

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เลโก้

MINDSTORM EV3 CONTROLLING ANDROID MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT

นัฐกร คุ่มแดง¹ ฐิติกา หาดยาว² สุนันท์ ธาติ³ และพันธุธิดา ลีศรีประพันธ์⁴

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก

Corresponding author e-mail thitiga.h@psru.ac.th, natthakon.k@psru.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์นิยมใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนด้าน STEM Education (Science Technology Engineering and Mathematics Education) ซึ่ง LEGO Mindstorms Education EV3 เป็นอีกหนึ่งสื่อการเรียนการสอนด้าน STEM EDUCATION ในรูปแบบโครงงานนวัตกรรมเพื่อฝึกการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาโจทย์ต่างๆ สำหรับการใช้งานหุ่นดังกล่าวเพื่อการศึกษาโดยการฝึกควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์นั้นโดยวิธีการที่มีอยู่เดิมใช้การควบคุมผ่านสมองกลของหุ่นยนต์เลโก้อีกหนึ่งตัว ซึ่งหมายความถึงหากต้องการศึกษาการทำงานเพื่อการศึกษาของผู้เรียนหนึ่งคนจำเป็นต้องใช้หุ่นยนต์จำนวนสองตัว อีกทั้งการควบคุมแบบเดิมสามารถเปลี่ยนพอร์ตในขณะที่กำลังควบคุมหุ่นยนต์ได้เพียงครั้งละ 2 พอร์ตทั้งที่พอร์ตควบคุมมี 4 พอร์ต ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับควบคุมหุ่นยนต์ LEGO Mindstorms Education EV3 ที่สามารถควบคุมการทำงานได้ทั้ง 4 พอร์ตเพื่อลดการใช้สมองกลควบคุมสมองกลด้วยตนเองซึ่งการใช้แอปพลิเคชันควบคุมแทนนั้นช่วยลดการใช้สมองกลที่มีราคาแพงและทรัพยากรสิ้นเปลืองอื่นๆได้ อีกทั้งผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : แอปพลิเคชัน, หุ่นยนต์, มายสตอร์มฮอร์ฟแวร์

Abstract

Nowaday, robots are used in STEM Education media (Science Technology Engineering and Mathematics Education). LEGO Mindstorms Education EV3 is very useful as STEM EDUCATION teaching or learning materials. It use for an innovative project to practice analytical thinking and problem solving. The use of robots to control LEGO Mindstorms Education EV3 in class, an existing method is use a lego robot to control another one. This means that if one student wants to learning this learning materials, it is necessary to use two robots. In addition, user can change only two port at the same time while controlling the robot, although there are 4 control ports. The researcher has developed the LEGO Mindstorms Education EV3 robot application on mobile devices in Android operating system which can control all 4 ports. It can reduces expensive brain machines using and other wasteful resources. In addition, users can access to use more conveniently.

keywords : application, robot, mindstorm ev3

บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์นิยมใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนด้านSTEM Education (Science Technology Engineering and Mathematics Education) คือ แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต และการทำงานซึ่ง LEGO Mindstorms Education EV3 เป็นอีกหนึ่งสื่อการเรียนการสอนด้าน STEM EDUCATION ในรูปแบบโครงงาน นวัตกรรม เพื่อฝึกการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาโจทย์ภารกิจต่าง ๆ ซึ่งถือเป็นหนึ่งในทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในศตวรรษ 21 สำหรับการใช้งานหุ่นดังกล่าวเพื่อการศึกษาโดยการฝึกควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์นั้นโดยวิธีการที่มีอยู่เดิมใช้การควบคุมผ่านสมองกลของหุ่นยนต์เลโก้อีกหนึ่งตัว สำหรับแอปพลิเคชันที่มีอยู่เดิมคือ EV 3 Simple Remote สามารถใช้งานได้เพียง 2 พอร์ต มีข้อจำกัดคือการใช้งานพร้อมกันต้องกดสลับพอร์ตซึ่งใช้งานได้ค่อนข้างลำบากต่อผู้ที่ไม่ชำนาญในการควบคุม ผู้วิจัยเสนอการประยุกต์ใช้โมบายเพื่อแทนที่การทำงานของหุ่นยนต์โดยการควบคุมผ่านทางแอปพลิเคชันพร้อมกันทั้ง 4 พอร์ต



