การสร้างเครื่องเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติสำหรับศูนย์บริการรถยนต์

A Development of Automatic Spare Parts Dispenser for Car Service Centers

เสรี ปานซาง[1*], คชพันธ์ บุญคง[2], พงศธร ฟองตา[2], และ ชม กิ้มปาน[3]

Pansang, S.[1*], Boonkong, K.[2], Fongta, P.[2], & Kimpan, C.[3]

บทคัดย่อ

การให้บริการการซ่อมบำรุงรถยนต์ของศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปในประเทศไทย มีการแข่งขันกันสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า ทั้งนี้เพื่อการสร้างความนิยมในหมู่ลูกค้าที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วในการเข้ารับบริการ โดยทั่วไปศูนย์บริการรถยนต์มักจะมีปัญหาคอขวดในกระบวนการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ทำให้เสียเวลารอโดยเปล่าประโยชน์

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการลดปัญหาคอขวดโดยการบรรจุชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ไว้ในตู้เบิกจ่ายอัตโนมัติ และสร้างโมดุลโปรแกรมเพิ่มเติมในระบบการจัดการฐานข้อมูลการบริหารจัดการศูนย์บริการรถยนต์ที่มีอยู่เดิมเพื่อการควบคุมการเบิกจ่ายและอัพเดทข้อมูลแบบอัตโนมัติแบบออนไลน์ ตู้จ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติที่สร้างขึ้นและเครื่องทำรายการเบิกจะถูกที่ติดตั้งไว้หลายจุด ณ พื้นปฏิบัติการซ่อม โดยช่างผู้ปฏิบัติงานสามารถทำรายการเบิกจ่ายแบบออนไลน์เอง ผลการทดลองระบบสามารถ

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร. ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Assistant Professor, Dr. Computer Department, Faculty of Science and Technology, Chiangmai Rajabhat University

[2] อาจารย์, ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Computer Department, Faculty of Science and Technology, Chiangmai Rajabhat University

[3] รองศาสตราจารย์, ดร. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
Associate Professor, Dr. Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management

* Corresponding Author, E-mail: seripansang@hotmail.com

แก้ปัญหาคอขวดได้ทั้งหมด ความเร็วในการเบิกจ่ายเพิ่มขึ้น จากเดิม 10–45 นาที เหลือเพียงไม่ถึง 1 นาที สำหรับการเบิกชิ้นส่วน 1 รายการ

คำสำคัญ : ตู้เบิกจ่ายอัตโนมัติ, ศูนย์บริการรถยนต์, เอาต์พุตมัลติเพล็กซ์

Abstract

In Thailand, there is a high business competition in car service centers for making customer's satisfaction. Generally, many of auto service centers have bottleneck problem for the process of picking the car spare parts and it waste a lot of time. Therefore, this research purposes a method to reduce bottleneck problem and congestion by packing the car spare parts storing in automatic dispenser machine. It also has controller program that connected with database to control dispenser, store spare parts data. This controller program will update data automatically via local area network when spare parts is taken. The automatic spare parts dispenser will be installed at various locations in the auto service centers. Technicians can make online transactions by themselves. In experiments, our proposed method can solve the bottleneck problem and reduce processing time from 10-45 minutes to less than one minute for dispatching a spare parts.

Keywords: automatic dispenser machine, car services, GPIO multiplexing.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ที่สุดในอาเซียน (สุเนตรตรา จันทบุรี, 2018) และเป็นประเทศที่เลือกใช้รถยนต์ในการคมนาคมขนส่งเป็นหลัก ประชาชนมีสิทธิเสรีภาพในการเป็นเจ้าของรถยนต์ได้ไม่จำกัดจำนวน และนิยมใช้รถยนต์เป็นยานพาหนะหลักในการเดินทาง ทำให้มีรถยนต์ที่ต้องเข้ารับบริการตรวจเช็คสภาพซ่อมแซมตามระยะเวลาจำนวนมาก บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต่าง ๆ มีการแต่งตั้งตัวแทนขายและบริการหลังขายทุกจังหวัด ทั่วประเทศ มีการ

แข่งขันด้านคุณภาพ ด้านให้บริการ สร้างความนิยม ความพึงพอใจให้กับลูกค้า สร้างภาพพจน์ของยี่ห้อรถที่ตัวเองจำหน่าย บริการ ทั้งนี้เพื่อรักษาและขยายฐานลูกค้า

ศูนย์บริการรถยนต์ค่ายต่าง ๆ มีการแข่งขันพัฒนาคุณภาพการให้บริการ เพื่อสร้างความนิยมในการใช้บริการของลูกค้า จากการสุ่มสอบถามผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการทั่วไปในห้องบริการลูกค้าพบว่าส่วนใหญ่จะมีความพึงพอใจหากผู้ให้บริการสามารถให้บริการได้รวดเร็ว คุณภาพงานดี ค่าใช่จ่ายต่ำ มีมาตรฐานควบคุม การสื่อสารระหว่างผู้ให้บริการและผู้รับบริการถูกต้อง มีประสิทธิภาพ อาคารสถานที่อำนวยความสะดวกสบายทันสมัย มองเห็นการปฏิบัติหน้าที่ของช่างผู้ปฏิบัติการในลานซ่อมตามลำดับ ซึ่งศูนย์บริการรถยนต์ที่มีชื่อเสียงต่าง ๆ ต่างก็พยายามพัฒนาการให้บริการทุกด้านให้ลูกค้าได้รับความพึงพอใจมากที่สุด การเพิ่มความเร็วในการให้บริการมีหลายวิธี เช่น เปิดให้ลูกค้าจองคิวการขอรับบริการล่วงหน้าเพื่อที่ผู้ให้บริการเตรียมการเบิกจ่ายชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์สำหรับให้บริการไว้ล่วงหน้า การเพิ่มจำนวนพนักงานเพิ่มช่าง เพิ่มช่องซ่อม มีการนำระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มาช่วยบริหารจัดการการให้บริการทั้งระบบ บางศูนย์บริการมีบริการให้จองคิวเข้ารับบริการล่วงหน้า เพื่อจัดเตรียมชิ้นส่วนอุปกรณ์สำหรับบริการล่วงหน้าเพื่อความรวดเร็ว แต่จากการสำรวจข้อมูลจากฝ่ายลูกค้าสัมพันธ์ของบริษัทผู้ประกอบการพบว่าพฤติกรรมของลูกค้าคนไทย ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ มักไม่มารับบริการตามวันที่นัดหมาย ทำให้สูญเสียเวลาซ้ำซ้อนในกระบวนการส่งคืนชิ้นส่วนอุปกรณ์กลับคืนสต็อก นอกจากนี้ในกระบวนการซ่อมบำรุงของช่างก็ยังมีปัญหาเช่นเดียวกันคือ ยังไม่สามารถก้าวข้ามมีขีดจำกัดเรื่องความรวดเร็วในขั้นตอนการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องใช้เวลาทำเอกสารในกระบวนการอีกรายการละ 10-45 นาที (แล้วแต่ชนิดงาน) ซึ่งหากสามารถทำลายขีดจำกัดนี้ได้ก็จะทำให้ศูนย์บริการสามารถให้บริการลูกค้าได้รวดเร็วขึ้นอีก และสามารถลดต้นทุนในการให้บริการได้เป็นอย่างดี

