

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย Develop Software to Control the Bluetooth Humanoid Robot

ธีรพงศ์ สงผัด^{1*} และ นภาพรณ ชาทิมดนตรี²

Teerapong Songputh^{1*} and Noppawan Chatmontree²

คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ^{1*} และ

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ²

Faculty of Liberal Arts and Sciences of Sisaket Rajabhat University^{1*} and

faculty of education of Sisaket Rajabhat University²

E-Mail: teetapong.song@gmail.com*, noppawan.c@sskru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย และ 2) ศึกษาผลการทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย การวิจัยครั้งนี้มีกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ จำนวน 5 คน และนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่มีความสนใจด้านการพัฒนาหุ่นยนต์ โดยการสังเกตการณ์พฤติกรรม และการมีส่วนร่วมในการดำเนินจัดกิจกรรม จำนวน 30 คน ทำการคัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรมพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ ด้วยโปรแกรม Arduino IDE พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี ใช้โปรแกรม App Inventor ช่วยให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชัน และใช้แบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย พบว่า ผู้วิจัยได้ออกแบบหุ่นยนต์ให้มีลักษณะโครงสร้างการทำงานคล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยประกอบด้วยส่วนการออกแบบ ได้แก่ หัว ลำตัว แขน มือ และส่วนฐานล้อของหุ่นยนต์ และส่งสัญญาณเทคโนโลยีไร้สายส่วนบุคคลเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์กับสมาร์ตโฟนผลการประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์โดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.38$, $SD. = 0.49$) และ 2) การศึกษาผลการทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย พบว่า การพัฒนารูปแบบหุ่นควรให้มีขนาดที่เหมาะสมกับบอร์ด และลำดับขั้นตอนในการใช้งานต้องไม่มีความยุ่งยาก เน้นการใช้งานได้จริงทั้งอุปกรณ์และการพัฒนาโปรแกรมควบคุม และมีการพัฒนารูปแบบหุ่นยนต์ให้ตรงกับการเรียนการสอนของโรงเรียน

คำสำคัญ: ฮิวแมนนอยด์, หุ่นยนต์, ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ

Abstract

This research aimed to 1) develop software to control the Bluetooth humanoid robot and 2) study the experiment result of using software to control the Bluetooth humanoid robot. The samples were five experts in evaluating software development of mobile robot control and 30 secondary-students who interested in robot development, noticed from behavior and activity participation. Those were selected by a purposive sampling method. The instrument used in this research was mobile robot control software development program using Arduino IDE with C programming language including App Inventor to develop an application and evaluation form to

evaluate the efficiency of software controlling the Bluetooth humanoid robot. The statistics used in the research were mean and standard deviation.

As a result, it was presented that: 1) the development of software to control the Bluetooth humanoid robot was found that the researchers had designed a robot which had similar movement as human. It assembled of head, body, arms, hands and the wheel-base of the robot and sent a personal wireless signal to connect between robot and smartphone. The efficiency evaluation result of developing software to control the Bluetooth humanoid robot by experts found that are in the high levels ($\bar{X} = 4.38$, $SD. = 0.49$) and 2) The result of software experiment to wireless control humanoid robot, It was found that the robot should have compatible size for the board. The using step should not complicate but emphasis on practicality. The device and the controlled program work properly and the developed robot are match to school course.

