที่ยาก จากมุมมองในการทำงานด้านหุ่นยนต์ ปัญหาในการทำงานในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปัญหาเพียงเล็กน้อยสำหรับมนุษย์ แต่สำหรับหุ่นยนต์แล้วไม่ใช่ จึงเป็นเรื่องยากสำหรับคนเพียงคนเดียวที่ไม่มีห้องปฏิบัติการหรือสถาบันการศึกษา ที่จะทำงานทางด้านหุ่นยนต์ด้วยตนเองเพียงคนเดียว

ด้วยเหตุผลข้างต้น ROS จึงถูกสร้างขึ้นมาเพื่อส่งเสริมให้นักพัฒนาหุ่นยนต์ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น ห้องปฏิบัติการหนึ่งอาจมีผู้เชียวชาญทางด้านการทำแผนที่ในสถาพแวดล้อมในร่มและอาจนำไปสู่ระบบการทำแผนที่ อีกกลุ่มหนึ่งอาจมีผู้เชียวชาญในการใช้แผนที่เพื่อนำทาง และกลุ่มอื่น ๆ อาจค้นพบวิธีการทำงานกับการทำงานคอมพิวเตอร์วิชั่นเพื่อตรวจจับวัตถุขนาดเล็กในสภาพที่ยุ่งยาก ROS ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้กลุ่มคนเหล่านี้สามารถที่จะทำงานรวมกันและต่อเติมงานของกันและกันได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นประโยชน์ของ ROS ในการที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับหุ่นยนต์ โดยเฉพาะผู้ที่สนใจวิทยาการทางด้านหุ่นยนต์ ROS ได้เตรียมไลบรารีและวิธีการที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์ที่เราได้สร้างขึ้นมา ด้วยความที่ ROS เป็นโอเพ่นซอร์ส ทำให้เกิดการรวมตัวของนักพัฒนาทางด้านหุ่นยนต์จากทั่วทุกมุมโลก เพื่อสนับสนุนการใช้งาน ROS อย่างกว้างขวาง แกนนำหลักของ ROS คือ Willow Garage [25]

2.13 ไจโรสโคป (Gyroscope)

ไจโรสโคปคืออุปกรณ์ที่ใช้แรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อตรวจสอบการวางแนว ไจโรเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจจับความเร็วเชิงมุมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามมุมการหมุนต่อเวลา ความเร็วเชิงมุมโดยปกติจะแสดงเป็นหน่วย deg/s (องศาต่อวินาที) ไจโรสโคปมีสามชนิดหลักๆ ประกอบด้วยชนิดไจโรสโคปชนิดโรตารี่ (ดั้งเดิม) ไจโรสโคปชนิดโครงสร้างสั่นสะท้าน และออปติคัลไจโรสโคป

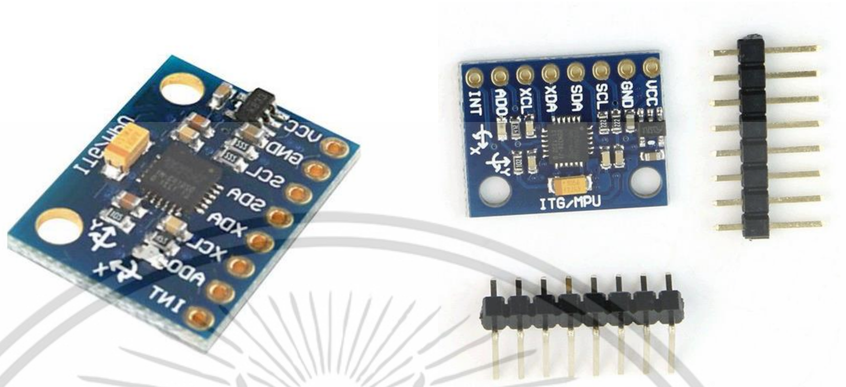
การออกแบบจะประกอบด้วยจานหมุนอิสระที่เรียกว่าโรเตอร์ซึ่งติดตั้งอยู่บนแกนหมุนที่กึ่งกลางของวงล้อที่มีขนาดใหญ่และเสถียรกว่า เมื่อแกนหมุน โรเตอร์จะยังคงอยู่กับที่เพื่อแสดงแรงดึงดูดศูนย์กลาง และทิศทางกด ไจโรสโคปจะรักษาระดับประสิทธิภาพไว้โดยความสามารถในการวัดอัตราการหมุนรอบแกน เมื่อวัดอัตราการหมุนรอบแกนหมุนของเครื่องบิน จะแสดงค่าจริงจนกระทั่งเครื่องบินคงระดับได้ การใช้หลักการเกี่ยวกับโมเมนตัมเชิงมุมนี้ ช่วยให้ไจโรสโคประบุการวางแนวได้

ไจโรสโคปในท้องตลาดสามารถวัดความเร็วการหมุนได้ใน 1 2 หรือ 3 ทิศทาง ไจโรสโคปแบบ 3 แกนจะมีมาตรวัดความเร่ง 3 แกนเพื่อให้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวมีองศาเสรีถึง 6 ระดับ ไจโรสโคปมักใช้ในเครื่องบินเพื่อช่วยระบุการวางแนวและอัตราการหมุนของเครื่องบินในแกนหมุน เมื่อเครื่องบินหมุน ไจโรสโคปจะวัดค่าที่ไม่เป็นศูนย์จนกว่าจะได้ระนาบ ซึ่งจะแสดงค่าเป็นศูนย์เพื่อบอกทิศทางแนวลง [26]

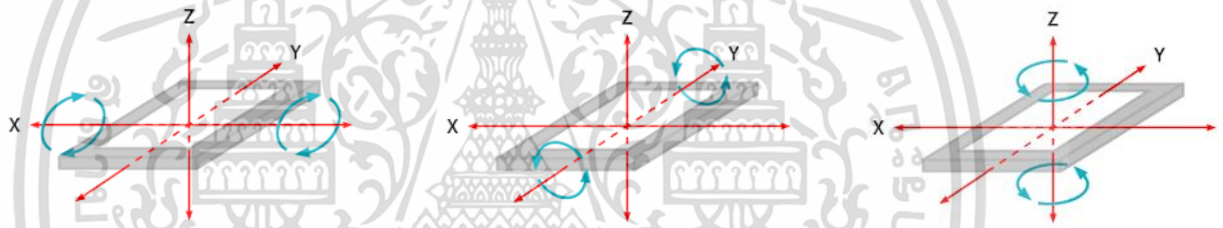
เซนเซอร์วัดความเอียง (ความเร็วเชิงมุม) และความเร่งเชิงเส้น GY-521 หรือที่หลายๆคนเรียกว่าไจโร MPU6050 (MPU6050 คือชื่อชิพประมวลผลบนตัว GY-521) คือโมดูลเซนเซอร์ที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวและความเอียงของวัตถุ โดยตรวจวัดจากความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity หรือใช้ Gyroscope) ถือเป็นอุปกรณ์แบบ 6 DOF (6 Degrees of Freedom) คืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดค่าได้ทั้ง 6 แกนคือ Ax ,Ay ,Az ,Gx ,Gy และ Gz [27]



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะของ Gyroscope MPU6050 [27]



ภาพที่ 26 ลักษณะและรูปแบบการหมุนของ Gyroscope [28]

2.14 บอร์ด Arduino Due

Arduino Due เป็นบอร์ดที่ใช้ชิป Atmel AT91SAM3X8E ที่อยู่ในตระกูล ARM Cortex-M3 ซึ่งแตกต่างจากบอร์ด Arduino อื่นๆ ที่ใช้ Micro-controller(ชิป) ตระกูล AVR ทำให้การประมวลผลของ Arduino Due เร็ว แต่ยังคงรูปแบบโค้ดโปรแกรมของ Arduino

Arduino Due เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่นแรกของ Arduino ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต โมดูล CAN และสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 84 MHz มี digital I/O 54 ขา, analog input 12 ขา , UART จำนวน 4 ช่อง, DAC จำนวน 2 ช่อง, TWI จำนวน 2 ช่อง, มีการรองรับการทำงานของอุปกรณ์ USB สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก โดย Arduino Due ต้องใช้กับ ซอฟแวร์ Arduino IDE เวอร์ชั่น 1.5 ขึ้นไป [29]

ข้อดี มีความเร็วในการประมวลผลที่รวดเร็ว เหมาะกับงานที่มีความซับซ้อนและต้องการความเร็วความเร็วในการประมวลผลมี I/O pins จำนานมาก ทำให้เหมาะกับโมลดูลหรืองานที่มีความต้องการในการใช้ pins จำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย ราคาสูง เมื่อเทียบกับบอร์ดที่ยังไม่มี wifi ในตัวมาให้ Library อาจมีไม่หลากหลายนัก เนื่องจากชิบที่ใช้ประมวลผล ไม่เป็นที่แผล่หลายเหมือนอย่าง ATmega328P ไม่เหมาะกับงานขนาดเล็กที่ต้องการซ่อนบอร์ดหรือตัวควบคุมไว้ [30]

ภาพที่ 27 ตัวอย่างลักษณะโดยรวมของบอร์ด Arduino Due [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ส่วนแรกคือส่วนรูปแบบและโครงสร้างหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นส่วนฮาร์ดแวร์ โครงสร้างภายนอกของหุ่นยนต์ ทั้งเซ็นเซอร์ รวมถึงงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนที่สองคือส่วนการเขียนเขียนโปรแกรมและซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่, ซอฟต์แวร์ ROS บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu, การเก็บแผนที่, ระบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ และโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

3.1 รูปแบบและโครงสร้างหุ่นยนต์

3.1.1 การออกแบบโครงหุ่นยนต์

ในส่วนของการออกแบบหุ่นยนต์ ได้ใช้โปรแกรม Solidworks 2018 ในการออกแบบ ลักษณะโดยทั่วไปของหุ่นยนต์จะเป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 606 มิลลิเมตร ความสูงโดยรวม 995 มิลลิเมตร โดยที่หุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

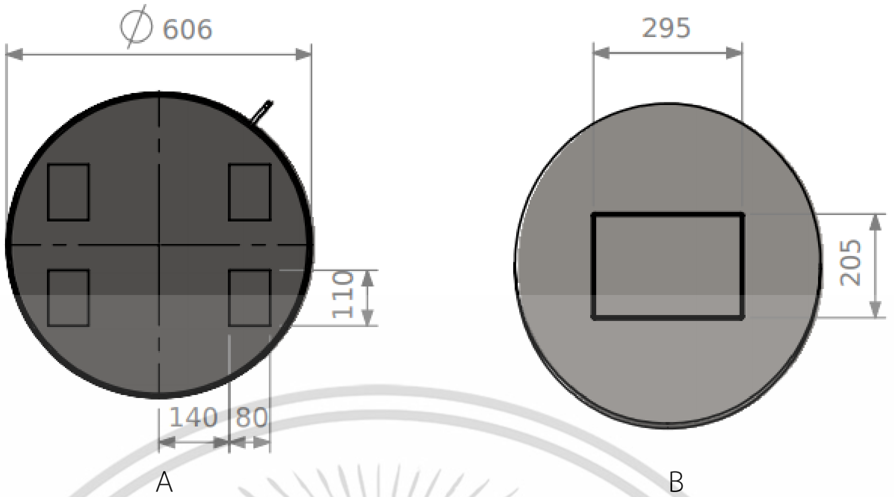
3.1.1.1 ส่วนฐาน ในส่วนฐาน จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 606 มิลลิเมตร สูงประมาณ 230 มิลลิเมตร ประกอบไปด้วยล้อซึ่งเป็นล้อแมคคานัม จำนวณ 4 ล้อ ควบคุมด้วยมอเตอร์จำนวน 4 ตัว และ บอร์ดขับมอเตอร์ 2 บอร์ด ซึ่งเป็นแบบ dual ทั้งสองบอร์ด เพื่อช่วยในการประหยัดพื้นที่ใช้งาน และด้านในของส่วนนี้เป็นส่วนของระบบไมโครคอลโทรเลอร์ (Jetson nano) เพื่อโปรแกรมหุ่นยนต์และแผงวงจรสำหรับจ่ายไฟให้หุ่นยนต์ นอกจากนี้ส่วนบนสุดของฐานด้านล่างนี้จะถูกเจาะเป็นช่องสล็อตไว้สำหรับติดตั้ง LiDAR ให้ส่วน laser detection สำหรับกระบวนการ mapping

3.1.1.2 ส่วนกลาง เป็นพื้นที่สำหรับใช้งาน ในการใส่ยา อาหาร หรือเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ใด ๆ ก็ตามที่ต้องการมีความสูงประมาณ 500 มิลลิเมตร ส่วนนี้จะถูกเว้นว่างไว้ โดยจะจัดสรรพื้นที่ในลักษณะของชั้นวางของ

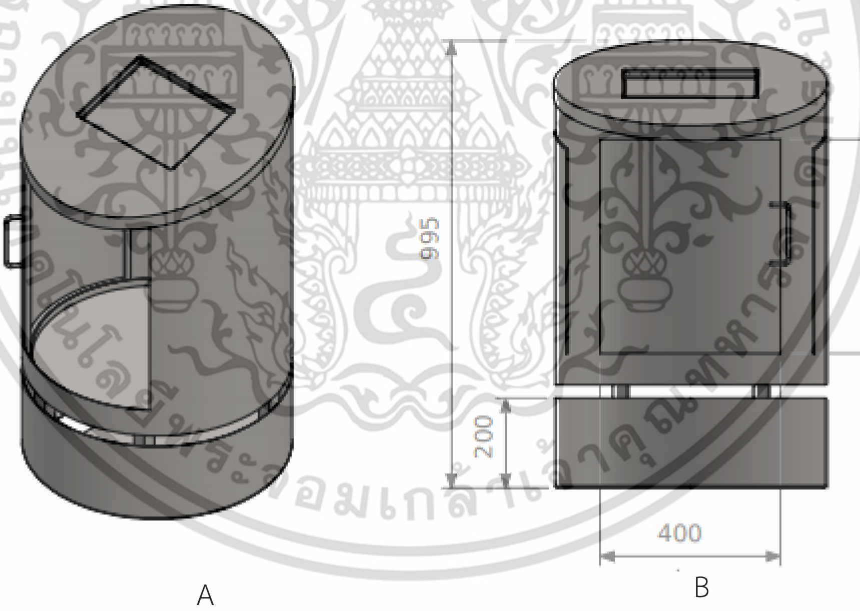
3.1.1.3 ส่วนบน มีความสูงประมาณ 150 มิลลิเมตร เป็นส่วนสำหรับหน้าจอแสดงผลถูกตัดเฉียงเพื่อให้สะดวกต่อการมองเห็น ติดตั้ง surface pro5 ซึ่งเป็นส่วนสำหรับควบคุมการทำงาน และส่วนแสดงผล

ดังแสดงการออกแบบในแบบจำลอง 3 มิติ ในภาพที่ 28 และ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 28 แสดงการออกแบบในแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์
เมื่อมองจากมุมล่าง (A) และจากมุมบน (B)