ทีมงานวิจัยจึงเสนอแนวคิดการลดเวลาการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ โดยการบรรจุชิ้นส่วนอุปกรณ์ไว้ในตู้จ่ายอัตโนมัติพร้อมระบบควบคุมที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่ปฏิบัติการซ่อม ในเบื้องต้นทดลองใส่ชิ้นส่วนในส่วนที่ต้องเบิกจ่ายเป็นประจำ เช่น ชุดอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำมันเครื่องตามระยะทาง ซึ่งเป็นชนิดงานที่มีมากที่สุด และติดตั้งเครื่องทำรายการเบิกไว้หลายจุด เพื่อรองรับการทำรายการเบิกหลายรายการพร้อมกัน โดยให้พนักงานช่างทำรายการเบิกจ่ายด้วยตัวเองผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ของศูนย์บริการรถยนต์ที่มีใช้งานอยู่เดิม ซึ่งใช้เวลาทำรายการน้อยลงในการเปิดช่องเก็บอะไหล่เพื่อนำชิ้นส่วนจากตู้เบิกจ่ายไปปฏิบัติการซ่อมได้ทันที ทำให้ลดเวลาสูญเสียในกระบวนการเบิกจ่าย

2. วัตถุประสงค์

1) สร้างตู้จ่ายชิ้นส่วนรถยนต์อัตโนมัติที่สามารถทำงานร่วมกับระบบการจัดการฐานข้อมูลที่มีใช้อยู่เดิม ให้สามารถทำงานร่วมกันโดยอัตโนมัติสมบูรณ์แบบ

2) ลดเวลา ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการของศูนย์บริการรถยนต์

3. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

3.1 การออกแบบ

3.1.1 แนวคิดการออกแบบ

การออกแบบสร้างเครื่องเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติเพื่อให้ตอบสนองตามวัตถุประสงค์ พิจารณาตามรายละเอียดดังนี้

1) ตู้เบิกจ่ายชิ้นส่วนและอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติเป็นแบบ ตู้ล็อคเกอร์ไม้ขนาด 64 ช่อง เปิด-ปิดอัตโนมัติด้วยกลอนไฟฟ้า ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบราสป์เบอร์รีไพ 3 เป็นตัวควบคุม ทำหน้าที่รับการร้องขอและส่งกลับข้อมูลสถานะไปยังโมดุลเสริมที่สร้างขึ้นที่โปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูลเดิม (แบบ PHP) และทำรายการเบิก-จ่าย ตัดยอดทันทีแบบออนไลน์

2) ตัวเครื่องทำงานอัตโนมัติร่วมกับโปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูลเดิม โดยการสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์กับอุปกรณ์ผ่านระบบเครือข่ายที่มีอยู่เดิม

3) เครื่องรับข้อมูลรายการเบิกเลือกใช้แทบเลตหรือสมาร์ตโฟน เบิกจ่ายผ่านเบราเซอร์เชื่อมต่อกับเว็บเซอร์วิสสามารถทำงานได้พร้อมกันหลายจุด ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นและ/หรือระบบไวไฟ

4) ระบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ตู้เบิก-จ่ายชิ้นส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลสื่อสารข้อมูลวงจรอินเทอร์เฟซ และใช้ภายในศูนย์บริการรถยนต์

3.1.2 การออกแบบโปรแกรมและระบบเบิกจ่ายผ่านระบบเครือข่าย

การออกแบบโปรแกรมควบคุมเครือข่ายจำเป็นต้องทราบหลักการ ทฤษฎีและข้อมูลทางไฟฟ้าที่ต้องคำนึงถึง จึงรวบรวมเฉพาะส่วนที่นำมาใช้สำหรับการดำเนินการ ดังนี้

1) ราสป์เบอร์รีไพ (Raspberry Pi) (ADMIN, 2017) เป็นคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดี่ยว มีลักษณะเป็น Embedded Linux ทำงานบนระบบปฏิบัติการแบบลีนุกซ์ สามารถเขียนคำสั่งควบคุมได้หลายภาษาเช่น ภาษา C#, Python สามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกผ่านทาง 40 Pins Connector edge ได้สะดวก จึงเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ โดยเฉพาะงานระบบควบคุมไฟฟ้า ขาเชื่อมต่อนี้สามารถโปรแกรมให้เป็นพอร์ตอินพุท-เอาท์พุท (General Purpose Input Output : GPIO) ใช้งานแบบทั่วไปจำนวน 26 พอร์ต ตั้งแต่

GPIO02-GPIO27 บอร์ดต้องการแรงดันไฟเลี้ยง +5.1 โวลต์ (The Raspberry Pi Foundation, n.d.) จ่ายให้ที่ขา 2 และขา 4 ภายในบอร์ดมีชุดปรับแรงดันไฟฟ้าให้มีแรงดัน 3.3 โวลต์ เพื่อจ่ายให้อุปกรณ์บนบอร์ด และเชื่อมต่อมายัง Pin 1 ของ Connector Edge ซึ่งสามารถนำไปใช้จ่ายกระแสใช้งานได้ไม่เกิน 100 mA รายละเอียดที่จำเป็นทางเทคนิคของบอร์ดราสป์เบอร์รีไพ 3 ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยแสดงดังนี้