ภาพที่1

วัตถุประสงค์

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เลโก้ จากเดิมควบคุมได้ครั้งละ 2 พอร์ต เป็นควบคุมได้ 4 พอร์ตพร้อมกันเพื่อแก้ปัญหาการใช้งานของ EV3 Brickหรือสมองกลอย่างสิ้นเปลืองในการทำงานแต่ละครั้ง คือ ต้องใช้สมองกลถึง 2 ตัวที่ 1 เป็นส่วนของตัวหุ่นยนต์และตัวที่2 เป็นส่วนควบคุมหรือบังคับหุ่นยนต์เพื่อลดจำนวนการใช้งานสมองกลและแอปพลิเคชันเดิมควบคุมได้เพียง 2พอร์ตซึ่งไม่สะดวกต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากต้องกดสลับพอร์ตเพื่อจะสั่งงานอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ในขณะเดียวกัน กลุ่มผู้วิจัยจึงเลือกทำแอปพลิเคชันมือถือเพื่อควบคุมหุ่นยนต์แทนสมองกลควบคุมสมองกลด้วยตัวเองและเพิ่มฟังก์ชันให้สามารถควบคุมได้ 4 พอร์ตพร้อมกัน

การทบทวนวรรณกรรม

LEGO MINDSTORMS Education EV3 เป็นหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาที่ครอบคลุมหลักสูตรวิชาจำพวก วิทยาการคอมพิวเตอร์, วิทยาศาสตร์พื้นฐาน, เทคโนโลยีวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ เป็นต้น อีกทั้งหุ่นยนต์นี้ยังช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมการเรียนรู้ การประกอบโครงสร้างหุ่นยนต์, การเขียนโปรแกรมและอื่น ๆ ร่วมกัน เพื่อเสริมสร้างทักษะการทำงานกันแบบเป็น

ทีม ทั้งนี้การใช้ LEGO MINDSTORMS Education EV3 เป็นสื่อการสอนต้องมีการประยุกต์ใช้ Mindstorms Software ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นโดย LEGO Education ซึ่งการทำงานและฟังก์ชันต่างๆ ภายใน EV3 Brick ดังแสดงในภาพที่ 2



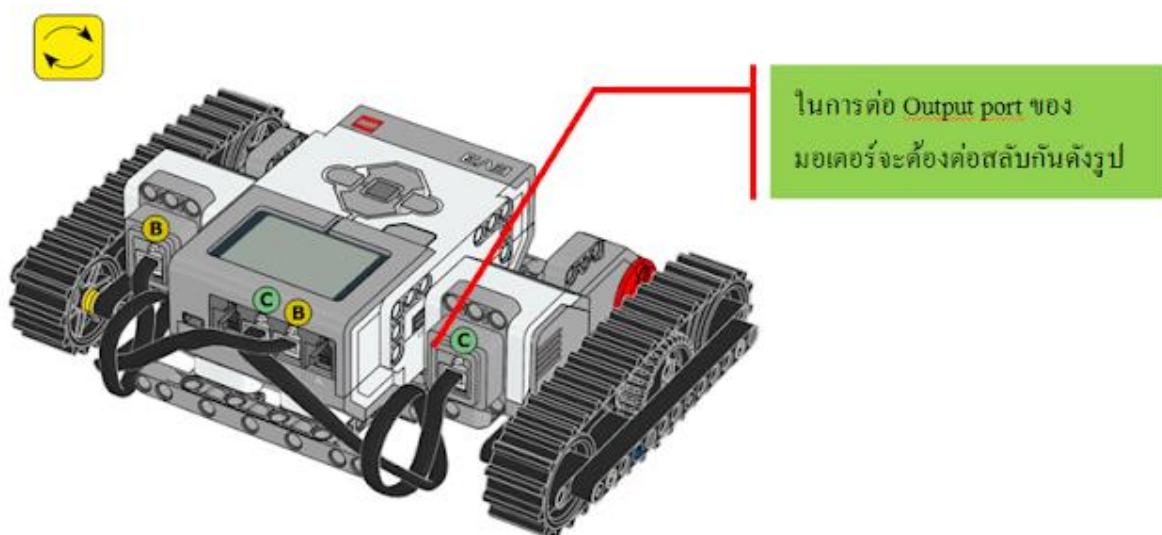
ภาพที่ 2 ทำงานและฟังก์ชันต่างๆ ภายใน EV3 Brick

สำหรับการเชื่อมต่อสายเคเบิล มอเตอร์ และเซ็นเซอร์ ไปยัง Output port, Input port ช่องเสียบนั้น ผู้วิจัยขอกล่าวถึงเฉพาะการเชื่อมต่อกับมอเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ที่ได้พัฒนาขึ้นเท่านั้นดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อการทำงานกับมอเตอร์

