

การพัฒนาระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติสำหรับการทดสอบทางกีฬา

ศศิธรณ์ พานทอง^{1*}, นริศรา พงษ์นิสาร¹, นิตยา สัมมะจารินทร์¹ และ กวีญา สินธรา²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา

*sasirom.pa@buu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินสมรรถนะของระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติสำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬา โดยมุ่งเน้นการเพิ่มความแม่นยำ ความเสถียรในการทำงาน และประสิทธิภาพในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ระบบที่พัฒนาขึ้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ร่วมกับเซนเซอร์วัดแรงกดชนิดเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Sensor) สำหรับตรวจจับสัญญาณการแตะ ณ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการทดสอบ และใช้การสื่อสารไร้สายผ่านโปรโตคอล UDP เพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรองแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ระบบถูกออกแบบเพื่อควบคุมลำดับการประมวลผลและลดความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวน การประเมินสมรรถนะของระบบดำเนินการทั้งในสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการและการใช้งานจริง โดยครอบคลุมการทดสอบค่าความไวของเซนเซอร์ความสามารถในการตรวจจับแรงสัมผัสบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน ความแม่นยำในการจับเวลา การแสดงผลข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูล ผลการทดลองพบว่าค่าเกณฑ์ของเซนเซอร์วัดแรงกดชนิดเพียโซอิเล็กทริกที่ระดับ 220 ให้ความสมดุลระหว่างความไวและความเสถียรในการตรวจจับสัญญาณได้ดีที่สุด ระบบมีค่าความหน่วงในการสื่อสารเฉลี่ย 12.7 มิลลิวินาที และค่าความคลาดเคลื่อนในการจับเวลาอยู่ในช่วง ± 0.02 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับนาฬิกาจับเวลามาตรฐาน ทั้งนี้ ระบบสามารถบันทึกและแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ดออนไลน์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งผลการทดสอบจริงยืนยันว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงในการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬา และมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเพื่อรองรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบจับเวลาอัตโนมัติ เซนเซอร์วัดแรงกดชนิดเพียโซอิเล็กทริก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

Development of an Automatic Timing and Distance Measurement System for Sports Performance Testing

Sasirom Pantong^{1*}, Narissara Phuetthisan¹, Nittaya Sammajarin¹ and Kawiya Sintara²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

²Faculty of Sport Science, Burapha University

*sasirom.pa@buu.ac.th

Abstract

This paper aimed to develop and evaluate an automated timing and distance measurement system for sports performance testing, focusing on improving measurement accuracy, operational stability, and data management efficiency. The proposed system utilizes an ESP32 microcontroller as the core processing unit, integrated with piezoelectric pressure sensors to detect touch signals at both start and end points. Real-time data transmission between primary and secondary units is achieved via the UDP protocol, while the system architecture is designed to minimize signal interference and processing errors. System performance was evaluated under both laboratory and field conditions, including sensor sensitivity, touch detection across various surface types, timing accuracy, data visualization, and storage capability. Experimental results indicated that a sensor threshold value of 220 provided the optimal balance between sensitivity and detection stability. The system achieved an average communication latency of 12.7 ms and a timing error within ± 0.02 s compared to a standard stopwatch. Furthermore, the system demonstrated efficient real-time data recording and visualization through an online dashboard. Field test results confirmed its suitability for practical applications in sports performance assessment, with potential for future extension toward advanced data analytics and intelligent training systems.