- กระแสไฟฟ้าที่ต้องการอยู่ระหว่าง 700 ถึง 1,000 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รอบข้าง

- ถ้ามีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รอบข้างแบบ USB จะต้องการพลังงานมากขึ้น จึงควรเผื่อกระแสของแหล่งจ่ายเป็น 1 แอมแปร์ และเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายนอกผ่านทาง Edge Connector Pins ที่ขา 2 และ 4 โดยตรง

- แต่ละ GPIO มีระดับแรงดันใช้งานที่ 3.3 โวลต์ (ไม่ใช่ 5 โวลต์) (eLinux.org, n.d.) สามารถใช้Source And Sink Current (Liudr's Blog, 2011) ตั้งแต่ 2 mA ถึง 16mA ได้อย่างปลอดภัย แต่รวมทุก GPIO แล้วต้องไม่เกิน 50 mA

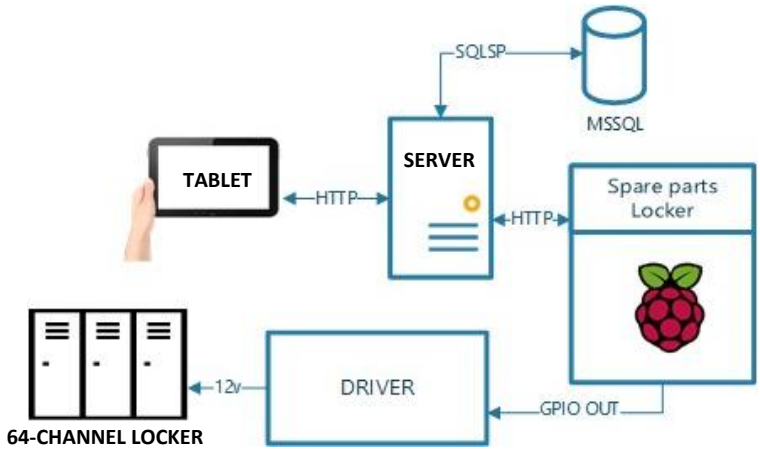
2) ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ราสป์เบียน (Raspbian) เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิด เนื่องจากมี Source Code ให้ใช้แบบเปิดเผย ทำให้มีผู้พัฒนาโปรแกรมจากทั่วโลกสามารถเข้ามาพัฒนาและแก้ไขข้อบกพร่องของระบบ (NECTEC, n.d.)

3) WiringPI เป็นไลบรารีที่ใช้สำหรับ ติดต่อกับพอร์ต GPIO (General Purpose Input/Output: GPIO) (WiringPi, n.d.) ของ ชิพเซ็ต BCM2835 BCM2836 และ BCM 2837 ที่ใช้ในราสป์เบอร์รีไพ 3 ซึ่งถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาซีสำหรับสั่งงานพอร์ต GPIO ต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีคำสั่งที่ใช้บน Command-line ของลินุกซ์สำหรับการตั้งค่าพอร์ต GPIO ว่าต้องการให้พอร์ตใดเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต และการใช้คำสั่งเพื่ออ่านหรือเขียนตามพอร์ต GPIO ที่ระบุ

4) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back EMF : Back Electromotive Force) การยุบตัวของสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวด ในขณะยกเลิกการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Progeny Access Control, n.d.) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ซึ่งมีขั้วและทิศทางตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดที่ทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าพองตัว ระดับของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นกับค่าเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก และจำนวนรอบของขดลวดนั้น ขดลวดบางชนิดอาจเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับได้นับร้อยโวลต์ ซึ่งหากไม่มีการควบคุม หรือลดทอนขนาดให้น้อยลง จะมีผลทำให้ เกิดประกายไฟที่หน้าสัมผัสลดอายุการใช้งานของสวิตช์ สร้างการรบกวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Radio Interference) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เสียหาย หรืออาจทำให้ข้อมูลสูญหายได้ ยิ่งไปกว่านั้นมันสามารถทำลายวงจรขับและไมโครคอนโทรล-เลอร์ให้เสียหายได้ มีวิธีการลดทอนแรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ(Back EMF Suppression) หลายวิธี สามารถกระทำได้โดยการนำอุปกรณ์ประเภท R และ C มาต่อเป็น

วงจรที่เรียกว่า R-C Snubber (Rudy, 2012) เพื่อลดทอนค่า d_i/d_t หรือหากการใช้งานที่บางชนิดไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับต่อเนื่องก็อาจสามารถใช้ ฟลายวิลล์ไดโอด (Flywheel Diode) หรือ เมทัล ออกไซด์ วาริสเตอร์ (Metal Oxide Varistor: MOV) มาช่วยดูดซับพลังงานได้ (Electronics Tutorials, n.d.)

การออกแบบระบบเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติผ่านทางระบบเครือข่าย แสดงเป็นไดอะแกรมในภาพที่ 1 ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น แท็บเล็ต เซิร์ฟเวอร์ แผงวงจรระบบควบคุม ระบบฐานข้อมูล ซึ่งเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายได้ทั้ง ระบบเครือข่ายท้องถิ่น และระบบเครือข่ายไร้สายเดิมที่มีอยู่ในองค์กรได้ โดยไม่ต้องการอุปกรณ์เสริมเพิ่มเติมในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมระบบเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย

การเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์แต่ละครั้งทางฝ่ายที่รับผิดชอบจะมีหน้าที่เลือกรายการและจำนวนชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการใช้รวมถึงหมายเลขอ้างอิงการซ่อมลงในระบบซอฟต์แวร์ของระบบจัดการฐานข้อมูลที่ใช้อยู่เดิม และระบบจะตรวจสอบรายการจากฐานข้อมูลว่ามีชิ้นส่วนอุปกรณ์ครบและเพียงพอให้เบิกจ่ายหรือไม่เพื่อสร้างใบรายการเบิกชิ้นส่วนอุปกรณ์โดยอ้างอิงจากหมายเลขอ้างอิง เพื่อให้ผู้รับผิดชอบงานซ่อมทำการเบิกชิ้นส่วนอุปกรณ์