Port A : มอเตอร์ขนาดกลาง (Medium Motor) Port B และ C : มอเตอร์ขนาดใหญ่สองตัว (Large Motors) ในการต่อจะมอเตอร์ขนาดใหญ่ด้านขวาจะต้องต่อที่ช่อง C ส่วนมอเตอร์ขนาดใหญ่ด้านซ้ายจะต้องต่อที่ช่อง B สลับกัน**Port D : มอเตอร์ขนาดใหญ่ (Large Motor) ซึ่งการเชื่อมต่อกับกลไกต่างๆในหุ่นยนต์ดังแสดงในภาพที่ 4

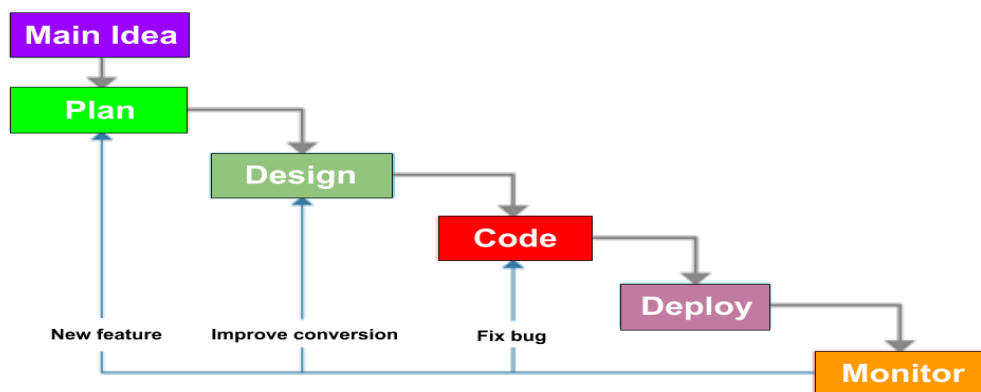


ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อกับกลไกต่างๆในหุ่นยนต์ LEGO MINDSTORM EV3

สายเคเบิลสำหรับชุด EV3 จะมีความยาว 3 แบบ ได้แก่ ขนาดสั้น 25 cm. 4 เส้น, ขนาดกลาง 35 cm. 2 เส้น และขนาดยาว 50cm. 1 เส้น ในการต่อเข้ากับ EV3 Brick ให้ระวังสายเคเบิลของเราเข้าไปพันกับเฟือง หรือจุดเคลื่อนไหว หรือลากไปกับพื้นกรณีหุ่นยนต์ของเรากำลังเคลื่อนที่ด้วย

วิธีการดำเนินงาน

เริ่มจากการสำรวจว่าแอปพลิเคชันเดิมนั้นสามารถทำอะไรได้บ้าง และวางแผนในการเพิ่มส่วนที่แอปพลิเคชันเดิมนั้นขาดไป จากนั้นจึงทำการออกแบบทั้งลักษณะหน้าการแสดงผลและการทำงานของระบบในเชิงตรรกะเพื่อพัฒนาให้ได้แอปพลิเคชันที่สมบูรณ์แบบมากขึ้น เมื่อออกแบบเสร็จสิ้นจึงเริ่มการเขียนโค้ดเพื่อสร้างแอปพลิเคชันตามที่ได้วางแผนไว้ จากนั้นจึงทำการทดสอบระบบและทำการแก้ไขในจุดบกพร่อง และขั้นตอนสุดท้ายคือการสรุปผลลัพธ์ ดังที่แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 วิธีการดำเนินงาน

1.การวางแผน

1.1 การแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนพอร์ตในขณะที่กำลังควบคุมหุ่นยนต์จากเดิมเลือกควบคุมได้ครั้งละ2พอร์ต เป็นควบคุมได้4พอร์ตพร้อมกัน

1.2 ผู้วิจัยเลือกพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้ Ionic framework

1.3 ผู้พัฒนาใช้ Ionic framework เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชันผ่านโปรแกรม Visual Studio Code เพื่อใช้ในการสร้างแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่

