IoT‑Based Smart Health Monitoring System for COVID‑19

Abstract

จากการเริ่มต้นของการแพร่ระบาดของ COVID-19 การเว้นระยะห่างทางสังคมและการกักตัวได้กลายเป็นสิ่งสำคัญในโลกปัจจุบัน ระบบการตรวจสุขภาพโดยใช้ IoT ช่วยป้องกันการไปพบแพทย์บ่อยครั้งและลดการพบปะกันระหว่างผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์ อย่างไรก็ตาม ผู้ป่วยหลายคนยังคงต้องการการตรวจสุขภาพและการเฝ้าดูแลอย่างสม่ำเสมอโดยบุคลากรทางการแพทย์ ในงานที่นำเสนอนี้ เราได้นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อช่วยให้ชีวิตของผู้ป่วยง่ายขึ้นสำหรับการวินิจฉัยและรักษาล่วงหน้า ระบบการตรวจสุขภาพอัจฉริยะได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ซึ่งสามารถตรวจสอบความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับออกซิเจน และอุณหภูมิของผู้ป่วย ระบบนี้มีประโยชน์อย่างมากสำหรับพื้นที่ชนบทหรือหมู่บ้าน ที่คลินิกใกล้เคียงสามารถติดต่อกับโรงพยาบาลในเมืองเกี่ยวกับสภาพสุขภาพของผู้ป่วยได้ อย่างไรก็ตาม หากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นในสุขภาพของผู้ป่วยที่อิงตามค่ามาตรฐาน ระบบ IoT จะทำการแจ้งเตือนแพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์ให้ทราบโดยทันที ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สูงสุด (ϵr%) ในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิร่างกายผู้ป่วย และระดับ SPO2 อยู่ที่ 2.89%, 3.03%, 1.05% ตามลำดับ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับระบบตรวจสุขภาพเชิงพาณิชย์ได้ ระบบการตรวจสุขภาพนี้ที่ใช้ IoT ช่วยให้แพทย์เก็บข้อมูลเรียลไทม์ได้อย่างง่ายดาย การมีอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงช่วยให้ระบบสามารถตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ แพลตฟอร์มคลาวด์ยังช่วยให้จัดเก็บข้อมูลได้ ดังนั้นจึงสามารถดึงข้อมูลการวัดก่อนหน้าออกมาใช้ในอนาคตได้ ระบบนี้จะช่วยในการตรวจวินิจฉัยและรักษาผู้ป่วย COVID-19 ได้ตั้งแต่ระยะแรก

**คำสำคัญ: IoT · การตรวจสุขภาพ · การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ · Raspberry Pi · แพลตฟอร์มคลาวด์**

**Introduction**

การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 ทั่วโลกได้เปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของผู้คนอย่างมาก การผลิตวัคซีนที่ช้าและการแจกจ่ายวัคซีนที่ล่าช้าได้ก่อให้เกิดความเครียดอย่างมากต่อระบบสาธารณสุขของประเทศกำลังพัฒนาและประเทศที่พัฒนาแล้ว การระบาดของ COVID-19 ได้ลดอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจ (GDP) ของหลายประเทศอย่างมาก ดังนั้น การฟื้นฟู GDP ให้กลับสู่ระดับสูงเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากขึ้นอยู่กับการฟื้นตัวของประชากร แม้จะมีความพยายามร่วมกันจากหลายประเทศในการพัฒนาและแจกจ่ายวัคซีนจนถึงการใช้มาตรการรักษาความสะอาดก็ตาม แต่ก็ช่วยให้เศรษฐกิจโลกฟื้นตัวได้อย่างราบรื่น นอกจากนี้ การยกเลิกข้อจำกัดต่างๆ อาจทำให้เกิดการระบาดระลอกใหม่และการกลายพันธุ์ในอนาคตก็ไม่สามารถตัดออกได้ ตามที่เห็นได้จากไวรัสโอมิครอนที่กลายพันธุ์ล่าสุด ดังนั้น การเฝ้าระวังผู้ป่วยที่ติดเชื้อและฟื้นตัวจาก COVID-19 ในโรงพยาบาลจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากต่อหน่วยงานหรือแผนกสาธารณสุข ดังนั้น การวินิจฉัยและการป้องกัน COVID-19 สามารถทำได้โดยการสนับสนุนของเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่รวมเข้ากับ IoT ซึ่งฝังด้วยอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ของผู้ป่วย มีการสังเกตว่าในฤดูหนาว อัตราการติดเชื้อของ COVID-19 เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพที่เหมาะสมต่อการอยู่รอดของไวรัส SARS-CoV-2 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ซึ่งถูกนำมาใช้ในทุกส่วนของชีวิตมนุษย์ การใช้งานที่พบมากที่สุดของ IoT อยู่ในบ้านอัจฉริยะ โรงงานอัตโนมัติ โรงเรียน โรงกลั่นน้ำมัน ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อม เมืองอัจฉริยะ เป็นต้น ความท้าทายของ COVID-19 สามารถลดลงได้โดยการใช้ระบบการตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่ใช้ IoT ซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์สวมใส่ เช่น สมาร์ทวอทช์ หรืออาจฝังอยู่ในเตียงของผู้ป่วย COVID-19 สัญญาณชีวการแพทย์สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพของบุคคลได้ ดังนั้นสามารถรวบรวมข้อมูลได้มากมายและสามารถสรุปผลที่จำเป็นจากการสังเกตได้ สัญญาณชีวการแพทย์หลายประเภทที่สามารถตรวจจับเพื่อระบุ COVID-19 ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ, SPO2, CO2, อุณหภูมิ, ความดันโลหิต เป็นต้น เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องสามารถนำมาใช้เพื่อระบุผู้ป่วย COVID-19 จากข้อมูลจำนวนมากผ่านการวัดพารามิเตอร์สุขภาพ การเก็บข้อมูลในคลาวด์ด้วยการสนับสนุนของ IoT การผสมผสานการเรียนรู้ของเครื่องเข้ากับ IoT จะเป็นประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เทคโนโลยี IoT จะช่วยให้หน่วยงานสาธารณสุขสามารถแยกแยะผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาในทันทีและผู้ป่วยบางรายที่สามารถกักตัวที่บ้านได้ ซึ่งช่วยป้องกันการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยในโรงพยาบาลหรือศูนย์สุขภาพชุมชน ระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่ใช้ IoT สามารถลดความต้องการออกซิเจนในโรงพยาบาลได้ ระบบนี้ยังสามารถรวมเข้ากับชิป GPS เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยที่หายดีแล้ว เมื่อการล็อกดาวน์ถูกยกเลิกในหลายประเทศ ผู้คนในสำนักงาน โรงแรม สถาบันการศึกษามีการสัมผัสกันทางกายภาพ ซึ่งเพิ่มโอกาสในการติดเชื้อ COVID-19 และนำไปสู่การระบาดระลอกที่ 3 ในสถานการณ์เช่นนี้ ข้อมูลของบุคคลจะถูกแชร์กับหน่วยงานสาธารณสุข และผู้ที่อาจติดเชื้อจะถูกกักตัวอย่างรวดเร็ว