จากนั้นผู้รับผิดชอบต้องเดินมารับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ตู้เก็บแบบล็อคเกอร์ ขนาด 64 ช่องเก็บที่สามารถปลดล็อกกลอนด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดโซลีนอยด์ (Solenoid) ซึ่งจะปลดล็อคกลอนประตูช่องเก็บที่มีรายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการ การที่ตู้จ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์จะทราบได้ว่าต้องเปิดช่องเก็บใดบ้าง จะต้องได้รับคำสั่งจาก

เครื่องแม่ข่าย ดังนั้น ช่างรับผิดชอบงานต้องกรอกหมายเลขงานลงบนคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต ด้วยรหัสอ้างอิงการซ่อม จากนั้นเครื่องแม่ข่ายจะส่งชุดข้อมูลคำสั่งเปิดช่องเก็บชิ้นส่วน ผ่านระบบเครือข่ายมายังราสป์เบอร์รีไพ 3 ซึ่งใช้เป็นคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมตู้จ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์ให้ส่งสัญญาณปลดล็อกกลอนช่องเก็บที่มีชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมทีละช่องเพื่อทำการจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์

พิจารณาภาพที่ 1 จะเห็นว่าแท็บเลตเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายผ่านทาง HTTP โดยกำหนดให้สั่งงานจากเว็บเบราว์เซอร์ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ใด ๆ ลงบนคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต เมื่อเครื่องแม่ข่ายได้รับคำสั่ง จะตรวจสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีอยู่บน Microsoft SQL Server (Microsoft, n.d.) ผ่าน Microsoft SQL Server Protocol และสั่งงานราสป์เบอร์รีไพ ที่ใช้ควบคุมการปลดล็อคช่องจ่ายของตู้จ่ายอุปกรณ์รถยนต์ โดยติดต่อไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อเรียกสคริปส์ที่เขียนด้วยภาษา PHP ผ่านทาง HTTP Request ด้วยวิธี GET (Fielding, Gettys, Mogul, Frystyk, Masinter, & Berners-Lee, 1999)

เมื่อราสป์เบอร์รีไพได้รับคำสั่ง สคริปต์ PHP จะสั่งให้ WiringPI ส่งคำสั่งออกทาง GPIO สองคำสั่งได้แก่ การเลือก 1 กลุ่ม ใน 4 กลุ่ม (Group) และ 1 ช่อง ใน 16 ช่อง (Colum Bus) ที่ต้องการเปิดในแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 5 โดยจะส่งคำสั่งให้ไดรฟ์เวอร์ทำการถอดรหัสครั้งละ 1 ช่อง เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังโซลีนอยด์ที่ประจำแต่ละช่องที่ต้องการจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์ เมื่อช่องจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์ถูกเปิดออก ผู้รับผิดชอบงานซ่อมจะหยิบชิ้นส่วนอุปกรณ์จากช่องจ่ายและทำการปิดช่องจ่ายด้วยการดันกลับ

3.1.3 การออกแบบตู้เบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์และวงจรควบคุม

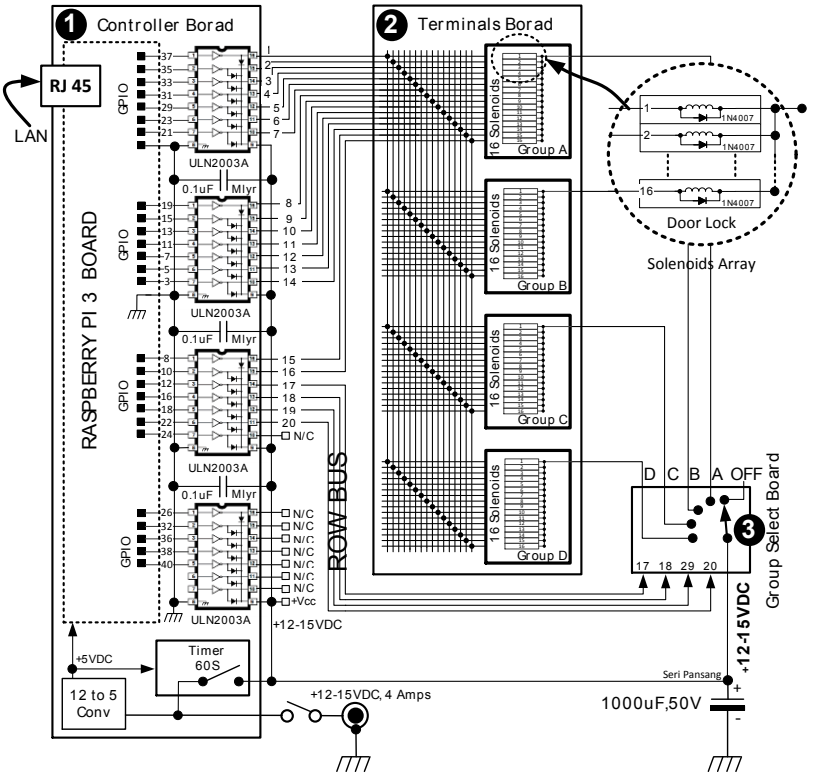
ตู้เบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ มีลักษณะคล้ายล็อคเกอร์เก็บของที่ใช้งานทั่วไป แต่ติดตั้งชุดกลอนไฟฟ้าที่ควบคุมการปลดล็อคแบบแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโซลินอยด์ ตัวล็อคเกอร์ต้นแบบถูกออกแบบช่องเก็บเป็นเมทริกซ์ ขนาด 4 แถว 16 คอลัมน์ ใช้กลอนไฟฟ้าจำนวน 64 ชุด แต่ละชุดใช้กระแสไฟฟ้าในการปลดล็อค ระหว่าง 400-600 มิลลิแอมป์ และกำหนดให้การปลดล็อคกลอนไฟฟ้ากระทำได้เพียงครั้งละ 1 ช่อง เพื่อควบคุมการจ่ายกระแสให้อยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยต่ออุปกรณ์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตู้เบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ที่สร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ตู้เบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ต้นแบบขนาด 4 แถว 16 คอลัมน์