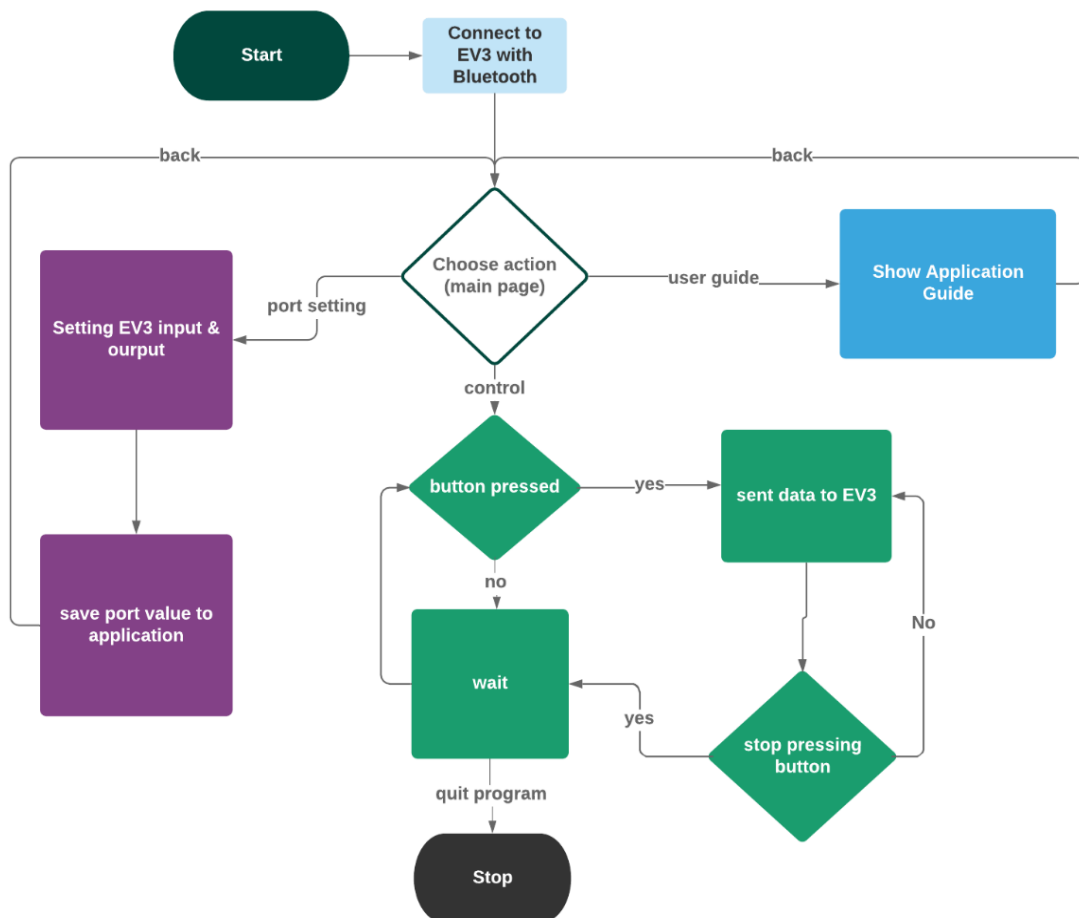
2.การออกแบบ

2.2 การออกแบบ UX การออกแบบโครงสร้างเป็นขั้นตอนที่ต้องแสดงข้อมูลและหน้าที่ที่แอปพลิเคชันต้องทำ แอปพลิเคชันมีลักษณะเป็นอย่างไร ในแอปพลิเคชันสามารถทำอะไรได้ และต้องแสดงข้อมูลส่วนใดในหน้าไหนของ แอปพลิเคชัน จากนั้นผู้วิจัยจึงนำมาสร้างเป็นโครงร่าง

2.3 การออกแบบ UI Style guide หรือ UI Kit เป็นเหมือนการออกแบบต้นแบบของสิ่งต่าง ๆ ในแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยจึงออกแบบอย่างชัดเจนเพื่อที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันเข้าใจการใช้งานของแอป การมีแบบที่ชัดเจนและไปในทิศทางเดียวกันทั้งแอปจะทำให้ผู้ใช้งาน ใช้งานได้ง่ายขึ้น เช่น สีของแอปในแต่ละหน้า