Keywords: humanoid, robot, mobile robot control

บทนำ

หุ่นยนต์ (Robot) คือเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง มีลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติ หรือกึ่งอัตโนมัติ โครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกัน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่าง ๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ โดยทั่วไปหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นเพื่อสำหรับงานที่มีความยากลำบาก หรือสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ หุ่นฮิวแมนนอยด์ (Humanoid Robot) เป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะเหมือนมนุษย์ เป็นหุ่นยนต์ที่ออกแบบขึ้นมาโดยมีพื้นฐานมาจากร่างกายมนุษย์ โดยทั่วไปแล้วหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์จะมีลำตัวพร้อมหัว สองแขน และสองขา หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์บางรูปแบบจะจำลองเฉพาะบางส่วนของร่างกายเท่านั้น เช่น จำลองตั้งแต่เอวลงไป หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์บางตัวยังออกแบบให้มีใบหน้า ตา และปากอีกด้วย หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์เป็นหุ่นยนต์อัตโนมัติ โดย RIA (The Robotics Industries Association) ได้ให้คำจำกัดความของหุ่นยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมว่า หุ่นยนต์อุตสาหกรรม คือ เครื่องจักรกลที่สามารถทำการโปรแกรมได้ใหม่หลายครั้ง สามารถทำได้หลายๆหน้าที่ ซึ่งมันถูกออกแบบมาเพื่อเคลื่อนย้าย หยิบจับ สิ่งของ วัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ โดยการตั้งโปรแกรมควบคุมให้มันทำงานตามที่ต้องการ [1] และโทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ที่เข้ามามีบทบาทกับยุคอุตสาหกรรม 4.0 ในส่วน Internet of Thing ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านผ่านโทรศัพท์มือถือ และเป็นอุปกรณ์ควบคุมและสั่งหุ่นยนต์ให้ทำงานอัตโนมัติ ดังนั้น นอกจากจะศึกษาเฉพาะเรื่องเทคโนโลยีหุ่นยนต์แล้ว การศึกษาเพื่อพัฒนาการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์มือถือก็มีความสำคัญไม่น้อย [1] การสื่อสารไร้สายถูกใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมโทรคมนาคมที่จะอ้างถึงระบบการสื่อสารโทรคมนาคมที่ใช้รูปแบบหนึ่งของพลังงาน (เช่น คลื่นวิทยุ พลังงานอะคูสติก) ในการถ่ายโอนข้อมูล โดยไม่ต้องใช้สาย ข้อมูลจะถูกถ่ายโอนในลักษณะนี้ทั้งในระยะทางสั้นและระยะทางไกล โดยทั้งนี้เทคโนโลยีไร้สายแบบ WIFI สามารถเอามาใช้ในการพัฒนาการควบคุมหุ่นยนต์ได้ เช่น Bluetooth เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบไร้สายในระยะใกล้ สามารถใช้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์มือถือและกลไกทางหุ่นยนต์จำพวก Servo Motor ได้

การเรียนรู้ตามรูปแบบสะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการเรียนการสอนที่มีลักษณะของการบูรณาการ 4 ศาสตร์เข้าด้วยกัน คือ วิทยาศาสตร์ (Science), เทคโนโลยี (Technology), วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) หุ่นยนต์จึงเสมือนตัวแทนของความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรมและการประยุกต์ใช้งานความรู้ทั้ง 4 สาขาวิชา อย่างครบถ้วน เพื่อให้ผู้เรียนได้นำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหา และสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ กิจกรรมส่งเสริมหลักสูตรคือการจัดเวทีการประกวดแข่งขันให้ผู้เรียนได้นำความรู้ด้านหุ่นยนต์มาประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลาย [2] เพื่อก้าวไปสู่การเรียนการสอนที่ดีขึ้น และสร้างเด็กให้มีทักษะดิจิทัล

จึงมีการใช้งานหุ่นยนต์ในการเรียนการสอน ซึ่งรูปแบบการเรียนการสอนจะเน้นการเขียนโปรแกรมผ่านภาษาภาพ และให้ทำงานเป็นทีม อย่างการร่วมกันประกอบหุ่นยนต์ พร้อมทั้งให้เด็กฝึกคิดแก้ปัญหาจากโจทย์จริง ปัจจุบันอุปกรณ์ที่ผลิตหุ่นยนต์ส่วนใหญ่มีราคาแพง จึงทำให้เกิดปัญหาการจัดหาอุปกรณ์หุ่นยนต์สำหรับการเรียนการสอน สำหรับโรงเรียนขนาดเล็กเป็นอย่างมาก

ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจในการศึกษาเพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สายโดยองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปเผยแพร่ให้แก่แก่นักเรียน นักศึกษา และผู้ที่สนใจ เพื่อเตรียมเยาวชนและกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องให้สามารถเข้าสู่ยุค Thailand 4.0 อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.1 เพื่อพัฒนาพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย
- 1.2 เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หุ่นยนต์ หรือโรบอท (Robot) คือเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกัน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ การควบคุมระบบต่าง ๆ ในการสั่งงานระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์สามารถทำได้โดยทางอ้อมและอัตโนมัติ โดยทั่วไปหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำงานที่มีความยากลำบาก เช่น งานสำรวจในพื้นที่บริเวณแคบ หรืองานสำรวจดวงจันทร์ ดาวเคราะห์ที่ไม่มีสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว หุ่นยนต์เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านอุตสาหกรรมการผลิต ด้านการแพทย์ หรือด้านการบันเทิง แตกต่างจากอดีตที่หุ่นยนต์มักถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบันมีการนำหุ่นยนต์มาใช้งานมากขึ้น เช่น หุ่นยนต์ที่ใช้ในทางการแพทย์ หุ่นยนต์สำหรับงานสำรวจ หุ่นยนต์ที่ใช้งานในอวกาศ หรือแม้แต่หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หุ่นยนต์นั้นมีลักษณะที่คล้ายมนุษย์ ฮิวแมนนอยด์ (Humanoid Robot) เป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะเหมือนมนุษย์ เป็นหุ่นยนต์ที่ออกแบบขึ้นมาโดยมีพื้นฐานมาจากร่างกายมนุษย์ โดยทั่วไปแล้วหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์จะมีลำตัวพร้อมหัว สองแขน และสองขา แม้หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์บางรูปแบบจะจำลองเฉพาะบางส่วนของร่างกายเท่านั้น เช่น จำลองตั้งแต่เอวลงไป หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์บางตัวยังออกแบบให้มีใบหน้า ตา และปากอีกด้วย หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์เป็นหุ่นยนต์อัตโนมัติ เนื่องจากสามารถปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมหรือตัวมันเอง และยังทำงานต่อเนื่องบรรลุเป้าหมาย สิ่งนี้เป็นข้อแตกต่างหลักระหว่างหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์และหุ่นยนต์ชนิดอื่น เช่น หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ที่ใช้ปฏิบัติการกิจในสภาพแวดล้อมที่มีโครงสร้างชัดเจนมากกว่า เพื่อให้อาศัยอยู่ร่วมกันกับมนุษย์ได้ในชีวิตประจำวัน [3]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ใช้พลังงานเล็กน้อย ประมวลผลข้อมูลและมีหน่วยความจำไม่มากนัก [4] ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก สามารถป้อนชุดคำสั่งให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างอัตโนมัติ ด้วยแบบการเขียนโปรแกรมภาษาต่าง ๆ ตามความชำนาญของผู้ควบคุม

สุปรีย์ บุรณะกนิษฐ [5] กล่าวว่า Arduino คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานทั้งในส่วนของ hardware และ software เป็นโครงการที่นำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไลบรารีของ Arduino ขึ้นมา เพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขา รับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ ประสิทธิภาพของ MCU

Shelly, G.B. & Rosenblatt, H.J. [6] กล่าวว่า วงจรชีวิตการพัฒนาระบบ (Systems Development Life Cycle: SDLC) ถือเป็นกรอบโครงสร้างที่ประกอบด้วยกระบวนการที่มีลำดับขั้น เพื่อการพัฒนาระบบดั้งเดิมให้ดีขึ้น จะประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) การวางแผน (Planning) ซึ่งในขั้นนี้จะได้รายงานการสำรวจเบื้องต้น (preliminary investigation) เพื่อประเมินโอกาสความเป็นไปได้ที่จะบรรลุจุดหมายขององค์กร และแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการบริหารจัดการส่วนงานต่าง ๆ ขององค์กร

2) การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) เป็นขั้นแรกของการสร้างตัวแบบเชิงตรรกะของระบบใหม่ โดยในขั้นตอนนี้จะได้เอกสารตัวแบบความต้องการ (Requirement Modeling)

3) การออกแบบระบบ (System Design) เป็นขั้นตอนการสร้างตัวแบบเชิงกายภาพ ไม่ว่าจะเป็น ส่วนประสานผู้ใช้ (User Interface) การระบุข้อมูลนำเข้า การประมวลผล และการแสดงออกของผลลัพธ์