Keywords: Automatic timing system, Piezoelectric sensor, ESP32 Microcontroller

1. บทนำ

การประเมินสมรรถภาพทางกายด้านความเร็วและเวลาปฏิกิริยาตอบสนองถือเป็นองค์ประกอบในการวิเคราะห์ศักยภาพและติดตามพัฒนาการของนักกีฬาในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาและการฝึกซ้อม โดยเฉพาะในกลุ่มกีฬาที่ต้องอาศัยการตอบสนองเชิงกลที่รวดเร็วและความแม่นยำสูง เช่น กรีฑา ฟุตบอล และกีฬาประเภทต่อสู้ งานวิจัยหลายฉบับระบุว่าเวลาปฏิกิริยาตอบสนองสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ รวมถึงประสิทธิภาพในการตัดสินใจภายใต้สถานการณ์การแข่งขันของนักกีฬาได้อย่างมีนัยสำคัญ [1, 2] นอกจากนี้ การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อติดตามตัวแปรการฝึกซ้อมที่เฉพาะเจาะจง เช่น เวลาสัมผัสพื้นและเวลาลอยตัวในอากาศ [3] หรือการทดสอบแรงปฏิกิริยาจากพื้น [4] จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงเวลาที่มีความละเอียดและความเที่ยงตรงในระดับมิลลิวินาที เพื่อให้ผู้ฝึกสอนและนักวิทยาศาสตร์การกีฬาสามารถประเมินสมรรถภาพ ทำการเคลื่อนไหวก่อน และออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมเฉพาะบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สูงสุด อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพทางกายทั่วไปยังคงนิยมใช้วิธีการการบันทึกเวลาด้วยบุคคล (Manual Timekeeping) หรือใช้มนุษย์ควบคุมการจับเวลา (Manual Timing) โดยอาศัยผู้ควบคุมการทดสอบและนาฬิกาจับเวลา แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะมีต้นทุนต่ำและสะดวกต่อการใช้งาน แต่กลับมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำอันเนื่องมาจากเวลาปฏิกริยาของมนุษย์ ซึ่งงานวิจัยของ Faux และ Godolphin [5] ระบุว่า การจับเวลาแบบแมนนวลก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงถึง 0.1–0.2 วินาที ซึ่งส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือและความสม่ำเสมอของข้อมูลการประเมิน นอกจากนี้การฝึกซ้อมและการประเมินทักษะทางกีฬาแบบดั้งเดิมยังมักอาศัยการประเมินด้วยสายตาและการให้คำแนะนำตามความรู้สึกส่วนบุคคล [6] ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ทรัพยากรบุคคลสูงและขาดความเที่ยงตรงเชิงวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาระบบจับเวลาอัตโนมัติ เช่น ระบบลำแสงอินฟราเรด ระบบเลเซอร์จับเวลาหรือระบบติดตามการเคลื่อนไหว เพื่อเพิ่มความแม่นยำเชิงเวลาและจัดข้อผิดพลาดจากปัจจัยมนุษย์ และสนับสนุนการป้อนข้อมูลย้อนกลับทางชีวกลศาสตร์แบบเรียลไทม์ [7] เพื่อเร่งกระบวนการเรียนรู้ทักษะกลไกของนักกีฬา ทว่าระบบพาสซีฟและระบบติดตามทางอ้อมดังกล่าวเหล่านั้นมักมีราคาสูง โครงสร้างทะเทอะทะเคลื่อนย้ายยาก มีความซับซ้อนและข้อจำกัดในการติดตั้งใช้งานในภาคสนาม ตลอดจนยังขาดระบบฐานข้อมูลดิจิทัลที่จัดเก็บอย่างต่อเนื่องเพื่อบันทึกพฤติกรรม การตอบสนองของผู้เล่นในระยะยาว [8] ขณะเดียวกัน การประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับเซนเซอร์วัดแรงกด หรือเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก บนอุปกรณ์ฝึกซ้อม แม้จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มความยืดหยุ่นได้ [3, 4, 8] แต่ในขั้นตอนการสื่อสารและส่งผ่านสัญญาณไร้สาย มักประสบปัญหาความล่าช้าหรือความหน่วงของระบบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของเวลาในระดับมิลลิวินาที ยิ่งไปกว่านั้น ระบบตรวจจับเชิงกลในปัจจุบันยังคงเผชิญความท้าทายสำคัญเกี่ยวกับปัญหาสัญญาณรบกวนจากแรงสั่นสะเทือนหรือการเคลื่อนไหวของสิ่งแวดล้อมรอบข้างที่ส่งผ่านโครงสร้างอุปกรณ์ ส่งผลให้ระบบเกิดการตรวจจับผิดพลาด และลดทอนเสถียรภาพในการวัดผล [4,7] จากงานวิจัยข้างต้น ชี้ให้เห็นว่ายังคงมีช่องว่างความรู้และข้อจำกัดในการพัฒนาระบบจับเวลาอัตโนมัติที่สามารถรักษาสมดุลระหว่าง ความแม่นยำเชิงเวลา เสถียรภาพของระบบตรวจจับสัญญาณ ต้นทุนที่เหมาะสมและความสามารถในการจัดเก็บพร้อมทั้งแสดงผลข้อมูลเพื่อรองรับการวิเคราะห์พัฒนาการระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบูรณาการระบบร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและการสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับการประมวลผลแบบเรียลไทม์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติสำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬา โดยประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ร่วมกับเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก ในการตรวจจับแรงสัมผัสเชิงกล และเลือกใช้โปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์ความหน่วงต่ำระหว่างอุปกรณ์ นอกจากนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นยังได้บรรจุอัลกอริทึมการกรองสัญญาณด้วยเทคนิค Threshold Filtering เพื่อขจัดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนรอบข้าง ซึ่งระบบต้นแบบนี้จะสามารถจัดข้อผิดพลาดจากปัจจัยมนุษย์ เพิ่มความเที่ยงตรงของการจับเวลาในระดับมิลลิวินาที และยกระดับการบริหารจัดการข้อมูลสมรรถภาพทางกายไปสู่รูปแบบฐานข้อมูลดิจิทัลเพื่อการวิเคราะห์ในเชิงวิชาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