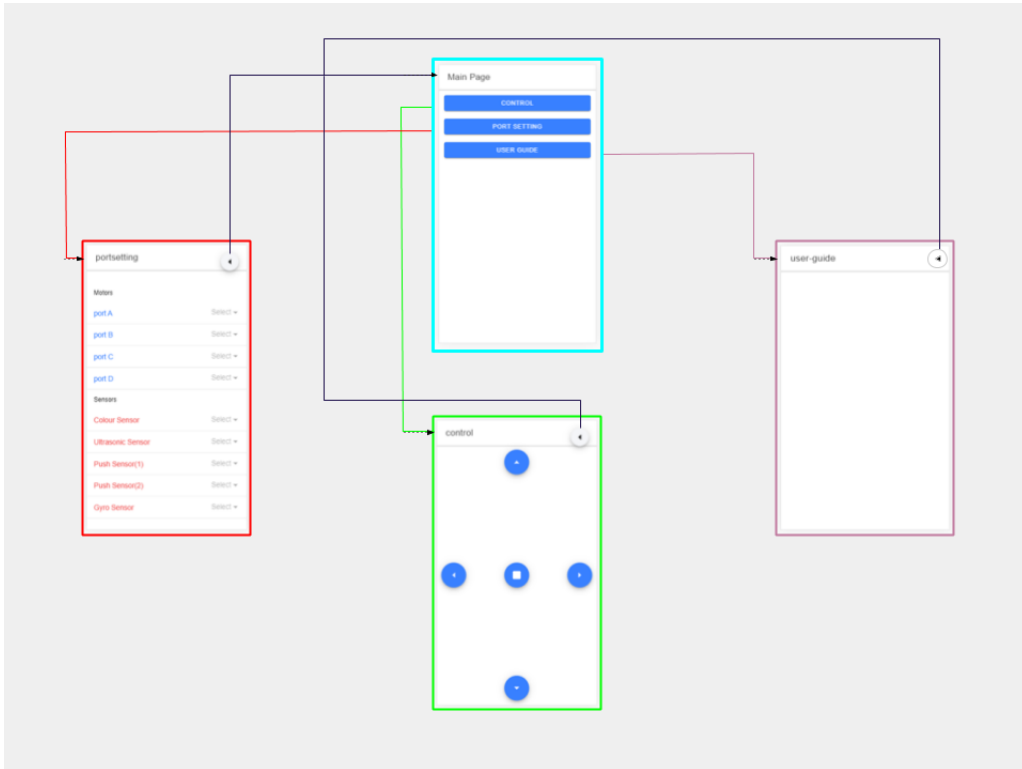
การกำหนดวิธีการใช้งานผู้วิจัยได้คำนึงถึงผู้ใช้งานแอปคือใคร แอปจะใช้ทำอะไร แอปต้องออกแบบให้เหมาะกับผู้ใช้ให้มากที่สุด ผลลัพธ์ของขั้นตอนนี้ คือจะได้ สีของแอป,ตัวอักษร, และ ปุ่มกด, ฟอรัม, label ที่จะเอามาใช้ในแอปทั้งหมด

2.4 การออกแบบการทำงานของระบบในเชิงตรรกะ



3.การพัฒนาแอปพลิเคชัน

การพัฒนาแอปพลิเคชันมีหลายวิธีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันได้ แต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันทางผู้วิจัยจึงเลือก Cross-platform เป็นเทคโนโลยีที่มี code บางส่วนหรือทั้งหมดแชร์กัน แต่ก็ยัง build ไปรันเป็น Native เช่น React Native โดยแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่มีขั้นตอนการทำงานเชื่อมโยงกันในแต่ละหน้าดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7

ในหน้าหลักของแอปพลิเคชันมีทางเลือกการใช้งานทั้งหมดสามอย่าง คือ การควบคุม EV3, การตั้งค่า port input & output และหน้าคำแนะนำการใช้งาน โดยในแต่ละทางเลือกจะสามารถกดย้อนกลับเพื่อกลับมาที่หน้าหลักได้

4.ทดสอบระบบ

การทดสอบระบบทดสอบโดยคนที่ไม่ใช่ developer ที่สร้างแอปพลิเคชันนี้ขึ้นมา เพราะ developer จะทราบอยู่แล้วว่าตรงไหนทำอะไรได้ ตรงไหนทำอะไรไม่ได้ ซึ่งบางครั้งก็อาจจะไม่เจอสิ่งที่ user ใช้งานจริงจะเจอเมื่อใช้งานทั่วไป การทดสอบมีหลายประเภทในแต่ละความคืบหน้าของการพัฒนา

