เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

A prototype for recording vital signs using the Internet of Things

สุรเทพ แป้นเกิด[1*], วาสนา ด้วงเหมือน[2], และ สุภษี ดวงใส[3]

Suratep Pangerd[1*], Wassana Duangmeun[2], and Supasee Duangsai[3]

สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ[1,2,3]

E-Mail suratep.p@mail.rmutk.ac.th, wassana.d@mail.rmutk.com and supasee.d@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 2) เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานระบบ ได้แก่คณาจารย์ที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรเลอร์ฮาร์ดแวร์ จำนวน 3 คน กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เจ้าหน้าที่องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์ ปฏิบัติหน้าที่พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จำนวน 30 คน ส่วนเครื่องมือในการวิจัยคือ ชุดเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและแบบประเมินประสิทธิภาพการทำงานสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการพัฒนาเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่า มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) ส่วนรับค่า (2) การประมวลผลจากเซ็นเซอร์ และ (3) ส่วนติดต่อ 2) ผลการประเมินผลการทดลองใช้เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ทุกระบบสามารถใช้งานได้ และสามารถควบคุมการทำงานได้ดีสอดคล้องกับผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบและ 3) ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจากผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.27, S.D. = 0.39) และทฤษฎีของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (UTAUT) ผลการวิจัย แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางด้านความคาดหวังในประสิทธิภาพ อิทธิพลทางสังคม สภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน และความเข้ากันได้ส่งผลต่อการยอมรับการใช้งานเทคโนโลยีการทำงานร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ไมโครคอนโทรลเลอร์, เซ็นเซอร์อุณหภูมิร่างกาย, เซ็นเซอร์อัตราการเต้นของหัวใจ, ชีพจร

ABSTRACT

This research aimed to 1) develop a prototype to record vital signs using the Internet of Things, 2) study the results of experiments with prototypes to record vital signs and 3) assess the prototype's efficiency in recording vital signs. With the Internet of Things, this research has developed a system based on SDLC theory. The sample includes veterans' relief organization officials in the Royal Patronage; There are 20 people in Krungthep Technical Area, Rajamangala University of Technology Krungthep. The research tool is a prototype set to record vital signs using the Internet of Things and performance assessments, statistics used to analyze data are averages and standard deviations.

The research result finds that 1) the design and development of prototypes to record vital signs using the Internet of Things, it was found there are three components: (1) the receiving part,

(2) the sensor processing, and (3) the user interface that effectively displays the operation of the system over the wireless network for the intended purpose. 2) Results of a prototype trial to record vital signs By using the Internet of Things by testing the function of sensors. All systems can be used and can be controlled to perform well following the results of the system performance assessment and 3) the performance evaluation of the prototype in the vital signal recording using the Internet of Things experts; the overall assessment result is very high

Keywords: Internet of Things, microcontroller, temperature sensor, heart rate sensor, pulse

บทนำ

การวัดอุณหภูมิ ชีพจร อัตราการเต้นของหัวใจ ทั้งหมดนี้รวมกันเป็นคำว่า สัญญาณชีพ คือการวัดการทำหน้าที่ทางสรีรวิทยาที่สำคัญต่อชีวิต [1] โดยทั่วไปแพทย์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานสัญญาณชีพของผู้ป่วย เพื่อประกอบในการใช้วินิจฉัยโรค เช่น อุณหภูมิ และอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจสามารถเก็บได้จากการตรวจข้อมูลเบื้องต้นก่อนการเข้าพบแพทย์ แต่เครื่องวัดตามท้องตลาดในปัจจุบันไม่สามารถทราบข้อมูลเหล่านี้ย้อนหลังที่เป็นข้อมูลที่ชัดเจนได้ หรือกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถสื่อสารกับแพทย์ได้ เช่น เด็กเล็ก ก็สามารถเจอกับปัญหานี้ได้เช่นกัน อีกทั้งในปัจจุบันยังมีสถานการณ์ของเชื้อไวรัส COVID19 ระบาดทั่วโลกและส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจ สังคม และ การเมือง โดยมีผู้ติดเชื้อมากกว่า 45 ล้านคน และมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 1ล้านคนทั่วโลก โดยการติดเชื้อไวรัส COVID19 จะมีอาการ ไข้สูงเกิน 38 องศาเซลเซียสและชีพจรเต้นเร็วเกิน 90 ครั้งต่อนาที และผู้ป่วยจำเป็นต้องให้แพทย์ดูผลการวัดย้อนหลังได้แบบเรียลไทม์ เพื่อประเมินอาการในการรักษา

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประวัติข้อมูลพื้นฐาน อุณหภูมิ และอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจรรวมถึงข้อมูลพื้นฐานเป็นข้อมูลชนิดตัวเลขที่แน่นอน เพื่อใช้ในการประกอบการวินิจฉัยอาการของผู้ป่วยโดยแพทย์ผู้รักษา โดยข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการที่จะช่วยให้แพทย์สามารถตรวจสอบข้อมูลที่แน่นอนในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษา

จากการศึกษาแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นของผู้ป่วย อัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจร และอุณหภูมิร่างกาย โดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ มีความสามารถในการวัดสัญญาณชีพเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับอุปกรณ์มาตรฐาน ผู้วิจัยจึงได้มีการพัฒนาเครื่องต้นแบบให้เป็นสื่อกลางในการจัดเก็บข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิร่างกาย เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IOT) มาช่วยในการบริหารจัดการระบบการวัดสัญญาณชีพอัตโนมัติ [2]

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1 เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

1.2 เพื่อประเมินผลการทดลองใช้เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

1.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสาร

การพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิทดแทนปรอทวัดไข้แบบแท่ง เป็นชนิดอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งระบบดิจิตอลและอินฟราเรด ในการประมวลผลอุณหภูมิร่างกาย หลักการทั่วไปยอมรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจากการวัดแต่ละวิธีไม่เกิน 0.5 องศา [3] ผลการศึกษาความถูกต้องแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ ทางหู ปากและหน้าผาก พบว่าอุณหภูมิ ทางปากถูกต้องแม่นยำที่สุด จึงเป็นที่ยอมรับให้ใช้ อุณหภูมิทางปากเป็นมาตรฐานอ้างอิงในการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดจากช่องทางอื่น ถึงแม้การวัดอุณหภูมิร่างกายทางปากมีความแม่นยำมากที่สุดตามที่

กล่าวมา แต่ไม่สามารถใช้ได้กับ ผู้ป่วยทุกรายโดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีแผลในช่องปากจึงจำเป็นต้องใช้การวัดอุณหภูมิช่องทางอื่นทดแทน เช่น ทางหูและหน้าผาก ภาวะอุณหภูมิร่างกายสูงกว่าปกติ เรียกว่า ไข้ ซึ่งเป็นอาการที่แสดงถึงความผิดปกติของร่างกายอย่างหนึ่ง โดยแบ่งระดับของไข้ได้ดังนี้ ไข้ต่ำ จะมีอุณหภูมิระหว่าง 37.5 – 38.3 องศาเซลเซียสไข้ปานกลาง จะมีอุณหภูมิระหว่าง 38.3 – 39.4 องศาเซลเซียสไข้สูง จะมีอุณหภูมิระหว่าง 39.4 – 40.5 องศาเซลเซียสไข้สูงมาก/ไข้สูงเกิน จะมีอุณหภูมิมากกว่า 40.5 องศาเซลเซียส ซึ่งจัดว่าอันตรายที่สุด

อัตราการเต้นของหัวใจ หัวใจปกติจะเต้นอย่างสม่ำเสมอ ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนไปตามกิจกรรมของร่างกาย โดยในขณะพักหัวใจจะเต้นประมาณ 60-100 ครั้งต่อนาที ในขณะเดินหัวใจจะเต้นเร็วขึ้นประมาณ 100-120 ครั้งต่อนาทีและมากกว่า 120 ครั้งต่อนาทีในขณะวิ่ง อย่างไรก็ตามนักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังเป็นประจำ อาจมีชีพจรในขณะพักระหว่าง 50-60 ครั้งต่อนาที [4]

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลตอการยอมรับและใช่งานเทคโนโลยีการทำงานร่วมกันของบุคลากรใน องคการ โดยผู้วิจัยได้นำทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช่เทคโนโลยี (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology หรือ UTAUT) (Venkatesh, Davis and Morris, 2003) ซึ่งสามารถนำมาใชในการอธิบายปัจจัยการ ยอมรับและใช่งานเทคโนโลยีในบริบทต่าง ๆ โดยอธิบายถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลตอการยอมรับและใช่งานเทคโนโลยี 4 ปัจจัย คือ ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (Performance Expectancy) ความคาดหวังในความพยายาม (Effort Expectancy) อิทธิพลทางสังคม (Social Influence) และสภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใชงาน (Facilitating Conditions) [5] [6]

ESP32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มาพร้อม WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n และบลูทูธเวอร์ชั่น 4.2 เป็นรุ่นต่อยอดความสำเร็จของ ESP8266 โดยในรุ่นนี้ได้ออกมาแก้ไขข้อเสียของ ESP8266 ทั้งหมดโดย CPU ใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 จำนวน 2 คอร์ สัญญาณนาฬิกา 240MHz สามารถแยกการทำงานระหว่างโปรแกรมจัดการ WiFi และแอพพลิเคชั่นออกจากกันได้ ทำให้มีสเถียรภาพเพิ่มขึ้นมาก มีแรม 520KB มาในตัว นอกจากนี้ยังมี GPIO เพิ่มขึ้นมาก และมีช่อง ADC เพิ่มขึ้นเป็น 12 ช่อง จากเดิม ESP8266 มีเพียงช่องเดียว ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3V ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5uA ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน [7]