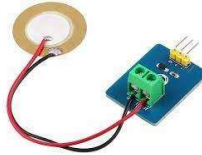
2.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์ในระบบ

ระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติสำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬาได้รับการพัฒนาโดยอาศัยเทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อรองรับการตรวจจับเหตุการณ์ การประมวลผลข้อมูล และการสื่อสารแบบเรียลไทม์ โดยส่วนประกอบฮาร์ดแวร์หลักของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 1

2.2 ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ในระบบ

ซอฟต์แวร์ของระบบได้รับการออกแบบให้รองรับการตรวจจับเหตุการณ์แบบเรียลไทม์ การประมวลผลข้อมูล และการจัดเก็บผลการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นส่วนประกอบหลักดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด/หน้าที่	รูปอุปกรณ์
โมดูล ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-WROOM-32	ESP32-WROOM-32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูงที่พัฒนาโดยบริษัท Espressif Systems ภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลแบบ Dual-Core พร้อมโมดูล Wi-Fi และ Bluetooth ในตัว ทำให้เหมาะสำหรับการพัฒนาระบบ IoT ที่ต้องการการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย ระบบที่พัฒนาขึ้นเลือกใช้ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลักและหน่วยประมวลผลรองสำหรับรับข้อมูลจากเซนเซอร์ ประมวลผลเหตุการณ์การสัมผัส และรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ผ่านเครือข่าย Wi-Fi	
เซ็นเซอร์วัด แรงสั่นสะเทือน แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Vibration Sensor)	เซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการ Piezoelectric Effect ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานกลที่เกิดจากแรงกดหรือแรงกระแทกให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้โดยตรง เมื่อผู้ทดสอบสัมผัสบริเวณเซนเซอร์ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะส่งเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดสอบ ข้อดีของเซนเซอร์ชนิดนี้คือมีขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ ตอบสนองต่อแรงกระแทกได้รวดเร็ว และเหมาะสำหรับงานตรวจจับเหตุการณ์ที่ต้องการความละเอียดของเวลาในระดับมิลลิวินาที	
โมดูลขยายพอร์ต I/O PCF8574T (I/O Expander Module)	PCF8574T เป็นโมดูลขยายพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O Expander) ที่สื่อสารผ่านโปรโตคอล I2C ช่วยเพิ่มจำนวนขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้สายสื่อสารเพียงสองเส้น ได้แก่ SDA และ SCL ในระบบนี้ถูกนำมาใช้ร่วมกับจอ LCD เพื่อช่วยลดจำนวนขา GPIO ที่ถูกใช้งานบน ESP32 และเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์	

2.2.1 Arduino IDE สำหรับพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการเขียน แก๊ซ และอัปโหลดโปรแกรมเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยใช้ภาษา C/C++ เป็นหลัก ซอฟต์แวร์ดังกล่าวมีไลบรารีที่รองรับการสื่อสารเครือข่าย การอ่านค่าเซนเซอร์ และการควบคุมอุปกรณ์ต่อพ่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2 ระบบสื่อสารไร้สายผ่านโปรโตคอล UDP ระบบใช้การสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่าย Wi-Fi โดยอาศัยโปรโตคอล User Datagram Protocol ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรอง เนื่องจาก UDP มีโครงสร้างข้อมูลขนาดเล็ก ไม่ต้องมีกระบวนการสร้างการเชื่อมต่อก่อนส่งข้อมูล ส่งผลให้มีค่าความหน่วงต่ำและเหมาะสมกับระบบตรวจจับเหตุการณ์ที่ต้องการการตอบสนองแบบทันที