4) การนำระบบไปใช้ (System Implementation) เป็นขั้นตอนของการสร้างระบบใหม่ อาจเป็นการเขียนโปรแกรมหรือการใช้เครื่องมือช่วยต่าง ๆ การทดสอบ และจัดทำเอกสารคู่มือ

5) การสนับสนุนระบบและความปลอดภัย (System Support and Security) เป็นขั้นตอนของการบำรุงรักษา ทำการปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้น หรือให้รองรับความต้องการใหม่ของผู้ใช้ที่อาจจะมีเพิ่มเติมได้มากขึ้น รวมทั้งเป็นการป้องกันระบบให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

สหพล เลิศวิริยะไพศาล และคณะ [1] ได้ศึกษาการพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผนที่ที่กำหนดให้ด้วยสมาร์ทโฟน ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ควบคุมการทำงานผ่านบลูทูธ และประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีของโดijkstra เพื่อคำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแผนที่ ในการดำเนินงานข้างต้นผู้ใช้งานจะต้องควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน ข้อมูลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์บลูทูธ ไปยังบลูทูธโมดูลที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดอาดูโนบนหุ่นยนต์ จากนั้นบอร์ดอาดูโนจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับแล้วทำการส่งสัญญาณไปยังโมดูลขับเคลื่อน เพื่อให้โมดูลขับเคลื่อนควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผนที่ต่อไป ผลของการวิจัยนี้เพื่อพัฒนาการฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์แบบเป็นขั้นตอนวิธี โดยที่ผู้ควบคุมหุ่นยนต์จะต้องสร้างชุดคำสั่งระบุทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผนที่ จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดผ่านโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน หากผู้ควบคุมต้องการประมวลผลชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ทำได้โดยกดปุ่มเริ่ม (START) และในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะถูกตั้งหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด ด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด

จักรพงษ์ กาวงศ์ [7] ได้ศึกษาการควบคุมหุ่นยนต์โดยมี 2 ลักษณะ คือการควบคุมโดยใช้ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และการควบคุมหุ่นยนต์โดยส่งการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การควบคุมแบบที่สองนี้ สัญญาณรูปที่ส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะมีการหน่วงเวลาอยู่ชั่วครู่ ขึ้นอยู่กับความเร็วของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ถ้าต้องการให้สัญญาณรูปที่ส่งออกมามีลักษณะใกล้เคียงกับหุ่นยนต์ จะต้องใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีความเร็วสูง เช่น ระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (Internet High Speed)

วิทวัส คล้ายนิล [8] ได้ศึกษาการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยกล้องผู้ช่วยระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย หุ่นยนต์จะสามารถควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยเจ้าหน้าที่จะสามารถควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้หุ่นยนต์นำอาหารและยาไปส่งให้คนไข้ที่อยู่ภายในห้องพัก ซึ่งถูกทำขึ้นเป็นพิเศษโดยใช้ตะกั่วเป็นตัวป้องกันรังสี ในส่วนของการควบคุมจะใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษา Visual Basic 6 ส่งคำสั่งผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232) ด้วยเครือข่ายไร้สาย ตามมาตรฐาน 802.11g (Wi-Fi) ไปยังตัวหุ่นยนต์ เมื่อหุ่นยนต์ได้รับคำสั่งแล้ว หุ่นยนต์ซึ่งควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะนำคำสั่งที่ได้มาประมวลผลและสั่งงานไปยังชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

ณัฐชัย กัดไธสง [9] ได้ศึกษาการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยการพัฒนาแอปพลิเคชันการควบคุมหุ่นยนต์ สามารถใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อให้เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา โดยควบคุมผ่านแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้ WIFI เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย

การพัฒนากระบวนการเขียนโปรแกรมพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ ด้วยโปรแกรม Arduino IDE พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี (C/C++) สำหรับ Arduino ผู้วิจัยได้พัฒนาโค้ดโปรแกรมฝังลงในบอร์ด Arduino Nano เพื่อควบคุมการทำงานของ Servo และส่งสัญญาณบลูทูธ เชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์กับสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ผ่านตัวส่งสัญญาณบลูทูธ Bluetooth เพื่อเชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชันกับตัวหุ่นยนต์ โดยใช้โปรแกรม App Inventor ช่วยให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1.2 แบบประเมินประสิทธิภาพซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ แบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.90 โดยแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ 1) ประสิทธิภาพการออกแบบของหุ่นยนต์ 2) ประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ และ 3) ประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน

2. กลุ่มเป้าหมาย

2.1 กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ประเมินความเหมาะสมของซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย คือ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ที่มีคุณวุฒิทางการศึกษาตั้งแต่ระดับปริญญาโทขึ้นไป ในสาขาเทคโนโลยีการศึกษา เทคโนโลยีสารสนเทศ หรือสาขาที่เกี่ยวข้องด้านคอมพิวเตอร์ มีประสบการณ์การทำงานและการสอนในสถาบันอุดมศึกษาไม่ต่ำกว่า 3 ปี ทำการคัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

2.2 กลุ่มเป้าหมายที่ทดลองใช้นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในจังหวัดศรีสะเกษ ที่มีความสนใจด้านการพัฒนาหุ่นยนต์ จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

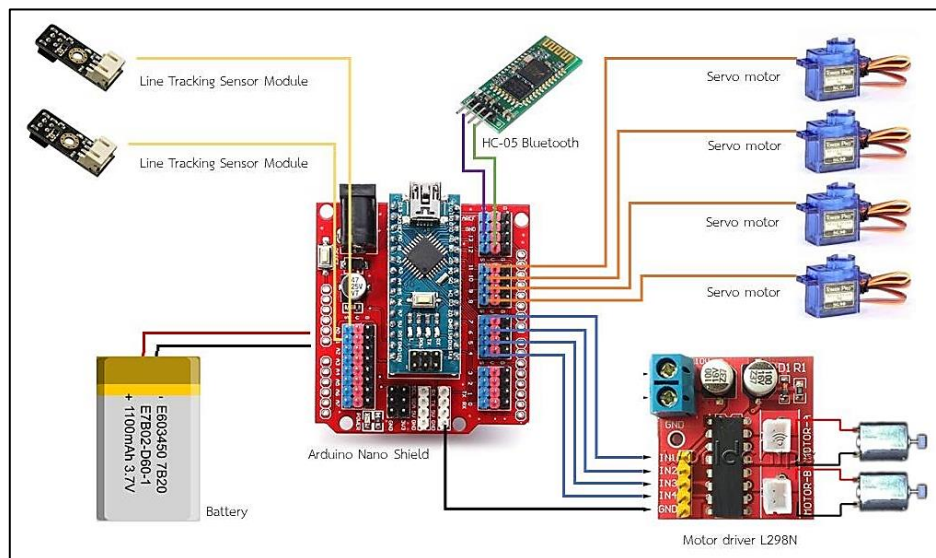
การพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และออกแบบระบบที่เหมาะสม ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด โดยใช้หลักการพัฒนาระบบ SDLC (System Development Life Cycle) [10] ซึ่งเป็นวงจรที่แสดงถึงกิจกรรมต่าง ๆ ภายในระบบสารสนเทศที่ต้องการ โดยเป็นการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การวางแผนระบบ (System Planning) ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด การพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือเพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนของโครงสร้างหุ่นฮิวแมนนอยด์ที่มีอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงาน และส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์ผ่านเครือข่ายไร้สาย

3.2 การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) จากผลศึกษาและการวิเคราะห์งานทำให้ได้ขอบเขตความต้องการของผู้ใช้ โดยทั่วไปแล้วหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์มีลำตัวพร้อมหัว สองแขน และสองขา แต่งานวิจัยนี้พัฒนาหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์จะจำลองเฉพาะบางส่วนของร่างกาย คือ หัว ลำตัว แขน มือ ใช้ล้อแทนการใช้ขา และพัฒนาให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมการทำงานของหุ่นฮิวแมนนอยด์ได้ และพัฒนาให้รองรับการส่งงานหุ่นฮิวแมนนอยด์ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 การออกแบบระบบ (System Design) การออกแบบหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ มีลักษณะโครงสร้างการทำงานคล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยประกอบด้วยส่วนการออกแบบ คือ หัว แขน มือ ลำตัว และฐานล้อหุ่นยนต์ โดยใช้เครื่องปริ้นสามมิติ (3D Printer) แล้วติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนลำตัวเป็นส่วนหลัก คือ ชุดบอร์ดควบคุม