เซ็นเซอร์ GY-906 โมดูลวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดไร้การสัมผัส ใช้ชิป MLX90614ESF สำหรับ Arduino ไฟเลี้ยง 3V-5V เชื่อมต่อแบบ I2C ใช้สายเพียง 2 เส้นในการควบคุม สามารถวัดอุณหภูมิที่เป้าหมายแบบไร้การสัมผัสที่ -70 ถึง 380 องศาเซลเซียส และยังสามารถวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ที่ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส ความละเอียดของอุณหภูมิที่วัดได้ 0.02 องศาเซลเซียส [8]

Module MAX30100 สำหรับวัดชีพจร อัตราการเต้นของหัวใจ วัดออกซิเจนในเลือดได้อีกด้วย โดยใช้หลักการของ หลอดไฟ LED แบบเดียวกับนาฬิกา smart watch ความรบกวน noise ต่ำ เหมาะสำหรับนำมาทำเกี่ยวกับโปรเจคเครื่องมือทางการแพทย์ วัดชีพจร อัตราการเต้นของหัวใจ และวัดออซิเจนในเลือด สำหรับผู้ป่วยหรือนักกีฬาที่ต้องการวัดการเจ้นของหัวใจเป็นต้น [9]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรถวัลย์ ปานกลาง รักเกียรติ ขำดำรงเกียรติและรัตนสุดา สุภดนัยสร [10] พัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกาย แจ้งเตือนข้อความและภาพถ่ายผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์ สามารถส่งข้อความและภาพถ่ายแจ้งเตือนเมื่อพบการตรวจสอบความผิดปกติของอุณหภูมิร่างกาย ผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์ และสามารถจัดเก็บข้อมูลรวมถึงการสืบค้นข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายย้อนหลังตามวันที่ผู้ใช้งานต้องทราบได้ ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เพื่ออำนวยความสะดวกในการวินิจฉัยโรคและติดตามผู้ป่วยได้รวดเร็ว สำหรับการทำงานของระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายนี้จะใช้ตัวอินฟราเรดเซนเซอร์สำหรับตรวจจับความร้อน และส่งค่าเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU V.2 เพื่อทำการประมวลผลค่าอุณหภูมิ ส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลบนจอ OLED พร้อมกับจัดเก็บผลอุณหภูมิลงในฐานข้อมูลสามารถเลือกดูข้อมูลอุณหภูมิย้อนหลัง ร่วมกับโมดูลกล้อง ESP32-CAM ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายภาพและส่งภาพพร้อมข้อความแจ้งเตือนไปยังแอพพลิเคชั่นไลน์เมื่อพบความผิดปกติของอุณหภูมิร่างกาย จากผลการทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิร่างกายแบบไม่สัมผัส ด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง สามารถตรวจจับ

อุณหภูมิได้ในช่วง 35 - 55 องศาเซลเซียส ตำแหน่งการวัดและระยะการตรวจจับอุณหภูมิที่เหมาะสมได้แก่ ตำแหน่งหน้าผาก ระยะห่าง 3 cm โดยมีค่าความผิดพลาด 0.07 0C คิดเป็น 0.19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ YUWELL รุ่น YT-1

ขนิษฐา แซ่ลิ้ม นพนรินทร์ อยู่เย็น พสุธร ยวงใย และวีระศักดิ์ ชื่นตา [11] ทำการสร้างพัฒนา และหาประสิทธิภาพเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิในร่างกาย โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เครื่องวัดมีการใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของร่างกาย ได้แก่ เซนเซอร์วัดอัตรา การเต้นของหัวใจ และวัดอุณหภูมิของร่างกาย ติดตั้งบริเวณข้อมือ ข้อมูลจากเซนเซอร์จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลย่อยบน ข้อมือ จากนั้นส่งผ่านระบบไร้สายลอร่าไปยังหน่วยประมวลผลกลาง ที่ติดตั้งส่วนแสดงผล ฐานข้อมูล และระบบแจ้งเตือนผ่าน เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ และโปรแกรมไลน์ จากการทดสอบหาประสิทธิภาพ พบว่า เครื่องวัดมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 3 และ 5 เมื่อเทียบกับเครื่องมือ วัดมาตรฐานตามลำดับ เครื่องวัดรองรับผู้สูงอายุได้มากกว่าหนึ่งคนต่อเครื่อง การใช้งานครอบคลุมพื้นที่การใช้งาน ระยะทาง ไม่น้อยกว่า 400 เมตร ทั้งในที่โล่งและมีสิ่งกีดขวาง ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์ด้วยเทคนิคการประหยัด พลังงาน อย่างไรก็ตามระบบยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดรูปทรงที่ติดตั้งแล้วทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกไม่สะดวก ตลอดจนปัญหาการอ่าน ข้อมูลที่ผิดพลาดของเซนเซอร์และการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งควรได้มีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