2.2.3 อัลกอริทึมการจับเวลา (Timing Algorithm) การจับเวลาของระบบอาศัยฟังก์ชัน millis() ของ ESP32 ซึ่งสามารถนับเวลาต่อเนื่องในหน่วยมิลลิวินาที โดยระบบจะบันทึกเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของเหตุการณ์ที่ตรวจจับได้จากเซนเซอร์ แล้วนำมาคำนวณช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ทำให้สามารถวัดเวลาได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมกับการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬา

2.2.4 การควบคุมสถานะการทำงานด้วย State Machine ระบบถูกออกแบบด้วยแนวคิด State Machine เพื่อจัดการลำดับการทำงานของระบบอย่างเป็นระบบช่วยลดความซับซ้อนของโปรแกรมและเพิ่มความเร็วในการทำงานของระบบ โดยแบ่งสถานะการทำงานออกเป็น 3 สถานะหลัก ได้แก่

- Ready State: ระบบอยู่ในสถานะพร้อมทำงานและรอการเริ่มต้นทดสอบ
- Running State: ระบบเริ่มจับเวลาและประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์
- Finish State: ระบบหยุดการทดสอบ คำนวณผลลัพธ์ และแสดงผลการทำงาน

2.2.5 Sensor Calibration Module เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับแรงสัมผัส ระบบได้พัฒนาโมดูลปรับเทียบเซนเซอร์สำหรับกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ของสัญญาณที่อ่านได้จากเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก การกำหนดค่า Threshold ที่เหมาะสมช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน (Noise) และป้องกันการตรวจจับเหตุการณ์ผิดพลาด (False Trigger)

2.2.6 Data Output & Display Module เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ระบบจะแสดงผลผ่านจอ LCD แบบเรียลไทม์ พร้อมส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลส่วนกลางเพื่อจัดเก็บในรูปแบบ CSV และ Google Sheet โดยอัตโนมัติ ข้อมูลที่บันทึกสามารถนำไปวิเคราะห์และแสดงผลผ่าน Dashboard ออนไลน์เพื่อสนับสนุนการประเมินสมรรถนะของนักศึกษาในระยะยาว

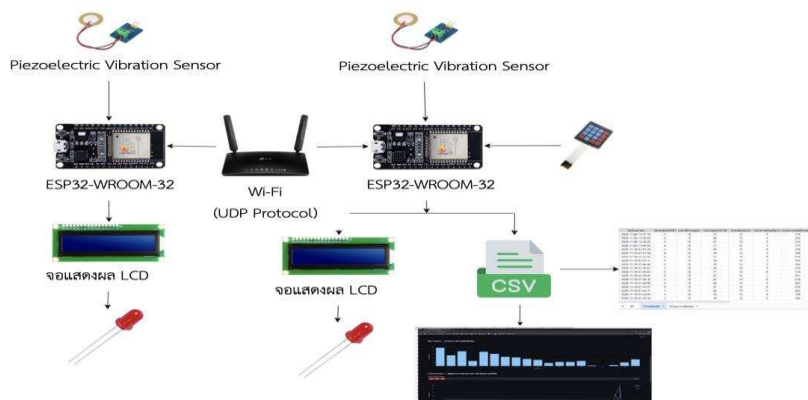
2.2.7 วิธีการอ่านค่าเซนเซอร์ ซึ่งระบบอ่านค่า Piezoelectric Sensor ระบบเลือกใช้วิธีการตรวจจับแบบ Polling-Based Detection โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าจากเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกอย่างต่อเนื่องภายในลูปหลักของโปรแกรม ทำให้สามารถตอบสนองต่อแรงสัมผัสที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการตรวจจับ ระบบได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Threshold Filtering ร่วมกับ Window Processing โดยกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมจากผลการทดลอง และตรวจสอบความต่อเนื่องของสัญญาณภายในช่วงเวลาประมาณ 5–10 มิลลิวินาที ก่อนยืนยันว่าเป็นเหตุการณ์การสัมผัสจริง นอกจากนี้ ระบบไม่ได้ใช้การตรวจจับแบบ Interrupt เนื่องจากสัญญาณจากเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความแหลมคมและอาจก่อให้เกิดการกระตุ้นซ้ำหลายครั้ง (Multiple Triggering) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการจับเวลาได้ การใช้วิธี Polling ร่วมกับการกรองสัญญาณจึงให้ผลลัพธ์ที่มีเสถียรภาพและเหมาะสมกับลักษณะการทำงานของระบบมากกว่า