มีการพัฒนาระบบตรวจสุขภาพอัตโนมัติที่จะตอบสนองหรือสร้างสัญญาณเตือนในสถานการณ์วิกฤตของผู้ป่วย ข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU เพื่อส่งข้อความผ่านอีเมลและทวิตเตอร์ไปยังแพทย์และบุคคลที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ยังบันทึกและเก็บรักษาข้อมูลการวินิจฉัยก่อนหน้านี้เกี่ยวกับสุขภาพของผู้ป่วย สภาพที่แท้จริงของผู้ป่วยจะถูกส่งผ่านทางออนไลน์ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ และการรักษาที่เหมาะสมสามารถดำเนินการเพื่อรักษาผู้ป่วยได้ ระบบติดตามสุขภาพอัจฉริยะของผู้ป่วยนี้เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิ และความชื้นในห้องเพื่อติดตามสภาพของผู้ป่วย หลังจากการประมวลผล ค่าเหล่านี้ทั้งหมดจะถูกส่งไปยังแพทย์เพื่อตรวจสอบตามความเหมาะสม สัญญาณจากเซ็นเซอร์ เช่น อุณหภูมิ EEG และการอ่านอัตราการเต้นของหัวใจจะผ่านการขยายสัญญาณและระบบปรับสัญญาณเพื่อเพิ่มการขยายของสัญญาณ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใดๆ เช่น Arduino, Raspberry Pi หรือ BeagleBone Black ข้อมูลสามารถถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์เพื่อการจัดเก็บและการวิเคราะห์ ระบบที่ใช้ IoT นี้สามารถให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์เกี่ยวกับพารามิเตอร์ของผู้ป่วย เนื่องจากอินเทอร์เน็ตเป็นช่องทางการสื่อสารหลัก ความปลอดภัยของข้อมูลบนคลาวด์และข้อมูลเป็นหนึ่งในปัญหาท้าทาย ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต เช่น คลาวด์คอมพิวติ้ง เอดจ์คอมพิวติ้ง และฟ็อกคอมพิวติ้ง ระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่สวมใส่ได้อาจกลายเป็นสิ่งที่ใช้งานในชีวิตประจำวันในอนาคต การวัดสัญญาณชีวการแพทย์ด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ เป็นข้อกำหนดเบื้องต้นในการพัฒนาระบบตรวจสุขภาพ ซึ่งอาจใช้สำหรับการฟื้นฟูร่างกายและการติดตามแบบเรียลไทม์ของบุคคลทุพพลภาพ เซ็นเซอร์ชีวการแพทย์พกพาที่ผสานกับอุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมประจำวันของบุคคล และช่วยในการจัดการสุขภาพ ซึ่งจะช่วยป้องกันภาวะแทรกซ้อนในชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโรคต่างๆ ความท้าทายสำคัญอีกประการ**หนึ่งในการ**พัฒนาระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะคือแดชบอร์ดสุขภาพส่วนบุคคล (PHD) ซึ่งข้อมูลชีวการแพทย์ที่รวบรวมโดยเซ็นเซอร์สามารถเข้าถึงได้อย่างง่ายดายโดยแพทย์และทีมผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์และประเมิน ระบบ PHD ที่คล้ายกันถูกพัฒนาโดย Brahmni ซึ่งเป็นระบบบนคลาวด์สำหรับจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ของผู้ป่วยเพื่อตรวจสอบและตรวจจับ COVID-19 ที่ไม่มีอาการ ความท้าทายสำคัญคือการนำระบบ IoT มาใช้งานด้วยการเข้ารหัสและความปลอดภัยสูงเพื่อป้องกันการละเมิดข้อมูล อีกหนึ่งความท้าทายสำคัญคือการเก็บข้อมูลจำนวนมากของผู้ป่วยในคลาวด์ ที่สามารถเรียกคืนข้อมูลได้โดยไม่ล่าช้า จุดเด่นของระบบนี้คือสามารถติดตั้งบนเตียงผู้ป่วยได้และแชร์ข้อมูลเรียลไทม์ของผู้ป่วยกับแพทย์ผ่านอุปกรณ์อัจฉริยะที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ระบบตรวจสุขภาพนี้ยังสามารถเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์สวมใส่เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์สุขภาพที่สำคัญ และช่วยในการป้องกัน COVID-19 และโรคอื่นๆ

**Related Work**

นักวิจัยหลายคนได้ทำงานเกี่ยวกับการคาดการณ์ด้านสุขภาพโดยใช้ระบบ IoT เพื่อการดูแลสุขภาพอัจฉริยะ Hamizah Anuar และคณะ ได้กล่าวถึงการพัฒนาอุปกรณ์เซ็นเซอร์ CBT (อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย) แบบสวมใส่ โดยอิงจากแนวคิดการถ่ายเทความร้อนที่เป็นเอกลักษณ์ มีการทดลองกับเซ็นเซอร์ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และพบว่าการประมาณค่า CBT ที่น่าเชื่อถือที่สุดคือบริเวณหน้าผาก เนื่องจากมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 0.05°C ระหว่างเซ็นเซอร์ CBT และเครื่องวัดอุณหภูมิทางคลินิก

Po-Wei Huang และคณะ ได้แสดงการใช้โปรแกรมอัลกอริธึมที่อิงกับการถดถอยของเครือข่ายประสาท เพื่อเพิ่มระยะทางในการวัดระหว่าง 50 ถึง 100 ซม. คุณลักษณะการติดตามใบหน้าอัตโนมัติจำเป็นต้องให้ใบหน้าของมนุษย์อยู่ในโฟกัสขณะทำการวัด ผลลัพธ์สามารถดูได้ผ่านแอปและเว็บไซต์

Rahaman และคณะ ได้อภิปรายเกี่ยวกับระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะประเภทต่าง ๆ และมุ่งเน้นถึงข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบการดูแลสุขภาพ Huang และทีมงานได้พัฒนาระบบวัดอุณหภูมิแบบสวมใส่ที่สามารถนำไปใช้ในงานด้านการดูแลสุขภาพได้

Albahri และคณะ ได้ทำการทบทวนอย่างครอบคลุมเกี่ยวกับเทคโนโลยี IoT ที่ใช้สำหรับการแพทย์ทางไกลและบริการด้านสุขภาพเพื่อป้องกันโรคต่าง ๆ การศึกษาอีกชิ้นหนึ่งได้ทำเพื่อการติดตามสุขภาพของนักเรียนผ่านระบบไร้สายที่ใช้ IoT ซึ่งมีคุณสมบัติการแจ้งเตือนเรียลไทม์ที่สามารถส่งไปยังผู้ปกครองหรือผู้ดูแลได้

ในแนวทางการวิจัยเดียวกัน มีการพัฒนาระบบการตรวจสอบผู้ป่วย COVID-19 ระยะไกลที่รวมการวัดพารามิเตอร์สำคัญของร่างกาย เช่น PPG, ECG, และอุณหภูมิ เพื่อระบุสภาพสุขภาพของผู้ป่วย นอกจากนี้ยังมีการอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นด้านความปลอดภัยในระบบสุขภาพอัจฉริยะที่ใช้ IoT

Bassam และคณะ ได้แสดงให้เห็นการประยุกต์ใช้ระบบตรวจสุขภาพแบบสวมใส่สำหรับผู้ป่วย COVID-19 ที่มีคุณสมบัติการติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ด้วย GPS ฝังอยู่ ระบบทั้งหมดเชื่อมต่อกับอินเทอร์เฟซ Android ผ่าน API เพื่อติดตามการฟื้นตัวและสภาพสุขภาพของผู้ป่วยที่ฟื้นตัวแล้ว

โครงสร้างที่คล้ายกันนี้เสนอโดย Paganelli และคณะ ที่กล่าวถึงการใช้สถาปัตยกรรมต่าง ๆ สำหรับการตรวจสอบผู้ป่วย COVID-19 ซึ่งสามารถช่วยในการตรวจจับ COVID-19 ได้ สถาปัตยกรรมที่เสนอประกอบด้วยสามชั้น ได้แก่ ชั้นการเก็บรวบรวมข้อมูล ชั้นการแจกจ่ายข้อมูล และชั้นการประยุกต์ใช้ แต่ระบบสุขภาพที่ใช้ IoT ส่วนใหญ่ประสบปัญหาบางประการ เช่น การสื่อสารล่าช้าและการหน่วงเวลา ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ fog computing ร่วมกับอัลกอริธึมการทำเหมืองข้อมูล

ความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วยเป็นหนึ่งในปัญหาหลักของระบบสุขภาพอัจฉริยะที่ใช้ IoT ดังนั้นจึงสามารถใช้รูปแบบการเข้ารหัสแบบบล็อกเพื่อปกป้องข้อมูลในคลาวด์ได้ นอกเหนือจากการตรวจหาโรคทั่วไปจากการวัดพารามิเตอร์สำคัญของร่างกายแล้ว พารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ท่าทาง การแสดงออกทางใบหน้า และภาษากาย ยังสามารถใช้เพื่อตรวจสอบภาวะชักหรือไม่ชัก รวมถึงภาวะโรคลมชัก ซึ่งจะช่วยแพทย์ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการรักษาผู้ป่วยจากระยะไกลได้

Bhatia และคณะ ได้แสดงการใช้ระบบ IoT ในบ้านเพื่อตรวจหาโรคติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ เช่น เบาหวาน โรคนิ่ว ตับอักเสบ และโรคตับ การศึกษาอีกชิ้นหนึ่งได้อภิปรายเกี่ยวกับบทบาทในอนาคตของ IoT ในการตรวจสุขภาพของบุคคลที่เน้นการจัดการโรค ประสบการณ์ของผู้ป่วย การรักษาที่มีประสิทธิภาพ และบทบาทของ 5G ในการสื่อสาร

งานของกลุ่มวิจัย Kondaka กล่าวถึงบทบาทของการเรียนรู้ของเครื่องในการประเมินและจัดการข้อมูลบนคลาวด์เพื่อการทำนายโรคอย่างแม่นยำ กลยุทธ์การเรียนรู้เชิงลึกสามารถใช้เพื่อลดข้อบกพร่องและข้อผิดพลาดในระบบสุขภาพอัจฉริยะที่ใช้ IoT

