



A Developing a Humanoid Robot Prototype Controlled by Voice Commands Using the CMU Sphinx Speech Recognition System

Jetsada Ponkaew^{1*}

¹ Lecturer in Computer Science, Faculty of Liberal Arts and Sciences,
Rajabhat Sisaket University

*Corresponding author: j.ponkaew@365.sskru.ac.th

Received
27/06/2025

Reviewed
25/12/2025

Revised
29/12/2025

Accepted
29/12/2025

Abstract

This research aims to design and develop a humanoid robot controlled by voice commands using the CMU Sphinx speech recognition system, evaluate its performance by experts, and study user satisfaction. The ADDIE Model was used to analyze user needs and problems, design the system for developing the robot, develop the robot's structure and control program, and develop a voice command application using Java in Android Studio. The system was tested with target groups and its performance was evaluated to improve and enhance its functionality. The humanoid robot comprises hardware including Arduino Nano, Expansion Board, servos, and Bluetooth HC-05 module. The target groups for the research included 3 experts from Sisaket Rajabhat University and 30 high school students. The research tools included a satisfaction questionnaire with a 5-level rating scale. The statistics used for data analysis were mean and standard deviation. The results showed that users had a high level of satisfaction in all evaluated aspects, with an overall mean of 4.42. The highest score was for ease of use at 4.70, followed by response speed at 4.43, and interaction capability at 4.35. The lowest score was for the accuracy of speech recognition at 4.20. The expert evaluation indicated that the robot performed well in accurately and quickly responding to commands, but improvements in speech recognition accuracy are needed to further enhance user satisfaction and system performance. This research demonstrates the potential of using humanoid robots to enhance learning experiences and effective interaction among youth.

Keywords: Humanoid Robot; Speech Recognition; Voice Command



การพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ควบคุมการเคลื่อนไหวด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx

^{1*}เจษฎา โพนแก้ว

^{1*}อาจารย์ประจำสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

*ผู้นิพนธ์หลัก: j.ponkaew@365.sskru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ที่ควบคุมการเคลื่อนไหวด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ประเมินประสิทธิภาพการใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญและศึกษาความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ในการดำเนินการวิจัย ADDIE Model ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการและปัญหาของผู้ใช้ การออกแบบระบบเพื่อพัฒนาหุ่นยนต์ การพัฒนาโครงสร้างหุ่นยนต์และโปรแกรมควบคุม รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันคำสั่งเสียงสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ที่พัฒนาด้วยภาษาจาวาใน Android Studio การนำระบบไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมาย และการประเมินผลการใช้งานเพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน หุ่นยนต์อิวแมนนอยด์นี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ Arduino Nano, Expansion Board, เซอร์โว และโมดูล Bluetooth HC-05 กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษจำนวน 3 คน และกลุ่มเยาวชนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีระดับการประเมิน 5 ระดับ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับสูงในทุกด้านที่ได้รับการประเมิน โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.42 ซึ่งด้านความสะดวกในการใช้งานได้รับคะแนนสูงสุดที่ 4.70 รองลงมาคือความเร็วในการตอบสนองที่ 4.43 และความสามารถในการตอบโต้ที่ 4.35 ในขณะที่ความแม่นยำของการรู้จำเสียงได้รับคะแนนต่ำสุดที่ 4.20 ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพสูงในการรับคำสั่งและตอบสนองอย่างแม่นยำและรวดเร็ว แต่ยังคงต้องปรับปรุงเรื่องความแม่นยำในการรู้จำเสียงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานให้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้หุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ในการเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้และการโต้ตอบที่มีประสิทธิภาพในกลุ่มเยาวชน

คำสำคัญ: หุ่นยนต์อิวแมนนอยด์; ระบบรู้จำเสียง; คำสั่งเสียง



บทนำ

ในปัจจุบันตลาดหุ่นยนต์การศึกษาทั่วโลกมีมูลค่าประมาณ 1.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะเติบโตในอัตรา 16.8% ต่อปีจนถึงปี 2570 การเติบโตนี้ได้รับแรงผลักดันจากการใช้งานหุ่นยนต์ในโรงเรียน และสถาบันการศึกษาที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่ทำให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวได้ดีขึ้น (MarketsandMarkets, 2022) ด้วยเหตุที่การใช้หุ่นยนต์ในวงการศึกษาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์มีศักยภาพในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้และการแก้ไขปัญหาของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการส่งเสริมการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) สำหรับเด็กและเยาวชน (Grand View Research, 2023) งานวิจัยโดย Mubin et al. (2013) ได้แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ และน่าสนใจสำหรับเด็กนักเรียน โดยเฉพาะในวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ หุ่นยนต์ยังช่วยเสริมสร้างทักษะทางสังคมและการทำงานร่วมกันระหว่างนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Chang et al. (2010) พบว่าการใช้หุ่นยนต์ในการเรียนการสอนวิชาภาษาอังกฤษช่วยเพิ่มความสามารถในการสื่อสารและทักษะการฟังของนักเรียน โดยหุ่นยนต์สามารถสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เป็นธรรมชาติและส่งเสริมการโต้ตอบระหว่างนักเรียนและหุ่นยนต์ได้อย่างดี อย่างไรก็ตาม การใช้หุ่นยนต์ในวงการศึกษายังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ค่าใช้จ่ายสูงในการจัดซื้อชุดหุ่นยนต์และซอฟต์แวร์ควบคุม รวมถึงการบำรุงรักษาที่ซับซ้อน อีกทั้งการพัฒนาหุ่นยนต์ยังต้องอาศัยความรู้เฉพาะด้านทั้งในด้านการออกแบบโครงสร้าง กลไกอิเล็กทรอนิกส์ และการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งไม่ใช่ทุกคนจะมีทักษะเหล่านี้ (Lédeczi et al., 2019)

ด้วยปัญหาและอุปสรรคดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาชุดหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่ควบคุมการเคลื่อนไหวด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ซึ่งเป็นระบบโอเพนซอร์สที่มีประสิทธิภาพและสามารถปรับแต่งได้ง่าย การพัฒนาหุ่นยนต์นี้ช่วยแก้ไขข้อจำกัดของหุ่นยนต์ที่บังคับการเคลื่อนไหวด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซีบน Arduino ซึ่งมักมีความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรม เมื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวใหม่ ผู้พัฒนาต้องเขียนโปรแกรมและโหลดโปรแกรมใหม่ ทำให้เกิดความยุ่งยากและใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนการทำงาน การใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ช่วยลดความซับซ้อนในการควบคุมและเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ส่งผลให้หุ่นยนต์สามารถตอบสนองต่อคำสั่งเสียงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ การควบคุมด้วยเสียงยังช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้แบบเรียลไทม์ ทำให้หุ่นยนต์สามารถโต้ตอบและปรับตัวตามคำสั่งของผู้ใช้ได้ทันที

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่ควบคุมการเคลื่อนไหวด้วยคำสั่งเสียง (2) ประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน และ (3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบดังกล่าว ซึ่งจะช่วยให้การนำหุ่นยนต์มาใช้ในการศึกษาและการใช้งานทั่วไปมีประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

วิธีการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ ADDIE Model (Dick, Carey, & Carey, 2015) ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบการเรียนการสอนที่มีขั้นตอนที่ชัดเจนและเป็นระบบ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ (Analysis), การออกแบบ (Design), การพัฒนา (Development), การนำไปใช้ (Implementation), และการประเมิน (Evaluation) กระบวนการเหล่านี้ช่วยให้การพัฒนาและการประเมินผลมีความเป็นระบบและสามารถปรับปรุงกระบวนการตามผลการประเมินได้อย่างต่อเนื่อง (Molenda, 2003)

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ (Analysis)

ในการวิเคราะห์ขั้นต้นสำหรับการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่ควบคุมด้วยคำสั่งเสียง ผู้วิจัยได้สำรวจและศึกษาปัญหาที่พบในการใช้งานหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาในปัจจุบัน ปัญหาหลักที่พบได้แก่ ชุดหุ่นยนต์สำเร็จรูปมีราคาแพง และการบำรุงรักษาที่ซับซ้อนทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ นอกจากนี้ การพัฒนาหุ่นยนต์ด้วยตนเองยังต้องการความรู้เฉพาะทางด้านฮาร์ดแวร์และการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำให้ผู้พัฒนาต้องใช้เวลาและทรัพยากรในการปรับปรุงหุ่นยนต์ตามความต้องการของผู้ใช้งาน อีกทั้งยังมีความซับซ้อนในการเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนไหวใหม่ที่ต้องเริ่มจากการวิเคราะห์และออกแบบท่าทาง การเขียนโปรแกรม คอมไพล์ และโหลดสู่ระบบใหม่

จากปัญหาเหล่านี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบฮิวแมนนอยด์ให้มีความสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นการประยุกต์ใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx เพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมและลดความซับซ้อนในการใช้งาน

2. ขั้นตอนการออกแบบระบบ (Design)

การออกแบบ (Design) ใน ADDIE Model เป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างต้นแบบหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่สามารถควบคุมด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx การออกแบบนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ได้แก่ การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ การออกแบบสถาปัตยกรรมที่ใช้พัฒนาซอฟต์แวร์ และการออกแบบคำสั่งในการควบคุม

2.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์

ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์เริ่มต้นด้วยการใช้ซอฟต์แวร์ CAD 3D ที่มีชื่อว่า Tinkercad (Autodesk, Inc., n.d.) เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ ชิ้นส่วนหุ่นยนต์จะถูกออกแบบให้มีโครงสร้างของมนุษย์ ประกอบด้วยหัว ลำตัว แขน และฐานล้อ ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนจะถูกพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ การออกแบบโครงสร้างยังต้องคำนึงถึงจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ต้องใช้เซอร์โวเป็นข้อต่อในการเคลื่อนไหว รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์อื่น ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ แบตเตอรี่ และโมดูล Bluetooth เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรับและประมวลผลคำสั่งเสียงได้