3. หลักการแนวคิดและการออกแบบโครงงาน

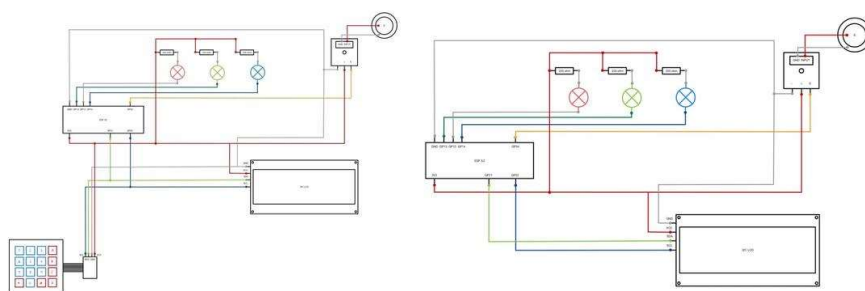
3.1 แนวคิดและสถาปัตยกรรมภาพรวมของระบบ

ระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติสำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬาได้รับการออกแบบโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับระบบสมองกลฝังตัว เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับเหตุการณ์เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดสอบ ลดความคลาดเคลื่อนจากการจับเวลาโดยมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในภายหลัง สถาปัตยกรรมของระบบประกอบด้วยหน่วยประมวลผลหลัก (Main Unit) และหน่วยตรวจจับสัญญาณ (Sub Unit) ซึ่งเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi โดยใช้โปรโตคอล UDP สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ โปรโตคอลดังกล่าวมีจุดเด่นด้านความหน่วงต่ำและใช้ทรัพยากรระบบน้อย จึงเหมาะสำหรับงานจับเวลาที่ต้องการความละเอียดในระดับมิลลิวินาทีระบบถูกออกแบบให้รองรับการทดสอบสมรรถภาพทางกาย 2 รูปแบบ ได้แก่ โหมดกำหนดเวลา (Time-Limit Mode) และโหมดกำหนดระยะทาง (Distance-Bound Mode) โดยทั้งสองโหมดใช้หลักการตรวจจับการสัมผัสจากเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งบนบอร์ดหลักและบอร์ดรอง เมื่อผู้ทดสอบสัมผัสเซนเซอร์ ระบบจะบันทึกเหตุการณ์และส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลหลักเพื่อดำเนินการจับเวลา คำนวณผลการทดสอบ และแสดงผลแบบเรียลไทม์ ดังแสดงในภาพที่ 1

การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบอร์ดหลักและบอร์ดรองประกอบด้วย ESP32, Piezoelectric Sensor, LCD Display, LED Indicator และ Keypad สำหรับการกำหนดค่าการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ภาพรวมของระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติ



(ก) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของบอร์ดหลัก

(ข) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของ บอร์ดรอง

ภาพที่ 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบอร์ดหลักและบอร์ดรอง

3.2 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้างการทำงานของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

3.2.1 ระบบตรวจจับและประมวลผล (Sensing and Processing System) ระบบตรวจจับและประมวลผลทำหน้าที่ตรวจจับเหตุการณ์การสัมผัสของผู้ทดสอบและคำนวณผลการทดสอบตามโหมดที่เลือกใช้งาน โดยใช้เซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งบนบอร์ดหลักและบอร์ดรองสำหรับตรวจจับแรงกระแทกหรือแรงสัมผัสจากนักกีฬา เมื่อเกิดการสัมผัส เซนเซอร์จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งจะประมวลผลสัญญาณด้วยเทคนิค Threshold Filtering เพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนและป้องกันการตรวจจับผิดพลาด จากนั้นข้อมูลเหตุการณ์จะถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังหน่วยประมวลผลหลักเพื่อบันทึกเวลาและคำนวณผลการทดสอบ ในกรณีของโหมดกำหนดเวลา ระบบจะนับจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของนักกีฬาและคำนวณระยะทางรวมที่สามารถทำได้ภายในเวลาที่กำหนด ส่วนในโหมดกำหนดระยะทาง ระบบจะคำนวณระยะทางสะสมจากจำนวนครั้งที่มีการสัมผัสเซนเซอร์และหยุดจับเวลาเมื่อครบระยะทางเป้าหมายที่กำหนดไว้