สุวณัฐ ปัญจศิริ และ เขตโสภณ ลอสช์ [12] ทำการพัฒนาระบบการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิร่างกายในสถานการณ์โควิด-19 พบว่าเครื่องวัดอุณหภูมิร่างกายมีสัญญาณเตือนไม่ดังเท่าที่ควรเมื่อมีลูกค้าที่อุณหภูมิร่างกายสูงเกินกำหนด ทำให้ไม่สามารถรับรู้ได้เมื่อพบลูกค้าที่มีความเสี่ยงติดเชื้อโควิด-19 คณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมปัญหาของระบบการทำงานและเวลาในการทำงานของเครื่องวัดอุณหูมิร่างกาย ตั้งแต่เดือน มกราคม-กุมภาพันธ์ 2564 เพื่อนำปัญหาที่มากที่สุดในระยะเวลา 2 เดือน มาทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Why – Why Analysis ทำให้ทราบถึงปัญหาของเครื่องวัดอุณหภูมิร่างกายได้อย่างตรงจุด สามารถแก้ไขปัญหาระยะยาว และสามารถนำไปขยายผลเพื่อใช้ในสถานที่อื่น ๆ ที่มีการใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิร่างกาย เพื่อลดปัญหาการแพร่กระจายของเชื้อโควิด-19 จากสถานการณ์โควิด-19

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

1.2 แบบบันทึกผลการทดลองเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

1.3 แบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพและศึกษาการยอมรับการใช้เทคโนโลยี ของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

2. กลุ่มเป้าหมาย

2.1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ทางด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 3 คน

2.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ เจ้าหน้าที่องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์ ปฏิบัติหน้าที่พื้นที่เทคนิคกรุงเทพ ช่วงเช้า ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จำนวน 30 คน

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิร่างกาย ดังนี้

3.1.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องต้นแบบในการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิร่างกาย

3.1.2 ออกแบบและจัดหาอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ วงจรสัญญาณไฟฟ้า กล่องประกอบเครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิร่างกาย โดยนำบอร์ด ESP32 รับค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิร่างกายและเซ็นเซอร์

หัวใจ ชีพจร นำค่าที่วัดได้แสดงบนจอ OLED ส่งต่อไปยังสมาร์โฟนผ่านเครือข่ายไร้สายเข้าแอปพลิเคชันที่สร้างโดยใช้ภาษา Blocks base programing โดยจะใช้โปรแกรม Thunkable และบันทึกค่าข้อมูลลงฐานข้อมูล MySQL

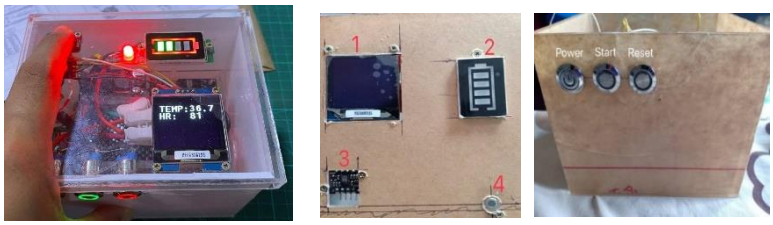
3.1.3 ออกแบบวงอิเล็กทรอนิกส์และเขียนโปรแกรม เพื่อแปลงการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิร่างกายเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อให้เป็นตัวเลข เพื่อให้แสดงถึงการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิ จากนั่นสร้างเครื่องต้นแบบการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิร่างกาย ทดลองตามคุณสมบัติที่ต้องการจนได้วงจรที่ใช้งานได้จริง จากนั่นออกแบบ software ในการดูตารางตัวเลขและควบคุมการใช้งาน ด้วยจอ OLED และบนมือถือบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

3.1.4 ทำการทดลองเครื่องต้นแบบการเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิร่างกาย โดยการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนแรกเป็นการทดลองเซ็นเซอร์การเต้นของหัวใจ ชีพจร โดยการเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ทำขึ้นกับนาฬิกาข้อมือระบบดิจิตอล ยี่ห้อ apple watch series 5 ยี่ห้อ mi band 4 และ oximeter model A2 ในระยะเวลาการวัด 1 นาที โดยการใช้นิ้วชี้ ทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง ดังตารางที่ 2 2) ส่วนที่สองเป็นการทดลองเซ็นเซอร์อุณหภูมิร่างกาย ทดสอบอุปกรณ์ที่ทำขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิ ทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ yuwell ยี่ห้อ K3 Pro ยี่ห้อ ALPHAMED โดยการวัดอุณหภูมิร่างกายเป็นระยะ 1-5 เซนติเมตร ในสถานที่ ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