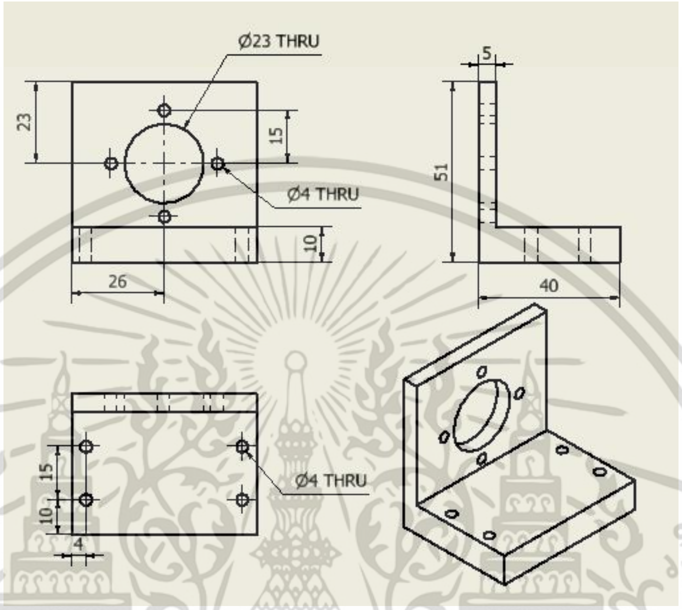


ภาพที่ 29 แสดงการออกแบบในแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์
เมื่อมองจากด้านข้าง (A) และด้านหน้า (B)

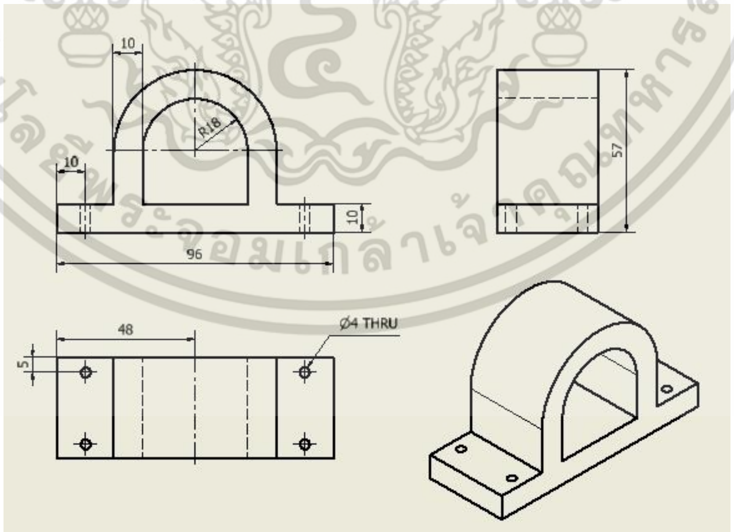
โดยแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์นี้ขึ้นรูปโครงด้วยแผ่นอลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตร และน้ำหนักโดยรวมประมาณ 20 กิโลกรัม จัดทำโดย บริษัท ศรีวิศาล เกษรา จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในส่วนฐานของหุ่นยนต์จะมีส่วนของแท่นยึดมอเตอร์ (motor bracket) ที่จะยึดมอเตอร์เข้ากับฐานของหุ่นยนต์ ซึ่งทำจากเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printer) ออกแบบด้วยโปรแกรม Autodesk Inventor Professional 2020 ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 แสดงการออกแบบแท่นยึดมอเตอร์ส่วนหน้า

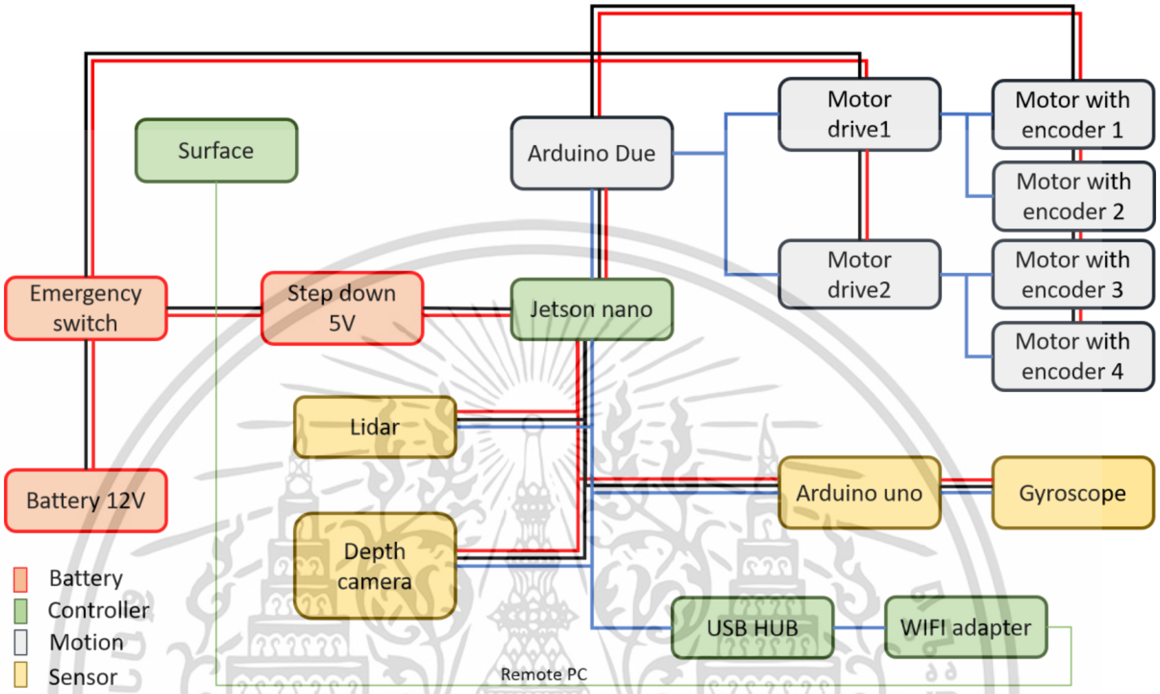


ภาพที่ 31 แสดงการออกแบบแท่นยึดมอเตอร์ส่วนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังภาพที่ 32



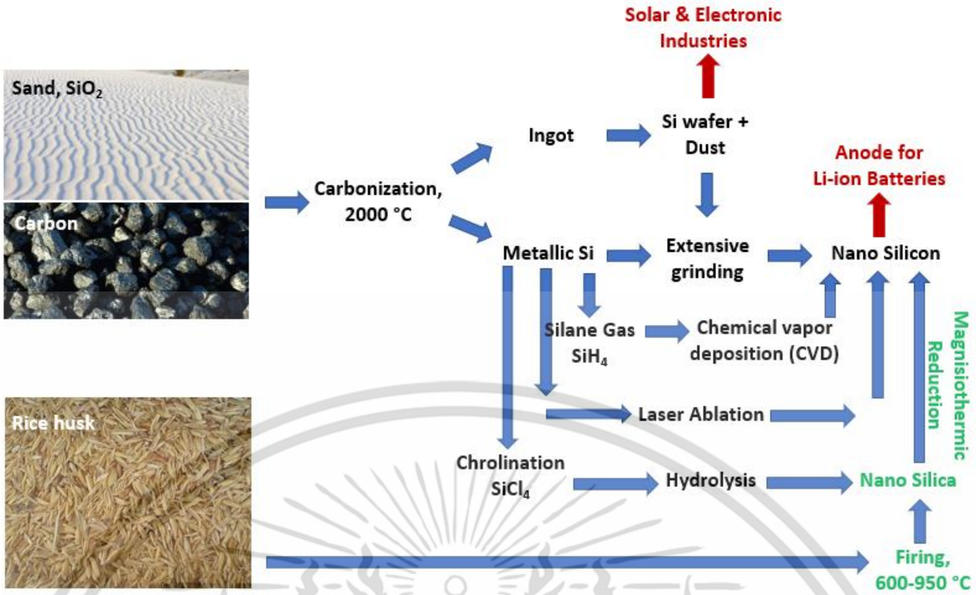
ภาพที่ 32 แสดงแผงวงจรภายในหุ่นยนต์

โดยในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ แล้วแยกออกเป็น 2 ทาง คือ หนึ่งจ่ายไฟให้แก่ มอเตอร์ขับ (motor drive) 2 ตัว และสองผ่านตัวปรับแรงดันไฟฟ้า (step down) 5 โวลต์เพื่อจ่ายให้กับ Jetson nano ซึ่งจะเป็นตัวประมวลผล และควบคุมการทำงานของส่วนประกอบอื่น ๆ สำหรับฟังก์ชันต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ โดยแสดงผลผ่าน Surface

3.1.2.1 ส่วนของแบตเตอรี่ (Battery)

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยแบตเตอรี่ 12 V 30 Ah, ตัวปรับแรงดันไฟฟ้า (step down) และสวิตช์ฉุกเฉิน โดยในส่วนของแบตเตอรี่นั้นได้รับการสนับสนุนจากทีมมหาวิทยาลัยขอนแก่นซึ่งได้ผลิตแบตเตอรี่ด้วยกระบวนการนาโนซิลิกอนจากแกลบอาศัยกระบวนการทางเคมีที่ใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษน้อยกว่ากระบวนการที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันในระดับอุตสาหกรรม โดยมีกระบวนการผลิตดังภาพที่ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 33 ขั้นตอนการผลิตแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าจากแกลบ

กระบวนการผลิตนาโนซิลิกอนจากแกลบอาศัยกระบวนการทางเคมีที่ใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษน้อยกว่ากระบวนการที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันในระดับอุตสาหกรรม และใช้ความร้อนที่ต่ำราว 600-950 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่ากระบวนการ Carbonization ซึ่งใช้อุณหภูมิราว 2000 องศาเซลเซียส ทำให้กระบวนการนี้สามารถใช้แหล่งเชื้อเพลิงได้หลากหลาย ไม่ต้องพึ่งพาเฉพาะความร้อนจากไฟฟ้า ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าวัสดุนาโนซิลิกอนในท้องตลาดมาก มีความบริสุทธิ์สูงพอที่จะใช้ทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนได้ นอกจากนี้ กระบวนการที่เราใช้ยังไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าเทคโนโลยีหรือนำเข้าอุปกรณ์ราคาแพงจากต่างประเทศ เพราะอุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ เตาเผา ซึ่งประเทศไทยสามารถออกแบบเตาเผาและสร้างเตาเผาที่ใช้ในกระบวนการนี้เองได้

ขั้นตอนการผลิตแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนในปัจจุบัน ประกอบด้วย

1. การผสม (mixing) คือ การนำวัตถุดิบตั้งต้น ได้แก่ ผงอนุภาคของวัสดุที่จะใช้ทำขั้วไฟฟ้า (cathode หรือ anode materials) ผงวัสดุที่นำไฟฟ้า (conductive additives) ซึ่งส่วนมากใช้วัสดุประเภทคาร์บอน และตัวประสาน (binder) ซึ่งทำหน้าที่ยึดผงอนุภาคให้ติดกัน มาผสมให้เข้ากันดี สำหรับวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้นาโนซิลิกอนจากแกลบ

2. การฉาบ (coating) คือ การนำวัสดุผสมที่ได้ในข้อ 1 ไปฉาบบาง ๆ บนตัวรับกระแสให้ได้ความหนาที่สม่ำเสมอตามที่กำหนด โดยจะฉาบลงบนทั้งสองด้านของตัวรับกระแส

3. การอบแห้ง (drying) คือ การนำฟิล์มของวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 2 ไปอบแห้งในเตาอบสุญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การรีดอัด (pressing) รีดแผ่นฟิล์มบางของวัสดุคอมโพสิตให้ติดแน่นกับตัวรับกระแส และผ่านเครื่องตัดแยก (slitter) เพื่อตัดให้ได้ความกว้าง และให้เหมาะสมกับรูปแบบของแบตเตอรี่ (configuration) ตามที่ต้องการ

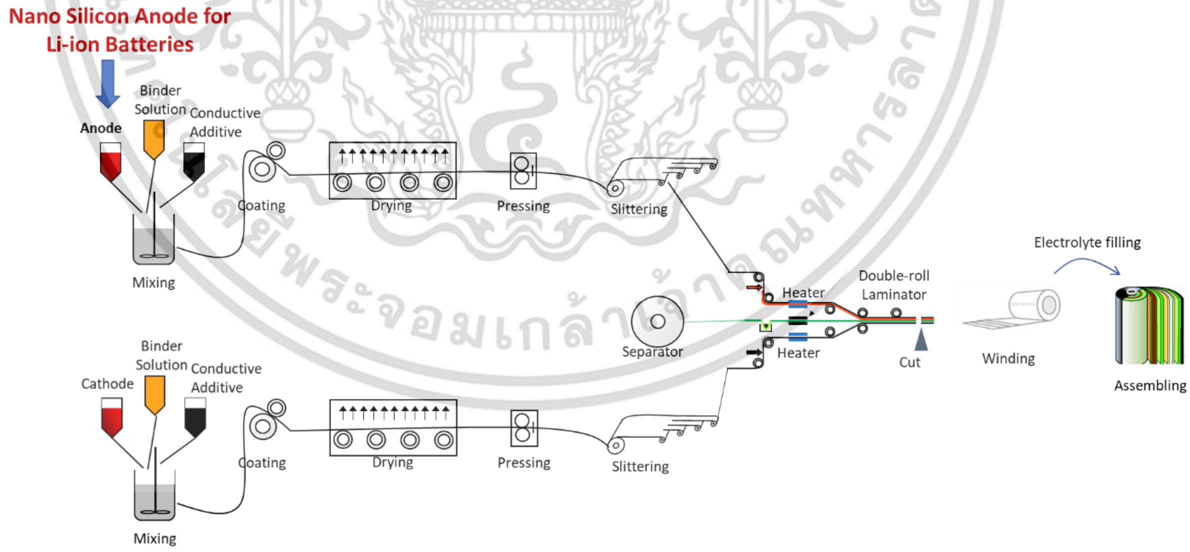
5. การนำฟิล์มบางของวัสดุจากทั้งด้านขั้วแคโทดและแอโนดมาซ้อนกันและขั้นด้วยแผ่นกั้นในแบตเตอรี่

6. การตัดให้ฟิล์มบางที่ประกอบด้วยทั้งขั้วแคโทด ขั้วแอโนด และแผ่นกั้นในแบตเตอรี่ให้ได้ความยาวตามที่ต้องการ และม้วน (winding) ให้แน่นเป็นทรงกระบอก

7. การบรรจุม้วนฟิล์มบางลงในภาชนะบรรจุ และเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยขั้นตอนนี้จะต้องทำในห้องควบคุมบรรยากาศและความชื้น

8. การปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ (Sealing) และต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมต่าง ๆ รวมถึงขั้วบวกและขั้วลบ บนแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา การใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้จะทำให้อุปกรณ์พกพาต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยุคใหม่ หรือแม้แต่อุปกรณ์ทางการแพทย์เคลื่อนที่ ที่เคยมีขนาดใหญ่ เทอะทะ ใช้งานนอกสถานที่ไม่สะดวก มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาสะดวก รวมถึงมีระยะเวลาใช้งานก่อนจะประจุไฟใหม่ยาวนานขึ้นมาก สำหรับแบตเตอรี่ชนิดที่จะเลือกใช้ในหุ่นยนต์นี้ จะใช้เซลล์แบตเตอรี่ที่พัฒนาจากเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาพที่ 34 กระบวนการผลิตนาโนซิลิกอนสำหรับใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม

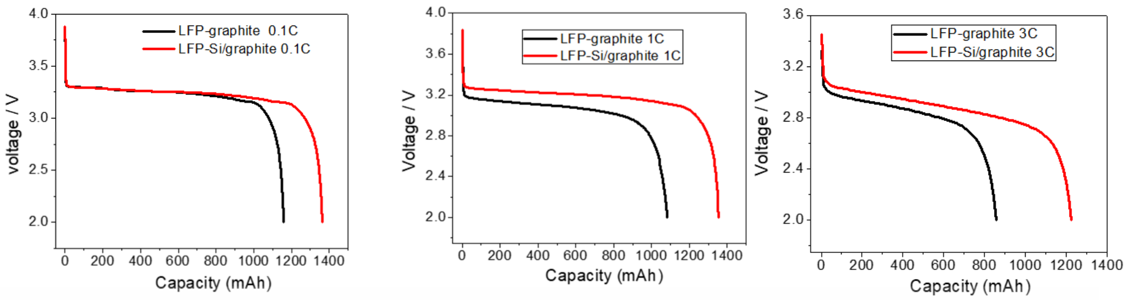
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากรัฐบาล เพื่อก่อสร้างโรงงานต้นแบบผลิตแบตเตอรี่เซลล์ชนิดลิเทียมไอออน ที่ใช้เทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการนำแกลบและเถ้าแกลบมาผลิตเป็นนาโนซิลิกอน ที่มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อเป็นองค์ประกอบในแบตเตอรี่เซลล์ ซึ่งทำให้แบตเตอรี่เซลล์มีความจุสูงขึ้นและรองรับการใช้งาน Fast charge ได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่เชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน โดยจะใช้แกลบเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตนาโนซิลิกอน ที่เป็นส่วนประกอบของขั้วแบตเตอรี่ ประมาณ 0.5-1 ตันต่อวัน ซึ่งโรงงานต้นแบบได้ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จแล้ว โดยโรงงานต้นแบบนี้ จะมีกำลังการผลิตประมาณ225,000 เซลล์ต่อปี ซึ่งเพียงพอและสามารถรองรับการผลิตหุ่นยนต์สำหรับช่วงการทดลองและทดสอบตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศได้

ภาพที่ 35 ภาพปัจจุบันของโรงงานต้นแบบฯ ณ อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ภาพที่ 36 แสดงตัวอย่างเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ผลิตโดยโครงการวิจัยแบตเตอรี่ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบ Voltage Profile ที่ C-rate ต่างๆ 0.1C (ซ้าย) 1C (กลาง) และ 3C (ขวา) ของ High Power Cell เส้นสีดำแสดง Commercial และสีแดงเป็นข้อมูลของผลงานจากการวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาพที่ 37 แสดงรูปแบบโวลต์ (Voltage profile) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แบบ High Power Cell ที่ใช้วัสดุนาโนซิลิกอนกับแบตเตอรี่แบบ High Power Cell ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ที่ C-rate ต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นว่า แบตเตอรี่ของมหาวิทยาลัยขอนแก่นมีความสามารถในการกักเก็บพลังงานได้สูงกว่าประมาณร้อยละ 25 ที่ 1C (ระยะเวลาในการอัด-คายประจุประมาณ 60 นาที) และสูงกว่าร้อยละ 42 ที่ 3C (ระยะเวลาในการอัด-คายประจุประมาณ 20 นาที) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ของเรามีความสามารถที่จะรองรับการ Fast Charge ได้ดีกว่าแบตเตอรี่ประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายเชิงการค้า

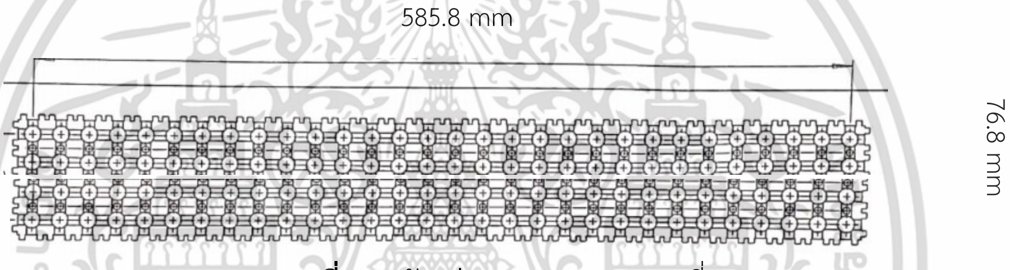
โรงงานต้นแบบนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาแบตเตอรี่เซลล์ในประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้อย่างแท้จริง โดยจะให้บริการการวิจัย พัฒนาและผลิต ร่วมกับหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งอุตสาหกรรมแบตเตอรี่เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สนับสนุนอุตสาหกรรม S-Curve ใหม่ของประเทศ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ (Next – Generation Automotive) และอุตสาหกรรมหุ่นยนต์ (Robotics) เป็นต้น โรงงานต้นแบบนี้ สามารถทำงานร่วมกับบริษัท Startup ที่ต้องการทดลองผลิตอุปกรณ์จำนวนไม่มากเพื่อทดลองตลาด แต่ต้องการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนประสิทธิภาพสูงที่อาจไม่มีขายในท้องตลอดในปัจจุบัน หรืออาจมีแต่มีราคาที่สูงและมักจะต้องสั่งซื้อในปริมาณที่มากพอ เป็นการเริ่มต้นที่ลงทุนน้อยกว่าและลดความเสี่ยง นอกจากนี้จากเทคโนโลยีการผลิตที่ต้องอาศัยแกลบและเถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ยังสามารถยกระดับมูลค่าและโซ่มูลค่าของข้าวในประเทศไทย เนื่องจากนาโนซิลิกอนเป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูง ในการเตรียมการในเรื่องนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้มีแผนงานในการจัดซื้อแกลบจากเครือข่ายเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและใกล้เคียง เพื่อสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรสูงขึ้นกว่าการจำหน่ายแกลบในรูปแบบปกติ เพื่อทำให้ประเทศไทยก้าวไปตามยุทธศาสตร์การพัฒนาชาติ 20 ปี โดยไม่ต้องทิ้งใครไว้ข้างหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่สำหรับหุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์ ที่พัฒนาขึ้นโดยทีมมหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถผลิตได้ตามความต้องการพลังงานและขนาดของหุ่นยนต์ได้ โดยสามารถเลือกใช้วัสดุแคโทดที่มีสมบัติตามที่โครงการต้องการได้ด้วย เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด (Tailor & custom made ได้)

Requirements: อุปกรณ์สำหรับแบตเตอรี่ที่สามารถรองรับการทำงานของหุ่นยนต์จัดส่งยาและอาหารอัตโนมัติเพื่อการจัดการดูแลผู้ป่วยและการบริหารระบบโลจิสติกส์ในโรงพยาบาลโดยปัญญาประดิษฐ์ ที่ต้องการแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 300 วัตต์ ทำงานได้ 3 ชั่วโมง และสามารถอัดประจุเต็มภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

Solutions: อุปกรณ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะรับผิดชอบผลิตให้กับโครงการ ประกอบด้วย



ภาพที่ 38 ตัวอย่างขนาดของแบตเตอรี่
(ขนาดจริงอาจเล็กกว่านี้ เมื่อ Design ของ Robot ถูก Optimize แล้ว)

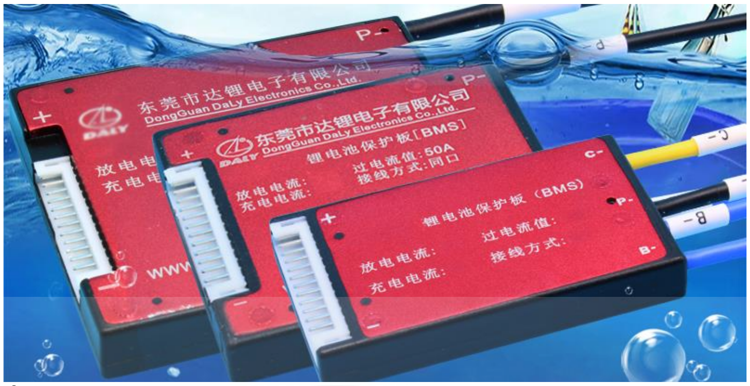
1) แบตเตอรี่แพ็ค 12V 4S 30 Ah โดยใช้เซลล์แบตเตอรี่แบบทรงกระบอกที่พัฒนาจากผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่น(ตัวอย่างแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่จะผลิตให้โครงการจะเป็นแพ็คที่มี dimensions โดยประมาณ 78 mm x 586 mm x 70 mm (กว้าง x ยาว x สูง) แต่สามารถ customize ตามพื้นที่ที่โครงการให้มาได้ (Customizable) ดังภาพที่ 38

2) PCB พร้อม BMS สำหรับ 12V 30Amps (ใช้ 4S) ตัวอย่างของ BMS จะใช้ BMS ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์สำหรับแบตเตอรี่ 12V และรองรับกระแส 30 แอมป์ หรือตามที่โครงการกำหนด (Customizable) ดังภาพที่ 39

3) เครื่องอัดประจุ (Charger) 300 W สำหรับ Normal Charge ที่ประมาณ 2 ชั่วโมง 1 ชิ้น แสดงตัวอย่างดังภาพ โดยที่ชาร์จเจอร์ที่จะใช้ จะต้องมีผลการทดสอบมาตรฐาน และมี CE Mark เป็นขั้นต่ำ ดังภาพที่ 40

4) ชาร์จเจอร์ 300 W สำหรับต้องการ Fast Charge ภายใน 1 ชั่วโมง 1 ชิ้น ดังภาพที่ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 39 ตัวอย่างของ Battery Management System (BMS) คุณภาพสูงที่สามารถ Monitor ค่า Voltage, Current และ Temperature ขณะชาร์จและใช้งานแบตเตอรี่ได้ เพื่อความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่ยาวนานของแบตเตอรี่

ภาพที่ 40 ตัวอย่างเครื่องอัดประจุ (Charger) ที่สามารถอัดประจุด้วยกำลังสูงสุด 300 W

ภาพที่ 41 รูปตัวอย่างเครื่องอัดประจุ (Charger) ที่สามารถอัดประจุด้วยกำลังสูงสุด 600 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 ส่วนของระบบควบคุมหลัก (Controller)

ในส่วนนี้จะใช้ Jetson nano เป็นตัวประมวลผลหลักในการควบคุมการทำงานของตัวหุ่นยนต์ทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์และใช้ Surface เป็นตัวดึงข้อมูลและแสดงผล รวมถึงเป็นตัวเชื่อมต่อไปที่ส่วนต่าง ๆ ในการติดตามสถานะของหุ่นยนต์ ซึ่งเชื่อมต่อกับ Jetson nano โดยใช้อินเทอร์เน็ตในวงแลน (LAN) เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจาก Jetson nano ไม่มีตัวรับสัญญาณ WIFI จึงต้องใช้ WIFI adapter ต่อผ่าน USB HUB ในการรับสัญญาณ

3.1.2.3 ส่วนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Motion)

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยมอเตอร์ขับ (motor drive) 2 ตัว, มอเตอร์ 4 ตัว และล้อแมคคานัมซึ่งจะถูกเขียนโปรแกรมควบคุมผ่านบอร์ดคอนโทลเลอร์ Arduino Due ซึ่งมีการประมวลที่สูงและละเอียด เนื่องจากต้องสามารถรองรับการทำงานของมอเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ (motor with encoder) ที่มีจำนวนรอบ 400 rpm, สามารถรับโหลดได้ 7.9 kg.cm และมีอัตราทดเกียร์ 1 ต่อ 14 รอบ

3.1.2.4 ส่วนเซ็นเซอร์ (Sensor)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของเซ็นเซอร์ที่ช่วยในการเดินอัตโนมัติซึ่งจะใช้ไจโรสโคป (Gyroscope) ช่วยในส่วนของการระบุตำแหน่ง และใช้เทคโนโลยีแสงเลเซอร์ (Lidar) และกล้องตรวจจับความลึก (Depth camera) ในการประมวลผลภาพ และช่วยในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์แบบเรียลไทม์

Lidar และ Depth camera เป็น 3D sensing element โดยที่ depth camera จะสามารถรับภาพ 3 มิติและประมวลผลเป็นภาพ 3 มิติที่มีค่าความละเอียดที่สูงแต่ระยะทางในการตรวจจับของเซ็นเซอร์มีระยะใกล้ ในส่วนของ Lidar จะรับภาพเป็นแนวระนาบ 2 มิติและจะประมวลผลเป็นภาพ 3 มิติที่มีความละเอียดน้อยกว่า แต่มีระยะทางในการตรวจจับของเซ็นเซอร์ไกลกว่าซึ่งตัว Lidar และ depth camera ที่เลือกใช้คือ RPLidarA2 และ intel RealSense D435 ในการระบุตำแหน่งพร้อมการสร้างแผนที่โดยการนำ 3D sensing element ทั้ง 2 ตัวมารวมกันจะทำให้ได้ค่าความละเอียดที่มากขึ้นและระยะการตรวจจับของเซ็นเซอร์ที่ดียิ่งขึ้น โดยรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเซ็นเซอร์แต่ละตัวดังแสดงในตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของ Intel RealSense D435

Depth camera Operational Specifications : Intel RealSense D435	
Operating Range (Min-Max)	0.1 m – 10 m
Depth Resolution and FPS	1280 x 720 @ 90fps
Depth Field of View	82.5 x 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของ Lidar แต่ละตัว

Name	RPLIDAR A2	RPLIDAR A1	LDS-01
Distance range	0.12-18 m	0.15-12 m	0.12-3.5 m
Angular range	0-360 deg	0-360 deg	0-360 deg
Distance resolution	<1% Dis.range	<1% Dis.range	-
Angular resolution	0.9 deg	≥1 deg	1 deg
Sample duration	0.25 ms	0.5 ms	-
Sample Freq.	2000-4000-8000 Hz	2000-4000-8000 Hz	1800 Hz
Scan rate	10 Hz	5-5.5-10 Hz	5±0.1 Hz
Weight	190 g	170 g	Under 125 g
Height	41 mm	60 mm	39.5 mm
Width	76 mm	98.5x70 mm	95.5x69.5 mm

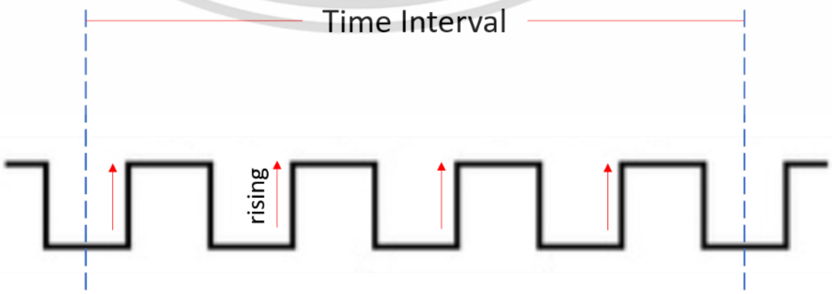
3.2 การเขียนโปรแกรมและซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์

3.2.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ส่วนนี้จะเป็นส่วนการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์บนบอร์ด Arduino Due ซึ่งจะใช้ระบบควบคุมพีไอดี (PID control) ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยจะกล่าวดังต่อไปนี้