3.2.2 ระบบแสดงผลและบันทึกข้อมูล (Display and Logging System) ระบบแสดงผลและบันทึกข้อมูลทำหน้าที่แสดงผลสถานะการทำงานของระบบและจัดเก็บผลการทดสอบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของนักกีฬา การแสดงผลแบบเรียลไทม์ดำเนินการผ่านจอ LCD ขนาด 16x2 ซึ่งแสดงข้อมูลสถานะการทำงาน ค่าที่กำหนด และผลการทดสอบ ขณะที่ LED Indicator จำนวน 3 สี ใช้แสดงสถานะของระบบ ได้แก่ สถานะพร้อมใช้งาน (Ready) สถานะกำลังทดสอบ (Running) และสถานะสิ้นสุดการทดสอบ (Finish) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าการทดสอบผ่าน Keypad โดยเลือกโหมดการทำงานและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (TimeLimit) หรือระยะทางเป้าหมาย (TargetDist) ตามรูปแบบการ

ทดสอบที่ต้องการ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ระบบจะส่งข้อมูลผลลัพธ์ไปยังฐานข้อมูลกลางผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลในรูปแบบ CSV หรือ Google Sheet โดยอัตโนมัติ ข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วยเวลาการทดสอบ จำนวนรอบ ระยะทางรวม อัตราเร็วเฉลี่ย และข้อมูลพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณในแต่ละโหมดการทำงาน นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการนำข้อมูลที่บันทึกไว้ไปแสดงผลผ่าน Dashboard ออนไลน์ในรูปแบบกราฟและตารางสถิติ เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะทางกีฬา ติดตามพัฒนาการของนักกีฬา และสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนฝึกซ้อมในอนาคต ดังแสดงในภาพที่ 3-5



(ก) การเลือกโหมด (ข) ระยะเวลาที่ต้องการทำการทดสอบ (ค) ระยะทางที่ต้องการทำการทดสอบ (ง) ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว

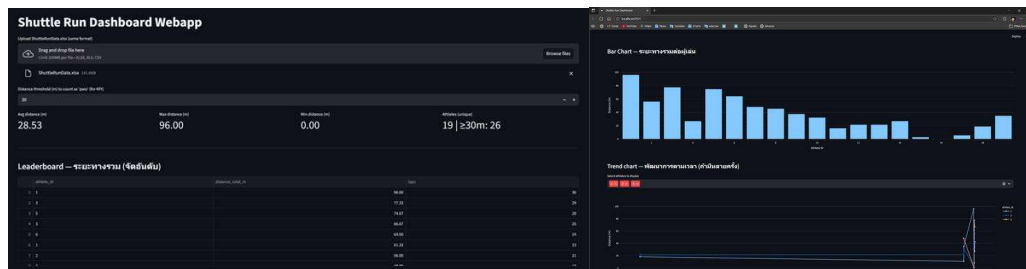
ภาพที่ 3 หน้าจอแสดงผลและส่วนติดต่อผู้ใช้งานของระบบ