Li และทีมงานได้ทำการสำรวจอย่างละเอียดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อจัดการกับปัญหาต่าง ๆ เช่น ความปลอดภัยของคลาวด์ การจัดสรรพื้นที่จัดเก็บ การสื่อสารล่าช้า และการดึงข้อมูล ระบบ IoT สามารถใช้สำหรับการทำนายพฤติกรรมการอยู่ประจำที่ของบุคคลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อประเมินพฤติกรรม ท่าทาง และพารามิเตอร์สุขภาพ

ระบบคลาวด์ที่ใช้ IoT/WSN ถูกเสนอโดย Onasanya และคณะ เพื่อการตรวจหาและรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งที่มุ่งเน้นความท้าทายสำคัญ เช่น ความปลอดภัยและประสิทธิภาพ อีกหนึ่งระบบ IoT ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อระบุผู้ป่วย COVID-19 ที่อาจเป็นไปได้ โดยใช้แปดอัลกอริธึมการเรียนรู้ที่ช่วยแยกแยะอาการหวัดออกจากอาการของ COVID-19

การศึกษายังได้กล่าวถึงการใช้ระบบ IoT เพื่อตรวจสอบผู้ป่วยในเมืองอัจฉริยะ เพื่อให้รถพยาบาลและความช่วยเหลืออื่น ๆ เข้าถึงผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็ว Wan และคณะ ได้พัฒนาระบบตรวจสุขภาพแบบสวมใส่ที่ใช้ IoT ซึ่งมีเครือข่ายของตนเองที่เรียกว่าเครือข่ายพื้นที่ร่างกาย โดยมีเซ็นเซอร์ต่าง ๆ คอยวัดและจัดเก็บพารามิเตอร์อย่างต่อเนื่อง

เทคโนโลยี IoT ทั้งหมดถูกนำไปใช้ในโรงพยาบาล หรือที่บ้าน หรืออุปกรณ์สวมใส่ ดังนั้นในแต่ละพื้นที่การใช้งาน ระบบยังคงประสบปัญหาบางประการ Uslu และคณะ ได้อภิปรายถึงปัจจัยบางประการ เช่น โครงสร้างพื้นฐานของชั้น IoT การประมวลผลอัจฉริยะ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และการจราจรของเครือข่าย ที่ต้องพิจารณาเมื่อออกแบบและติดตั้งระบบตรวจสุขภาพอัตโนมัติที่ใช้ IoT

มีปัญหาสำคัญหลายประการที่พบเมื่อออกแบบระบบตรวจสุขภาพที่ใช้ IoT ซึ่งรวมถึงการใช้ข้อมูลผู้ป่วยในทางที่ผิด กรณีอาชญากรรมทางไซเบอร์ และการรวบรวมข้อมูลการติดตามผู้ป่วย COVID-19 เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้หน่วยงานของรัฐสามารถติดตามผู้ป่วยและป้องกันการแพร่ระบาดต่อไป ซึ่งจะเป็นไปได้ด้วยการช่วยเหลือจากระบบติดตามที่ใช้ IoT การตรวจสอบผู้ป่วย COVID-19 แบบเรียลไทม์ด้วยข้อมูลขนาดใหญ่จากสัญญาณชีวการแพทย์สามารถช่วยลดจำนวนผู้ติดเชื้อ COVID-19 ได้

**Methodology**

ระบบตรวจสุขภาพที่ใช้ IoT แตกต่างจากระบบการดูแลสุขภาพทั่วไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น การบรรลุผลลัพธ์และประสิทธิภาพที่ต้องการผ่าน IoT จึงเป็นเรื่องท้าทาย การทำงานกับ IoT เกี่ยวข้องกับระบบฝังตัว เนื่องจากเซ็นเซอร์ใช้สัญญาณข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ในขั้นต้น อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์ เครื่องตรวจจับ หน้าจอแสดงผล และไมโครคอนโทรลเลอร์ จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ทำงานสอดคล้องกัน เซ็นเซอร์และเครื่องตรวจจับจะตรวจจับสัญญาณในรูปแบบอะนาล็อก ซึ่งจำเป็นต้องแปลงเป็นรูปแบบดิจิทัลต่อไป การแปลงจากอะนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีอยู่ในตัวถูกดำเนินการผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลที่ถูกต้อง ข้อมูลถูกส่งไปยัง Raspberry Pi ซึ่งถูกใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ปัจจุบัน Raspberry Pi เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายใน Internet of Things (IoT)

หลังจากแปลงข้อมูลแล้ว ข้อมูลจะถูกจัดเก็บ โดยจะถูกส่งไปยังคลาวด์หรือเซิร์ฟเวอร์ ในการวิจัยนี้ได้ใช้เซิร์ฟเวอร์ท้องถิ่น ซึ่งแสดงค่าที่วัดได้หรือการอ่านที่วัดได้พร้อมกัน

การทำงานของงานวิจัยที่นำเสนอแสดงในรูปแบบแผนภาพบล็อกในภาพที่1และ ภาพที่ 2 แสดงผังการไหลของขั้นตอนที่ดำเนินการในกระบวนการทั้งหมด โดยแสดงลำดับการทำงานและขั้นตอนตามลำดับอย่างชัดเจน ซึ่งรวมถึงการเริ่มต้นระบบ การตั้งค่าโปรโตคอลให้สำเร็จ การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์อย่างแม่นยำ การส่งค่าที่วัดได้ไปยังจอแสดงผล และการจัดเก็บข้อมูลเซ็นเซอร์ในเซิร์ฟเวอร์คลาวด์

**Details of System Components**

ระบบนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาต้นแบบ ซึ่งรวมถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี ADC ในตัว, เซ็นเซอร์วัดความดันโลหิต, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส, และเครื่องวัดออกซิเจน (Oximeter) ไวรัส COVID-19 เข้าสู่ร่างกายผ่านทางจมูกและปาก จากนั้นเคลื่อนเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ความดันโลหิตของผู้ป่วย COVID-19 พบว่าสูงขึ้น ดังนั้นการวัดความดันโลหิตจึงเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์สำคัญในการตรวจจับ COVID-19

อุณหภูมิและระดับออกซิเจนในผู้ป่วย COVID-19 จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบ ซึ่งจะช่วยในการติดตามและตรวจจับผู้ป่วยที่อาจจะติดเชื้อ COVID-19 ระดับออกซิเจนในผู้ติดเชื้อ COVID-19 ถูกพบว่าลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงใช้ Oximeter ในการวัดระดับออกซิเจนของบุคคล

เซ็นเซอร์ทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Raspberry Pi) เพื่อบันทึกข้อมูลและสื่อสารกับคลาวด์เพื่อจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลต่อไป

**Raspberry Pi**

****

Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีขนาดประมาณบัตรเครดิต (รูปภาพที่ 3) Raspberry Pi ใช้ระบบปฏิบัติการที่เป็นเวอร์ชันของ Linux/Android ซึ่งถูกปรับแต่งให้ทำงานกับโปรเซสเซอร์ ARM ที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์นี้ ด้วยระบบ Linux บนบอร์ด ฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ขนาดเล็กนี้ถูกปรับปรุงให้สามารถใช้งานสำหรับระบบอัตโนมัติได้ มันสามารถทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ภายนอกได้ อีกทั้งยังมีหน้าจอในตัวและพอร์ต LAN สำหรับการสื่อสาร ข้อได้เปรียบเพิ่มเติมคือ Raspberry Pi สามารถเขียนโปรแกรมได้ด้วยภาษา Python

**Blood Pressure Sensor**

****

เซ็นเซอร์วัดความดันโลหิต (BP) ถูกพันรอบแขนและจะส่งค่าหรือข้อมูลสามค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าที่ได้รับได้แก่ ค่าแรกคือความดันโลหิตค่าซิสโตลิก (Systolic) ค่าที่สองคือค่าดายแอสโตลิก (Diastolic) และค่าที่สามคืออัตราการเต้นของชีพจร ซึ่งถูกป้อนเข้าสู่ Raspberry Pi เซ็นเซอร์ BP0001 เป็นเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิตแบบติดตั้งบนบอร์ดที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยมีช่วงการวัดความดันที่ 0–300 mg และมีความแม่นยำประมาณ ± 1% โครงร่างของเซ็นเซอร์ BP แสดงในรูปภาพที่ 4