ขั้นแรกคือการอ่านค่าการหมุนจากเอ็นโค้ดเดอร์ เนื่องจากเอ็นโค้ดเดอร์มีความละเอียดสูงจึงต้องใช้การอ่านแบบอินเทอร์รัป (interrupt) ซึ่งเป็นการอ่านค่าทุกครั้งที่ค่าพัลส์จากเอ็นโค้ดเดอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามคำสั่งดังโค้ด

```
>> attachInterrupt(encoder1PinA , encoder1read, RISING);
```



ภาพที่ 42 แสดงการอ่านค่าเอ็นโค้ดเดอร์ในช่วงเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลังจากการอ่านค่าในช่วงเวลาที่กำหนดก็จะนำมาคิดเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ตซ์ (Hz) จำนวนพัลส์ต่อวินาที และนำมาแปลงเป็นจำนวนพัลส์ตอการหมุนของมอเตอร์ 1 รอบเพื่อที่จะนำไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในหน่วยเมตรต่อวินาที โดยใช้ข้อมูลของมอเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ (Gear ratio 1:14, 500 line/revolution) ในสูตร

>> จำนวนรอบของมอเตอร์ต่อวินาที = ความถี่/(14 x 500)

และหาจำนวนของพัลส์ต่อการหมุนมอเตอร์ 1 รอบ จาก

>> จำนวนของพัลส์ต่อการหมุนมอเตอร์ 1 รอบ = (1 x ความถี่)/จำนวนรอบของมอเตอร์ต่อวินาที

โปรแกรมส่วนนี้จะรับค่าความเร็วจากระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ (ROS) ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป ในโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะรับค่า Topic : cmd_vel หรือค่าความเร็วในหน่วย m/s มาจาก ROS และนำค่านั้นแปลงเป็นค่าความถี่ (frequency) เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์หมุนตามระบบของ PID control ซึ่งขั้นแรกให้ตั้งค่า Ki และ Kd เป็นศูนย์ เพิ่มอัตราขยาย *P* สูงที่สุด, Ku, จนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่ง นำค่า Ku และค่าช่วงการแกว่ง Pu มาหาค่าตัวแปรที่เหลือดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 Ziegler–Nichols method

Control Type	K_p	K_i	K_d
P	$0.50K_u$	-	-
PI	$0.45K_u$	$1.2K_p/P_u$	-
PID	$0.60K_u$	$2K_p/P_u$	$K_pP_u/8$

และนำค่าที่ได้มาใช้ในการปรับค่าความถี่เพื่อใช้คุมความเร็วของมอเตอร์ต่อไปดังโค้ด

>>
```
error = setpoint - HHZ; //determine error
if (error < 70 && error > -70 ) {
error = 0;  }
integral = +error; //i
if (integral >= 255) {
integral = 255;  }
if (integral <= -255) {
integral = -255;  }
derivative = error - previous_error; //d
Output = (error * Kp) + (integral * Ki) + (derivative * Kd); //output
```

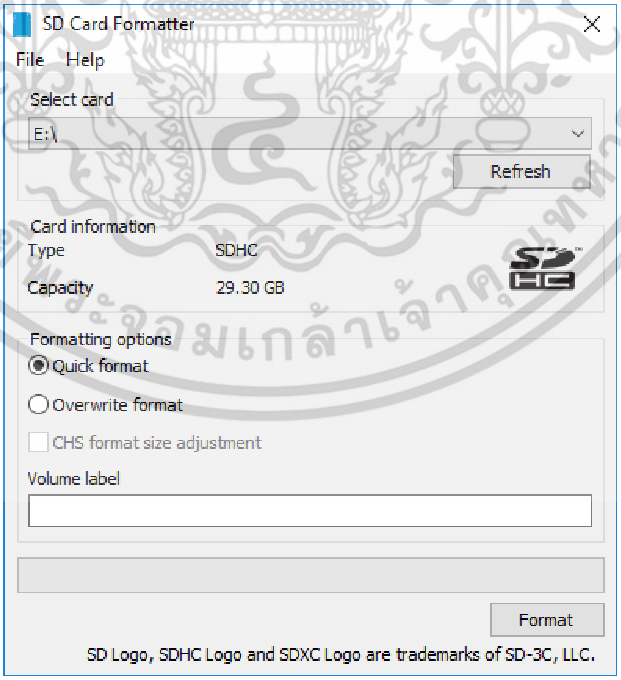
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ในระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ (ROS)

การติดตั้งระบบปฏิบัติการให้ Jetson nano ต้องเริ่มจากการเตรียมส่วนประกอบอื่น ๆ ที่จำเป็นเบื้องต้นก่อน ได้แก่

- microSD Card บอร์ด Jetson nano จำเป็นต้องใช้ SD Card สำหรับการบูตซอฟต์แวร์และเป็นพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล (Storage) ที่สำคัญคือ SD Card จำเป็นต้องมีพื้นที่และความเร็วมากพอสำหรับใช้งาน และประมวลผล โดยขนาดความจุต่ำสุดที่แนะนำคือ 16GB
- Micro-USB Power Supply สำหรับบอร์ด Jetson nano ต้องการ power ขั้นต่ำ 5V-2A สำหรับ Micro-USB port แต่ทั้งนี้การจ่าย power ขั้นต่ำอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมวลผลของบอร์ดบางส่วนด้วย ดังนั้นบนบอร์ดจึงมี Jack port ที่รองรับ power 5V-2A ที่จะทำให้บอร์ด Jetson nano สามารถประมวลผลได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
- Wireless Networking Adapter เนื่องจากบอร์ด Jetson nano ไม่มี WiFi adapter ภายในบอร์ด ดังนั้นการใช้งานอินเตอร์เน็ตจำเป็นต้องใช้ Wireless WiFi adapter เพื่อเชื่อมต่อ

เมื่อเตรียมส่วนประกอบเบื้องต้นต่างๆพร้อมแล้วก็จะเข้าสู่กระบวนการลง Operating System ลงบน SD card ที่เตรียมไว้ ก่อนอื่นทำการ format SD card ก่อนด้วยโปรแกรม SD card formatter ดังภาพที่ 43

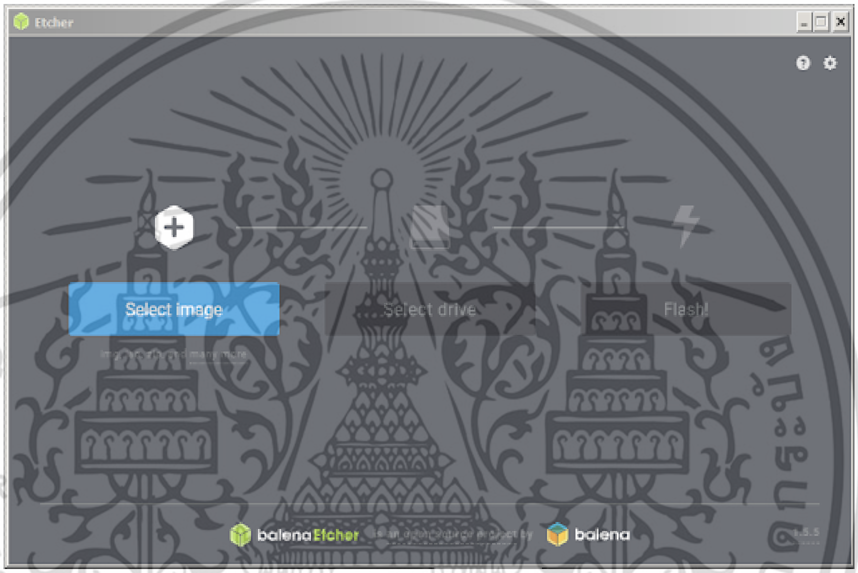


ภาพที่ 43 แสดงหน้าต่างการ format SD card

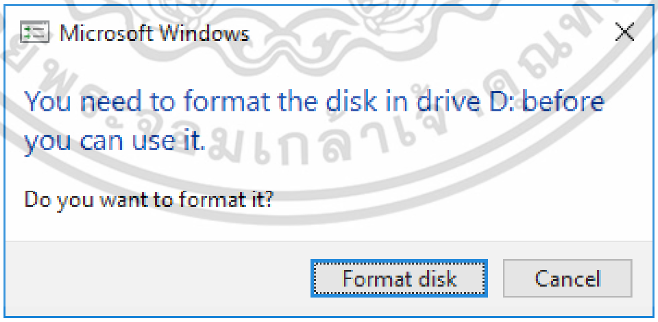
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาให้ดาวน์โหลดไฟล์ OS จากลิ้ง https://developer.nvidia.com/jetson-nano-sd-card-image-r322 โดย OS ตัวนี้จะเป็น Ubuntu 18.04 พร้อมกับมี package ของ Jetson nano บางส่วนมาให้ด้วย ในการ install OS ลงบน SD card จำเป็นต้องใช้โปรแกรม Etcher ในการ flash OS ลงใน SD card

ให้เลือกไฟล์ OS ที่เราโหลดมาแล้วก็เลือกที่อยู่ไดร์ฟของ SD card เรา จากนั้นก็กด flash ดังภาพที่ 44 จะใช้เวลาสักพักในการทำงาน โดยหากระหว่างการทำงานเกิดมี pop-up หน้าต่างแสดงขึ้นมาดังภาพที่ 45 ให้กด cancel



ภาพที่ 44 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Etcher



ภาพที่ 45 แสดงหน้าต่างที่อาจขึ้นมาระหว่างการทำงาน

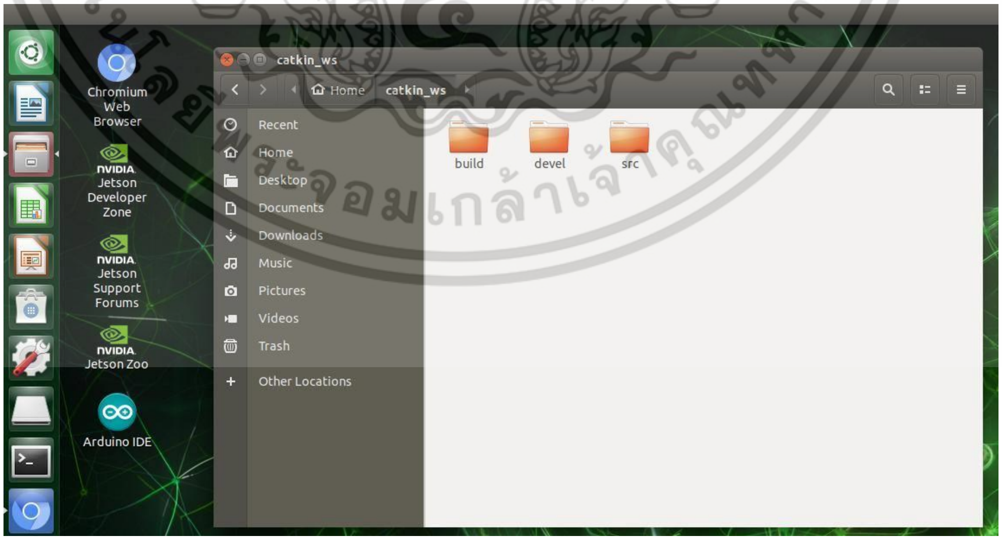
เมื่อโปรแกรมเสร็จสิ้นกระบวนการ flash OS แล้ว ให้ถอด SD card ออกใส่ที่ Jetson nano จากนั้นให้ทำการต่อ HDMI, keyboard, mouse, WiFi adapter และ power supply หลังจากต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่างๆแล้วตัวบอร์ด Jetson nano จะ boot โปรแกรมเองอัตโนมัติ และเมื่อทำการตั้งค่าภาษาและรหัสผ่านเบื้องต้นเสร็จสิ้นก็สามารถใช้งานบอร์ด Jetson nano ได้ตามต้องการ

ภาพที่ 46 แสดงหน้าจอแสดงผลของบอร์ด Jetson nano เมื่อลง OS เสร็จและพร้อมใช้งาน

เมื่อ Jetson nano พร้อมใช้งานแล้ว ต่อมาก็จะเปิด Terminal และทำการติดตั้ง ros-melodic-desktop เพื่อใช้งานระบบปฏิบัติการที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์ (ROS) หลังจากนั้นก็ทำการสร้าง workspace ที่เราจะใช้งานขึ้นมาดังภาพที่ 47 จะแสดง Folder ภายใน Workspace ชื่อ Catkin_ws

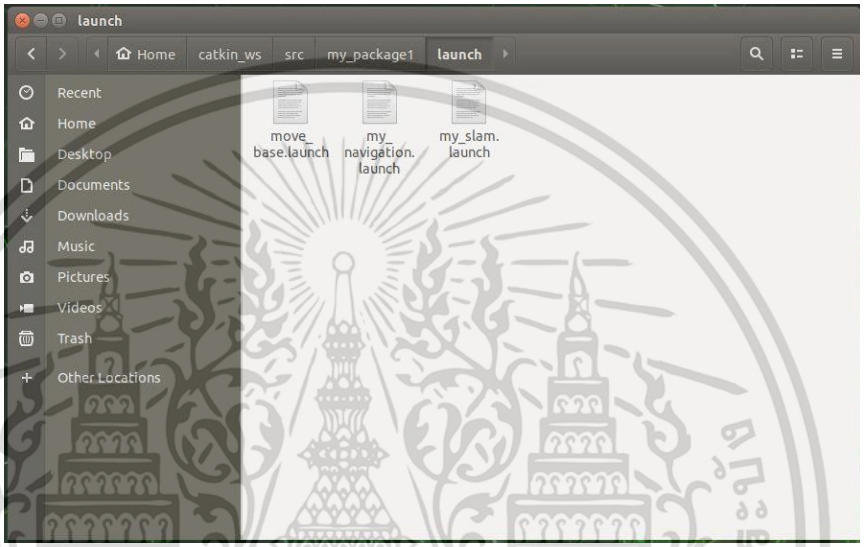


ภาพที่ 47 แสดง Folder ภายใน Workspace ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนี้ก็ติดตั้ง package ที่ต้องการใช้งานลงภายใน src ของ workspace โดย package หลัก ๆ ที่ใช้งานสำหรับหุ่นยนต์นี้ได้แก่

3.2.2.1 My_package1 โดย package นี้จะประกอบด้วย launch file ที่ใช้งานหลักทั้งการเก็บแผนที่ และการเดินแบบอัตโนมัติ โดยจะดึง package อื่น ๆ ภายใน workspace มาทำงานร่วมกัน ดังภาพที่ 48