2.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมที่ใช้พัฒนาซอฟต์แวร์

การออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์สำหรับหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่ใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ประกอบด้วยสามระดับชั้น คือการรับและประมวลผลคำสั่งเสียง การแปลงความหมาย และการสื่อสารและควบคุม ระดับชั้นบนสุดเริ่มจากการใช้ CMU Sphinx เพื่อรับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้งาน เช่น "โอเคยูกิ" เพื่อเปิดใช้งานระบบ และคำสั่งการเคลื่อนไหวต่าง ๆ คำสั่งเสียงที่ได้รับจะถูกแปลงเป็นข้อความและส่งต่อไปยังระดับชั้นกลางที่จะแปลงข้อความเหล่านั้นเป็นชุดคำสั่งที่หุ่นยนต์เข้าใจ โดยใช้ภาษาจาวา เพื่อจัดเตรียมคำสั่งสำหรับส่งต่อไปยังหุ่นยนต์ ระดับชั้นล่างสุดทำหน้าที่สื่อสารและควบคุมคำสั่งผ่าน Bluetooth โดยใช้ API ของ BluetoothAdapter ไมโครคอนโทรลเลอร์ในหุ่นยนต์จะรับข้อมูลและแปลงเป็นการเคลื่อนไหวที่สอดคล้องกัน เช่น การหมุนหัว การยกแขน และการเคลื่อนที่ของล้อ การออกแบบนี้ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถทำงานและเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำตามคำสั่งเสียงจากผู้ใช้งาน

2.3 การออกแบบคำสั่งในการควบคุม

การออกแบบคำสั่งควบคุมเป็นส่วนที่สำคัญเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรับคำสั่งเสียงและทำงานตามคำสั่งนั้นได้ โดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx คำสั่งเริ่มต้นจะถูกตั้งค่าเป็นคำว่า โอเคยูกิ(Okay Yuki) เพื่อปลุกการรับคำสั่งเสียง หลังจากนั้นผู้ใช้งานสามารถออกคำสั่งเคลื่อนไหวต่าง ๆ ได้แก่ MoveLeft, MoveRight, Forward, Backward, LeftHandUp, LeftHandDown, RightHandDown, BothHandDown, RightHandUp, BothHandUp, moveHeadLeft, moveHeadRight, moveHeadStraight และ GoodBye เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ การออกแบบนี้ต้องมั่นใจว่าระบบรู้จำเสียงสามารถรับรู้และประมวลผลคำสั่งเสียงได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว เพื่อให้หุ่นยนต์ตอบสนองต่อคำสั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ขั้นการพัฒนา (Development)

กระบวนการพัฒนาหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ประกอบด้วยการพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบและการพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ การพัฒนาหุ่นยนต์เริ่มจากการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้รับการพิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยแต่ละชิ้นส่วนจะเชื่อมต่อกับเซอร์โวที่ทำหน้าที่เป็นข้อต่อในการเคลื่อนไหว หลังจากนั้นจะติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสมองของหุ่นยนต์ และติดตั้งอุปกรณ์บลูทูธแบบเตอร์ รวมถึงเซ็นเซอร์ที่จำเป็นต่างๆ เมื่อการประกอบฮาร์ดแวร์เสร็จสมบูรณ์ จะเริ่มพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม Arduino IDE โดยใช้ภาษาซี (C++) เพื่อเขียนโค้ดควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ตามคำสั่งที่ได้รับ

ขั้นต่อไปคือการพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือเพื่อใช้ควบคุมหุ่นยนต์ผ่านการสื่อสารบลูทูธ การพัฒนานี้จะทำในสภาพแวดล้อม Android Studio โดยใช้ภาษาจาวา แอปพลิเคชันนี้จะต้องสามารถรับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้งาน PocketSphinx ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ CMU Sphinx และเป็นไลบรารีสำหรับการรู้จำเสียงแบบโอเพนซอร์สที่มีประสิทธิภาพสูง (Huggins-Daines et al., 2006) แอปพลิเคชันจะทำการแปลงคำสั่งเสียงเป็นข้อความ และส่งคำสั่งควบคุมไปยังหุ่นยนต์ผ่านโมดูล Bluetooth การพัฒนาแอป



พลิเคชันจะครอบคลุมถึงการสร้างอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่ายสำหรับผู้ใช้ การประมวลผลคำสั่งเสียงโดยใช้ PocketSphinx และการสื่อสารกับหุ่นยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่สามารถเคลื่อนไหวและตอบสนองต่อคำสั่งเสียงได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพผ่านการควบคุมจากแอปพลิเคชันมือถือ

4. ขั้นตอนการนำไปใช้ (Implementation)

ผู้วิจัยได้นำหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์รู้จำเสียงที่สร้างขึ้น นำมาทดสอบด้วยการสั่งการเคลื่อนไหวตามชุดการเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้น สังเกตผลลัพธ์การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างสอดคล้องกับคำสั่ง การทดสอบยังรวมถึงการตรวจสอบการสื่อสารข้อมูลผ่านบลูทูธ การตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และกลไกการทำงานของหุ่นยนต์ โดยผู้วิจัยจะแก้ไขข้อผิดพลาดที่พบก่อนนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินผล

5. ขั้นตอนการประเมินผล (Evaluation)