วงจรควบคุม ส่วนฮาร์ดแวร์ ถูกพัฒนาทดสอบ และแก้ไขให้สามารถทำงานได้อย่างมีความน่าเชื่อถือ มีเสถียรภาพในการทำงาน ราคาประหยัดและทนทาน โดยออกแบบเป็นแผงวงจรสามส่วนคือ แผงวงจรระบบควบคุม (Controller Board) แผงวงจรเชื่อมต่อ (Terminal Board) และแผงวงจรเลือกกลุ่มโซลินอยด์ปลดล็อค (Group Select Board) เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้ง ดูแลรักษา ซ่อมแซม รายละเอียดและการทำงานของวงจรแสดงในภาพที่ 3 ดังนี้

1) แผงวงจรระบบควบคุม ถูกออกแบบโดยใช้บอร์ดราสป์เบอร์รีไพ 3 เป็นคอนโทรลเลอร์ ซึ่งลำพังสัญญาณเอาท์พุทลอจิกของบอร์ด ไม่มีกำลังพอที่จะขับวงจรกำลังภายนอกได้ จึงต้องมีวงจรขับกำลังเพื่อสั่งเปิดล็อคกลอนไฟฟ้า

พิจารณาภาพที่ 3 หมายเลข 1 ซึ่งเป็นวงจรแผงควบคุม ประกอบด้วยวงจรสวิตช์หน่วงเวลาการทำงาน 60 วินาที มีไว้เพื่อป้องกันการขับเอาท์พุทลอจิกผิดพลาดขณะบอร์ดราสป์เบอร์รีไพ 3 บูตระบบปฏิบัติการ วงจรแปลงแรงดันไฟตรงจาก 12-15 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้บอร์ดราสป์เบอร์รีไพ 3 นอกจากนี้ยังต้องมีอแดปเตอร์ขนาด 12 ถึง 15 โวลต์ (เลือกใช้ตามสเปกของขดลวดแม่เหล็กของกลอนไฟฟ้า) สำหรับการดำเนินการนี้ กำหนดขนาดไม่ต่ำกว่า 3 แอมป์ ติดตั้งภายนอก ดังแสดงส่วนของบอร์ดควบคุม ดังภาพที่ 3 หมายเลข 1



ภาพที่ 3 วงจรอินเทอร์เฟซ ของเครื่องควบคุมการเปิดประตูเครื่องเบิกจ่ายอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติ

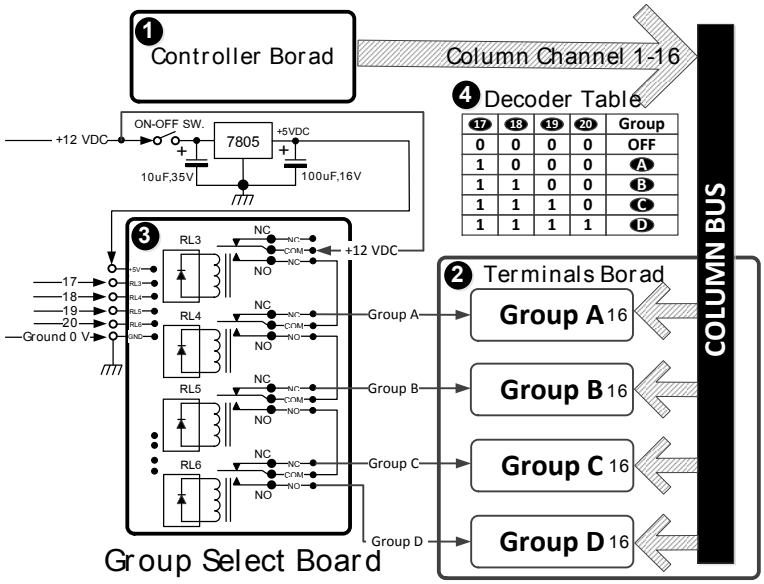
หากพิจารณาภาพที่ 3 หมายเลข 1 จะเห็นว่าภายในแผงวงจรควบคุมมีไอซีเพาเวอร์เกทเบอร์ ULN2003A จำนวน 4 ชุดทำหน้าที่ขับกลอนไฟฟ้าทั้งสี่กลุ่ม ULN2003A เป็นไอซีวงจรขับแบบดาร์ลิงตันโอเพนคอลเลคเตอร์ (ALLDATASHEET.COM, n.d.) สามารถใช้สัญญาณขับได้ทั้งแบบ TTL และ CMOS ใน 1 ชิป มีวงจรขับ 7 เอาท์พุทแต่ละวงจรสามารถขับทนกระแสพีค (Peak Current) ได้สูงสุด 600 มิลลิแอมป์ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน มีวงจรซัพเพรสชันไดโอด (ฟลายวิลล์ไดโอด) ในตัว ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ มีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย และราคาถูกมาก จึงเหมาะสำหรับการเลือกนำมาใช้งาน ส่วนแผงวงจรระบบควบคุมที่สร้างขึ้นจากภาพที่ 3 หมายเลข 1 ถูกประกอบลงกล่องโลหะ แสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 บอร์ดควบคุมที่สร้างขึ้นจากวงจรอินเทอร์เฟซที่แสดงในภาพที่ 3 หมายเลข 1