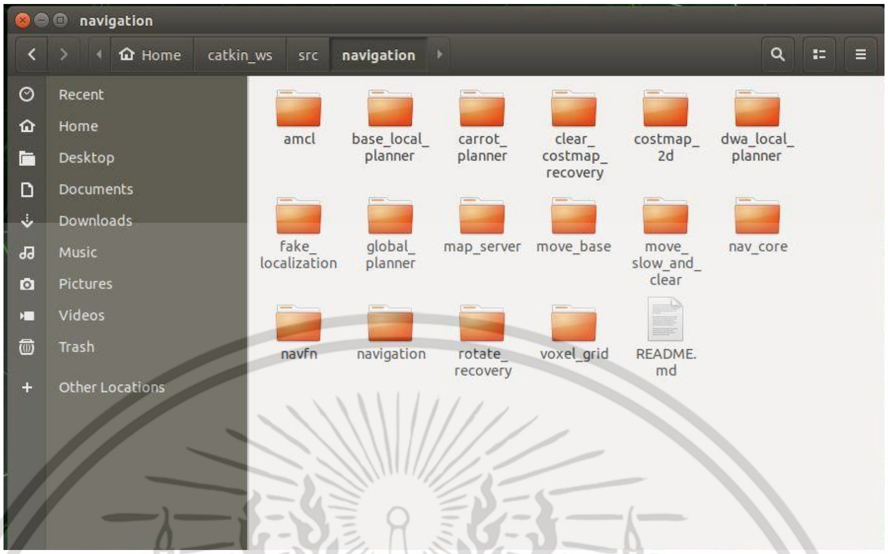
ภาพที่ 48 แสดงตัวอย่าง Launch File ภายใน My_package1

3.2.2.2 Slam_gmapping เป็น package ที่จะใช้ค่า Lidar sensor, Imu sensor หรือ Depth camera และ Odometry (ค่าที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยมาจากส่วนการควบคุมการเคลื่อนที่หรือล้อ หรือจาก Sensor) มาใช้ในการสร้างแผนที่ 2 มิติและระบุตำแหน่งพิกัดของหุ่นยนต์ภายในแผนที่

3.2.2.3 Rplidar_ros และ Realsense-ros เป็น package สำหรับการใช้งานของ Lidar และ Depth camera ซึ่งจะมี Library ที่จำเป็นสำหรับอุปกรณ์และการปรับค่า Parameter เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ

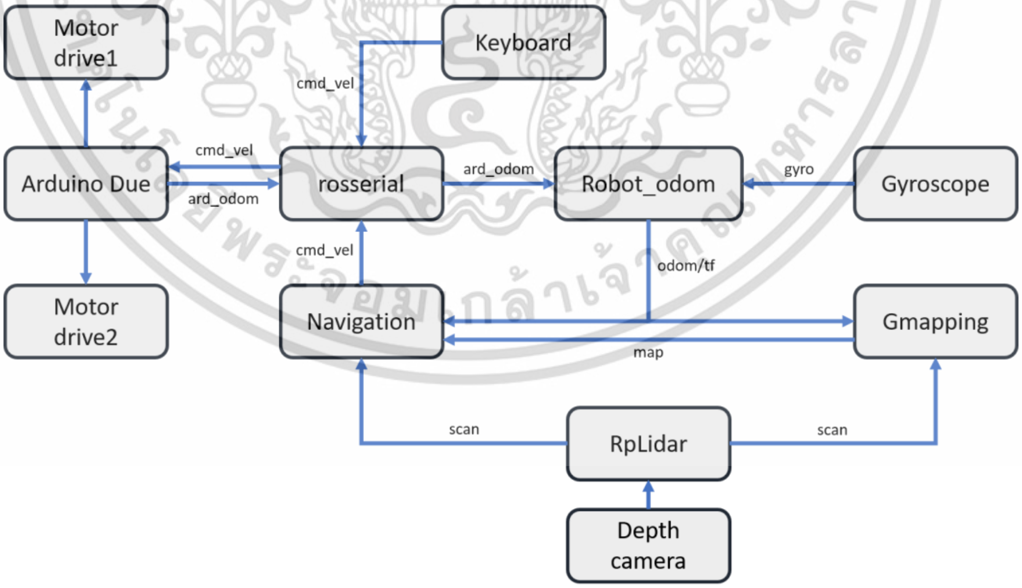
3.2.2.4 Navigation เป็น package ที่เกี่ยวข้องกับการเดินอัตโนมัติทั้งหมดของหุ่นยนต์ ทั้งการเก็บบันทึกค่าแผนที่, การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ (Amcl), การสร้าง Cost Map หรือการกำหนดค่า Footprint ของหุ่นยนต์ และ Move Base สำหรับการวางแผนเส้นทางในการเดิน ซึ่งส่วนนี้คือส่วนที่จะส่งค่าความเร็วไปให้กับส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และสั่งงานให้ล้อหมุนและเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 49 แสดง Node ที่อยู่ภายใน Package Navigation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 49 แสดง Node ภายใน Package Navigation

สำหรับการเดินอัตโนมัติของหุ่นยนต์นั้นจะแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Package ต่าง ๆ ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แสดงการทำงานของ package ต่าง ๆ บน ROS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังข้างต้นเราสามารถควบคุมหุ่นยนต์ผ่านทาง Keyboard ได้ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ Manual แต่ถ้าในส่วนของการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เราจะต้องทำการเก็บแผนที่ด้วย Package Gmapping และควบคุมด้วย Keyboard ก่อนซึ่งจะใช้ค่าจาก Sensor ของ Lidar และ Depth camera โดยที่ในขณะที่สร้างแผนที่จะต้องระบุตำแหน่งของตัวหุ่นยนต์ด้วยการรับค่า Odometry และค่า Transform จาก Robot_odom ซึ่งจะแปลงค่า ard_odom ที่ได้มาจากการหมุนของล้อ

หลังจากที่เก็บแผนที่เสร็จแล้วจะถูกส่งไปบันทึกในส่วนของ Navigation ซึ่งในส่วนนั้นจะมีระการเดินอัตโนมัติ, หลบหลีกสิ่งกีดขวาง และวางแผนเส้นทางไปยังเป้าหมายที่จะใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด โดยที่จะส่งค่า cmd_vel ไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดังแผนภาพ

โดยขั้นตอนและวิธีการในการติดตั้ง Package ต่าง ๆ รวมถึงการใช้งาน การปรับค่าพารามิเตอร์ ได้ศึกษาจากหนังสือ เรื่อง ระบบปฏิบัติการสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์ [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 รูปแบบ และโครงหุ่นยนต์ (Robot frame)

โครงสร้างของหุ่นยนต์ทั้งตัวทำจากอลูมิเนียมแผ่นขึ้นรูปเป็นลักษณะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 606 มิลลิเมตร และมีความสูงโดยรวม 995 มิลลิเมตร ด้านบนตัดเฉียงเพื่อให้ง่ายต่อมุมมองของผู้ใช้งานเจาะร่องลึกสำหรับวางหน้าจอแสดงผลกว้าง 205 มิลลิเมตร ยาว 295 มิลลิเมตร ด้านหน้ามีประตูบานพับสำหรับเก็บของกว้าง 400 มิลลิเมตร สูง 475.80 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 51 และภาพที่ 52

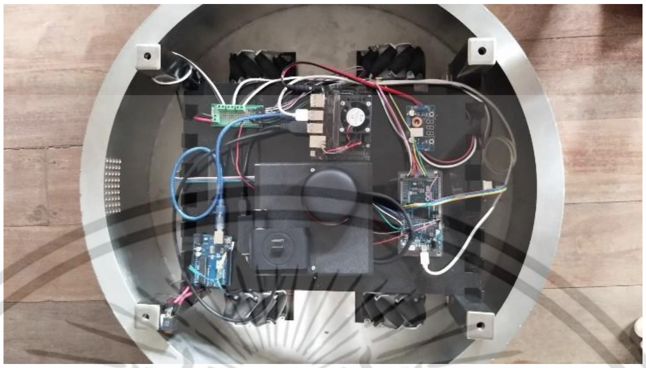
A B

C D

ภาพที่ 51 แสดงลักษณะโดยรวมของโครงสร้างภายนอกของหุ่นยนต์
A: ด้านหน้าของหุ่นยนต์ B: ด้านหน้าและด้านบนของหุ่นยนต์ C: ด้านข้างของหุ่นยนต์ D: ด้านบนของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

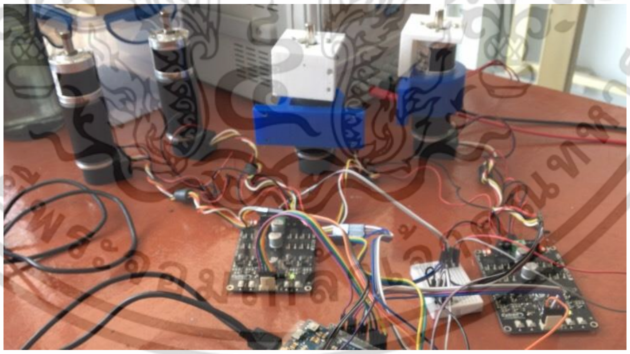
ส่วนฐานของหุ่นยนต์เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเนื่องจากส่วนนี้จะเป็นพื้นที่สำหรับจัดวางองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งบอร์ดประมวลผล เซ็นเซอร์ และแบตเตอรี่ เป็นต้น การจัดวางองค์ประกอบเหล่านี้แสดงดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 แสดงการจัดวางองค์ประกอบต่างๆภายในส่วนฐานของหุ่นยนต์

4.2 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Motor control)

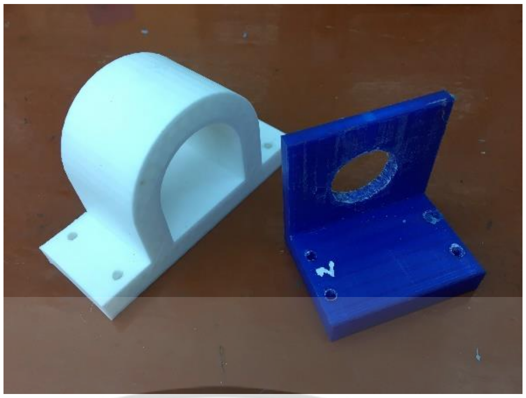
ในส่วนของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะใช้มอเตอร์ (DC Motor) ทั้งหมด 4 ตัวต่อเข้ากับล้อทั้งหมด 4 ล้อ โดยจะใช้บอร์ดขับ หรือ Motor driver แบบคู่ (dual) เป็นจำนวน 2 บอร์ด เพื่อควบคุมมอเตอร์ทั้งหมดดังภาพที่ 53 แสดงลักษณะการต่อบอร์ดขับเข้ากับมอเตอร์



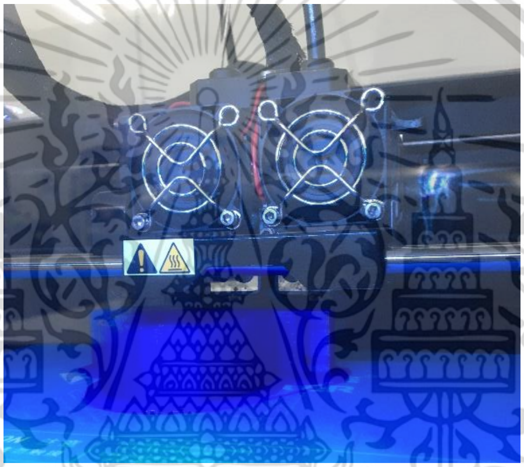
ภาพที่ 53 แสดงตัวอย่างการต่อ DC Motor เข้ากับบอร์ด Dual motor driver

นอกจากนี้ในการยึดตัวมอเตอร์เข้ากับส่วนฐานของโครงหุ่นยนต์ได้ทำการออกแบบตัวยึดมอเตอร์ผ่านโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ จากนั้นปริ้นออกมาโดยใช้เครื่องปริ้นสามมิติ (3D Printer) โดยมีส่วนยึดที่ออกแบบทั้งหมดสองชิ้น คือ ตัวยึดแป้นมอเตอร์ด้านหน้า และตัวยึดรอบมอเตอร์ ดังภาพที่ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



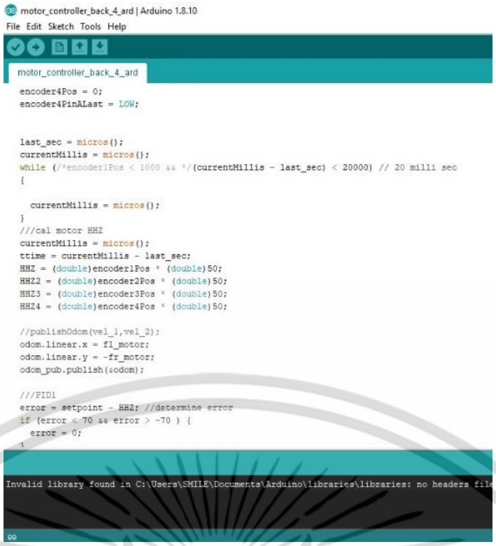
ภาพที่ 54 แสดงตัวยึดรอบมอเตอร์ยึด (สีน้ำเงิน) และตัวยึดแป้นมอเตอร์ด้านหน้า (สีขาว)



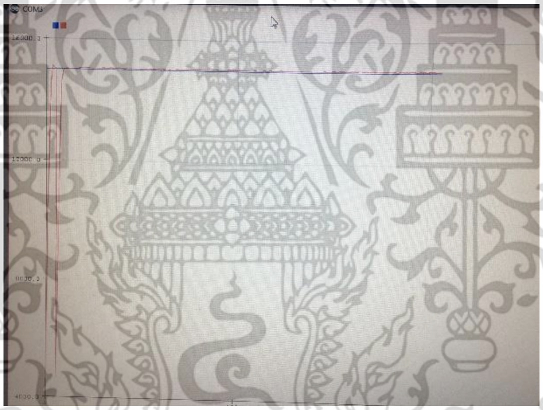
ภาพที่ 55 แสดงขั้นตอนการปริ้นตัวยึดมอเตอร์ด้วย 3D Printer

การทำงานของส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีการรับส่งคำสั่งเป็นค่าความเร็วผ่านระบบ ROS ดังนั้นในส่วนของโค้ดคำสั่งจึงจำเป็นต้องมีโค้ดในการส่งค่าจากหน่วยประมวลผลหลัก และโค้ดในการรับค่าเหล่านั้นเพื่อนำไปใช้งาน โดยโค้ดสำหรับส่งคำสั่งจะเป็นไฟล์ .cpp ซึ่งเป็นแพ็คเกจ (package) หนึ่งในพื้นที่ทำงาน (workspace) ของระบบ ROS ส่วนโค้ดในการรับคำสั่งจะเป็นโค้ดที่ใช้สำหรับบอร์ด Arduino ดังตัวอย่างในภาพที่ 56 นอกจากนี้ในส่วนโค้ดคำสั่งใน Arduino จะมีการประยุกต์ความรู้ในเรื่องของ PID เพื่อให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นไปอย่างราบรื่นเมื่อที่การรับค่าความเร็วเข้ามา โปรแกรมจะพยายามความคุมการหมุนของล้อให้คงที่ตามที่ต้องการ เพื่อให้เกิดความเสถียรที่สุดในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายไม่ให้หุ่นยนต์กระตุกจากการส่งความถี่ที่มากเกินไป (overshoot) ในช่วงเริ่มต้นการทำงาน ดังถาพที่ 57 แสดงให้เห็นกราฟความถี่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ผ่านซีเรียลพลอท (Serial plot) ในโปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 56 แสดงตัวอย่างโค้ดในการรับคำสั่งในโปรแกรม Arduino