ก. ทดลองวัดอุณหภูมิกับเครื่องมาตราฐาน

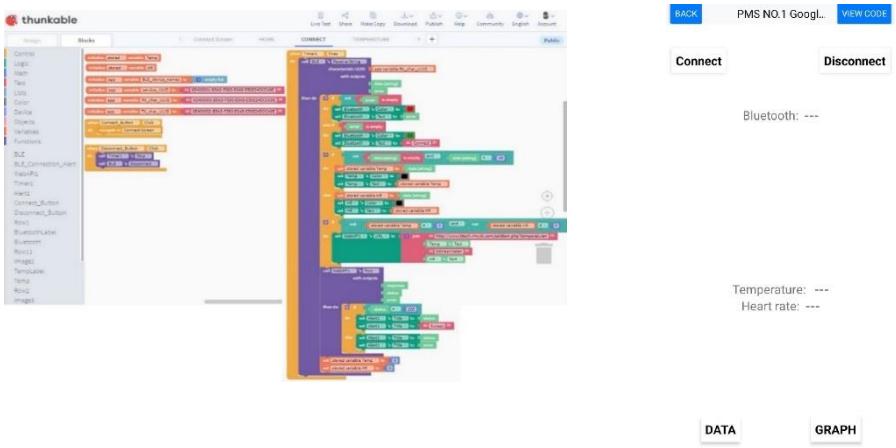
ข. ทดลองวัดชีพจร หัวใจกับเครื่องมาตรฐาน

ภาพที่ 1 การทดลองเครื่องวัดวัดอุณหภูมิและสัญญาณชีพในท้องตลาด



ภาพที่ 2 การออกแบบเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ภาพที่ 3 การออกแบบผังการทำงานของเครื่องต้นแบบและออกแบบแอปพลิเคชันด้วย Thunkable



ภาพที่ 4 การออกแบบแอปพลิเคชันด้วย Thunkable

3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องต้นแบบการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิร่างกาย

3.2.1 นำอุปกรณ์ที่เลือกมาต่อวงจรเข้าด้วยกัน 1) คือจอ OLED เอาไว้แสดงผลที่วัดได้ 2) คือตัววัดแบตเตอรี่ 3) คือ เซ็นเซอร์หัวใจ ชีพจร 4) คือ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิร่างกาย ดังภาพที่ 2

3.2.2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจร โดยทำการเขียนโคดโดยใช้ MAX3010x library และ heartRate.h เพื่อสร้าง Heart rate calculating algorithm และ ทดสอบการทำงานของโปรแกรม หากค่าของ particleSensor.getIR น้อยกว่า 7000 ให้แสดงข้อความ “Please Place your finger” เพื่อตรวจสอบว่ามีการวางนิ้วลงบนอุปกรณ์หรือไม่ หากมีการวางนิ้วลงบนอุปกรณ์ระบบจะวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจร ตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้

3.2.3 สร้างโปรแกรมผ่านแอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟน ด้วย Thunkable ในการแสดงผลค่า Temperature, Heart rate และการเชื่อมต่อ Bluetooth หลังจากการ NodeMCU ESP32เชื่อมต่อ Bluetooth ก็สามารถตรวจวัดค่าได้ ในการวัด Temperature และ Heart rate จะใช้เวลา 1 นาที แล้วค่าก็จะส่งไปยังจะส่งข้อมูลจากการวัดค่าไปแสดงที่จอ OLED และส่งค่าไปยังสมาร์ทโฟนผ่านผ่านเครือข่ายไร้สาย จากนั้นสมาร์ทโฟนจะส่งค่าไปเก็บในฐานข้อมูล MYSQL โดยผ่านภาษา PHP

3.3 การทดสอบเครื่องมือ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบนี้เป็นการทดสอบกับเจ้าหน้าที่องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์จำนวน 30 คน ที่มีอายุระหว่าง 19 ปี – 59 ปี เพศชาย โดยเป็นการคัดเลือกด้วยหัวหน้าชุดที่ดูแล การวัดค่าด้วยเครื่องต้นแบบจะใช้การเต้นของหัวใจ ชีพจร ตามเกณฑ์ประมาณอยู่ที่ 60-100 ครั้งต่อนาที ส่วนอุณหภูมิร่างกายไม่เกิน 37.5 องศาเซลเซียส โดยก่อนที่จะมีการวัดสัญญาณชีพ ให้อาสาสมัครนั่งนิ่ง ๆ เป็นเวลา 1 นาที ก่อนที่จะทดสอบอุปกรณ์โดยการวางนิ้วลงบนเครื่องต้นแบบเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเครื่องจะทำการวัดอัตราเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิร่างกายพร้อมส่งข้อมูลจากเครื่องต้นแบบผ่านผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังฐานข้อมูล