**Temperature Sensor**

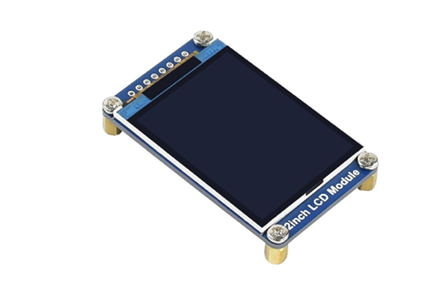
****

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส MLX90614 ถูกวางไว้ใกล้กับร่างกายของมนุษย์ และตรวจจับค่าอุณหภูมิโดยไม่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วย เซ็นเซอร์ MLX90614 ผสานรวมกับเครื่องขยายสัญญาณเสียงต่ำ (Low Noise Amplifier), ADC 17 บิต และหน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ที่ทรงพลัง ทำให้เทอร์โมมิเตอร์มีความแม่นยำและความละเอียดสูง โครงร่างของเซ็นเซอร์ MLX90614 แสดงในภาพที่ 5

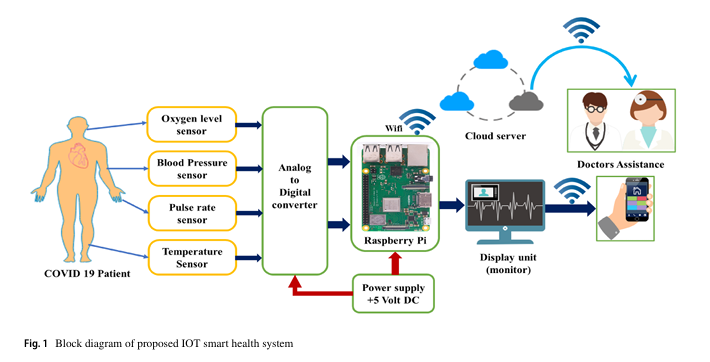
**Pulse Oximeter**

MAX30100 เป็นโมดูลเซ็นเซอร์ที่ผสานรวมการวัดออกซิเจนในเลือดและการตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจเข้าด้วยกัน โดยผสมผสาน LED สองดวง, โฟโต้ดีเทคเตอร์, ระบบออปติกที่ปรับแต่งมาอย่างดี และการประมวลผลสัญญาณอะนาล็อกที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ เพื่อการตรวจจับอัตราการเต้นของชีพจรและสัญญาณอัตราการเต้นของหัวใจ

**Data Storage and Display**

****

ในต้นแบบระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น ได้ใช้โมดูลจอแสดงผล LCD ขนาด 2 นิ้ว โดยจอ LCD นี้เป็นหน้าจอแบบ in-plane switching (IPS) มีความละเอียด 240 × 320 พิกเซล มีตัวควบคุมฝังอยู่ภายใน และการสื่อสารดำเนินการผ่านอินเทอร์เฟซ SPI อินเทอร์เฟซ SPI นี้ต้องการการใช้ขา GPIO ขั้นต่ำในการควบคุมการทำงาน รูปภาพที่ 7 แสดงโครงร่างของจอแสดงผล LCD



**หลักการทำงาน**

1. **การวัดค่า** - เซ็นเซอร์ต่างๆ (ระดับออกซิเจน, ความดันโลหิต, อัตราการเต้นของหัวใจ, และอุณหภูมิ) จะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางสุขภาพจากผู้ป่วย COVID-19
2. **การแปลงสัญญาณ** - สัญญาณอนาล็อกจากเซ็นเซอร์จะถูกส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล
3. **การประมวลผลข้อมูล** - ข้อมูลที่แปลงเป็นดิจิทัลแล้วจะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi เพื่อทำการประมวลผล
4. **การส่งข้อมูลไปยังคลาวด์** - Raspberry Pi จะส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้วไปยังเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต
5. **การแสดงผลข้อมูล** - ข้อมูลทางสุขภาพจะถูกแสดงผลบนหน้าจอแสดงผล (Monitor) และสามารถเข้าถึงได้โดยแพทย์ผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์
6. **การวิเคราะห์ข้อมูล** - แพทย์จะสามารถเข้าถึงข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ และทำการวิเคราะห์เพื่อให้การรักษาที่เหมาะสม

ระบบนี้ช่วยให้การตรวจสอบและติดตามสถานะสุขภาพของผู้ป่วย COVID-19 เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้แพทย์สามารถให้การดูแลผู้ป่วยจากระยะไกลได้อย่างสะดวก

**Design of System**

**การทำงานทั้งหมดประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก: การเก็บข้อมูล, การประมวลผลข้อมูล, การจัดเก็บข้อมูล และการแสดงพารามิเตอร์ของผู้ป่วยบนจอแสดงผล ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากความแม่นยำในการวัดขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้โดยตรง ในการเก็บข้อมูล เซ็นเซอร์ที่ใช้จะถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ นั่นคือ Raspberry Pi**

**ผลลัพธ์จากเซ็นเซอร์จะถูกเชื่อมต่อกับขา GPIO ของ Raspberry Pi ซึ่งถูกเลือกไว้ ขาเอาต์พุตของเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิต (BP sensor) นั่นคือขา Tx จะถูกเชื่อมต่อกับขา Rx ของ Raspberry Pi หลังจากทำการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์แล้ว จ่ายไฟ +5V ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์ต่างๆ**

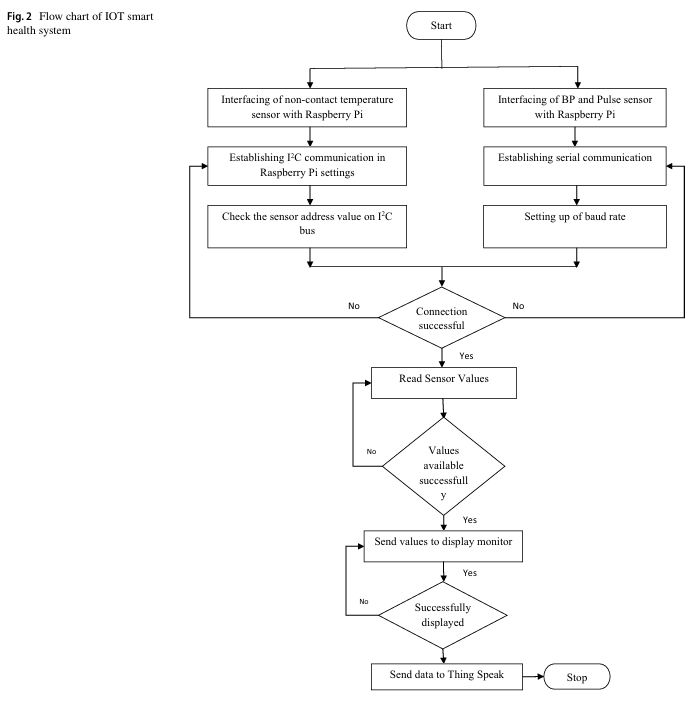
**ระบบจ่ายไฟแบบ SMPS ถูกใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับโมดูล Raspberry Pi และเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ใช้ เซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบนี้มีการใช้กระแสโหลดต่ำ ซึ่งเหมาะสมกับการทำงานของระบบ IoT การใช้พลังงานสูงสุดของระบบทั้งหมดอยู่ที่ 7-8 วัตต์ เนื่องจาก Raspberry Pi สามารถตั้งค่าให้อยู่ในโหมดประหยัดพลังงานเมื่อไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลผ่าน Wi-Fi ประสิทธิภาพของ SMPS ที่ใช้ในระบบนี้สูงถึง 80-85% โดยมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนในรูปแบบของความร้อน**

**ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถขยายขนาดได้เพื่อตรวจสอบผู้ป่วยพร้อมกันได้ถึง 5 คน โดยใช้เซ็นเซอร์ทางชีวการแพทย์ที่แตกต่างกันสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย**

**Data Capturing**

**ในขั้นแรก เซ็นเซอร์ที่ใช้จะถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ นั่นคือ Raspberry Pi โดยผลลัพธ์จากเซ็นเซอร์จะถูกเชื่อมต่อกับขา GPIO ของ Raspberry Pi ซึ่งถูกเลือกและกำหนดค่าให้เป็นอินพุต ขาเอาต์พุตของเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิต (BP sensor) นั่นคือขา Tx จะถูกเชื่อมต่อกับขา Rx ของ Raspberry Pi หลังจากทำการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์อย่างถูกต้องแล้ว จะจ่ายไฟ +5V ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์ต่างๆ**

**เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส MLX90614 จะถูกวางไว้ใกล้ร่างกายมนุษย์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิของผู้ป่วย ส่วนเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิต (BP sensor) จะถูกพันรอบแขนของผู้ป่วย และจะส่งข้อมูลสามค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าที่ได้ประกอบไปด้วย ค่าซิสโตลิก (Systolic) ค่าดายแอสโตลิก (Diastolic) และอัตราการเต้นของหัวใจ (Pulse rate) ซึ่งจะถูกป้อนเข้าสู่ Raspberry Pi เพื่อทำการประมวลผลต่อไป**