ผู้วิจัยได้นำหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์รู้จำเสียงที่สร้างขึ้น ประเมินประสิทธิภาพการทำงานโดยผู้เชี่ยวชาญ และศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้งานจากผู้ใช้งานโดยใช้ Rating Scale 5 ระดับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่ควบคุมการเคลื่อนไหวด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญ และศึกษาความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ในการดำเนินการวิจัยได้ใช้โมเดล ADDIE เพื่อวิเคราะห์ความต้องการและปัญหาของผู้ใช้ การออกแบบระบบเพื่อพัฒนาหุ่นยนต์ การสร้างโครงสร้างและโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมด้วยคำสั่งเสียงที่พัฒนาด้วยภาษาจาวาใน Android Studio จากนั้นทำการทดสอบระบบกับกลุ่มเป้าหมาย และประเมินผลการใช้งานเพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ผลการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx

1. ภาพรวมการทำงานของระบบ

การพัฒนาหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียงมีความซับซ้อนเนื่องจากต้องผสมรวมเทคโนโลยีหลายด้าน ทั้งฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และการสื่อสารไร้สาย การออกแบบระบบที่สามารถทำงานร่วมกันอย่างราบรื่นเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้หุ่นยนต์ตอบสนองต่อคำสั่งเสียงได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว แสดงภาพรวมการทำงานของระบบโดยใช้ Sequence Diagram ได้ดังนี้

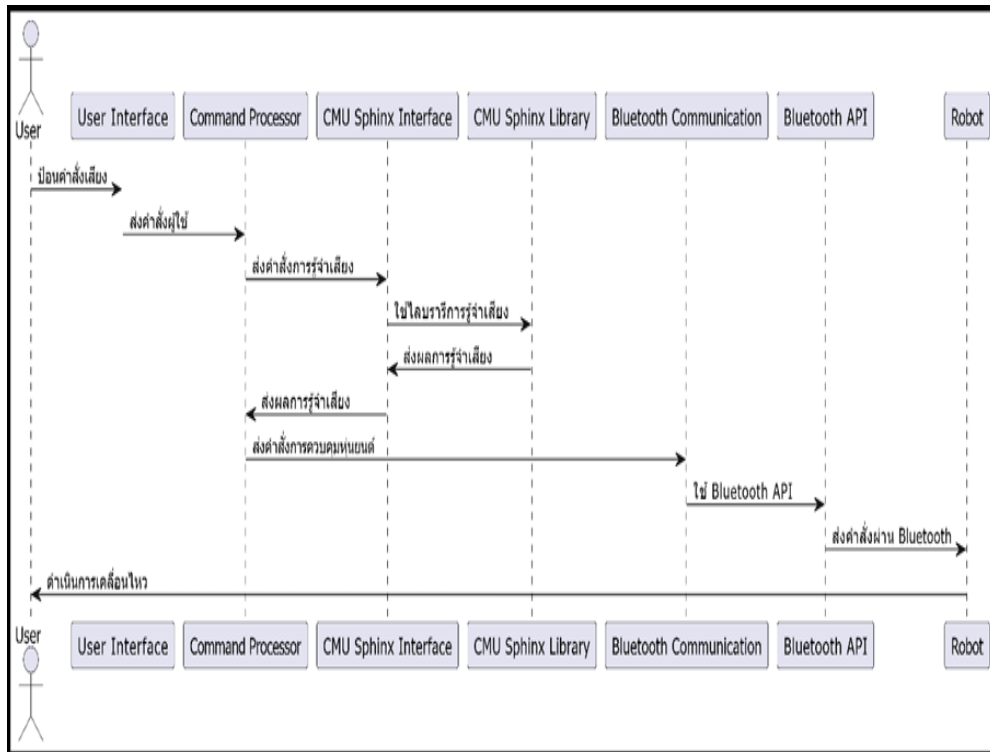


Figure 1 Sequence diagram illustrating the operation of a humanoid robot controlled by voice commands.

ระบบควบคุมหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ทำงานโดยเริ่มจากผู้ใช้ป้อนคำสั่งเสียงไปยังอินเทอร์เฟซผู้ใช้ (User Interface) ซึ่งจะรับคำสั่งเสียงและส่งต่อไปยังหน่วยประมวลผลคำสั่ง (Command Processor) หน่วยประมวลผลคำสั่งจะประมวลผลคำสั่งและส่งคำสั่งการรู้จำเสียงไปยังอินเทอร์เฟซ CMU Sphinx (CMU Sphinx Interface) ซึ่งเชื่อมต่อกับไลบรารี CMU Sphinx (CMU Sphinx Library) เพื่อทำการรู้จำเสียง หลังจากทีระบบรู้จำเสียงประมวลผลและแปลงคำสั่งเสียงเป็นข้อความเรียบร้อยแล้ว ข้อความที่ได้จะถูกส่งกลับไปยังหน่วยประมวลผลคำสั่งเพื่อแปลงเป็นคำสั่งการควบคุมหุ่นยนต์ คำสั่งการควบคุมนี้จะถูกส่งไปยังโมดูลการสื่อสารผ่าน Bluetooth (Bluetooth Communication) ซึ่งใช้ Bluetooth API เพื่อส่งคำสั่งไปยังหุ่นยนต์ผ่านการเชื่อมต่อ Bluetooth หุ่นยนต์จะรับคำสั่งและดำเนินการเคลื่อนไหวตามคำสั่งที่ได้รับ พร้อมทั้งแสดงผลการดำเนินการกลับไปยังผู้ใช้ ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและโต้ตอบกับหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

2. ผลการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ชีวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียง

ในการออกแบบหุ่นยนต์ชีวแมนนอยด์ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ 2 ส่วน รายละเอียดแสดงได้ดังนี้

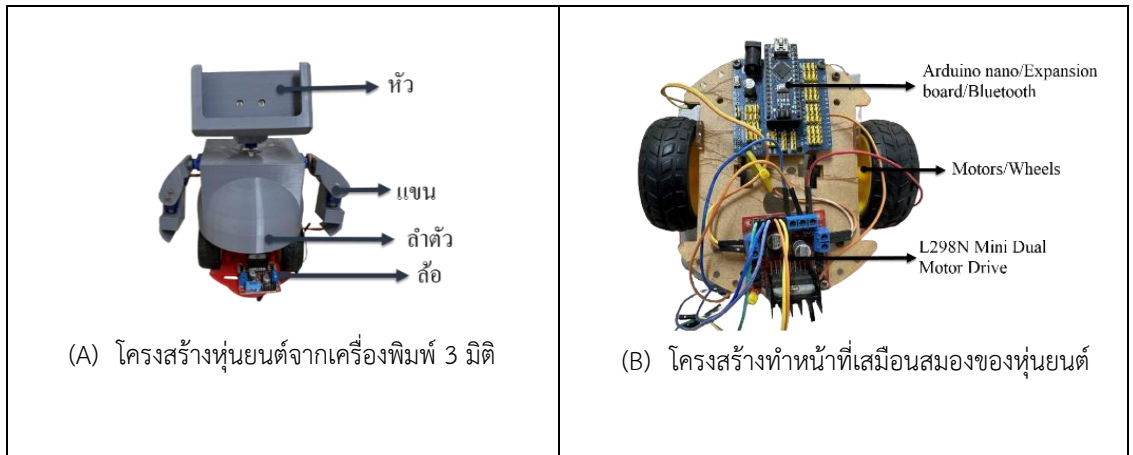


Figure 2 Sequence diagram illustrating the operation of a humanoid robot controlled by voice commands.

ส่วนแรกของโครงสร้างหุ่นยนต์ Figure 2 (A) ถูกออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD 3 มิติ ที่มีชื่อว่า Tinkercad ขั้นตอนนี้ช่วยสร้างแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วยส่วนหัว แขน ขา ลำตัว และฐานล้อ ประโยชน์คือ ช่วยให้เห็นภาพรวมของหุ่นยนต์ได้อย่างชัดเจน จำลองและตรวจสอบข้อผิดพลาดการทำงานผ่านแบบจำลอง และปรับปรุงข้อผิดพลาดก่อนที่จะทำการพิมพ์จริงผ่านเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ผลที่ได้เป็นชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำสูงและสามารถประกอบเข้ากันได้เป็นอย่างดี และส่วนที่สองทำหน้าที่เสมือนสมองของหุ่นยนต์ดังแสดงใน Figure 2(B) ประกอบด้วย Arduino Nano ทำหน้าที่ควบคุมหลักในการประมวลผลคำสั่งและควบคุมการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ Expansion Board ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ เช่น มอเตอร์และเซนเซอร์ ระบบนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่าน Bluetooth ทำให้หุ่นยนต์สามารถรับคำสั่งจากผู้ใช้งานแอปพลิเคชันมือถือได้ นอกจากนี้ หุ่นยนต์ยังมี L298N Mini Dual Motor Drive ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ช่วยในการควบคุมการหมุนและทิศทางการเคลื่อนไหวยของล้อ ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การรวมฮาร์ดแวร์เหล่านี้เข้าด้วยกันทำให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์และตอบสนองต่อคำสั่งเสียงจากผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี

3. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือเพื่อรับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้

ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์จำเป็นต้องมีแอปพลิเคชันเพื่อรับและประมวลผลเสียง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เพื่อทำหน้าที่รับคำสั่งเสียงโดยใช้ CMU Sphinx ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือ (toolkit) สำหรับการรู้จำเสียงพูดที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย Carnegie Mellon ภายในประกอบไปด้วยไลบรารีและโมดูลต่างๆ ที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันในการรู้จำเสียงพูดเข้ากับแอปพลิเคชันของตนเองได้ การจัดการและตั้งค่าโมดูลต่างๆ แสดงได้ดังนี้