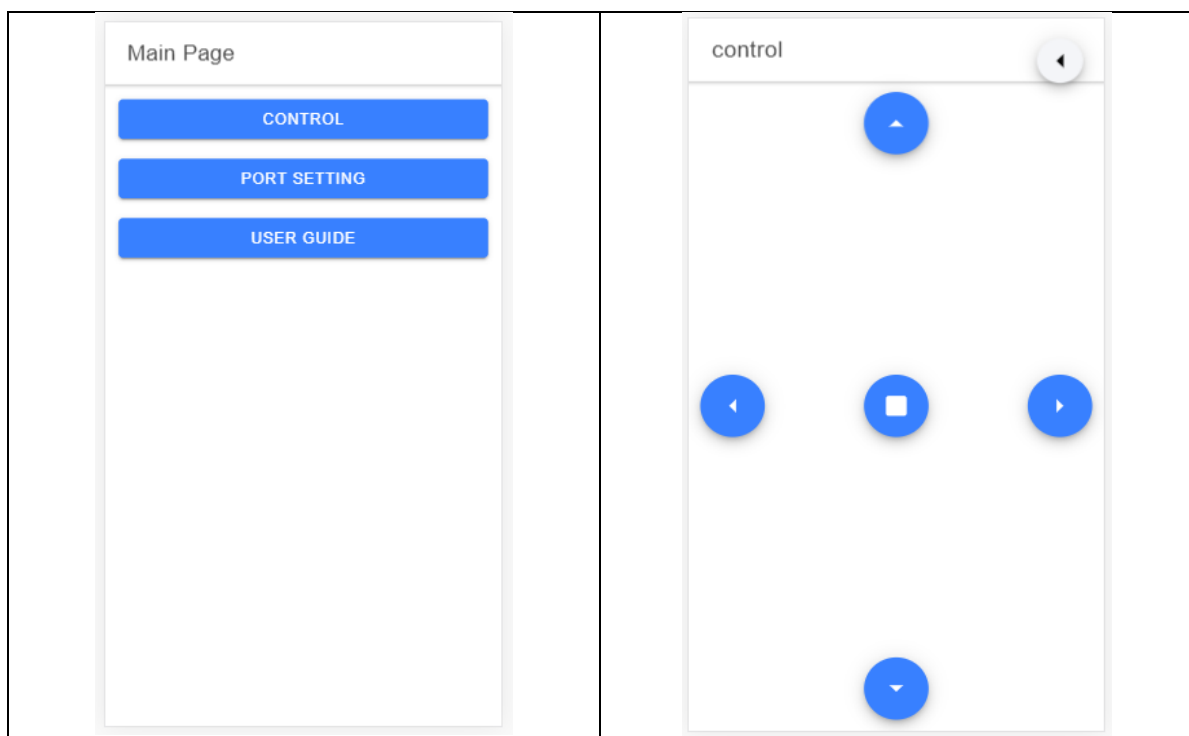
Functional Test ทดสอบว่าfeature นี้ทำงานได้ถูกต้องตาม requirement หรือไม่ จะมี test case, action step และผลลัพธ์ที่คาดหวังว่าจะให้มันเกิดจากการพัฒนาในส่วนนี้

Usability Testing ทดสอบว่าผู้ใช้งานเข้าใจ,สะดวกและใช้งานได้ง่าย ตอนที่ทดสอบควรหาคนที่ไม่เคยเห็นแอปหรือเห็นเป็นครั้งแรกมาทดสอบเพื่อทดสอบว่าผู้ใช้เป็นคนที่เพิ่งเริ่มใช้จริง ๆ โดยกำหนด target group เพื่อนำมาทดสอบ สอบถามผู้ทดสอบการใช้งานว่ามี background อย่างไร จากนั้นก็ให้ผู้ทดสอบใช้แอปนี้ใน store ไม่ต้องแนะนำวิธีใช้ ดูว่าผู้ทดสอบจะใช้แอปอย่างไรและพบปัญหาอย่างไรบ้างหลังจากเสร็จการทดสอบจึงสอบถาม feedback กับผู้ใช้งานและนำมาปรับปรุงแอปต่อไป

Beta testing เมื่อแอปพลิเคชันเสร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยทำ beta launch อีกรอบ beta launch คือการให้ผู้ใช้งานใช้งานจริงในสถานการณ์จริงเหมือนกับแอป launch ไปแล้ว ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะได้ข้อมูลที่หลากหลายขึ้นอย่างมาก เพื่อจะได้อันหาปัญหาที่ไม่เคยทดสอบเจอมาก่อนมากมาย ซึ่งดีกว่าปล่อยแอปแล้วเพิ่งมาเจอปัญหาทีหลัง หลังจาก Beta testing แล้วแก้ปัญหาที่พบไปจนหมด และไม่มีปัญหาใหม่ ๆ อีกแล้ว ก็เริ่มขั้นตอนต่อไปได้