วันที่และเวลา	หมายเลขรถกีฬา	เวลาที่ทดสอบ(ก)	จำนวนรอบที่วิ่งได้	ระยะทางรวม(ก)	ระยะทางต่อหน่วย(ก)	ระยะทางรวมที่คำนวณ(ก)	วันที่และเวลา	หมายเลขรถกีฬา	ระยะทางที่คำนวณ(ก)	เวลาที่วิ่งได้(ก)	จำนวนรอบที่วิ่งได้	ระยะทางรวมที่คำนวณ(ก)
2025-11-20 13:37:16	1	15	17	10	4	174	2025-09-30 17:40:24	1	40	8.89	4	6.07
2025-11-20 13:38:52	2	15	20	10	2	202	2025-09-30 17:40:10	2	40	8.89	4	4.62
2025-11-20 13:39:30	3	15	21	10	0	210	2025-09-30 17:39:39	3	40	10.01	4	4
2025-11-20 13:39:06	4	15	17	10	3	173	2025-09-30 14:52:53	4	40	14.05	4	2.85
2025-11-19 21:57:34	3	15	30	10	9	208	2025-09-30 14:52:21	5	40	13.07	4	3.06
2025-11-19 21:47:54	4	15	18	10	5	185	2025-09-30 14:51:37	1	40	15.27	4	2.92
2025-11-19 21:47:33	5	15	21	10	8	218	2025-09-30 14:50:59	2	40	16.88	4	2.4
2025-11-19 21:47:11	1	15	19	10	3	193	2025-09-30 14:50:28	3	40	11.89	4	3.38
2025-11-19 21:46:49	2	15	18	10	2	182	2025-09-30 14:50:00	4	40	6.11	4	8.35
2025-11-19 21:46:23	3	15	23	10	5	235	2025-09-30 14:54:14	5	40	12.08	4	3.31
2025-11-19 21:46:00	4	15	17	10	6	176	2025-09-30 14:53:18	1	40	9.2	4	4.35
2025-11-19 21:45:40	5	15	21	10	1	211	2025-09-30 14:52:35	2	40	11.71	4	3.42
2025-11-19 21:45:19	1	15	21	10	8	216	2025-09-30 14:51:46	3	40	11.39	4	3.51
2025-11-19 21:44:58	2	15	22	10	3	223	2025-09-30 14:51:21	4	40	11.51	4	3.47
2025-11-19 21:44:37	3	15	21	10	0	210	2025-09-30 14:50:36	5	40	5.86	4	6.69
2025-11-19 21:44:17	1	15	22	10	0	220	2025-09-30 14:50:12	1	40	5.41	4	7.39
2025-11-19 21:43:55	1	15	19	10	8	196	2025-09-30 14:50:04	2	40	8.88	4	4.5
2025-11-19 21:43:34	1	15	16	10	9	169	2025-09-30 14:18:11	3	40	10.69	4	3.74

(ก) โหมดกำหนดเวลา

(ข) โหมดกำหนดระยะทาง

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลการทดสอบ



ภาพที่ 5 ตัวอย่าง Dashboard สำหรับวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.3 การทำงานของระบบ

ระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติถูกออกแบบให้รองรับการทดสอบสมรรถภาพทางกาย 2 รูปแบบ ได้แก่ โหมดกำหนดเวลาและโหมดกำหนดระยะทาง โดยทั้งสองโหมดใช้เซ็นเซอร์พียูเอ็กซ์เล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับการสัมผัส และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ในการประมวลผลข้อมูลและสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายไร้สายด้วยโปรโตคอล UDP

3.3.1 โหมดกำหนดเวลา

โหมดกำหนดเวลาถูกออกแบบเพื่อวัดระยะทางรวมที่นักกีฬาสามารถเคลื่อนที่ได้ภายในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น 15 วินาที หรือ 30 วินาที โดยระบบจะเริ่มจับเวลาเมื่อผู้ทดสอบสัมผัสเซ็นเซอร์ครั้งแรก จากนั้นนักกีฬาจะเคลื่อนที่สลับไปมาระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรอง ซึ่งติดตั้งห่างกันเป็นระยะคงที่ โดยทุกครั้งนี้นักกีฬาสัมผัสเซ็นเซอร์ ระบบจะบันทึกจำนวนรอบที่สำเร็จและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เมื่อครบเวลาที่กำหนด ระบบจะหยุดการจับเวลาและคำนวณระยะทางรวมจาก

จำนวนรอบที่วิ่งได้จริงร่วมกับการประมาณระยะทางเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่เหลือของรอบสุดท้าย เพื่อให้สามารถประเมินสมรรถนะได้อย่างต่อเนื่องแม้ผู้ทดสอบยังไม่ถึงจุดสัมผัสสุดท้าย

การคำนวณอัตราเร็วเฉลี่ยของนักกีฬาคำนวณจาก

$$v = \frac{R_{Complete} \times d_{Board}}{T_{Record}} \quad (1)$$

ระยะทางเพิ่มเติมที่ประมาณได้ในเวลาที่เหลือคำนวณจาก

$$D_{Extra} = v(T_{Limit} - T_{Record}) \quad (2)$$

ดังนั้น ระยะทางรวมที่นักกีฬาสามารถทำได้ภายในเวลาที่กำหนดคำนวณได้จาก

$$D_{Total} = (R_{Complete} \times d_{Board}) + [D_{Extra}] \quad (3)$$

โดย $[D_{Extra}]$ หมายถึงการปัดเศษทศนิยมทิ้งเพื่อแสดงผลเป็นจำนวนเต็มของหน่วยเมตร

กำหนดตัวแปรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

T_{Limit} เวลาที่กำหนดสำหรับการทดสอบ (วินาที)

d_{Board} ระยะห่างระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรอง (เมตร)