**องค์ประกอบในภาพ**

1. **Start (เริ่มต้น)** - เริ่มกระบวนการทำงานของระบบ
2. **Interfacing of non-contact temperature sensor with Raspberry Pi** - การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสเข้ากับ Raspberry Pi
3. **Interfacing of BP and Pulse sensor with Raspberry Pi** - การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิตและเซ็นเซอร์วัดชีพจรเข้ากับ Raspberry Pi
4. **Establishing I²C communication in Raspberry Pi settings** - การตั้งค่าการสื่อสารแบบ I²C สำหรับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิใน Raspberry Pi
5. **Establishing serial communication** - การตั้งค่าการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิตและชีพจร
6. **Check the sensor address value on I²C bus** - ตรวจสอบค่าแอดเดรสของเซ็นเซอร์ในบัส I²C
7. **Setting up of baud rate** - การตั้งค่าอัตราความเร็วในการสื่อสาร (Baud rate)
8. **Connection successful** - ตรวจสอบว่าการเชื่อมต่อสำเร็จหรือไม่
9. **Read sensor values** - อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่ออยู่
10. **Values available successfully** - ตรวจสอบว่าค่าที่อ่านได้ถูกต้องหรือไม่
11. **Send values to display monitor** - ส่งค่าที่วัดได้ไปแสดงบนหน้าจอแสดงผล
12. **Successfully displayed** - ตรวจสอบว่าการแสดงผลสำเร็จหรือไม่
13. **Send data to ThingSpeak** - ส่งข้อมูลที่ได้ไปยังแพลตฟอร์ม ThingSpeak (ใช้สำหรับการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล)
14. **Stop (หยุด)** – สิ้นสุดการทำงานของระบบ

**หลักการทำงาน**

1. **การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์**: ระบบจะเริ่มต้นโดยการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (แบบไม่สัมผัส) กับ Raspberry Pi ผ่านการสื่อสาร I²C และเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความดันโลหิตและชีพจรผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม
2. **การตั้งค่าและตรวจสอบการเชื่อมต่อ**: เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ ระบบจะตรวจสอบค่าแอดเดรสของเซ็นเซอร์บนบัส I²C และตั้งค่าอัตราความเร็วในการสื่อสาร
3. **การอ่านค่าเซ็นเซอร์**: หลังจากการเชื่อมต่อสำเร็จ ระบบจะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ (ทั้งอุณหภูมิ ความดันโลหิต และชีพจร)
4. **การแสดงผล**: ค่าที่อ่านได้จะถูกส่งไปแสดงผลบนหน้าจอ หากแสดงผลสำเร็จ จะดำเนินการส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์ม ThingSpeak เพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป
5. **การหยุดระบบ**: เมื่อกระบวนการทั้งหมดเสร็จสิ้น ระบบจะหยุดการทำงาน

**Data Processing**

เซ็นเซอร์ MLX90614 ทำงานโดยใช้โปรโตคอลการสื่อสารแบบ I²C/IIC เซ็นเซอร์นี้สามารถวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของวัตถุได้ ขั้นตอนการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ MLX90614 แสดงดังนี้:

1. เปิดใช้งาน I²C จากการตั้งค่าการเชื่อมต่อของ Raspberry Pi

2. ดาวน์โหลดแพ็กเกจหรือไลบรารีของ MLX90614

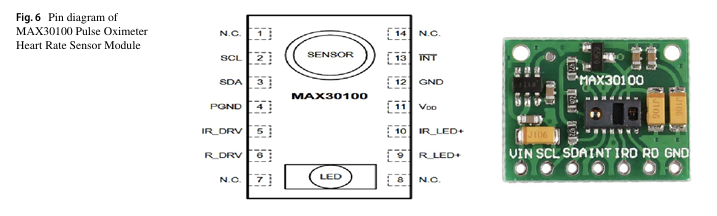
3. ติดตั้งแพ็กเกจที่ดาวน์โหลดมา

4. หลังจากติดตั้งเสร็จ ทำการเชื่อมต่อ MLX90614 กับวงจร Raspberry Pi

5. เมื่อทำการเชื่อมต่อถูกต้องแล้ว ให้ตรวจสอบค่าแอดเดรสของเซ็นเซอร์บนบัส I²C โดยใช้คำสั่ง i2cdetect -y 1

6. หากพบค่าแอดเดรสสำเร็จ จะแสดงบนเทอร์มินัล

7. ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของค่า หากมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเคลื่อนมือผ่านเซ็นเซอร์



**การใช้งาน**

เซ็นเซอร์ **MAX30100** นี้ใช้สำหรับวัด **อัตราการเต้นของหัวใจ** และ **ระดับออกซิเจนในเลือด (SpO2)** โดยการใช้แสงอินฟราเรดและแสงสีแดงในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในเส้นเลือด

**Data Logging**

นี่คือขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบระบบ ในขั้นตอนนี้ ช่องทางการสื่อสารบน ThingSpeak ถูกสร้างขึ้นเพื่อบันทึกข้อมูล

1. สมัครใช้งาน ThingSpeak

2. สร้างช่อง (Channel) ของตนเอง

3. รับ API Key ใน ThingSpeak

4. สร้างไฟล์โค้ดภาษา Python พร้อมนามสกุล .py

5. รันโค้ด Python

6. ดูค่าของเซ็นเซอร์ที่หน้าจอแสดงผล

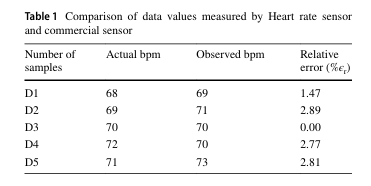
7. ตรวจสอบเว็บไซต์ ThingSpeak สำหรับการบันทึกข้อมูล

8. แผนภูมิในช่อง ThingSpeak ซึ่งจะแสดงกราฟต่างๆ ตามค่าที่เปลี่ยนแปลง

ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซ็นเซอร์ ซึ่งจับข้อมูลผ่าน Raspberry Pi จะถูกส่งไปยังหน้าจอแสดงผลเพื่อดูค่าที่เกี่ยวข้อง โดยการสร้างช่องบน ThingSpeak ข้อมูลที่ต้องการจะแสดงผลบนหน้าจอและถูกจัดเก็บบนคลาวด์พร้อมกันเพื่อใช้บันทึกข้อมูลในอนาคต ด้วยวิธีนี้ ข้อมูลที่ต้องการจะแสดงผลบนหน้าจอและถูกจัดเก็บบนคลาวด์ ซึ่งแพทย์สามารถดึงข้อมูลกลับมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปในอนาคต ข้อมูลจากคลาวด์สามารถเข้าถึงได้ง่ายโดยผู้ใช้และนักวิจัยคนอื่นๆ

**Result and Analysis**

ต้นแบบที่ออกแบบถูกทดสอบกับผู้ป่วยหรืออาสาสมัครหลายคนเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจสุขภาพ สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ พารามิเตอร์ของผู้ป่วย 4 รายการ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิร่างกาย ความดันโลหิต และค่า SPO2 ถูกวัด ประสิทธิภาพของระบบสามารถประเมินได้โดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้กับเซ็นเซอร์เชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| จำนวนตัวอย่าง | อัตราการเต้นของหัวใจจริง | อัตราการเต้นของหัวใจที่สังเกตได้ | ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ |
| D1 | 68 | 69 | 1.47 |
| D2 | 69 | 71 | 2.89 |
| D3 | 70 | 70 | 0.00 |
| D4 | 72 | 70 | 2.77 |
| D5 | 71 | 73 | 2.81 |

ตารางนี้แสดง **การเปรียบเทียบค่าข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจกับเซ็นเซอร์เชิงพาณิชย์** ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้:

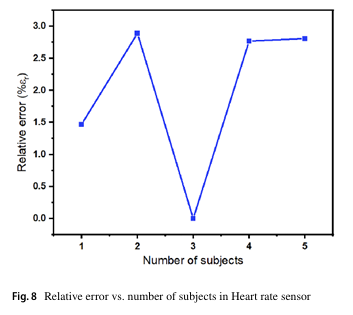
* **Number of samples (จำนวนตัวอย่าง)**: ตัวอย่าง D1 ถึง D5 ที่ใช้ในการวัด
* **Actual bpm (อัตราการเต้นของหัวใจจริง)**: ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่วัดได้จริง (bpm)
* **Observed bpm (อัตราการเต้นของหัวใจที่สังเกตได้)**: ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ
* **Relative error (%ϵr) (ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์)**: ความแตกต่างระหว่างค่าอัตราการเต้นของหัวใจจริงกับที่สังเกตได้ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์