ผลการวิจัยการสร้างแอปพลิเคชัน

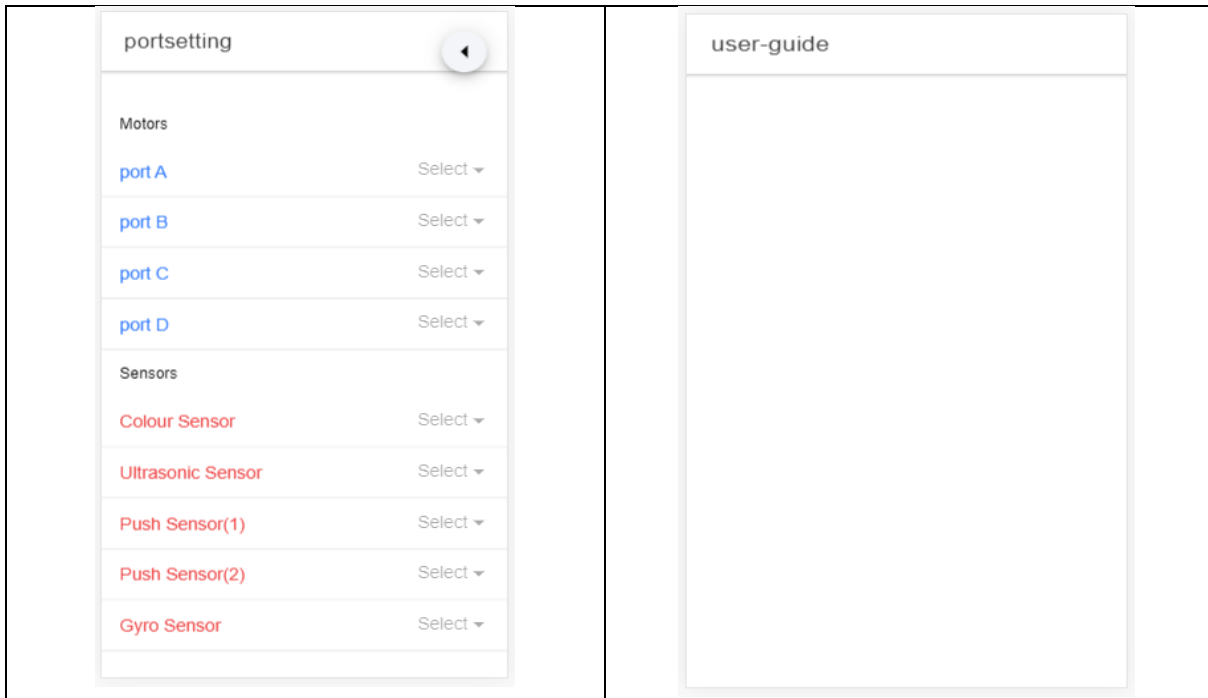
หลังจากการพัฒนาและแก้ไขข้อบกพร่อง ภายในแอปพลิเคชันมีทางเลือกการใช้งานอยู่สามอย่าง คือ การควบคุมหุ่นยนต์EV3 ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของแอปพลิเคชัน การตั้งค่าพอร์ต input และ output ให้ตรงกับหุ่นยนต์EV3 และส่วนสุดท้ายคือคำแนะนำวิธีการใช้งานแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 8

หน้าหลักของโปรแกรม(ภาพซ้าย) ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อภายในแอปพลิเคชัน ผู้ใช้สามารถเลือกไปยังหน้าอื่นๆได้จากที่นี่

หน้าการควบคุม(ภาพขวา) ทำการสั่งการทำงานของหุ่นยนต์EV3 โดยส่งสัญญาณผ่านบลูทูธ เพื่อสั่งงานตัวหุ่นยนต์EV3 ประกอบด้วยปุ่มกด เดินหน้า,ถอยหลัง,ซ้าย,ขวาและปุ่มตรงกลาง



ภาพที่ 9

หน้าการตั้งพอร์ต(ภาพซ้าย) ใช้ตั้งค่าพอร์ต input และ output ให้ตรงกับเซนเซอร์และมอเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับ EV3

หน้าคำแนะนำการใช้งาน(ภาพขวา) ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการทำงานและการตั้งค่าพอร์ตในแอปพลิเคชัน