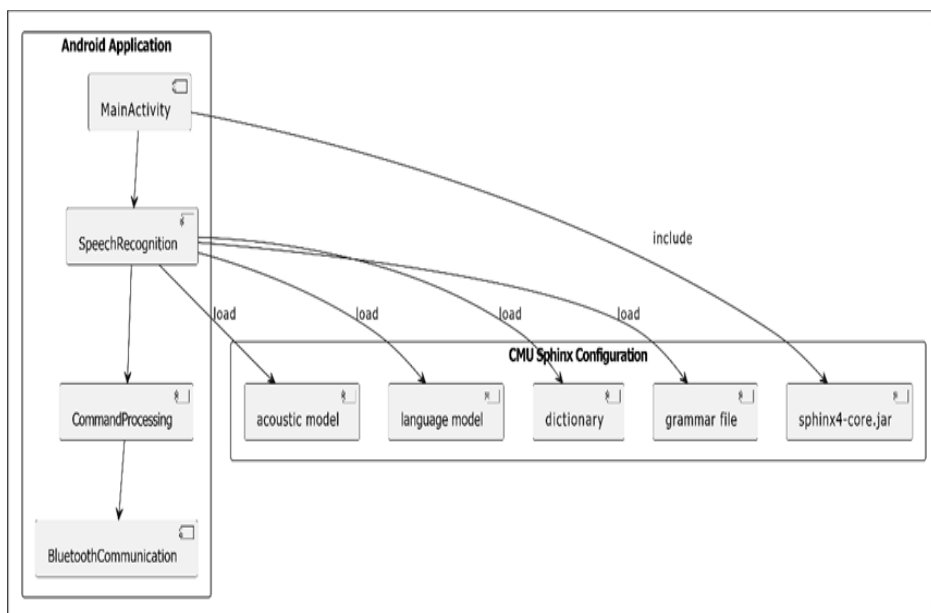


Figure 3 Project structure for developing a speech recognition application using CMU sphinx.

การพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือเพื่อเพื่อรับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้ เริ่มต้นจากการรวมไลบรารีหลักของ Sphinx4 (sphinx4-core.jar) เข้ากับ MainActivity ของแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นคลาสหลักที่ทำหน้าที่รวมและจัดการการเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆ โมดูลการรู้จำเสียง (SpeechRecognition) จะโหลดโมเดลเสียง (acoustic model), โมเดลภาษา (language model), พจนานุกรม (dictionary), และไฟล์ไวยากรณ์ (grammar file) เพื่อให้สามารถรับและประมวลผลคำสั่งเสียงจากผู้ใช้ได้อย่างแม่นยำ เมื่อได้รับคำสั่งเสียง โมดูลการรู้จำเสียงจะส่งข้อความที่รู้จำได้ไปยังโมดูลการประมวลผลคำสั่ง (Command Processing) ซึ่งจะแปลงข้อความเหล่านั้นเป็นชุดคำสั่งการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ จากนั้นคำสั่งเหล่านี้

จะถูกส่งต่อไปยังโมดูลการสื่อสารผ่าน Bluetooth เพื่อส่งคำสั่งไปยังหุ่นยนต์ผ่านการเชื่อมต่อ Bluetooth โครงสร้างการออกแบบนี้ช่วยให้แอปพลิเคชันสามารถรับคำสั่งเสียงและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ สำหรับหน้าจอใช้งานแอปพลิเคชันมือถือเพื่อรับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้งานแสดงดังนี้



ตัวอย่างการทำงานของระบบ <https://www.youtube.com/watch?v=MQvTWWQ0c5A>

Figure 4 Voice command application on mobile for controlling motion of humanoid robot.

ในการทำงานเมื่อผู้ใช้เปิดแอปพลิเคชันระบบจะรอคำสั่งเริ่มต้น "Okay Yuki" ใช้เพื่อเปิดใช้งานระบบรับคำสั่งเสียง โดยคำสั่งนี้เป็นคำสั่งปลุกระบบให้พร้อมรับคำสั่งถัดไป การเคลื่อนไหวกิจทาง เช่น "MoveLeft" และ "MoveRight" ใช้เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหวกของหุ่นยนต์ไปทางซ้ายและขวาตามลำดับ คำสั่ง "Forward" และ "Backward" ใช้ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนไหวกของแขนหุ่นยนต์ เช่น "LeftHandUp" และ "LeftHandDown" สำหรับยกและลดแขนซ้าย รวมถึง "RightHandUp" และ "RightHandDown" สำหรับยกและลดแขนขวา คำสั่ง "BothHandUp" และ "BothHandDown" ใช้เพื่อยกและลดแขนทั้งสองข้างพร้อมกัน สำหรับการควบคุมการหมุนของหัวหุ่นยนต์ มีคำสั่ง "MoveHeadLeft" และ "MoveHeadRight" เพื่อหมุนหัวไปทางซ้ายและขวาตามลำดับ และคำสั่ง "MoveHeadStraight" เพื่อหันหัวให้ตรงไปข้างหน้า คำสั่งเหล่านี้ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถตอบสนองต่อคำสั่งเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถทำการเคลื่อนไหวกต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ

4. ผลการประเมินประสิทธิภาพหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียง

จากต้นแบบหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียง ได้นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ได้แก่ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์จำนวน 1 คนเป็นผู้มีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์และ