**สรุปข้อมูลในตาราง:**

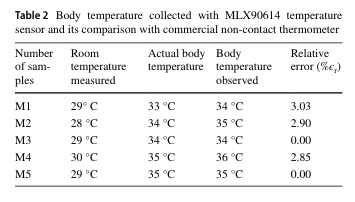
* ตัวอย่าง D1: อัตราการเต้นของหัวใจจริง 68 bpm และอัตราการเต้นที่สังเกตได้ 69 bpm มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 1.47%
* ตัวอย่าง D2: อัตราการเต้นของหัวใจจริง 69 bpm และอัตราการเต้นที่สังเกตได้ 71 bpm มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 2.89%
* ตัวอย่าง D3: อัตราการเต้นของหัวใจจริงและที่สังเกตได้ตรงกันที่ 70 bpm ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 0.00%
* ตัวอย่าง D4: อัตราการเต้นของหัวใจจริง 72 bpm และอัตราการเต้นที่สังเกตได้ 70 bpm มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 2.77%
* ตัวอย่าง D5: อัตราการเต้นของหัวใจจริง 71 bpm และอัตราการเต้นที่สังเกตได้ 73 bpm มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 2.81%

ข้อมูลนี้แสดงถึงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจโดยเซ็นเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจและเซ็นเซอร์เชิงพาณิชย์ โดยค่าอัตราการเต้นของหัวใจจริงและที่สังเกตได้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการวัดอัตราการเต้นของหัวใจกับ เซ็นเซอร์ทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าข้อผิดพลาดสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.00–2.89 รูปที่ 8 แสดงกราฟระหว่างข้อผิดพลาดสัมพัทธ์กับจำนวนอาสาสมัคร อุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยถูกวัดโดยเซ็นเซอร์ MLX90614 และเปรียบเทียบกับ เซ็นเซอร์ทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด แบบไม่สัมผัส



กราฟนี้แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของข้อผิดพลาดในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในอาสาสมัครแต่ละคน ซึ่งค่าข้อผิดพลาดมีการเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละการวัด



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| จำนวนตัวอย่าง | อุณหภูมิห้องที่วัดได้ | อุณหภูมิร่างกายจริง | อุณหภูมิร่างกายที่สังเกตได้ | ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ |
| M1 | 33°C | 33 °C | 34 °C | 3.03 |
| M2 | 28 °C | 34 °C | 35 °C | 2.90 |
| M3 | 29 °C | 34 °C | 34 °C | 0.00 |
| M4 | 30 °C | 35 °C | 36 °C | 2.85 |
| M5 | 29 °C | 35 °C | 35 °C | 0.00 |

ตารางนี้แสดง การรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิร่างกายที่วัดโดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ MLX90614 และเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัสทั่วไป (Table 2) โดยมีรายละเอียดดังนี้:

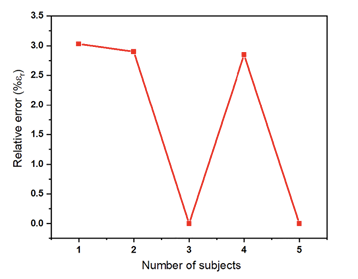
* Number of samples (จำนวนตัวอย่าง): ตัวอย่าง M1 ถึง M5 ที่ใช้ในการวัด
* Room temperature measured (อุณหภูมิห้องที่วัดได้): อุณหภูมิห้องในแต่ละตัวอย่าง (°C)
* Actual body temperature (อุณหภูมิร่างกายจริง): อุณหภูมิร่างกายจริงของผู้ป่วยในแต่ละตัวอย่าง (°C)
* Body temperature observed (อุณหภูมิร่างกายที่สังเกตได้): อุณหภูมิร่างกายที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ MLX90614 (°C)
* Relative error (%ϵr) (ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์): ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิร่างกายจริงกับอุณหภูมิที่สังเกตได้ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์

สรุปข้อมูลในตาราง:

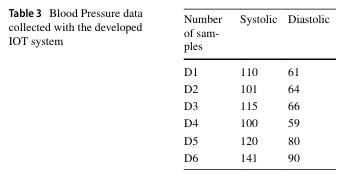
* ตัวอย่าง M1: อุณหภูมิร่างกายจริง 33°C อุณหภูมิที่สังเกตได้ 34°C มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 3.03%
* ตัวอย่าง M2: อุณหภูมิร่างกายจริง 34°C อุณหภูมิที่สังเกตได้ 35°C มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 2.90%
* ตัวอย่าง M3: อุณหภูมิร่างกายจริงและที่สังเกตได้ตรงกันที่ 34°C ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 0.00%
* ตัวอย่าง M4: อุณหภูมิร่างกายจริง 35°C อุณหภูมิที่สังเกตได้ 36°C มีข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 2.85%
* ตัวอย่าง M5: อุณหภูมิร่างกายจริงและที่สังเกตได้ตรงกันที่ 35°C ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ 0.00%

ข้อมูลนี้แสดงถึงความแตกต่างเล็กน้อยในการวัดอุณหภูมิร่างกายระหว่างเซ็นเซอร์ MLX90614 และเทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัสทั่วไป ซึ่งมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 2 พบว่าค่าข้อผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดคือ 3.03 ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น รวมถึงการวางตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ถูกต้อง รูปที่ 9 แสดงกราฟระหว่างข้อผิดพลาดสัมพัทธ์และจำนวนอาสาสมัครที่เกี่ยวข้องกับการวัดอุณหภูมิ



กราฟนี้แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของข้อผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิของอาสาสมัครแต่ละคน ซึ่งข้อผิดพลาดมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการวัดในแต่ละบุคคล



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| จำนวนตัวอย่าง | ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก  (ความดันโลหิตขณะที่หัวใจบีบตัว) | ค่าดายแอสโตลิก  (ความดันโลหิตขณะที่หัวใจคลายตัว) |
| D1 | 110 | 61 |
| D2 | 101 | 64 |
| D3 | 115 | 66 |
| D4 | 100 | 59 |
| D5 | 120 | 80 |
| D6 | 141 | 90 |

ตารางนี้แสดง **ข้อมูลความดันโลหิตที่รวบรวมได้จากระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้น** (Table 3) โดยประกอบไปด้วย:

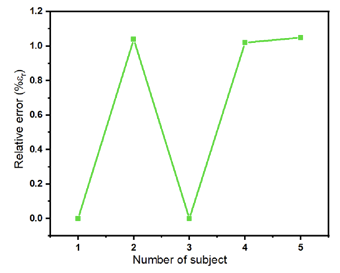
* **Number of samples (จำนวนตัวอย่าง)**: ตัวอย่าง D1 ถึง D6 ที่ใช้ในการวัด
* **Systolic (ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก)**: ค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (mmHg)
* **Diastolic (ค่าความดันโลหิตดายแอสโตลิก)**: ค่าความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (mmHg)

**สรุปข้อมูลในตาราง:**

* ตัวอย่าง D1: ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก 110 mmHg และค่าดายแอสโตลิก 61 mmHg
* ตัวอย่าง D2: ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก 101 mmHg และค่าดายแอสโตลิก 64 mmHg
* ตัวอย่าง D3: ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก 115 mmHg และค่าดายแอสโตลิก 66 mmHg
* ตัวอย่าง D4: ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก 100 mmHg และค่าดายแอสโตลิก 59 mmHg
* ตัวอย่าง D5: ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก 120 mmHg และค่าดายแอสโตลิก 80 mmHg
* ตัวอย่าง D6: ค่าความดันโลหิตซิสโตลิก 141 mmHg และค่าดายแอสโตลิก 90 mmHg

ข้อมูลนี้แสดงการวัดค่าความดันโลหิตในแต่ละตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยค่าความดันโลหิตทั้งขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวจากระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 3 จะแสดงความดันโลหิตถูกวัดโดยใช้ระบบปลอกแขนที่พัฒนาขึ้น



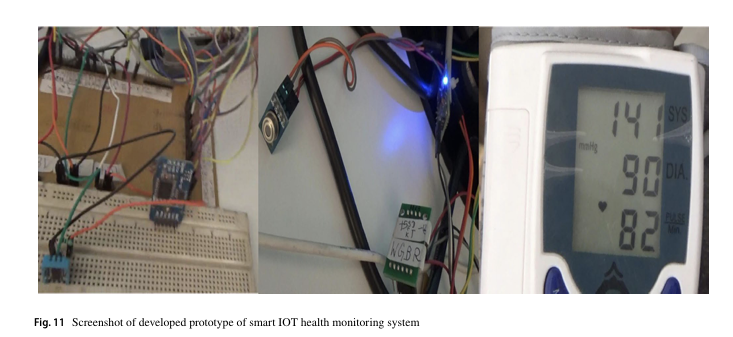
กราฟนี้แสดงถึงความแปรปรวนของข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ในการวัดค่าออกซิเจนในเลือด (SPO2) ซึ่งค่าเปลี่ยนแปลงตามแต่ละอาสาสมัคร