2) แผงวงจรเชื่อมต่อ พิจารณาภาพที่ 3 หมายเลข 2 เป็นแผงที่อยู่ตรงกลาง เชื่อมต่อระหว่างแผงวงจรระบบควบคุมและชุดกลอนไฟฟ้าปลดล็อคกลอนประตู แผงวงจรเชื่อมต่อถูกออกแบบให้สามารถควบคุมการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าของช่องล็อคเกอร์ได้จำนวน 64 ช่อง โดยสร้างวงจรขับเป็นแบบเมทริกซ์ขนาด 4 แถว แถวละ 16 คอลัมน์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 16 กลอนโซลินอยด์ โดยแต่ละกลุ่มจะนำ ขาด้านหนึ่งของขดลวดกลอนไฟฟ้ามาต่อร่วมกันเป็นกลุ่มเรียกว่าคอมมอนด์ ได้เป็น 4 คอมมอนด์ ตั้งชื่อแต่ละคอมมอนด์ คือ กลุ่ม A กลุ่ม B กลุ่ม C และกลุ่ม D ซึ่งแต่ละขาคอมมอนด์นี้จะเป็นขาที่ถูกเลือกจ่ายแรงดันไฟฟ้า เพื่อแยกขับกลอนไฟฟ้าแต่ละกลุ่มครั้งละ 1 กลุ่มเท่านั้น ด้วยสัญญาณขับกลุ่ม (แถว) อีกด้านหนึ่งของโซลินอยด์แต่ละกลุ่มจะเชื่อมต่อถึงกัน คือ โซลินอยด์ตัวที่ 1 ของแต่ละกลุ่มจะต่อถึงกัน โซลินอยด์ตัวที่ 1, 2, 3, ..., 16 ของแต่ละกลุ่มก็ต่อถึงกันเช่นกัน ทำให้มีขาร่วมกัน 16 เส้น เพื่อนำไปเชื่อมต่อกับวงจรขับแนวคอลัมน์จำนวน 16 วงจร ที่แผงวงจรระบบควบคุม ดังนั้นการจะเลือกกลอนไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งใน 64 ตัว เพื่อปลดล็อคกลอนแผงวงจรระบบควบคุมจะต้องส่งสัญญาณขับทั้ง แถวและคอลัมน์ให้ถูกต้อง

3) แผงวงจรเลือกกลุ่มกลอนไฟฟ้าเพื่อปลดล็อค แสดงในภาพที่ 5 หมายเลข 3 เป็นแผงวงจรที่รับข้อมูลเลือกกลุ่ม ว่าจะให้ชุดโซลินอยด์ปลดล็อคกลุ่มใดทำงาน โดยรับข้อมูลเลือกกลุ่มจากแผงวงจรระบบควบคุม ขา 17 18 19 และ 20 มีการจัดข้อมูลสถานะการขับเอ้าท์พุทที่ขาดังกล่าวแบบ One of N active คือ ในเวลาใด ๆ ก็ตาม

วงจรจะจ่ายกระแสให้กลอนไฟฟ้ากลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงการเปิดช่องล็อคเกินกว่าครั้งละช่อง ดังนั้น ในการสั่งการเปิดล็อคช่องจ่ายอุปกรณ์ช่องใด ๆ ก็ตาม ผู้โปรแกรมต้องดำเนินการแลทช์ (Latch) เอาท์พุทรหัสสองครั้ง โดยครั้งแรกต้องสั่งการแลทช์เอาท์พุท GPIO ไปยังขา 17 18 19 20 ให้มีสถานะตามตารางถอดรหัส ในภาพที่ 5 หมายเลข 4 เพื่อเลือกกลุ่ม จากนั้นจึงสั่งการแลทช์เอาท์พุท '1' ไปยังขา GPIO ขาใดขาหนึ่งในสิบหกขา เป็นครั้งที่สอง เพื่อเลือกปลดล็อคกลอนไฟฟ้าในกลุ่ม(แถว) และช่อง(คอลัมน์) ที่เลือก ก็สามารถเปิดล็อคได้ตามต้องการ



ภาพที่ 5 รายละเอียดวงจรแผงวงจรเลือกกลุ่มโซลินอยด์ปลดล็อค และตารางถอดรหัส

3.2 การทดสอบ

3.2.1 วิธีการทดสอบ

การทดสอบใช้วิธีนำไปติดตั้ง และทดลองทำรายการเบิกจ่ายในลานซ่อมจริง ใช้ระยะเวลาที่ทำการทดสอบมาแล้วไม่น้อยกว่า 270 วัน ตามเวลาทำการคือจันทร์-เสาร์ เวลา 8:30-17:00 น. มีการดูแลแก้ไขปรับปรุงต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทดสอบ โดยกำหนดเกณฑ์ผ่านการทดสอบคือ ปัญหาที่เกิดและได้รับการแก้ไขแล้ว ต้องไม่เกิดซ้ำอีกในระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ในระหว่างการทดสอบผู้ดำเนินการเข้าดำเนินการแก้ไขได้ โดยยังไม่ถือว่าเป็นข้อผิดพลาดของระบบ ซึ่งได้ปรับปรุงแก้ไขจนระบบสามารถทำงานถูกต้องสมบูรณ์ ได้ในระดับดีมาก เช่น ระบบไม่มีการเปิดล็อคเองโดยปราศจากคำสั่ง ระบบเปิดล็อคช่อง

ประตูต้องเปิดไม่เกิน 1 ช่องต่อการสั่ง 1 ครั้ง และเปิดหมายเลขช่องถูกต้องทุกครั้ง มีเสถียรภาพการทำงานต่อเนื่องได้ เป็นที่พอใจในแบบเชิงประจักษ์ และไว้วางใจให้นำไปใช้งานจริงได้ จึงผ่านการประเมินเข้าสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

3.2.2 ผลการทดสอบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบคือ ระบบควบคุมการทำงานขาดเสถียรภาพ กลอนประตูไฟฟ้าไหม้ เครื่องควบคุมไม่สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบเครือข่ายได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เสียหายโดยไม่ทราบสาเหตุ ระบบควบคุมออกคำสั่งเปิดช่องล็อคเกอร์แล้ว แต่ช่องไม่เปิด ปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นตามลำดับ และถูกแก้ไขปรับปรุงทีละปัญหาโดยทีมงาน จนกระทั่งระบบมีเสถียรภาพทนต่อการใช้งานต่อเนื่อง และทนต่อสัญญาณรบกวน โดยปัญหาที่เกิดขึ้นและถูกแก้ไขแล้วไม่กลับมาเกิดซ้ำอีกในช่วงเวลาทดสอบ และสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ในการใช้งานจริง การดำเนินการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขมีข้อสรุปดังนี้

1) เพื่อให้เกิดเสถียรภาพการทำงานดีเยี่ยม ควรใส่ระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เนื่องจากจุดทดลองอยู่ในพื้นที่บริการไฟฟ้าที่ขัดข้อง มีกระแสไฟฟ้ากระชาก (Surge Current) บ่อย และควรมีเต้าเสียบ หรือระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ แบบมีระบบกราวด์ ที่แน่นหนาแข็งแรง ออกแบบสำหรับติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะ และไม่ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น