บนบอร์ด Arduino Nano สำหรับควบคุมการทำงาน พร้อมเชื่อมต่อกับ Servo motor 4 ตัว สำหรับ กลไกการขยับแขนและมือของหุ่นยนต์ มีการเชื่อมต่อโมดูล บลูทูธ สำหรับการควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย พร้อมทั้งเชื่อมต่อกับโมดูลตรวจจับเส้นขาวดำ 2 ตัว สำหรับการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เองอัตโนมัติ และมีการเชื่อมต่อกับบอร์ดขับมอเตอร์ สำหรับกลไกการเคลื่อนไหวด้วยล้อของหุ่นยนต์ด้วย ดังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างการประกอบหุ่นยนต์ชุดบอร์ดควบคุมบนบอร์ดหุ่นยนต์

3.4 การนำระบบไปใช้ (System Implementation) เป็นขั้นตอนของการสร้างระบบใหม่ เป็นการเขียนโปรแกรมพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ ด้วยโปรแกรม Arduino IDE พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี (C/C++) สำหรับ Arduino และการพัฒนาแอปพลิเคชันสั่งงานหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ โดยใช้โปรแกรม App Inventor ช่วยให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์ระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์

3.5 การสนับสนุนระบบและความปลอดภัย (System Support and Security) ผู้วิจัยได้ติดตั้งและทดสอบระบบเพื่อนำไปใช้จริง ทดสอบการใช้งาน และตรวจสอบฟังก์ชันการใช้งาน เพื่อตรวจสอบประเมินประสิทธิภาพของระบบ และผลการประเมินผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงและพัฒนาาระบบให้มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าสถิติ (Dependent t-test) โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้ [11]

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า ระดับมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง

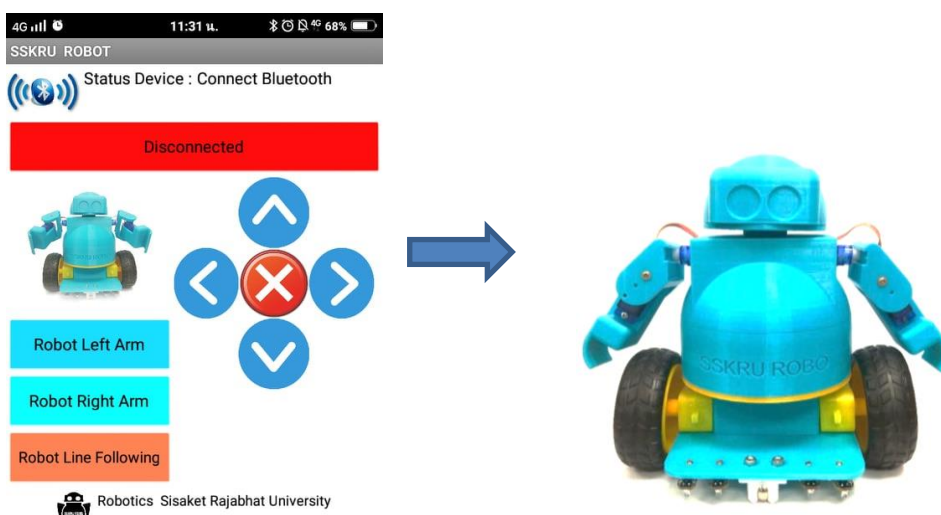
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01 – 1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สายตามขั้นตอนการวิจัย โดยนำข้อมูลจากการศึกษาและวิเคราะห์ มาจัดทำซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สายและเครื่องมือของกิจกรรม ได้ออกแบบหุ่นยนต์ให้มีลักษณะโครงสร้างการทำงานคล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยประกอบด้วย ส่วนการออกแบบ ได้แก่ หัว ลำตัว แขน มือ และส่วนฐานล้อของหุ่นยนต์ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในการพัฒนาองค์ประกอบของหุ่นยนต์ จำนวน 9 ชิ้น โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์รุ่น SG90 (Servo motor SG90) สำหรับเชื่อมต่อบริเวณตำแหน่งการติดตั้ง มอเตอร์เซอร์โวที่ใช้ในการกำหนดการเคลื่อนไหว จำนวน 4 ชุด รองรับการเคลื่อนไหวแขนกับมือ ผู้วิจัยใช้ล้อจำนวน 2 ล้อ สำหรับการเคลื่อนไหวของหุ่น และใช้บอร์ด Arduino Nano เป็นอุปกรณ์สำหรับการควบคุมการทำงานของ Servo กับ บลูทูธ เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย

จากภาพที่ 2 ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย ประกอบด้วยแอปพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ผ่านตัวส่งสัญญาณ บลูทูธ เพื่อเชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชันกับตัวหุ่นยนต์ มีฟังก์ชันการทำงานควบคุมหุ่นยนต์ตามเมนูต่าง ๆ ดังนี้ 1) Robot Forward ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์วิ่งไปด้านหน้า 2) Robot Reverse ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์วิ่งถอยหลัง 3) Robot Stopped ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์หยุด 4) Robot Turn Left ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย 5) Robot Turn Right ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวา 6) Robot Arm Left ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์ยกแขนซ้าย 7) Robot Arm Right ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์ยกแขนขวา 8) Robot line Following ใช้สำหรับสั่งให้หุ่นยนต์วิ่งตามเส้นสีดำแบบอัตโนมัติ 9) Disconnect Bluetooth ใช้สำหรับการสั่งงานยกเลิกการเชื่อมต่อสัญญาณ บลูทูธ กับตัวหุ่นยนต์

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สายที่พัฒนาขึ้นกับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประเมินความเหมาะสมของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านมือถือ แบ่งเป็น 3 ด้าน คือ 1) ประสิทธิภาพการออกแบบของหุ่นยนต์ 2) ประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ และ 3) ประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์

รายการ	$\bar{X}$	SD.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านประสิทธิภาพการออกแบบของหุ่นยนต์	4.44	0.33	มาก
2. ด้านประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์	4.34	0.15	มาก
3. ด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน	4.40	0.10	มาก
โดยรวม	4.38	0.49	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์โดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมพบว่า ประสิทธิภาพทั้ง 3 ด้านมีผลการประเมินอยู่ในระดับมาก ผลการประเมินด้านการออกแบบของหุ่นยนต์มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X} = 4.44$, SD. = 0.33) รองลงมาคือ ด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน ($\bar{X} = 4.40$, SD. = 0.10) ด้านประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ($\bar{X} = 4.34$, SD. = 0.15) และผลการประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์โดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.38$, SD. = 0.49)

2. ผลการทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สายกับผู้ใช้งาน

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สายที่พัฒนาขึ้น โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาที่ลงทะเบียนเข้าร่วมโครงการค่ายอบรมหุ่นยนต์ SSKRU Robo Camp สำหรับนักศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย ในจังหวัดศรีสะเกษ มีนักเรียนเข้าร่วมทั้งหมด 30 คน จาก 8 โรงเรียน โดยการสังเกตการณ์ (Observation) พฤติกรรม และการมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรม ผลการทดลอง พบว่า ในการพัฒนารูปแบบหุ่นควรให้มีขนาดที่เหมาะสมกับบอร์ด และลำดับขั้นตอนในการใช้งานต้องไม่ให้ความยุ่งยาก เน้นการใช้งานได้จริงทั้งอุปกรณ์และการพัฒนาโปรแกรมควบคุม และควรมีการพัฒนารูปแบบหุ่นยนต์ให้ตรงกับการเรียนการสอนของโรงเรียน ได้แก่ การพัฒนาหุ่นยนต์เดินตามเส้น เนื่องจากระดับมัธยมศึกษามีการจัดแข่งขันหุ่นยนต์เดินตามเส้น ภายใต้โครงการงานศิลปหัตถกรรมนักเรียน สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน



ภาพที่ 3 โครงการค่ายอบรมหุ่นยนต์ SSKRU Robo Camp

อภิปรายผลการวิจัย

1. การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นฮิวแมนนอยด์แบบไร้สาย ผู้วิจัยได้ออกแบบหุ่นยนต์ให้มีลักษณะโครงสร้างการทำงานคล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ควบคุมการทำงาน และส่งสัญญาณ บลูทูธ เชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์กับสมาร์ทโฟน เนื่องจากสามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้แบบไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับสทพล เลิศวิริยะไพศาล [1] ได้วิจัยเรื่อง พัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนแผนที่ที่กำหนดให้ด้วยสมาร์ทโฟน และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านบลูทูธ ไม่สอดคล้องกับจักรพงษ์ กวางค์ [7] และวิทวัส คล้ายนิล [8] ที่ใช้การควบคุมหุ่นยนต์โดยสั่งการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเครือข่ายไร้สาย

ตามมาตรฐาน 802.11g (Wi-Fi) ซึ่งสัญญาณรูปที่ส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะมีการหน่วงเวลาอยู่ชั่วครู่ ขึ้นอยู่กับความเร็วของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง

2. การทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นชีวแมนนอยด์แบบไร้สาย มีการพัฒนารูปแบบหุ่นให้มีขนาดที่เหมาะสม ใช้งานได้จริงทั้งอุปกรณ์และการพัฒนาโปรแกรมควบคุม มีฟังก์ชันการทำงานควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อให้เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา โดยควบคุมผ่านแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้อัลกอริทึมพื้นฐานนั้นจะสามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายและ มีความสะดวกในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ สอดคล้องกับงานของณัฐชัย กัดโธสง [9] ที่ได้พัฒนาการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยการพัฒนาแอปพลิเคชันการควบคุมหุ่นยนต์

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้จะมีการนำผลการวิจัยไปใช้ ควรนำแนวคิด หลักการ และขั้นตอนไปปรับใช้ในการจัดการเรียนการสอน โดยสามารถจัดให้อยู่ในรูปแบบการเรียนรู้แบบบูรณาการ เนื่องจากการเรียนรู้โปรแกรมหุ่นยนต์นี้มีความสอดคล้องกับการสอนแบบ STEM Education ที่ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

2. การวิจัยในครั้งต่อไปควรพัฒนาหุ่นยนต์ให้มีความสวยงามน่าสนใจ และออกแบบหุ่นยนต์ให้สามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการเรียนรู้ของนักเรียนนักศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สหพล เลิศวิริยะไพศาล, อุทุมพร พลาวงศ์, กนกพร ทองมาก, กันตพงศ์ คงพิศ, และสันติพงษ์ ประสาททอง. (2559). การพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์. *วารสารคณิตศาสตร์*, 61(688), 1-14.
- [2] ศิริสาร เขตปิยรัตน์. (2563). *การเรียนรู้แบบ STEM Education โดยใช้หุ่นยนต์เป็นฐานการเรียนรู้ระดับประถมศึกษา*. สืบค้นจาก <https://bit.ly/37gsnDV>
- [3] หุ่นยนต์. (2562). สืบค้นจาก วิกีพีเดีย www.th.wikipedia.org/wiki/หุ่นยนต์
- [4] ทันพงษ์ ภูรักษ์. (2562). *ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น*. สืบค้นจาก www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf
- [5] สุปรีย์ บุระณิกนิษฐ. (2556). *ผลของการใช้เทคโนโลยีเสริมศักยภาพที่แตกต่างกันในการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานที่มีต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาในการโปรแกรมหุ่นยนต์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาคุุณบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [6] Shelly, G.B. & Rosenblatt, H.J. (2012). *Systems analysis and design* (9th ed). Boston USA: Course Technology, Cengage Learning.
- [7] จักรพงษ์ กาวงค์. (2548). *การควบคุมหุ่นยนต์สำรวจผ่านเว็บเบราว์เซอร์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [8] วิทวัส คล้ายนิล. (2551). *การควบคุมหุ่นยนต์ช่วยเหลือผู้ป่วยระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- [9] ณัฐชัย กัดโธสง. (2560). *การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อผ่านการสื่อสารไร้สาย*. *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 2(1), 1-8.
- [10] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, และสมโภชน์ ชื่นเอี่ยม. (2555). *ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [11] บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *การวิจัยเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.