ประเมินประสิทธิภาพของระบบซอฟต์แวร์และการออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ อาจารย์ประจำสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์จำนวน 1 คนเป็นผู้มีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคการพัฒนาแอปพลิเคชันและการควบคุมหุ่นยนต์ และอาจารย์ประจำสาขาคอมพิวเตอร์ศึกษาจำนวน 1 คนเป็นผู้มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ในการทดสอบผู้เชี่ยวชาญจะทำการเปิดสวิตช์ให้หุ่นยนต์ทำงาน แล้วทำการทดสอบจำนวน 20 ครั้งต่อกรณี แล้วบันทึกความถูกต้อง ประเด็นการทดสอบประกอบด้วย 4 กรณี ได้แก่ (1) การทดสอบความถูกต้องในการรับคำสั่งเสียงซึ่งประเมินความแม่นยำของระบบในการรับและประมวลผลคำสั่งเสียงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Rabiner & Juang, 1993) (2) การทดสอบความถูกต้องในการสร้างชุดคำสั่งเคลื่อนไหวซึ่งตรวจสอบว่าคำสั่งเสียงสามารถแปลงเป็นคำสั่งการเคลื่อนไหวที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ (Jurafsky & Martin, 2008) (3) การทดสอบความถูกต้องในการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ที่ประเมินความแม่นยำในการตอบสนองของหุ่นยนต์ต่อคำสั่งเคลื่อนไหวในทิศทางและรูปแบบต่างๆ (Siciliano & Khatib, 2008) และ (4) การทดสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ระหว่างชุดคำสั่งและการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ซึ่งประเมินการทำงานของหุ่นยนต์เมื่อได้รับชุดคำสั่งต่อเนื่อง (Nakamura, 1991) ผลที่ได้แสดงดังตารางต่อไปนี้

Table 1 Evaluation results of the performance of the humanoid robot controlled by voice commands.

รายการ	จำนวนความถูกต้อง			ร้อยละความถูกต้อง
	ผู้เชี่ยวชาญ 1	ผู้เชี่ยวชาญ 2	ผู้เชี่ยวชาญ 3	
ความถูกต้องในการรับคำสั่งเสียง	17	18	16	100.00
ความถูกต้องในการสร้างชุดคำสั่งเคลื่อนไหว	20	20	20	100.00
ความถูกต้องในการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์	20	20	20	100.00
ความถูกต้องของความสัมพันธ์ระหว่างชุดคำสั่งและการเคลื่อนไหว	20	20	20	100.00
ค่าเฉลี่ย				97.00

จากการประเมินผลการใช้งานของหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียงโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน พบว่าหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพสูงในทุกตัวชี้วัด โดยมีคะแนนร้อยละความถูกต้องเฉลี่ยที่ 97.00% ความถูกต้องในการรับคำสั่งเสียงมีคะแนน 85.00% ซึ่งต่ำที่สุดเนื่องจากการเพี้ยนของเสียงภาษาอังกฤษจากผู้พูดชาวไทย ในขณะที่ความถูกต้องในการสร้างชุดคำสั่งเคลื่อนไหว ความถูกต้องในการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ และความถูกต้องของความสัมพันธ์ระหว่างชุดคำสั่งและการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ล้วนมีคะแนน 100.00% แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบคือการรองรับการพูดภาษาอังกฤษที่มีสำเนียงหรือการออกเสียงแบบไทยเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการรับคำสั่งเสียง

5. ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียง

ในการการศึกษความพึงพอใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียงได้ใช้กลุ่มตัวอย่างจากเยาวชนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คน ที่เข้าร่วมงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษในวันที่ 7 สิงหาคม 2566 ภายใต้การสั่งงานด้วยเสียงเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ โดยกำหนดขั้นตอนการทดสอบเพื่อศึกษาความพึงพอใจเป็นดังนี้

5.1 การแนะนำการใช้คำสั่งเสียงพื้นฐานเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์

5.2 การทดลองใช้หุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่กำหนดโดยการออกคำสั่งเสียงที่หลากหลาย เช่น การเคลื่อนที่ การยกแขน และการหมุนหัว

5.3 การประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ ผ่านการสอบถามระดับความพึงใจในด้านต่าง ๆ โดยใช้แบบสอบถามแบบ Rating Scale 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด (Likert, 1967) หลังจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลดังตารางต่อไปนี้

Table 2 Results of the study on user satisfaction with the voice-controlled humanoid robot.

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ความสะดวกในการใช้งาน	4.70	0.33	มากที่สุด
2. ความแม่นยำของการรู้จำเสียง	4.20	0.65	มาก
3. ความเร็วในการตอบสนอง	4.43	0.50	มาก
4. ความสามารถในการตอบโต้	4.35	0.45	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.42	0.48	มาก

ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียง พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในระดับสูงในทุกด้านที่ได้รับการประเมิน โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.42 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 ด้านที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.33 แสดงถึงความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ส่วนด้านที่ได้รับคะแนนต่ำสุดแต่ยังอยู่ในระดับมาก คือความแม่นยำของการรู้จำเสียงที่มีค่าเฉลี่ย 4.20 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65 การตอบสนองของหุ่นยนต์ในด้านความเร็วและความสามารถในการตอบโต้ได้รับคะแนนเฉลี่ยที่สูงเช่นกันที่ 4.43 และ 4.35 ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อคำสั่งเสียงของผู้ใช้งานได้ดี มีความสะดวกในการใช้งาน และมีการตอบสนองที่รวดเร็วและแม่นยำ แต่ยังสามารถพัฒนาเรื่องความแม่นยำของการรู้จำเสียงเพื่อเพิ่มความพึงพอใจให้มากยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ควบคุมด้วยคำสั่งเสียงโดยใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ได้ดำเนินการตามกระบวนการ ADDIE Model (Dick, Carey & Carey, 2015) ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ (Analysis) การออกแบบ (Design) การพัฒนา (Development) การนำไปใช้ (Implementation) และการประเมิน (Evaluation) หุ่นยนต์อิวแมนนอยด์ได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับมนุษย์โดยใช้ซอฟต์แวร์ Tinkercad สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติ และใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano สำหรับการควบคุมหลัก การพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุม หุ่นยนต์และการแปลงคำสั่งเสียงเป็นคำสั่งการเคลื่อนไหวทำโดยใช้ระบบ CMU Sphinx ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนในการควบคุมและเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้งสามด้าน ได้แก่ การวิเคราะห์ซอฟต์แวร์ การพัฒนาแอปพลิเคชัน และการออกแบบสื่อการเรียนรู้ ได้แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพสูงในทุกตัวชี้วัด โดยมีคะแนนเฉลี่ยความถูกต้องในการรับคำสั่งเสียงที่ 85% ซึ่งต่ำกว่าด้านอื่นๆ เนื่องจากการเพี้ยนของเสียงภาษาอังกฤษจากผู้พูดชาวไทย ผลการศึกษาความพึงพอใจจากกลุ่มเยาวชนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 30 คน แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.42 ซึ่งด้านความสะดวกในการใช้งานได้รับคะแนนสูงสุด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mubin et al. (2013) ที่แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและน่าสนใจ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang et al. (2010) ที่พบว่าหุ่นยนต์สามารถช่วยเพิ่มทักษะการสื่อสารและการฟังในวิชาภาษาอังกฤษ และงานวิจัยของ Grand View Research (2023) ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้หุ่นยนต์ในวงการศึกษามีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง อีกทั้ง Lédeczi et al. (2019) ยังชี้ให้เห็นถึงความท้าทายในการออกแบบหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา ซึ่งการใช้ระบบรู้จำเสียง CMU Sphinx ในการพัฒนาครั้งนี้ได้ช่วยลดความซับซ้อนและเพิ่มความสะดวกในการใช้งานของหุ่นยนต์อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยภาษาไทยที่สอดคล้อง เช่น งานวิจัยของ Chanakul (2019) ที่พบว่าการใช้หุ่นยนต์ในการเรียนการสอนช่วยเสริมสร้างทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาของนักเรียน และ



งานวิจัยของ Arunroj (2020) ที่พบว่าหุ่นยนต์สามารถช่วยส่งเสริมการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในกลุ่มเยาวชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ที่ให้ทุนสนับสนุน และแต่งตั้งคณะกรรมการในการติดตาม ทั้งให้คำปรึกษาในการวิจัยนี้ รวมทั้ง

References

- Arunroj, K. (2020). The use of robots in teaching science for youth. *Journal of Education and Development*, 15(1), 95-108.
- Chang, C.-Y., Lee, G., & Wang, W.-C. (2010). The effect of a robot-based English-learning system on English learning performance in elementary school students. *Educational Technology & Society*, 13(3), 56-68.
- Chanasakul, S. (2019). Development of educational robots to enhance learning skills in high school students. *Journal of Science and Technology*, 8(2), 125-134.
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2015). *The systematic design of instruction* (7th ed.). Boston, MA: Pearson Education.
- Grand View Research. (2023). *Educational robot market size & trends*. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/educational-robots-market-report>
- Huggins-Daines, D., Kumar, M., Chan, A., Black, A. W., Ravishankar, M., & Rudnick, A. I. (2006). *PocketSphinx: A free, real-time continuous speech recognition system for hand-held devices*. In Proceedings of ICASSP 2006 (pp. 185-188). IEEE.
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2008). *Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition* (2nd ed). Pearson Education.
- Lédeczi, Á., Maróti, M., Simon, G., Kusy, B., Nádas, A., Pap, G., ... & Frampton, K. (2019). A novel sensor network platform for real-time monitoring of critical infrastructures. *IEEE Sensors Journal*, 19(20), 9381-9391.
- MarketsandMarkets. (2022). *Educational robot market by component, type, end-user, and region - global forecast to 2027*. Retrieved from <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/educational-robot-market-261145544.html>



- Molenda, M. (2003). In search of the elusive ADDIE model. *Performance Improvement*, 42(5), 34-36.
- Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Mahmud, A. A., & Dong, J.-J. (2013). A review of the applicability of robots in education. *Technology for Education and Learning*, 1(1), 1-7.
- Nakamura, Y. (1991). *Advanced robotics: redundancy and optimization*. Addison-Wesley.
- Rabiner, L. R., & Juang, B. H. (1993). *Fundamentals of speech recognition*. Prentice-Hall.
- Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2008). *Springer handbook of robotics*. Springer.