2) ต้องบรรจุชุดควบคุมลงในกล่องโลหะเพื่อปกป้องสัญญาณรบกวนที่มีมากในโรงงานและมีเชื่อมต่อระบบสายกราวด์ที่ถูกต้อง

3) ควรออกแบบหรือจัดการระบบเครือข่ายให้มีเสถียรภาพ ทั้งแบบสายแลน และระบบไวไฟ ซึ่งมีผลกระทบการทำงานอย่างมาก

4) เรื่องการออกแบบตู้ต้องแข็งแรงรับน้ำหนักชิ้นส่วนอุปกรณ์จำนวนมากได้โดยไม่เสียรูป ควรเข้มงวดเรื่องขนาด ความแม่นยำ แนว ระดับบานพับ และกลไกการเปิดล็อค หากกลไกไม่แม่นเรื่อง ขนาด ระดับ และมุมฉาก อาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบการปลดล็อคติดขัด การทำงานขาดเสถียรภาพ

5) เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมประหยัดต้นทุน มีการทดลองวิธีการขับวงจรปลดล็อคกลอนไฟฟ้าหลายแบบ ตั้งแต่แบบใช้วงจรขับแบบรีเลย์ล้วน แบบวงจรขับอิเล็กทรอนิกส์ล้วน และแบบลูกผสมอิเล็กทรอนิกส์กับวงจรขับที่ใช้รีเลย์ (แบบที่ใช้งานจริง) ที่สามารถถอดรหัสขยายพอร์ตแบบมัลติเพล็กซ์ซึ่งพบว่าสามารถขยายได้ 1,024 กลุ่ม กลุ่มละ 16 ช่องจ่าย รวมสูงสุดจำนวน 16,384 ช่องจ่าย เป็นแบบที่เหมาะสมและทำงานได้ดีที่สุด ชุดควบคุมแบบมาตรฐานที่สร้างขึ้นใช้งานและนำเสนอนี้ สามารถจ่ายอุปกรณ์ได้ 64 ช่องจ่าย

6) เทคนิคการขับขดลวดโซลินอยด์ของกลอนไฟฟ้าเป็นแบบเมตริกซ์ ที่ถูกออกแบบให้คอนแทคของรีเลย์ถอดรหัสแบบวงจรลำดับกัน ช่วย

ลดโอกาสระบบเปิดล็อคครั้งละหลายประตูพร้อมกันได้

7) โดยปกติวงจรขับ LM2003A มีวงจรซัพเพรสชันไดโอดภายในชิปในตัว แต่จากการทดสอบใช้งานจริงพบว่าวงจรซัพเพรสชันไดโอดมีขนาดทนแรงดันไม่เพียงพอในการบายพาสแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับจากขดลวดของกลอนไฟฟ้า ซึ่งพบปัญหาที่ทำให้ชิปเสียหายและรุกลามไปยังวงจร GPIO และเป็นสาเหตุการเสียหายของไมโครคอนโทรล เลอร์ ดังนั้นจึงต้องติดตั้งวงจรซัพเพรสชันไดโอดขนาดใหญ่ขึ้น โดยเลือกใช้ไดโอดเบอร์ 1N4007 ติดตั้งภายนอกชิป โดยต่อขาคล่อมขั้วต่อของขดลวดปลดล็อคกลอนไฟฟ้าปลดล็อคทั้ง 64 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 3 หมายเลข 2

8) การออกแบบวงจรขับให้เลือกจ่ายแรงดันส่งไปเฉพาะกลุ่มที่เลือก 1 ใน 4 คอนแทครีเลย์ จะช่วยเปิดวงจรขับกลอนไฟฟ้าของกลุ่มที่ไม่ถูกเลือก ทำให้สามารถป้องกันแรงดันรบกวน จากกลอนไฟฟ้าอื่น ๆ ได้อีกชั้นหนึ่ง เนื่องจากการจัดวงจรแบบขั้วบวกร่วม ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือและมีเสถียรภาพมากขึ้น

4. สรุปและอภิปรายผลการดำเนินงาน

การสร้างเครื่องเบิกจ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์อุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติสำหรับศูนย์บริการรถยนต์ สามารถทำลายกำแพงเวลาในการเบิกจ่ายได้ ทำให้เกิดประโยชน์กับบุคลากรหลายฝ่ายในองค์กร ไม่ว่าจะเป็น ลูกค้า พนักงานช่าง พนักงานคลัง เจ้าของกิจการ สามารถสรุปผลการดำเนินการได้ดังนี้

1) การนำเครื่องเบิกจ่ายอุปกรณ์รถยนต์อัตโนมัติมาใช้งานร่วมกับระบบการจัดการฐานข้อมูลที่มีใช้อยู่แต่เดิม และสามารถขจัดปัญหาคอขวด จากเดิมตั้งแต่เริ่มต้นเอกสารในกระบวนการเบิก จนถึงได้รับชิ้นส่วนอุปกรณ์ ใช้เวลา 10 ถึง 45 นาที เหลือเพียง 40-60 วินาที โดยผู้เบิกหลายคนสามารถทำรายการได้พร้อมกัน และยังสามารถทำรายการด้วยสมาร์ตโฟนผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้ ทำให้ลดขีดจำกัดเรื่องคอขวด การให้บริการจึงรวดเร็วขึ้น ช่วยส่งเสริมลูกค้าให้ได้รับความพึงพอใจมากขึ้น

2) ลดงาน ลดพนักงาน ซึ่งเป็นต้นทุนที่ใช้สนับสนุนการบริการ เช่น การดูแลการเบิกจ่ายชิ้นส่วน ทั้งหน่วยสนับสนุน การทำบัญชีสต็อกอุปกรณ์ และงานเอกสารการเบิกจ่าย ซึ่งระบบจะทำให้มีการตัดยอดในคลังสินค้า การคิดค่าใช้จ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์ ค่าบริการแบบออนไลน์อัตโนมัติถูกต้องรวดเร็ว

3) จากการสัมภาษณ์พนักงานช่างผู้ใช้งานพบว่า มีความพึงพอใจระดับมากในการนำระบบมาใช้เพราะส่งเสริมให้เบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์การซ่อมได้รวดเร็ว งานเสร็จเร็ว