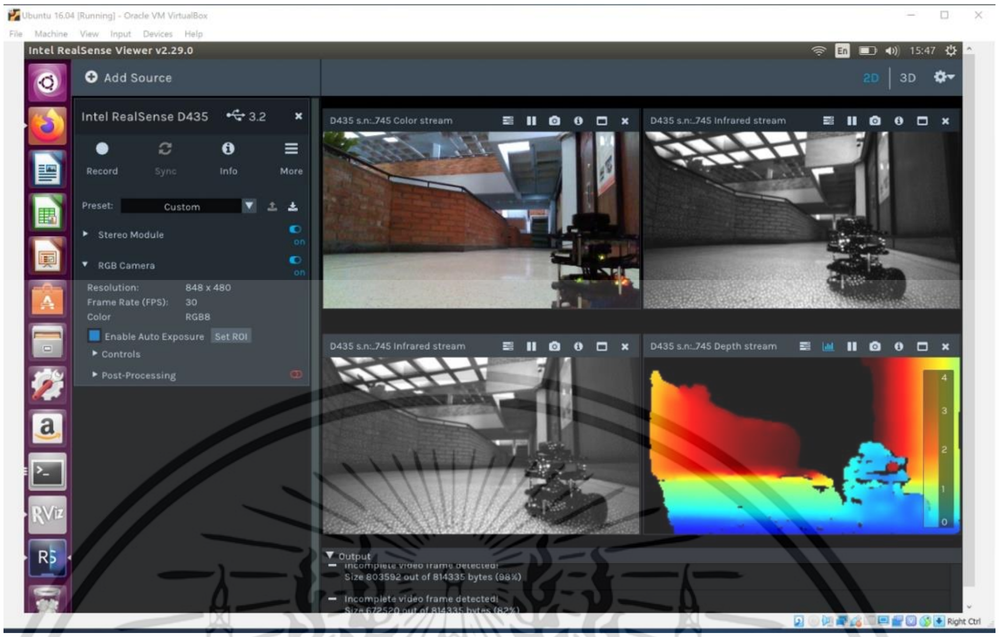


ภาพที่ 57 แสดงกราฟความถี่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์
ผ่าน Serial plot ในโปรแกรม Arduino

4.3 การแสดงผลของ Depth camera : Intel RealSense D435

กล้อง RealSense D435 เชื่อมต่อกับ ubuntu บน virtual box ผ่าน USB และสามารถประมวลผลบน RealSense Viewer แสดง Video stream ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ RGB video stream, IR video stream และ Depth video stream ผ่านการทำงานร่วมกันของกล้องด้านซ้าย, กล้องด้านขวา และกล้องอินฟราเรด โดยกล้องอินฟราเรดจะช่วยให้การรับค่าความลึกของกล้องมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ร่วมกับการคำนวนโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกล้องด้านซ้าย และกล้องด้านขวา ดังภาพที่ 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



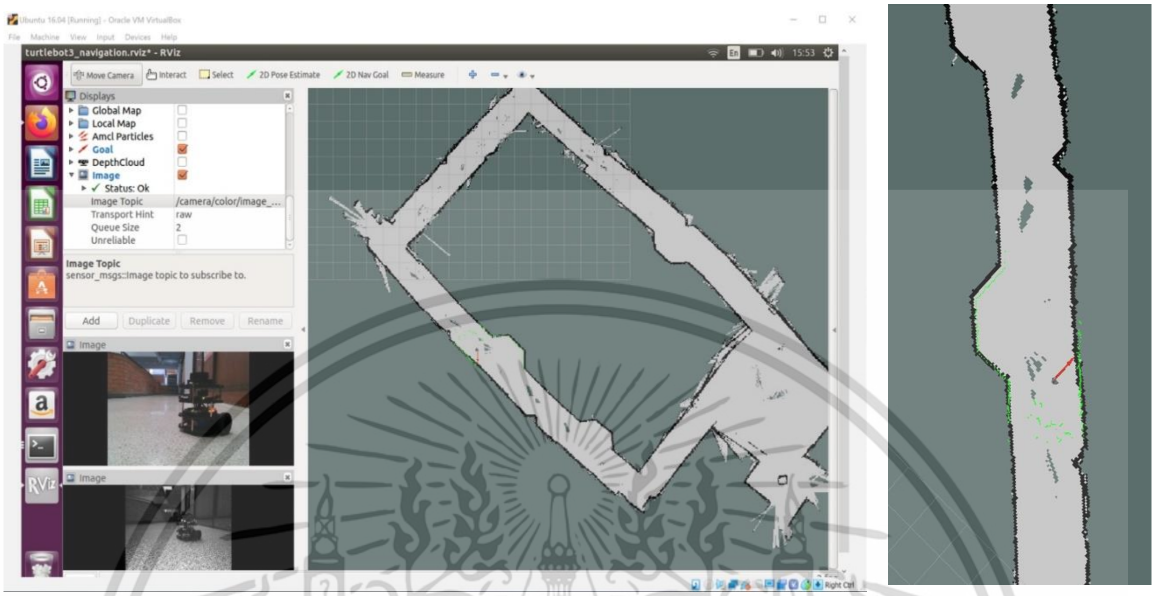
ภาพที่ 58 แสดงการแสดงผลในรูปแบบ Video stream ของกล้อง RealSense D435 ได้ภาพต่างๆ ได้แก่ RGB (บนซ้าย), IR (บนขวาและล่างซ้าย), Depth (ล่างขวา)

4.4 การเก็บแผนที่ (gmapping)

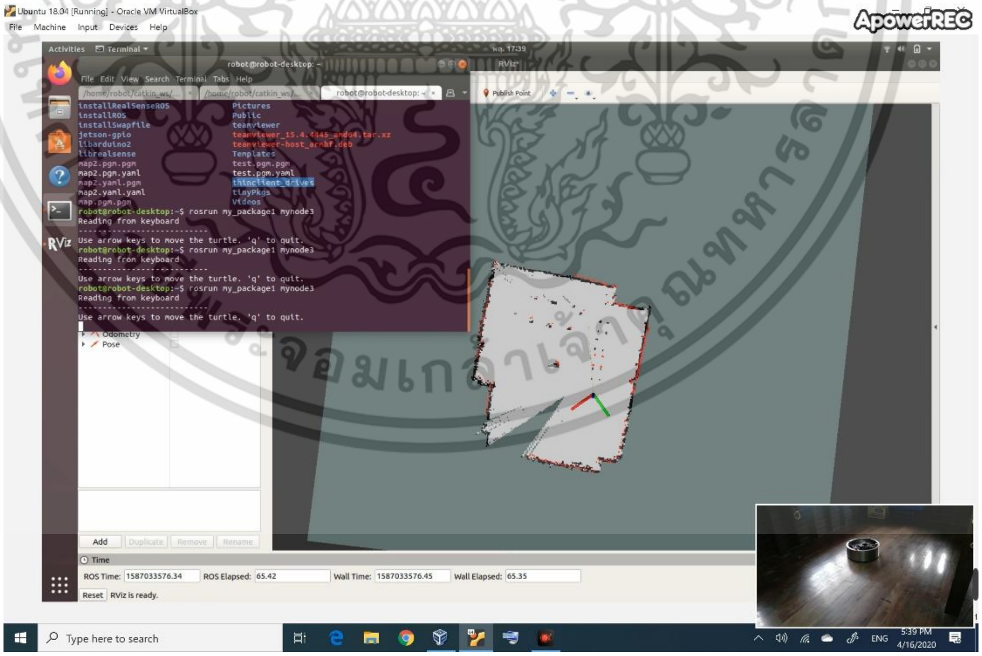
การเก็บแผนที่เป็นการใช้แพ็คเกจในการสร้างแผนที่ (gmapping package) ซึ่งเป็น node หนึ่งใน ROS ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากมีหน้าที่ในการสร้างแผนที่จำลองโดยจะแสดงผลบนหน้าต่างของ Rviz ดังภาพที่ 59 และภาพที่ 60 ตัวแผนที่จะถูกสร้างซ้อนทับไปเรื่อย ๆ จากข้อมูลสิ่งกีดขวางที่หุ่นยนต์ตรวจจับได้ในระหว่างเคลื่อนที่ เป็นข้อมูลระยะทางที่รับมาจาก Lidar sensor โดย gmapping package จะต้องทำงานร่วมกับ node สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ หรือ Teleoperation node เพื่อควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินไปบริเวณโดยรอบให้ Lidar สามารถตรวจจับสภาพแวดล้อมหรือพื้นที่ต่าง ๆ ได้ และสำหรับการเก็บแผนที่นี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับ Navigation system ต่อไป

เพื่อให้การทำงานของ gmapping มีประสิทธิภาพจะต้องมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์บางอย่างให้เหมาะสม เช่น ระยะความไกลของเซ็นตเซอร์ ความถี่ในการรับส่งค่า ระยะเวลาในการสร้างแผนที่ ความเร็วในการตรวจจับสภาพแวดล้อม เป็นต้น การปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถทำได้โดยการกำหนดใน node ของ gmapping ภายใน launch file สำหรับเรียกใช้ package ดังตัวอย่างโค้ดในภาพที่ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

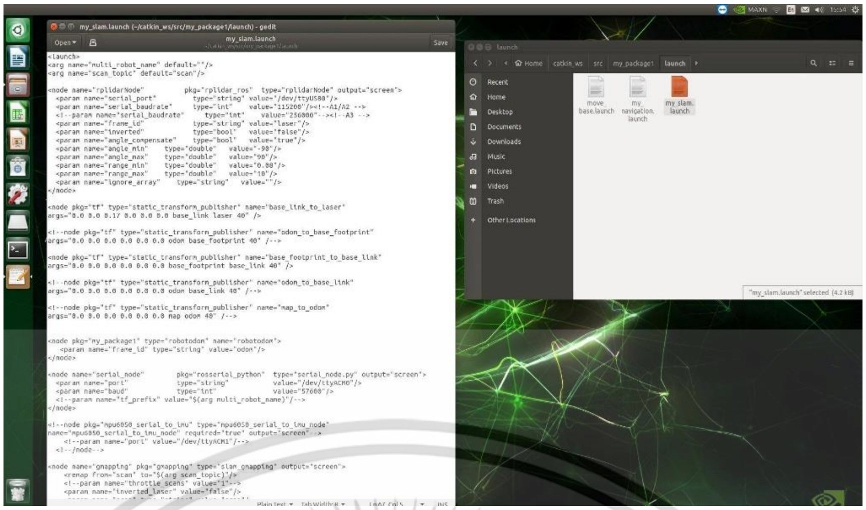


ภาพที่ 59 แสดงแผนที่บนหน้าต่างโปรแกรม Rviz บริเวณชั้น 3 ของตึกบี คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ด้านซ้าย) และภาพขยายบริเวณตำแหน่งของหุ่นยนต์ (ด้านขวา)



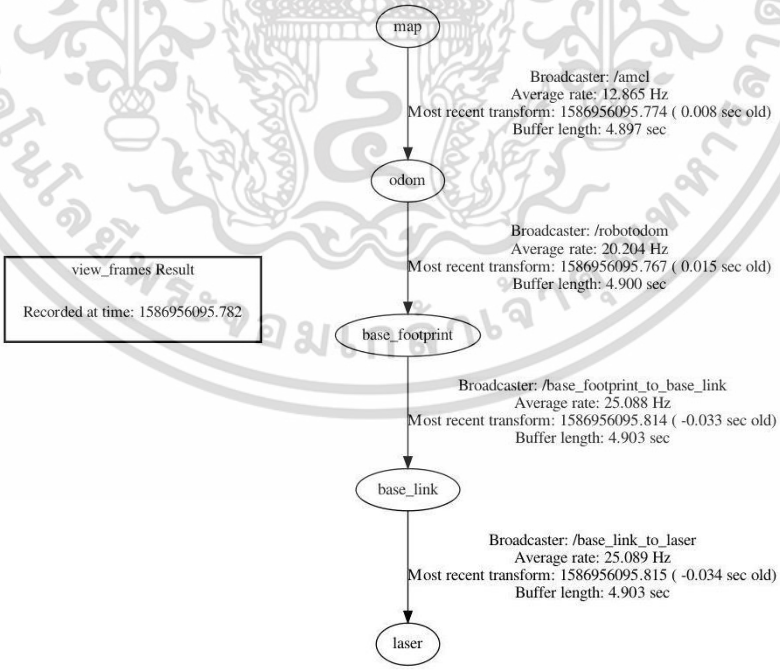
ภาพที่ 60 แสดงแผนที่สภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์ ขณะทำการเก็บข้อมูลแผนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 61 แสดงตัวอย่างโค้ดภายใน launch file ของ gmapping

นอกจากนี้การทำงานของ gmapping node จะต้องอ้างอิงข้อมูลในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ รวมทั้งตำแหน่งของเซ็นเซอร์ต่างๆจากแพ็คเกจในการแปลงข้อมูลตำแหน่ง (TF node) ด้วยข้อมูลเหล่านี้ คือข้อมูลในการแปลงระบบตำแหน่งต่างๆ (frame) เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งที่ถูกต้องในโปรแกรมได้ ดังแสดงลำดับขั้นการแปลง frame ต่างๆในภาพที่ 62



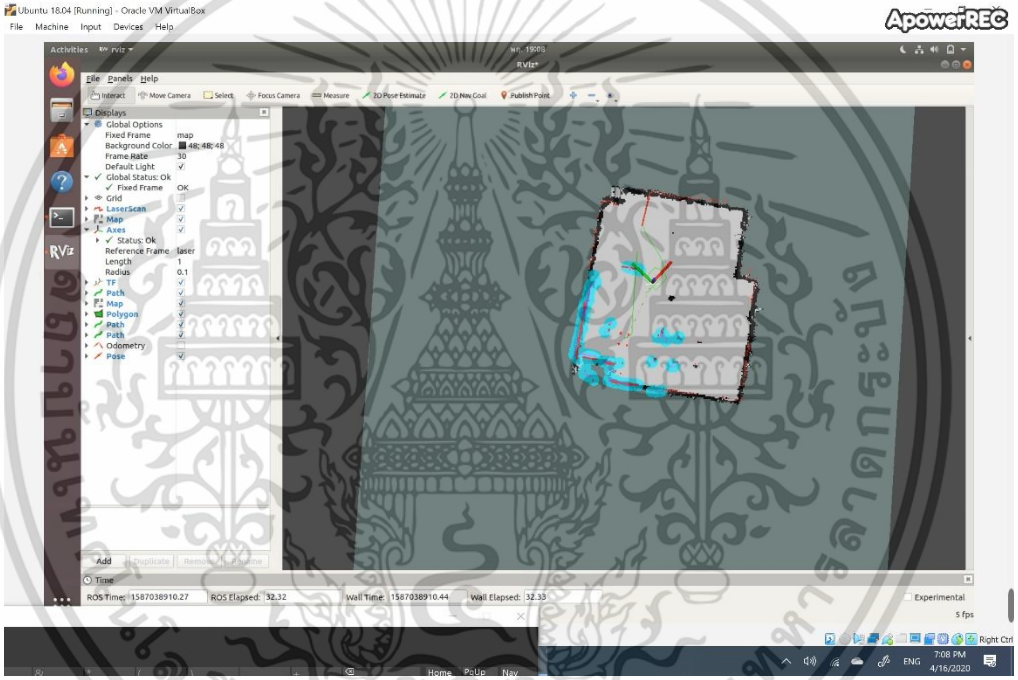
ภาพที่ 62 แสดงลำดับขั้นการแปลง frame ต่างๆทั้งความถี่ เวลา และค่าดีเลย์ของแต่ละ frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ระบบนำทางหุ่นยนต์ (Navigation system)

ระบบนำทางอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์ Navigation เป็นการทำงานที่ให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งที่เราต้องการบนแผนที่โดยที่หุ่นยนต์จะใช้แผนที่ในการสร้างทางเพื่อเดินไปยังจุดหมาย และสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยอัตโนมัติด้วยการทำงานของ Lidar sensor

Navigation node ประมวลผลบน Rviz ซึ่งเป็นเครื่องมือของ ROS เป็นการเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์จริงพร้อมเห็นภาพการทำงานของหุ่นยนต์ (visualization) โดยจะต้องเรียกใช้แผนที่ที่เก็บไว้จากที่กล่าวมาข้างต้น และจัดตำแหน่งของตัวหุ่นยนต์ให้ตรงกับตำแหน่งบนแผนที่ จากนั้นก็กำหนดจุดหมายให้หุ่นยนต์ หุ่นยนต์จะสามารถสร้างทางเดินที่ใกล้ที่สุด และเดินไปยังจุดหมายได้เองโดยอัตโนมัติ



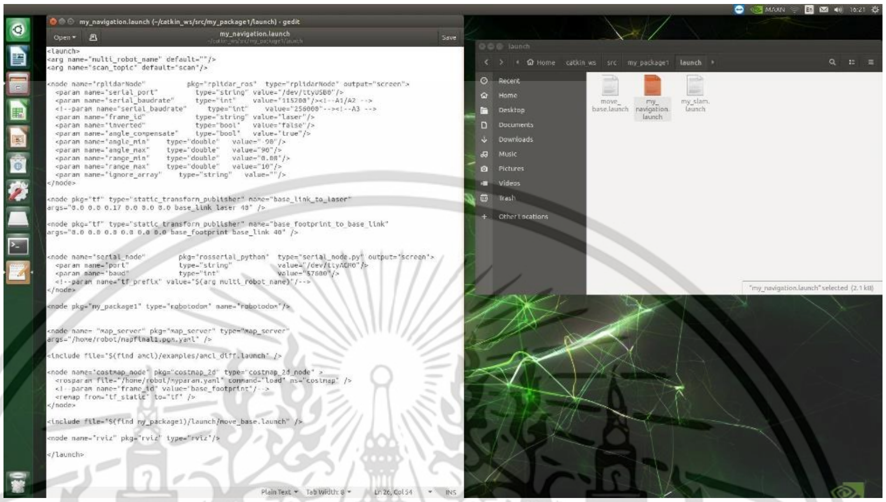
ภาพที่ 63 แสดงแผนที่สภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์ ขณะทำการเก็บข้อมูลแผนที่

ภาพที่ 63 แสดงให้เห็นถึงหน้าต่างแสดงการทำงานจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อัตโนมัติบน Rviz โดยหุ่นยนต์จะคำนวณเส้นทางสำหรับเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย (เส้นสีเขียว) หากเซ็นเซอร์ตรวจพบว่ามีสิ่งกีดขวางทางเดินอยู่ด้านหน้า หุ่นยนต์จะคำนวณหาเส้นทางใหม่ดังภาพ ขณะที่พื้นที่สีฟ้า คือบริเวณที่ถูกคำนวณว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดการชน หุ่นยนต์จะพยายามหลบเลี่ยงบริเวณดังกล่าว

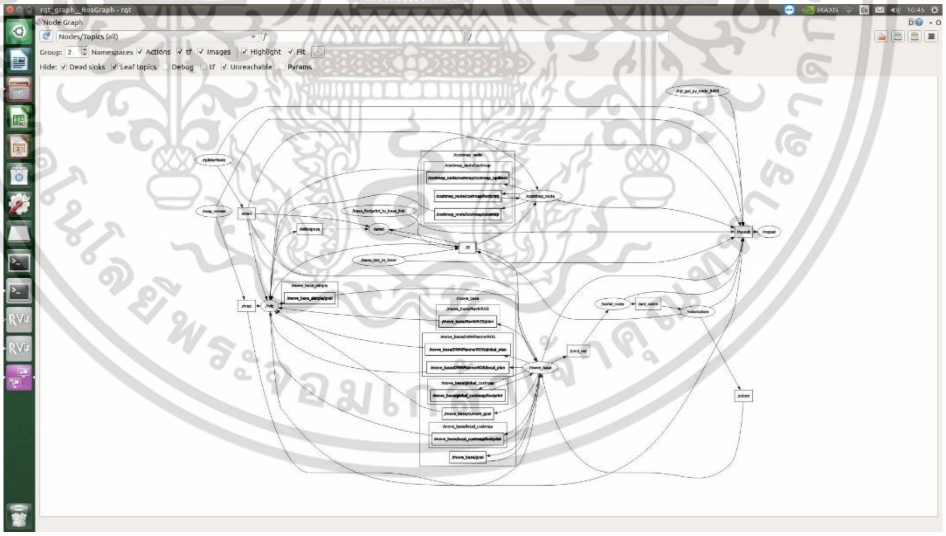
การทำงานของ Navigation system จะต้องพึ่งพาเครื่องมือหรือ package อื่นๆใน ROS เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ package หลักๆที่จำเป็น ได้แก่ ส่วนสำหรับคำนวณพื้นที่เสี่ยงที่จะทำให้เกิดการชน (coatmap package), ส่วนสำหรับสั่งงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ (movebase package) และส่วนสำหรับแปลงข้อมูลตำแหน่ง (TF package) โดยตัวอย่างโค้ดในการเรียกใช้คำสั่ง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แสดงให้เห็นใน launch file ดังภาพที่ 64 รูปแบบการทำงานและการเรียกใช้ package ทั้งหมดสำหรับ Navigation system แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงต่างๆในกราฟดังภาพที่ 65



ภาพที่ 64 แสดงตัวอย่างโค้ดภายใน launch file ของ navigation

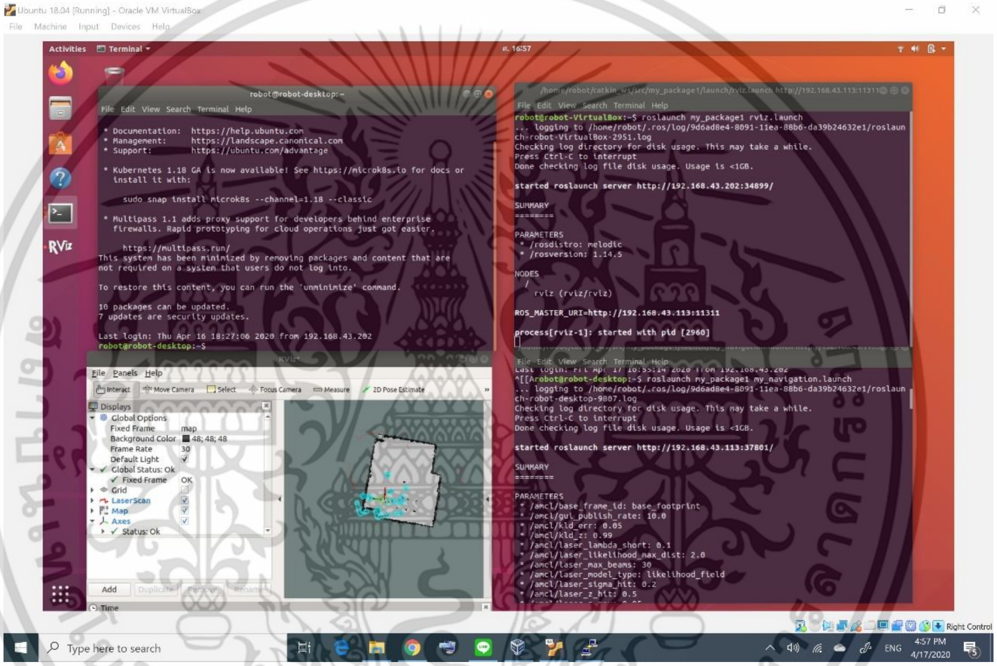


ภาพที่ 65 แสดงการทำงาน และความเชื่อมโยงของแต่ละ node ใน navigation system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การแสดงผล และควบคุมหุ่นยนต์ผ่านอุปกรณ์ควบคุม (Remote PC)

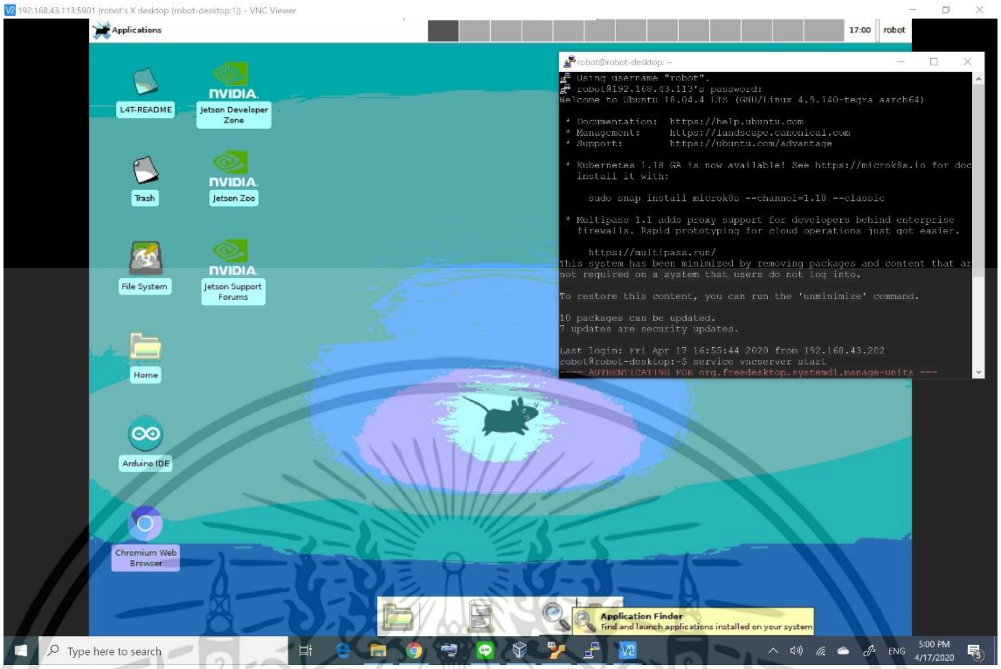
เมื่อระบบต่างๆภายในหุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว อีกส่วนสำคัญที่จะต้องมี คืออุปกรณ์ควบคุม หรือ Remote PC เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ และแสดงผลตำแหน่ง รวมทั้งสถานะต่างๆขณะที่หุ่นยนต์กำลังทำงานอยู่ ในที่นี้จะใช้คำสั่ง โพรโทคอล (Protocol) ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์บนระบบเครือข่ายผ่าน พอร์ท (Port) หมายเลข 22 ซึ่งโพรโทคอล SSH จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าควบคุมหรือสั่งการเครื่องได้ ดังแสดงในภาพที่ 66 แสดงให้เห็นถึงการควบคุม และส่งคำสั่งการทำงานไปยังหุ่นยนต์ และแสดงผลผ่านหน้าต่าง Rviz



ภาพที่ 66 แสดงการใช้งานคำสั่ง SSH เพื่อเข้าควบคุม และสั่งงานหุ่นยนต์ผ่าน remote PC

นอกจากการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านโพโทคอล SSH แล้วยังสามารถเข้าควบคุมหุ่นยนต์ผ่านโปรแกรม Virtual Network Computing (VNC) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ควบคุมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากระยะไกลไปยังหน้าจอแบบกราฟิกโหมด การใช้งาน VNC จะสะดวกกว่าการใช้คำสั่ง SSH ในด้านของการแสดงผลกราฟฟิคหรือการเข้าถึไฟล์เพื่อปรับเปลี่ยนตัวแปร และค่าพารามิเตอร์ ดังภาพที่ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 67 แสดงหน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม VNC สำหรับเข้าควบคุมหุ่นยนต์จากระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการออกแบบระบบการทำงานของหุ่นยนต์ ต้องคำนึงหลายองค์ประกอบที่จะต้องใช้ทำงานร่วมกัน เพื่อให้ระบบดังกล่าวมีความเข้ากันได้ และมีประสิทธิภาพสูงที่สุดโดยไม่เกิดปัญหาระหว่างการใช้งาน ทั้งนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงทั้งในด้านของซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการต่าง ๆ ไปจนถึงส่วนของฮาร์ดแวร์หรือองค์ประกอบโครงสร้างภายนอก

งานวิจัยนี้ออกแบบ และจัดทำหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติบนพื้นที่ซึ่งถูกจัดเก็บแผนที่เป็นข้อมูลไว้ก่อนหน้าโดยใช้ระบบ simultaneous localization and mapping หรือ SLAM เพื่อระบุตำแหน่งของตัวหุ่นยนต์ และสร้างแผนที่แวดล้อม จากอัลกอลิทึ่มต่าง ๆ ในรูปแบบแพ็คเกจที่ถูกเรียกใช้โดยระบบ ROS การคำนวณในระบบอัตโนมัติ จะใช้ข้อมูลระยะห่างแบบสองมิติจาก lidar sensor โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย ภายใต้เงื่อนไขที่จะต้องไม่ชนสิ่งกีดขวางใด ๆ ตามค่าพารามิเตอร์ระยะห่างที่ปลอดภัยซึ่งถูกตั้งเอาไว้ ทำให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยตัวเองโดยมีฟังก์ชันของ Navigation system เพื่อระบุตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปบนแผนที่จำลองที่จะแสดงผลผ่านหน้าจอโปรแกรม Rviz โดยการควบคุมการทำงานทั้งหมดผ่านอุปกรณ์ควบคุมที่เชื่อมต่อด้วยโพรโทคอลในเครือข่ายเน็ตเวิร์คเดียวกันทั้งหมด มีจุดมุ่งหวังที่จะนำหุ่นยนต์ดังกล่าวไปใช้ในระบบการขนส่งยา อาหาร รวมทั้งเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลเพื่อลดปัญหาในการจัดการ และลดภาระทางงานที่ไม่จำเป็นของบุคลากรทางการแพทย์

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์ระบบอัตโนมัติในส่วนแรกเกี่ยวกับระบบการจำลองหรือสร้างแผนที่เบื้องต้นพบปัญหา ดังนี้

5.2.1 ในการนำส่วนประกอบในแต่ละส่วนมาทำงานร่วมกันมักจะติดปัญหาในส่วนของซอฟต์แวร์ที่จะมีระบบล็อคเพื่อป้องกันการแก้ไขเบื้องต้น หรือ locking system จากบริษัทต้นสังกัดของอุปกรณ์นั้น ๆ ดังนั้นในการแก้ไขการทำงานของระบบปฏิบัติการต่าง ๆ รวมทั้งโปรแกรมจึงจำเป็นต้องเข้ารหัสเฉพาะและต้องดำเนินการอย่างระมัดระวัง