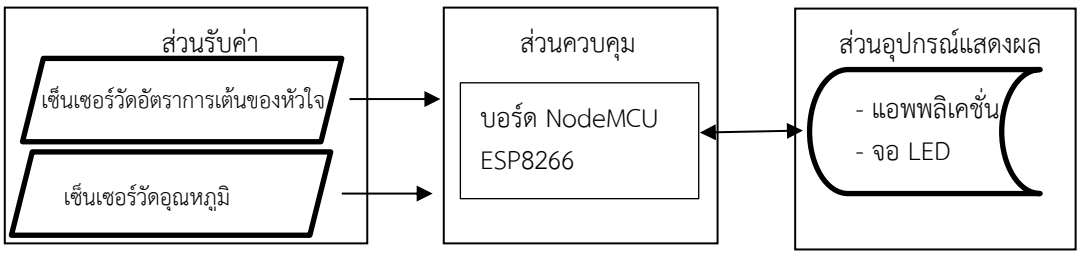
3.4 สร้างแบบสอบถาม ทั้งหมด 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็นชุดคำถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการ ยอมรับเครื่องเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จำนวน 20 ข้อและส่วนที่ 2 แบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จำนวน 11 ข้อ

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าสถิติ (Dependent t-test) โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้ [13] ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 –5.00หมายความว่า ระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 –4.50 หมายความว่าระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 –3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 –2.50 หมายความว่า ระดับน้อย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01 –1.50หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยมีองค์ประกอบ 3 ส่วนได้แก่ 1) ส่วนรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ 2) ส่วนควบคุมการด้วยบอร์ด NodeMCU ESP8266 3) ส่วนการแสดงผลผ่านแอพพลิเคชั่นและจอ LED บนอุปกรณ์ ดังภาพที่ 5 และมีผลการวิจัยอื่นดังนี้



ภาพที่ 5 องค์ประกอบของของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

1.1 การทดลองการเขียนโปรแกรมผ่านแอพพลิเคชั่นในในสมาร์ทโฟน จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการทดลอง 3 ครั้ง ในครั้งที่ 1 ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ สาเหตุเกิดจากการเขียนโปรแกรมที่ผิดพลาดและเมื่อทำการแก้ไข

โปรแกรมแล้ว ผลการทดลองในครั้งที่ 2 สามารถส่งค่าอุณหภูมิได้เพียงค่าเดียว ผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมและทดลองในครั้งที่ 3 ปรากฏว่าสามารถส่งค่าไปให้กับฐานข้อมูลได้ทั้ง 2 ค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองโปรแกรมผ่านแอพพลิเคชั่นในสมาร์ทโฟน ส่งเข้าฐานข้อมูล MySQL

การทดลอง (ครั้งที่)	แอพพลิเคชั่นอุณหภูมิ	แอพพลิเคชั่นชีพจร
1	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
2	ผ่าน	ไม่ผ่าน
3	ผ่าน	ผ่าน

ตารางที่ 2 การทดสอบอุปกรณ์ที่ทำขึ้นกับนาฬิกาข้อมือระบบดิจิตอลและเครื่องวัดชีพจร มาตราฐาน

ที่	apple watch series 5	mi band 4	oximeter model A2	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น
1	86	80	84	73
2	79	79	78	79
3	73	75	81	67
4	88	90	83	80
5	90	94	86	90
ค่าเฉลี่ย	**83**	**84**	**83**	**78**

1.2 แสดงอุณหภูมิและหัวใจ ชีพจร เวลาในการวัดและสถานะ แสดงในแอปพลิเคชัน ในส่วนของสถานะ หากอุณหภูมิเกิน 37 องศา จะขึ้นสถานะ “อุณหภูมิผิดปกติควรพบแพทย์” หากต่ำกว่า 37 องศา จะขึ้นสถานะ “อุณหภูมิปกติ” และการวัดชีพจรจะขึ้นสถานะ “ชีพจรปกติ” ในช่วง 60 – 100 ครั้งต่อนาที และหากเกิน 100 ครั้งจะขึ้น “ชีพจรผิดปกติ”

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องวัด อุณหภูมิ 3 ยี่ห้อ มีค่าเท่ากับ 36.5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องที่สร้างขึ้นผลปรากฏว่าอุณหภูมิใกล้เคียงอยู่ที่ ระยะการวัดที่ 2 เซนติเมตร ค่าเท่ากับ 36.4 องศาเซลเซียส และ ระยะวัดที่ 3 เซนติเมตร ค่าเท่ากับ 36.3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความถูกต้องและเปรียบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ในสภาวะปกติ

ลำดับที่	ระยะในการวัด(ซม.)	ยี่ห้อ K3 Pro	ยี่ห้อ ALPHAMED	ยี่ห้อ yuwell	ค่าเฉลี่ย 3 ยี่ห้อ	เครื่องที่สร้างขึ้น
1	1	36.5	36.7	36.5	36.6	36.9
2	2	36.4	36.6	36.4	36.5	36.4
3	3	36.4	36.5	36.4	36.4	36.3
4	4	36.4	36.5	36.4	36.4	36.2
5	5	36.4	36.5	36.4	36.4	36.2
ค่าเฉลี่ย		**36.4**	**36.6**	**36.4**	**36.5**	**36.4**

2. ผลการทดลองเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การทดลองวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ชีพจรและอุณหภูมิในสภาวะปกติ ใน 1 นาที ซึ่งกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงวัยรุ่น - วัยผู้ใหญ่ ซึ่งการเต้นของหัวใจ ชีพจร ตามเกณฑ์ประมาณอยู่ที่ 60-100 ครั้งต่อนาที ซึ่งจากผลการทดลองกับเจ้าหน้าที่องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์จำนวน 30 คน การเต้นของหัวใจ

ชีพจร มีผิดปกติ 6 คน และ ปกติ 24 คน โดยคำนวณค่าเฉลี่ยอายุที่ 37 ปี การเต้นของหัวใจ ชีพจร อยู่ที่ 71 BMP สถานะ ปกติ และ การวัดอุณหภูมิจำนวน 30 คนปรากฏว่าอยู่ในสภาวะปกติไม่เกิน 37.5 องศาเซลเซียสและการทดลองภาพรวมจากจำนวนอาสาสมัคร 30 คน ได้ค่าเฉลี่ยอายุที่ 37 ปี การเต้นของหัวใจ ชีพจร อยู่ที่ 71 BMP ซึ่งเป็นสถานะปกติ และ การวัดอุณหภูมิร่างกาย อยู่ที่ 36.5 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าอยู่ในสภาวะปกติ และเครื่องต้นแบบใช้งานได้ดีในระยะห่างระหว่างเครื่องกับสมาร์ทโฟน ไม่เกิน 3 – 5 เมตร ทั้งในที่โล่งและมีสิ่งกีดขวาง

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่พัฒนาขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน เพื่อประเมินความเหมาะสมของคำถาม 3 ด้าน จากนั้นนำผลการเรียนรู้มาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

รายการ	$\bar{x}$	ร้อยละ	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านโครงสร้างเครื่องต้นแบบ				
1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีความเหมาะสม	4.67	93.33	0.47	มากที่สุด
2. ความแข็งแรงของอุปกรณ์	4.33	86.67	0.47	มาก
3. การออกแบบมีความเหมาะสม	3.67	73.33	0.94	มาก
4. ชุดอินพุตของอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูลมีความเหมาะสม	4.67	93.33	0.47	มากที่สุด
5. จอ LCD ที่ใช้สดงผลมีความเหมาะสม	4.33	86.67	0.47	มาก
ด้านการใช้งาน				
6. ความสะดวกในการใช้งาน	4.00	80.00	0.00	มาก
7. แอปพลิเคชันใช้งานง่ายและสะดวก	4.33	86.67	0.47	มาก
8. การแสดงผลผ่านหน้าแอปพลิเคชัน เข้าใจง่าย	4.67	93.33	0.47	มากที่สุด
9. ง่ายต่อการบำรุงรักษา	4.00	80.00	0.00	มาก
ด้านคุณค่าโดยสรุป				
10. ความเหมาะสมของต้นทุน	4.00	80.00	0.00	มาก
11. เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน	4.33	86.67	0.47	มาก
โดยรวม	**4.27**	**85.45**	**0.39**	**มาก**

จากตารางที่ 4 ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.27) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่าด้านที่มีผลการประเมินสูงที่สุด คือด้านวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีความเหมาะสม ด้านชุดอินพุตของอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูลมีความเหมาะสม และด้านการแสดงผลผ่านหน้าแอปพลิเคชัน เข้าใจง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67)

ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาคแอลฟา (Cronbach's Alpha) ของเครื่องมือวิจัย

ตัวแปร	Cronbach's Alpha
ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (Performance Expectancy)	0.769
ความคาดหวังในความพยายาม (Effort Expectancy)	0.765

ความเข้ากันได้ (Compatibility)	0.738
ตัวแปร	**Cronbach's Alpha**
ผู้ใช้งานยอมรับการใช้งานเทคโนโลยีการทำงานร่วมกัน (User Adoption Collaboration Technology)	0.730
ผลรวมของทุกตัวแปร	**0.790**

อภิปรายผลการวิจัย

1. ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ได้กล่าวว่าเพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่า ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ 1) ส่วนรับค่า 2) การประมวลผลจากเซ็นเซอร์ และ 3) ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน มีการใช้ภาษา Block Base Programing เข้าใจง่ายทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจระบบมีความแม่นยำ สามารถบันทึกข้อมูล ประมวลผลจากค่าเซ็นเซอร์และสามารถจัดเก็บข้อมูลรวมถึงการสืบค้นข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิร่างกาย ชีพจร หัวใจ ย้อนหลังตามวันที่ผู้ใช้งานต้องการทราบได้ ผ่านแอปพลิเคชัน เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังภาพที่ 2

2. ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ได้กล่าวว่าเพื่อประเมินผลการทดลองเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่า สามารถกำหนดฟังก์ชันการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน PMS No1 ผ่านหน้าจอของอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่าง ๆ โดยมีระบบแสดงการทำงาน แบบอัตโนมัติ พร้อมทั้งระบบแจ้งเตือนสถานการณ์ การทำงานของระบบสามารถส่งข้อมูลรายงานผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย สอดคล้องกับ ธีรถวัลย์ ปานกลาง รักเกียรติ ขำดำรงเกียรติและรัตนสุดา สุภดนัยสร [10] ได้ผลวิจัยและผลการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ได้กล่าวว่าเพื่อประเมินประสิทธิภาพ ของเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยผู้วิจัยได้นำการศึกษาการออกแบบและเขียนโปรแกรมภาษา C สำหรับ Arduino พื้นฐาน การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์แล้วนำระบบที่พัฒนาขึ้นเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ทำการทดลองใช้งานเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบในแต่ละด้าน พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.27 S.D. = 0.39) ผลการวิจัย พบว่า สามารถนำไปใช้งานได้จริงแต่อาจต้องมีการปรับปรุงในส่วนการออกแบบมีความเหมาะสมเพิ่มเติม ส่วนอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้งาน จากแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ในการวิจัยครั้งนี้มีปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยี ทั้งหมด 4 ด้าน โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาคแอลฟา (Cronbach's Alpha) มีค่ามากกว่า 0.7 ทุกตัวแปร ซึ่งผลรวมของทุกตัวแปร ของการยอมรับการใช้งานเครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพเท่ากับ 0.790 ดังตารางที่ 5

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะมีการนำผลการวิจัยไปใช้ ในการพัฒนาและปรับประสิทธิภาพ เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง หากจะนำผลการวิจัยนี้ไปใช้งานหรือต่อยอดทางพาณิชย์ควรคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. เครื่องที่สร้างขึ้น ใหญ่เกินไป ไม่เหมาะสำหรับการพกพา
2. สมาร์ตโฟนที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องได้ ต้องเป็นระบบแอนดรอยด์ เท่านั้น ยังไม่รองรับระบบไอโอเอส

เอกสารอ้างอิง

[1] The Joanna Briggs Institute. (1997). *Best Practice: Evidence Based Practice Information Sheets for Health Professionals.* Retrieved from https://www.worldcat.org/title/67618074

[2] โสภา อิสระณรงค์พันธ์. (2563). *การพัฒนาระบบวัดสัญญาณชีพอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (IOT).* น่าน: โรงพยาบาลสนาม จังหวัดน่าน เขตสุขภาพที่ 2.

[3] Sessler DI. (2008). Temperature monitoring and perioperative thermoregulation. *Anesthesiology,* 109(2), 318-38.

[4] โรงพยาบาลรามคำแหง.(2559) “ภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ Cardiac Arrhythmia” สืบค้นจาก: https://ram-hosp.co.th/news_detail.

[5] Im, I., Hong, S., & Kang, M. S. (2011). An international comparison of technology adoption: Testing the UTAUT model. *Information & Management,* 48(1), 1–8.

[6] วิริยาภรณ เตชะกฤตธีรพงศ์. (2559). ปัจจัยการยอมรับการใช้งานเทคโนโลยีการทำงานร่วมกัน ของบุคลากรในองค์การในประเทศไทย. *วารสารบริหารธุรกิจ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,* 39(152), ตุลาคม - ธันวาคม.

[7] *ESP32.* (2565). สืบค้นจาก http://www.lungmaker.com/การใช้งาน-esp32-arduino-ide/

[8] เซ็นเซอร์ GY-906.(2565) สืบค้นจาก https://www.ec-bot.com/product/280/gy-906-infrared-temperature-sensor-module-gy-906-mlx90614esf-เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส

[9] *MAX30100 pulse heart rate sensor HR module โมดูลวัดอัตราการเต้นหัวใจ.* (2565). สืบค้นจาก https://www.ab.in.th/product/654/max30100-pulse-heart-rate-sensor-module-โมดูลวัดชีพจร-อัตราการเต้นหัวใจ-และออกซิเจนในเลือด

[10] ธีรถวัลย์ ปานกลาง, รักเกียรติ ขำดำรงเกียรติและรัตนสุดา สุภดนัยสร. (2564). การพัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกาย แจ้งเตือนข้อความและภาพถ่ายผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์. *วารสารวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 27-38.

[11] ขนิษฐา แซ่ลิ้ม, นพนรินทร์ อยู่เย็น, พสุธร ยวงใย และวีระศักดิ์ ชื่นตา. (2562). เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิในร่างกายโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. *รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 11* (11-12). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

[12] สุวณัฐ ปัญจศิริ และเขตโสภณ ลอสซ์. (2563). *การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิร่างกายในสถานการณ์โควิด-19. (สหกิจศึกษา).* กรุงเทพฯ: วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.

[13] Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.