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยเปรียบเทียบการใช้แอปพลิเคชันควบคุมกับใช้สมองกลควบคุม ปรากฏว่าการใช้แอปพลิเคชันควบคุมสามารถลดจำนวนการใช้สมองกลควบคุมกันเองได้ดีและสามารถนำสมองกลที่จะนำมาควบคุมไปใช้งานในส่วนอื่น ๆ ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และเมื่อลองทดสอบจากแอปพลิเคชันเดิมที่มี 2พอร์ตใช้งานไม่สะดวกเนื่องจากต้องกดสลับพอร์ตเพื่อสั่งงานอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ กับแอปพลิเคชันแบบใหม่ที่กลุ่มผู้วิจัยสร้างขึ้นมาคือ ควบคุมได้ 4พอร์ตพร้อมกันทำให้สะดวกสบายและลดระยะเวลาได้มากกว่าแบบเดิม

สรุปผลการวิจัย

การดำเนินงานโครงการบรรลุนิติวัตถุประสงค์ ที่ได้กำหนดไว้คือ Mobile Application สามารถลดจำนวนการใช้งานสมองกลและแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนพอร์ตในขณะที่กำลังควบคุมหุ่นยนต์จากแอปพลิเคชันเดิมควบคุมได้ครั้งละ 2 พอร์ต เป็นแอปพลิเคชันใหม่ที่สามารถควบคุมได้ 4 พอร์ตพร้อมกันและนำค่าที่เซนเซอร์อ่านได้มาแสดงบนหน้า Mobile Application เพื่อการใช้งานแอปพลิเคชันในการควบคุม LEGO Mindstorms

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ ดร.สุนันท์ ธาติ ที่กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของผู้วิจัย ได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ซึ่งเป็นแรงกระตุ้นให้แก่ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริง ความเสียสละและความทุ่มเทของอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจและสำนึกในพระคุณของท่านอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ พันธุ์ธิดา ลิ้มศรีประพันธ์ อาจารย์ วชิระ ลิ้มศรีประพันธ์ อาจารย์สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย รวมถึงขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่ให้ข้อมูลและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เอื้อต่อการทำงานวิจัยฉบับนี้จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้วิจัยฉบับนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูแก่เวทิตาคคุณ แต่บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและกัลยาณมิตรทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

นางสาวฐิติกา หาดยาว

นายณัฐกร คุ่มแดง

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี โรงเรียนปภังชัย.(2562).การพัฒนาโปรแกรมบังคับหุ่นยนต์LEGO MINDSTORMS NXT, สืบค้นเมื่อ 19 พ.ค.2562,จาก https://sites.google.com/site/robotprograming/home/cud-prasngkh-kar-reiyn-ru/sara-kar-reiyn-ru?fbclid=IwAR3jRBABzk5cLUJli9GCQi-3vEaJK1RlqOr-SH_fyV89aKLL9WfQLBSQhqq.

กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี โรงเรียนราชวินิตบางแก้ว.(2562). การพัฒนาโปรแกรมบังคับหุ่นยนต์LEGO MINDSTORMS NXT, สืบค้นเมื่อ20 พ.ค.2562,จาก http://krunit.rwb.ac.th/nxt.html?fbclid=IwAR3ey6p20MQAJ7A43Fof6SjLQCVXdP8DEDYhWwt0Jrig7BhTJWq_jGYvOTM

นายกฤษณะ วุฒิพันธุ์ชัย. "ต้นแบบโมบายแอปพลิเคชันแพลตฟอร์มเพื่อการเกษตรยุคดิจิทัล."วิทยาศาสตร์มหาดบัณฑิต,การบริหารเทคโนโลยีวิทยาลัยนวัตกรรม,มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,สืบค้นเมื่อ 2 ม.ค 2562.

เอกสิทธิ์ ศรีสุขะ. "สร้างโมบายแอปพลิเคชันด้วย Ionic 3".บริษัท เอเชีย ดิจิตอลการพิมพ์จำกัด,2561.สืบค้นเมื่อ 20 พ.ค.2562,จากhttps://www.codeexcellent.com/media/upload/book/ION01/sample/ionic_preview.pdf

LEGOBOT EV3. "การสร้างหุ่นยนต์เลโก้ด้วยชุดตัวต่อเลโก้LEGO MINDSTORMS EV3",สืบค้นเมื่อ20 พ.ค.2562, จาก <http://legobotev3.blogspot.com>

LEGO Education. "mindstorm ev3 software" สืบค้นเมื่อ 10 ธ.ค.2561,จาก <https://education.lego.com/en-us/downloads/mindstorms-ev3/software#MicroPython>