5.2.2 การเชื่อมต่อ wifi ของ ubuntu จำเป็นต้องใช้ external wifi adapter เนื่องจากการใช้งาน ระบบ operating system แบบ dual boot ดังนั้นหากจะลดความยุ่งยากของการเชื่อมต่อระบบ network ลงควรใช้ single boot แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การควบคุมสั่งงาน และแสดงผลหุ่นยนต์ผ่านโปรแกรม Rviz จำเป็นต้องเชื่อมต่อเครือข่ายเน็ตเวิร์คเดียวกันทั้งในระบบของหุ่นยนต์ และ remote PC นอกจากนี้เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพทั้งสองระบบดังกล่าวควรใช้ ubuntu เวอร์ชันเดียวกัน และควรมีแพ็คเกจที่จำเป็นทั้งหมดเหมือนๆกัน

5.2.4 เนื่องจากบอร์ด Jetson nano ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานสำหรับคำนวณอัลกอลิทึ่มประสิทธิภาพสูงอยู่แล้ว ดังนั้นการพยายามเชื่อมต่อระบบปฏิบัติการอื่น ๆ เข้ากับตัวบอร์ดจะทำให้เกิดปัญหาซึ่งไม่จำเป็นมากกว่าที่ควร หากเป็นไปได้ควรใช้เพียงบอร์ด Jetson nano อย่างเดียวในการคำนวณอัลกอลิทึ่มต่าง ๆ

5.2.5 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์จำเป็นต้องคำนึงถึงพื้นที่ในการรับแรง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาหุ่นยนต์รับภาระมากเกินไป จนทำให้เกิดการสั่น หรือเคลื่อนไหวลำบากระหว่างการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย เช่นเดียวกับการจัดวาง และการเลือกใช้ล้อ ควรเลือกที่สามารถรองรับน้ำหนักมาก ๆ ได้เพื่อลดปัญหาดังกล่าว

5.2.6 เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ในปัจจุบันทำให้แผนการดำเนินงานบางอย่างต้องคลาดเคลื่อนไป ส่งผลให้วัตถุประสงค์บางอย่างไม่สามารถบรรลุได้ตามที่คาดไว้เบื้องต้น

5.3 แนวทางในการพัฒนางานวิจัย

5.3.1 การออกแบบแอปพลิเคชัน

ในอนาคตสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ในการควบคุม และแสดงผลระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันเพื่อให้ง่าย และสะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้น โดยในส่วนของแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน อาจจะออกแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้นี้

เมื่อเข้าสู่แอปพลิเคชันหน้าแรกผู้ใช้งานจะต้อง login ด้วย username และ password ของผู้ใช้จากนั้นจึงสแกน QR code บน display ของหุ่นยนต์ เพื่อเปิดพื้นที่วางของและเข้าสู่หน้าต่างใช้งานบนแอปพลิเคชัน โดยหน้าต่างใช้งานจะมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. ส่วน Robot จะแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ เช่น สถานะแบตเตอรี่ ภาพสถานที่แวดล้อมของหุ่นยนต์ในขณะนั้น รวมถึงข้อมูลเบื้องต้นของผู้ใช้งาน เป็นต้น

2. ส่วน Status จะแสดงข้อมูลของยา อาหาร หรือเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในหุ่นยนต์ รวมทั้งเป้าหมายหรือจุดหมายปลายทางของหุ่นยนต์ที่ผู้ใช้งานระบุไว้

3. ส่วน Map จะแสดงข้อมูลเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์ รวมถึงตำแหน่งในขณะนั้นของหุ่นยนต์และเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปยังจุดหมาย

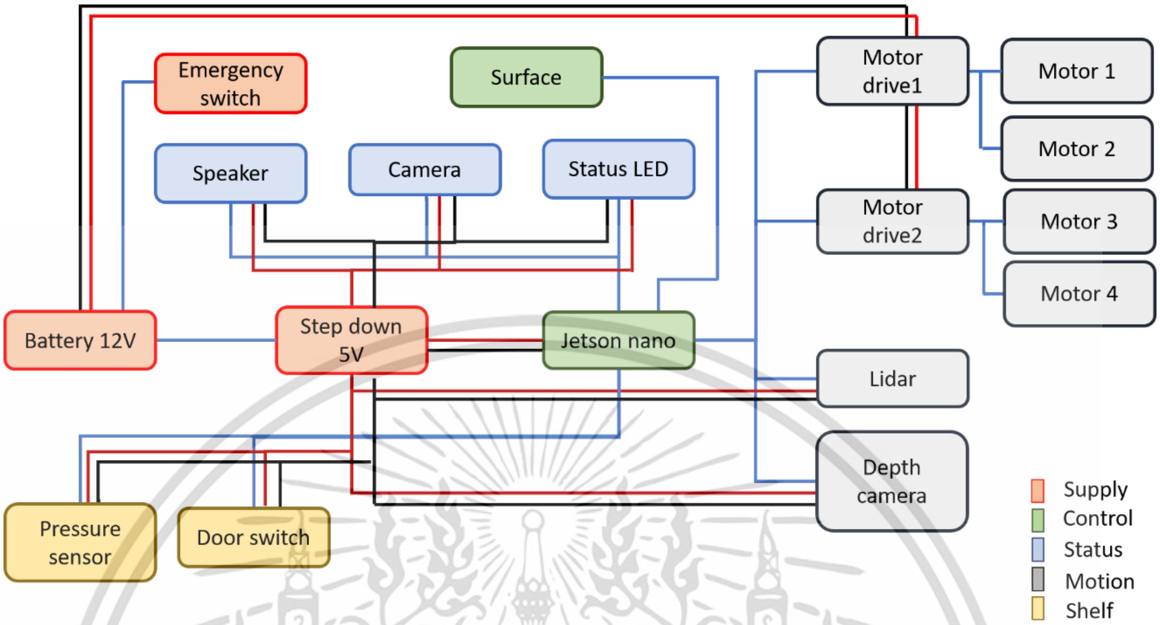
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 68 แสดงหน้าแอปพลิเคชันที่ใช้งานบนสมาร์ทโฟน

5.3.2 ส่วนเสริมเพื่อติดตามสถานะหุ่นยนต์

เพื่อให้กรทำงานของหุ่นยนต์มีความครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในอนาคตอาจจะเพิ่มฟังก์ชันในการติดตามสถานะต่าง ๆ เพิ่มเติม จากการติดเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เช่น ติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อวัดน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ถูกใส่เข้าไปในหุ่นยนต์ขณะการจัดส่ง ใช้ไฟ LED เพื่อแสดงสถานะต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ ได้แก่ สถานะขณะการทำงานเบื้องต้น หรือสถานะแบตเตอรี่ เป็นต้น ติดตั้งสวิตซ์สำหรับเปิดปิดประตูเพื่อเพิ่มความปลอดภัย จนกระทั่งติดตั้งลำโพงเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถส่งข้อความสื่อสารบางอย่างกับผู้ใช้งานดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 69

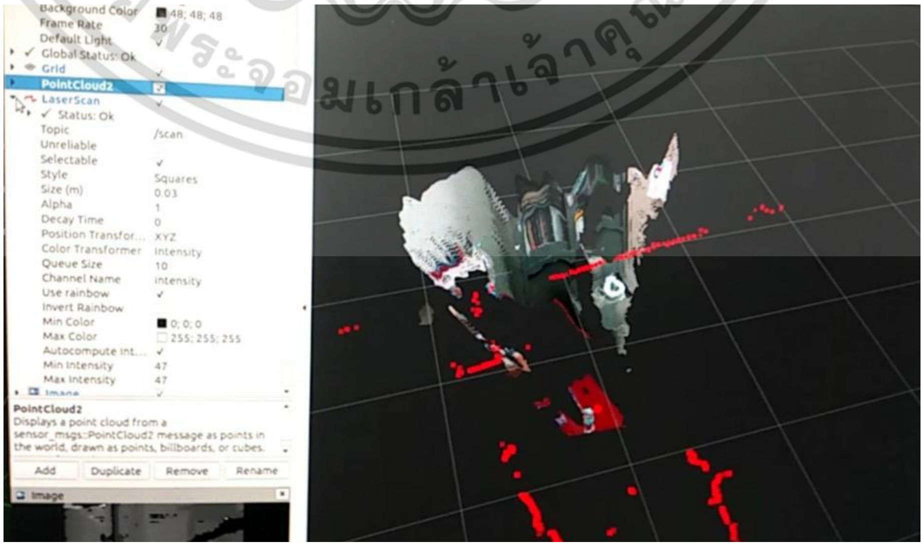
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 69 แสดงแผนผังการติดตั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ในหุ่นยนต์

5.3.3 การประยุกต์ใช้กล้องตรวจจับความลึกในการสร้างแผนที่สามมิติ

เพื่อให้ระบบนำทางของหุ่นยนต์ และระบบในการตรวจจับวัตถุมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การนำกล้องตรวจจับความลึกมาใช้ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะสามารถนำภาพที่ได้จากกล้องไปสร้างแผนที่สิ่งแวดล้อมในรูปแบบสามมิติดังตัวอย่างในภาพที่ 70 ซึ่งอาจส่งผลให้การเก็บแผนที่ และระบบอัตโนมัติของหุ่นยนต์มีความแม่นยำ ทั้งมีเสถียรภาพมากกว่าเดิม



ภาพที่ 70 แสดงตัวอย่างภาพสามมิติที่ประยุกต์ใช้กับ Lidar sensor แสดงผลบน Rviz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดวงพรรณ กริชชาญชัย และคณะ. (2557). **โลจิสติกส์ภายในโรงพยาบาล**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.loghealth.mahidol.ac.th/file/file-11-22-2016-10-47-16-AM.pdf [3 สิงหาคม 2562]

[2] Modern Manufacturing. (2560). **AI ROBOT in Aging Society**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.mmthailand.com/ai-robot-in-aging-society/ [3 สิงหาคม 2562]

[3] DHL Trend Research. (2559). **ROBOTICS IN LOGISTICS**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_robotics.pdf [3 สิงหาคม 2562]

[4] Kwanyupha. (2560). **การประยุกต์ใช้ ICT ทางการพยาบาล**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://kwanyupha.blogspot.com/2014/05/ict.html [3 สิงหาคม 2562]

[5] Robomac. (2560). **ข้อดีของการทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.robomac.co.th/advantages-and-disadvantages-of-automatingwith-industrial-robots.html [3 สิงหาคม 2562]

[6] Goldstein Research. (2561). **Autonomous Delivery Robots Market Report**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.goldsteinresearch.com/report/global-autonomous-delivery-robots-market-outlook-2024-global-opportunity-and-demand-analysis-market-forecast-2016-2024 [3 สิงหาคม 2562]

[7] Markets and Markets. (2562). **Delivery Robots Market by Load Carrying Capacity**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/delivery-robot-market-263997316.html [4 สิงหาคม 2562]

[8] Yole Développement. (2560). **Medical Robotics Technology and Market Analysis 2017**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.slideshare.net/Yole_Developpement/medical-robotics-technology-and-market-analysis-2017 [4 สิงหาคม 2562]

[9] ยุทธนา สุทธสุภา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2557). **การระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ขนาดใหญ่ด้วยกล้องวิดีโอมุมกว้าง**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/45367 [4 สิงหาคม 2562]

[10] Mike Anderson, The PTR Group. (2560). **Using LiDAR for Robot Navigation in a Room**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://elinux.org/images/4/4e/Using_Lidar_for_Navigation_Anderson.pdf [4 สิงหาคม 2562]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] บริษัท ไชยเจริญเทค. (2562). **อันตรายจากเลเซอร์ ข้อควรรู้เพื่อการใช้งานอย่างปลอดภัย**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.chi.co.th/article/article-976/ [4 สิงหาคม 2562]

[12] Kickstarter. (2559). **LiDAR สแกนสภาพแวดล้อมได้ดั่งใจ**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.coronasdkthailand.com/sweep-scanning-lidar/ [4 สิงหาคม 2562]

[13] Robotics business review. **Intel RealSense Brings 3D Vision to Robots**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.roboticsbusinessreview.com/wp-content/uploads/2017/09/Robo_Intel_Realsense _ WP.pdf [4 สิงหาคม 2562]

[14] Knowled. (2559). **Intel เปิดตัวชุดเครื่องมือพัฒนา RealSense**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.aripfan.com/intel-announces-tools-realsense/ [4 สิงหาคม 2562]

[15] admin. (2562). **Jetson Nano Developer Kit**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.mai-project.com/jetson-nano-developer-kit/ [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[16] NVIDIA Autonomous Machines. (2562). **Getting Started With Jetson Nano Developer Kit**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://developer.nvidia.com/em bedded/learn/get-started-jetson-nano-devkit#intro [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[17] unhingedgroup. (2562). **Hands On With Nvidia's New Jetson Nano**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://unhingedgroup.wordpress.com/2019/03/25/hands-on-with-nvidias-new-jetson-nano/ [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[18] Juan Omar. (2560). **MECANUM WHEEL ล้อมหัศจรรย์ 360 องศา**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.autotirechecking.com/mecanum-wheel-ล้อมหัศจรรย์-360-องศา/ [5 สิงหาคม 2562]

[19] generationrobots. **60mm aluminium left mecanum wheel**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.generationrobots.com/en/403174-60mm-aluminium-left-mecanum-wheel.html [5 สิงหาคม 2562]

[20] สรายุทธ นาขมิ้น, ณิชนันทน์ ขาวมงคล. (2560). **พาหนะขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยระบบขับเคลื่อนแบบล้อแมคคานั่ม**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://digital_collect.lib.buu.ac.th/project/b00254411.pdf [7 สิงหาคม 2562]

[21] cr-engineer. **DC electric motors**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.cr-engineer.com/images/pulldown _1304840984/DC %20electric%20motors.pdf [7 สิงหาคม 2562]

[22] ดร.ศุภฤกษ์ อัครวิทยาพันธุ์. (2541). **แบตเตอรี่เก็บพลังงานแห่งอนาคต**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/265_13_21.pdf [7 สิงหาคม 2562]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] Odunlade Emmanuel. (2561). **Different Types of Batteries and their Applications**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://circuitdigest.com/article/different-types-of-batteries [7 สิงหาคม 2562]

[24] siam5301300132. (2554). **Linux "Ubuntu"**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://siam5301300132.blogspot.com/ [7 สิงหาคม 2562]

[25] Prajin Palangsantikul. (2558). **Robot Inventor**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://astbot.blogspot.com/2015/07/ros.html [7 สิงหาคม 2562]

[26] ELEMENT 14. **ไจโรสโคป**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://th.element14.com/sensor-gyroscope-technology [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[27] commandronestore. (2559). **GY-521 MPU6050**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://commandronestore.com/products/bo100.php [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[28] Sleeping for LESS. (2556). **[Android Code] การใช้งาน Gyroscope**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.akexorcist.com/2013/03/android-code-gyroscope.html [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[29] mordorintelligence. (2559). **WHOLE SLIDE IMAGING MARKET - GROWTH**, TRENDS, AND FORECAST (2019 - 2024). (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/whole-slide-imaging-market [10 สิงหาคม 2562]

[30] arduino.cc. (2558). **ความแตกต่างระหว่าง Arduino Due และ Arduino Uno**. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://cs409.blogspot.com/2015/09/arduino-due-atmel-at91sam3x8e-arm.html [27 กุมภาพันธ์ 2563]

[31] รวินทร์ ไชยสิทธิพร. 2561**. ระบบปฏิบัติการสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์**. ครั้งที่พิมพ์ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้