4) ระบบควบคุมและฮาร์ดแวร์ต้นแบบผ่านการทดสอบ และปัจจุบันใช้งานจริงซึ่ง พร้อมผลิตเป็นสินค้านวัตกรรมเชิงพาณิชย์สอดคล้องกับนโยบายการส่งเสริมนวัตกรรม ไทยแลนด์ 4.0 ของรัฐบาล

5) เมื่อนำระบบนี้มาใช้งานจะต้องมีเจ้าหน้าที่คอย เติมชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ โดยจัดจำนวนให้พอเหมาะกับการให้บริการในแต่ละวัน

แนวคิดการย้ายสต็อกเก็บชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ไปไว้บริเวณพื้นที่การซ่อม แล้วเบิกจ่ายด้วยระบบออนไลน์ใช้งานร่วมกับโปรแกรมบริหารจัดการของศูนย์บริการรถยนต์ที่มีอยู่เดิม มีส่วนทำให้ระบบทำงานแบบออนไลน์อัตโนมัติมีประสิทธิภาพทั้งระบบครบวงจร จึงฉีกข้อจำกัดเรื่องเวลาติดขัดคอขวดในกระบวนการเบิก-จ่าย สถานที่ และระยะทาง ได้รับการยอมรับให้ผลิตเชิงพาณิชย์ เกิดผลประโยชน์กับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในองค์กร ในส่วนของการทดสอบเครื่องเบิก-จ่ายชิ้นส่วนอุปกรณ์ร่วมกับระบบบริหารจัดการศูนย์บริการ การทดสอบต้องกระทำในทุกมิติ ทุกเงื่อนไข และจำลองเงื่อนไขกรณีเลวร้ายสุด เช่น การทำรายการผิดขั้นตอน การทำรายการพร้อมกันของพนักงาน ปัญหาการทำงานไม่เสถียรที่เกิดจากระบบเครือข่ายภายในแหล่งจ่ายพลังงานไม่เสถียร อุณหภูมิ การรบกวนทางเทคนิคที่อาจเกิดขึ้นในแบบนอกเหนือการควบคุม ดังนั้นจึงทำการทดลองในสถานที่จริงเพื่อหาจุดบกพร่องและหาทางแก้ไขให้ระบบที่สามารถทำงานได้สมบูรณ์ที่สุด ทนทานที่สุดก่อนนำสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ ระบบกลไกอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้น ยังคงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อีกมากกับงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

5. ข้อเสนอแนะ

1) ผู้สนใจสามารถประยุกต์เทคนิคที่นำเสนอไปใช้ในงานบริการอื่น ๆ ได้มากมาย เช่น ระบบเช่าตู้ล็อคเกอร์สาธารณะ สำหรับนักท่องเที่ยว นักเดินทาง เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ (Vending Machine) เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ ฯลฯ

2) เทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ผู้สนใจอาจพิจารณาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นอื่นที่ใช้งานได้ดีกว่า ราคาถูกกว่า หรืออาจใช้แผงควบคุมสำหรับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) แทนได้

กิตติกรรมประกาศ

ทีมงานวิจัยขอขอบคุณ คุณวรวิทย์ วานิชย์บัญชา กรรมการผู้จัดการ บริษัท ธารา จำกัด สำนักงานใหญ่ ที่ช่วยออกแบบแนวคิด ให้คำแนะนำ สนับสนุนทุนวิจัย และสถานที่สำหรับการดำเนินการวิจัยและพัฒนา จนประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

สุเนตรตรา จันทบุรี. (2018). *อุตสาหกรรมยานยนต์ : ไทยมีศักยภาพสูงสุดในอาเซียน*. สืบค้น 2 พฤษภาคม 2018, จาก

http://www.asean thai.net/ewt_ news.php?nid=5720&filename=index

ALLDATASHEET.COM. (n.d.). ULN2003A datasheet (1/8 Pages) STMICROELECTRONICS | SEVEN DARLINGTON ARRAYS. Retrieved January 7, 2018, from http://html.alldatasheet.com/html-pdf/25566/STMICROELECTRONICS/ULN2003A/1622/1/ULN2003A.html

NECTEC. (n.d.) *Linux.* สืบค้น 2 พฤษภาคม 2018, จาก http://linuxunix54321.tripod.com/

The Raspberry Pi Foundation. (n.d.). *Power Supply-Raspberry Pi Documentation*. Retrieved January 7, 2018, from https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/power/README.md

ADMIN. (2017). *Raspberry Pi (ราสป์เบอร์รี่ไพ).* สืบค้น 7 มกราคม 2018, จาก https://www.informalsoft.com/

Fielding, R., Gettys, J., Mogul, J.C., Frystyk, H., Masinter, L., & Berners-Lee, T. (1999). *Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1.* Retrieved January 7, 2018, from https://www.w3.org/Protocols/HTTP/1.1/rfc2616.pdf

eLinux.org. (n.d.). *PowerpinRPi Low-level peripherals.* Retrieved January 7, 2018, from https://elinux.org/RPi_Low-level_peripherals#Power_pins

Liudr's Blog. (2011). *Sourcing and sinking current.* Retrieved January 7, 2018, from https://liudr.wordpress.com/2011/10/16/sourcing-and-sinking-current/

Microsoft. (n.d.) *SQL Server 2017 on Windows and Linux | Microsoft.* Retrieved January 7, 2018, from https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-2017

Rudy, S. (2012). *Design of Snubbers for Power Circuits.* Retrieved January 7, 2018, from http://www.cde.com/resources/technical-papers/design.pdf

Progeny Access Control. (n.d.) *Tutorial on back EMF suppression: its causes and its cures.* Retrieved January 7, 2018, from https://progeny.co.uk/back-emf-suppression/

Electronics Tutorials. (n.d.) *Varistor and the Metal Oxide Varistor Tutorial.* Retrieved January 7, 2018, from http://www.electronics-tutorials.ws/resistor/varistor.html

Wiring Pi. (n.d.). *GPIO Interface library for the Raspberry Pi.* Retrieved January 7, 2018, from http://wiringpi.com/