ระบบตรวจสุขภาพ IoT ที่พัฒนาขึ้นซึ่งแสดงการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์และการตรวจวัดความดันโลหิต แสดงในรูปที่ 11 สแนปชอตของเซิร์ฟเวอร์ออนไลน์ ThingSpeak ที่ใช้จัดเก็บข้อมูลผู้ป่วย แสดงในรูปที่ 12a–d ต้นแบบระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะนี้สามารถวางและติดตั้งบนเตียงของผู้ป่วย COVID-19 ข้อมูลที่วัดได้แบบเรียลไทม์จะถูกเก็บรวบรวม จัดเก็บ และส่งไปยังคลาวด์ จากแอปพลิเคชัน ThingSpeak บนคลาวด์ แพทย์สามารถเข้าถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วยเฉพาะรายได้

จุดเชื่อมต่อออนไลน์จะถูกแชร์กับพยาบาลและแพทย์เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบ ซึ่งลิงก์นี้สามารถเปิดได้จากสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ผู้ป่วยแต่ละรายจะถูกระบุตัวตนด้วยหมายเลขประจำตัวเฉพาะที่สร้างขึ้นเมื่อผู้ป่วยได้รับการรับตัวเพื่อตรวจและรักษา หากค่าพารามิเตอร์ของผู้ป่วยอยู่ในเกณฑ์ปกติ ผู้ป่วย COVID-19 อาจถูกย้ายออกจากหอผู้ป่วย COVID ระบบนี้จะช่วยแพทย์ในการตัดสินใจรักษาผู้ป่วย COVID-19 ได้

ข้อจำกัดของระบบนี้คือจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ชุดเดียวกันในการวัด อีกข้อจำกัดสำคัญคือเรื่องความปลอดภัย เนื่องจากอาจมีการแอบปลอมข้อมูลได้ ดังนั้นจึงอาจต้องมีการใช้คลาวด์ที่มีเทคโนโลยีการเข้ารหัสแยกต่างหากเพื่อทำให้ระบบปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ข้อมูลจะถูกเข้ารหัสก่อนที่จะถูกแชร์ให้กับแพทย์ อัพเกรดในอนาคตอาจรวมถึงการเชื่อมโยงใบสั่งยาของผู้ป่วยกับหมายเลขประจำตัวของประเทศหรือบัตรสุขภาพดิจิทัล สำหรับการตรวจติดตามผู้ป่วยรายบุคคล ควรมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ชีวการแพทย์แยกต่างหากให้กับเตียงผู้ป่วย COVID-19 แต่ละราย

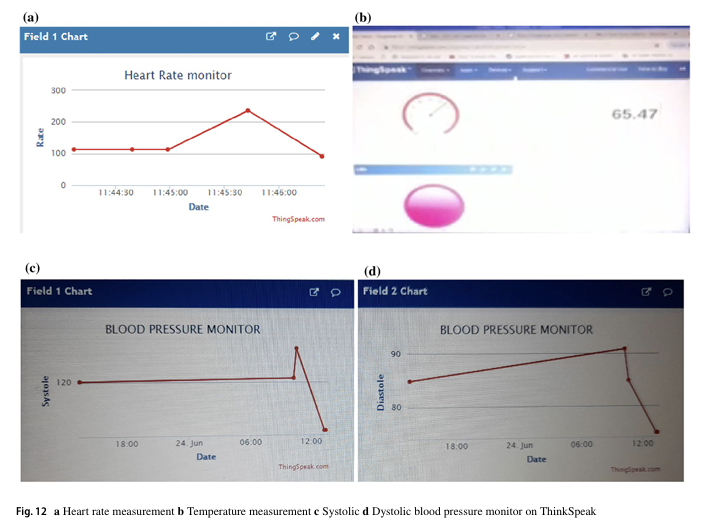
ข้อดีเพิ่มเติมของระบบนี้คือสามารถนำไปใช้กับการรักษาผู้ป่วยที่ไม่ใช่ COVID-19 ได้ และต้นทุนของระบบค่อนข้างต่ำ ระบบอัจฉริยะนี้สามารถลดภาระของโรงพยาบาลและแพทย์ได้ ซึ่งช่วยในการตรวจพบและรักษาโรค COVID-19 ได้อย่างรวดเร็ว ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อสังคมในวงกว้าง โดยเฉพาะคนที่มีรายได้ต่ำซึ่งพึ่งพาโรงพยาบาลของรัฐบาลเป็นหลัก เนื่องจากต้นทุนต่ำ ระบบนี้จึงสามารถติดตั้งได้ง่ายและช่วยเหลือผู้ป่วยได้อย่างมาก



ภาพนี้แสดง **ภาพหน้าจอของต้นแบบระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่ใช้ IoT** ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์หลายตัวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงระบบการตรวจวัดความดันโลหิต

* **ด้านซ้าย**: เป็นส่วนของการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ระหว่างเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นวงจรต้นแบบ (breadboard)
* **ด้านขวา**: แสดงการวัดความดันโลหิตที่ถูกแสดงผลผ่านจอแสดงผลของเครื่องวัดความดันโลหิต โดยค่าความดันตัวบน (SYS) คือ 141 mmHg ความดันตัวล่าง (DIA) คือ 90 mmHg และอัตราการเต้นของหัวใจ (PULSE) คือ 82 bpm

ภาพนี้แสดงถึงความสามารถของต้นแบบในการวัดและแสดงผลค่าพารามิเตอร์สุขภาพที่สำคัญแบบเรียลไทม์ เช่น ความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งสามารถส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์เพื่อการติดตามและวิเคราะห์เพิ่มเติม



ภาพนี้แสดง **สแนปชอตของการแสดงผลการตรวจสุขภาพแบบออนไลน์บน ThingSpeak** ซึ่งประกอบด้วยการวัดค่าทางสุขภาพที่สำคัญต่างๆ โดยข้อมูลถูกแสดงผ่านกราฟและหน้าจอแสดงผลของ ThingSpeak ดังนี้:

1. **รูป (a)**: แสดง **กราฟการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Monitor)** ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงเวลาต่างๆ
   * แกนแนวตั้ง: อัตราการเต้นของหัวใจ (Rate)
   * แกนแนวนอน: วันและเวลา (Date)
2. **รูป (b)**: แสดง **การวัดอุณหภูมิ (Temperature Measurement)** โดยค่าอุณหภูมิแสดงที่หน้าจอซึ่งแสดงอุณหภูมิอยู่ที่ 65.47 หน่วย
3. **รูป (c)**: แสดง **กราฟการวัดความดันโลหิตตัวบน (Systolic Blood Pressure Monitor)** ที่แสดงค่า Systolic (ความดันตัวบน) ในช่วงเวลาต่างๆ
   * แกนแนวตั้ง: ค่า Systolic
   * แกนแนวนอน: วันและเวลา (Date)
4. **รูป (d)**: แสดง **กราฟการวัดความดันโลหิตตัวล่าง (Diastolic Blood Pressure Monitor)** ที่แสดงค่า Diastolic (ความดันตัวล่าง) ในช่วงเวลาต่างๆ
   * แกนแนวตั้ง: ค่า Diastolic
   * แกนแนวนอน: วันและเวลา (Date)

กราฟเหล่านี้แสดงถึงข้อมูลสุขภาพที่ได้รับการวัดและบันทึกจากเซ็นเซอร์ต่างๆ และถูกส่งขึ้นไปยัง ThingSpeak เพื่อให้แพทย์สามารถตรวจสอบข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านอินเทอร์เน็ต

**Conclusion**

ระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่เสนอให้ ช่วยให้แพทย์สามารถระบุข้อมูลของผู้ป่วยแต่ละรายได้อย่างง่ายดายจากหน้าจอแสดงผลที่สถานที่ทำงานของพวกเขา แพทย์สามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าก่อนหน้าและค่าปัจจุบันของผู้ป่วยแต่ละรายได้ นอกจากการบันทึกข้อมูลบนคลาวด์แล้ว เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ยังเปิดโอกาสให้เพิ่มฟีเจอร์หรือประโยชน์ที่ก้าวหน้าขึ้น รวมถึงเพิ่มเซ็นเซอร์ทางชีวการแพทย์เพิ่มเติมเข้าในระบบนี้ได้อีกด้วย ดังนั้น เทคโนโลยี IoT ทำให้ระบบตรวจสุขภาพนี้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถอัปเดตได้ในอนาคต

ในงานวิจัยที่เสนอครั้งนี้ เราได้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีเพื่อให้ชีวิตของผู้ป่วยง่ายขึ้นในด้านการวินิจฉัยและการรักษาโดยการตรวจสอบความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับออกซิเจน และอุณหภูมิของผู้ป่วย ดังนั้น การติดตามและรักษาผู้ป่วย COVID-19 แบบไม่สัมผัสจึงเป็นไปได้มากด้วยการใช้ระบบตรวจสุขภาพอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นโดย IoT

ความท้าทายหลักในต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้คือการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วย และความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลได้ในเวลาที่กำหนดโดยมีความล่าช้าน้อย หนึ่งในวิธีการคือการเข้ารหัสข้อมูลซึ่งจะช่วยป้องกันข้อมูลจากการละเมิดความปลอดภัย วิธีนี้สามารถทำได้ด้วยการใช้เทคนิคการประมวลผลเอดจ์ (Edge Computing) ที่ช่วยให้ข้อมูลผู้ป่วย COVID-19 สามารถเข้าถึงได้ตามความต้องการเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์

การนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เช่น LSTM มาใช้งาน จะช่วยระบุผู้ป่วย COVID-19 ที่มีแนวโน้มจะติดเชื้อจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ลดภาระของโรงพยาบาลและบริการสุขภาพได้

**Funding** งานวิจัยนี้ไม่ได้รับทุนสนับสนุนใดๆ จากหน่วยงานด้านการเงินในภาครัฐ ภาคเอกชน หรือองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร

**Declarations**

**Conflict of interest :** ผู้เขียนทุกคนขอประกาศว่าไม่มีความขัดแย้งทางผลประโยชน์ใดๆ

**Ethical approval :** บทความนี้ไม่ได้มีการศึกษาใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ที่ดำเนินการโดยผู้เขียนคนใดๆ

**Informed consent :** ได้รับการยินยอมที่ได้รับการแจ้งจากผู้เข้าร่วมการศึกษาแต่ละรายทั้งหมดแล้ว

**References**

**1. Momtazmanesh S, et al. All together to fight COVID-19. Am J Trop Med Hyg. 2020;102(6):1181–3.**

**2. Iftekhar EN, et al. A look into the future of the COVID-19 pan demic in Europe: an expert consultation. Lancet Reg Health Eur. 2021;8:100185.**

**3. Thapliyal H, et al. Consumer Technology-based solutions for COVID-19. IEEE Consumer Electron Mag. 2021;10(2):64–5.**

**4. Priesemann V, et al. Towards a European strategy to address the COVID-19 pandemic. Lancet. 2021;398(10303):838–9.**

**5. Islam MM, Rahaman A, Islam MR. Development of smart health care monitoring system in IoT environment. SN Comput Sci. 2020;1(3):185.**

**6. Valsalan P, Baomar TAB, Baabood AHO. IOT based health moni toring system. J Crit Rev. 2020;7(4):739–43.**

**7. Senthamilarasi C, et al. A smart patient health monitoring system using IoT. Int J Pure Appl Math. 2018;119(16):59–70.**

**8. Islam SMR, et al. The Internet of things for health care: a com prehensive survey. IEEE Access. 2015;3:678–708.**

**9. Cirani S, Picone M. Wearable computing for the internet of things. IT Prof. 2015;17(5):35–41.**

**10. Guberović, E., T. Lipić, and I. Čavrak. Dew intelligence: feder ated learning perspective. in 2021 IEEE 45th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC). 2021.**

**11. do Nascimento LM, et al. Sensors and systems for physi cal rehabilitation and health monitoring—A review. Sensors. 2020;20(15):4063.**

**12. Li X, et al. Digital health: tracking physiomes and activity using wearable biosensors reveals useful health-related information. PLoS Biol. 2017;15(1):e2001402.**

**13. Bahmani A, et al. A scalable, secure, and interoperable plat form for deep data-driven health management. Nat Commun. 2021;12(1):5757.**

**14. Anuar, H. and P.L. Leow. Non-invasive core body temperature sensor for continuous monitoring. in 2019 IEEE International Conference on Sensors and Nanotechnology. 2019.**

**15. Huang, P., et al. An embedded non-contact body temperature measurement system with automatic face tracking and neural network regression. in 2016 International Automatic Control Conference (CACS). 2016.**

**16. Rahaman A, et al. Developing IoT based smart health monitoring systems: a review. Rev d’Intell Artif. 2019;33(6):435–40.**

**17. Huang M, et al. A wearable thermometry for core body tem perature measurement and its experimental verification. IEEE J Biomed Health Inform. 2017;21(3):708–14.**

**18. Albahri AS, et al. IoT-based telemedicine for disease prevention and health promotion: State-of-the-Art. J Netw Comput Appl. 2021;173:102873.**

**19. Hong-tan L, et al. Big data and ambient intelligence in IoT-based wireless student health monitoring system. Aggress Violent Behav. 2021.** [**https://doi.org/10.1016/j.avb.2021.101601**](https://doi.org/10.1016/j.avb.2021.101601)**.**

**20. Sharma N, et al. A smart ontology-based IoT framework for remote patient monitoring. Biomed Signal Process Control. 2021;68:102717.**

**21. Al Bassam N, et al. IoT based wearable device to monitor the signs of quarantined remote patients of COVID-19. Inform Med Unlocked. 2021;24:100588.**

**22. Paganelli AI, et al. A conceptual IoT-based early-warning archi tecture for remote monitoring of COVID-19 patients in wards and at home. Internet Things. 2021. https:// doi. org/ 10. 1016/j. iot. 2021. 100399.**

**23. Moghadas E, Rezazadeh J, Farahbakhsh R. An IoT patient moni toring based on fog computing and data mining: cardiac arrhyth mia usecase. Internet Things. 2020;11:100251.**

**24. Akhbarifar S, et al. A secure remote health monitor ing model for early disease diagnosis in cloud-based IoT environment. Pers Ubiquit Comput. 2020. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00779-020-01475-3.**

**25. Alhussein M, et al. Cognitive IoT-cloud integration for smart healthcare: case study for epileptic seizure detection and moni toring. Mobile Netw Appl. 2018;23(6):1624–35.**

**26. Bhatia M, Kaur S, Sood SK. IoT-inspired smart home based urine infection prediction. J Ambient Intell Human Comput. 2020.** [**https://doi.org/10.1007/s12652-020-01952-w**](https://doi.org/10.1007/s12652-020-01952-w)**.**

**27. Kadhim KT, et al. An overview of patient’s health status monitor ing system based on internet of things (IoT). Wireless Pers Com mun. 2020;114(3):2235–62.**

**28. Kondaka LS, et al. An intensive healthcare monitoring paradigm by using IoT based machine learning strategies. Multimed Tools Appl. 2021. https://doi.org/10.1007/s11042-021-11111-8.**

**29. Li W, et al. A comprehensive survey on machine learning-based big data analytics for IoT-enabled smart healthcare system. Mobile Netw Appl. 2021;26(1):234–52.**

**30. Manocha A, et al. IoT-inspired machine learning-assisted sed entary behavior analysis in smart healthcare industry. J Ambi ent Intell Human Comput. 2021. https:// doi. org/ 10. 1007/ s12652-021-03371-x.**

**31. Onasanya A, Elshakankiri M. Smart integrated IoT healthcare system for cancer care. Wireless Netw. 2019;27(6):4297–312.**

**32. Otoom M, et al. An IoT-based framework for early identification and monitoring of COVID-19 cases. Biomed Signal Process Con trol. 2020;62:102149.**

**33. Poongodi M, et al. Smart healthcare in smart cities: wire less patient monitoring system using IoT. J Supercomput. 2021;7(11):12230–55.**

**34. Wan J, et al. Wearable IoT enabled real-time health monitoring system. EURASIP J Wirel Commun Netw. 2018;2018(1):298.**

**35. Uslu BÇ, Okay E, Dursun E. Analysis of factors affecting IoT based smart hospital design. J Cloud Comput. 2020;9(1):67.**

**36. Singh RP, et al. Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. Diabetes Metab Syndr. 2020;14(4):521–4.**

**37. Kumar K, Kumar N, Shah R. Role of IoT to avoid spreading of COVID-19. Int J Intell Netw. 2020;1:32–5.**

**38. Sheares GJ. Internet of Things-enabled smart devices, biomedical big data, and real-time clinical monitoring in COVID-19 patient health prediction. Am J Med Res. 2020;7(2):64–70.**

**Publisher's Note :** Springer Nature ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือถือฝ่ายในข้อเรียกร้องทางเขตอำนาจศาลที่ปรากฏในแผนที่ที่ตีพิมพ์และความสัมพันธ์กับสถาบันต่างๆ