$R_{Complete}$ จำนวนรอบที่นักกีฬาวิ่งสำเร็จ

T_{Record} เวลาที่บันทึกจากการสัมผัสครั้งสุดท้าย

v อัตราเร็วเฉลี่ยของนักกีฬา

D_{Extra} ระยะทางเพิ่มเติมที่คำนวณจากเวลาที่เหลือ

D_{Total} ระยะทางรวมทั้งหมด

การแสดงผลและการบันทึกข้อมูล: เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ระบบจะแสดงจำนวนรอบที่นักกีฬาทำได้ ($R_{Complete}$) และระยะทางรวม (D_{Total}) บนหน้าจอแสดงผล พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลในรูปแบบ CSV และ Google Sheet ประกอบด้วยตัวแปร $R_{Complete}$, T_{Record} , v , D_{Extra} และ D_{Total} เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะทางกีฬาในภายหลัง จากนั้นระบบจะกลับเข้าสู่สถานะพร้อมใช้งาน (READY State)

3.3.2 โหมดกำหนดระยะทาง

โหมดกำหนดระยะทางถูกออกแบบเพื่อวัดระยะเวลาที่นักกีฬาใช้ในการเคลื่อนที่ให้ครบระยะทางเป้าหมายที่กำหนดล่วงหน้า เช่น 40 เมตร หรือ 60 เมตร โดยระบบจะเริ่มจับเวลาเมื่อผู้ทดสอบสัมผัสเซนเซอร์ครั้งแรก และเพิ่มค่าระยะทางสะสมทุกครั้งที่มีการสัมผัสเซนเซอร์ระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรอง ระบบจะตรวจสอบค่าระยะทางสะสมอย่างต่อเนื่อง เมื่อระยะทางสะสมมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าระยะทางเป้าหมาย ระบบจะหยุดการจับเวลาโดยอัตโนมัติ และคำนวณเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบระยะทางที่กำหนด

ทุกครั้งที่นักกีฬาสัมผัสเซนเซอร์ ระบบจะเพิ่มระยะทางสะสมตามระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ ดังสมการ

$$D_{Current} = D_{Current} + d_{Board} \quad (4)$$

เมื่อระยะทางสะสมมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าระยะทางเป้าหมาย

$$D_{Current} \geq D_{Target} \quad (5)$$

ระบบจะหยุดจับเวลาและคำนวณเวลาที่ใช้ในการทดสอบจาก

$$T_{Total} = T_{End} - T_{Start} \quad (6)$$

จำนวนรอบที่ต้องดำเนินการให้ครบระยะทางเป้าหมายคำนวณได้จาก

$$Lap = \frac{D_{Target}}{d_{Board}} \quad (7)$$

กำหนดตัวแปรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

d_{Board} ระยะห่างระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรอง (เมตร)

$D_{Current}$ ระยะทางสะสมปัจจุบัน

T_{Start} เวลาเริ่มต้นการทดสอบ

T_{End} เวลาสิ้นสุดการทดสอบ

T_{Total} เวลาที่ใช้ในการทดสอบ

Lap จำนวนรอบที่ต้องดำเนินการ

การแสดงผลและการบันทึกข้อมูล: เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ระบบจะแสดงจำนวนรอบที่ดำเนินการ (Lap) และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบระยะทางเป้าหมาย (T_{Total}) บนหน้าจอแสดงผล พร้อมบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ CSV และ Google Sheet ประกอบด้วยค่าระยะทางเป้าหมาย (D_{Target}) จำนวนรอบ (Lap) และเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (T_{Total}) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และติดตามพัฒนาการของนักกีฬาในระยะยาว หลังจากนั้นระบบจะกลับเข้าสู่สถานะพร้อมใช้งาน (READY State) เพื่อเตรียมการทดสอบครั้งถัดไป

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การทดสอบค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ของเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับแรงสัมผัสของเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก โดยติดตั้งบอร์ดหลักและบอร์ดรองภายในห้องปฏิบัติการในระยะห่างประมาณ 2 เมตร และกำหนดค่า Threshold จำนวน 4 ระดับ ได้แก่ 180, 200, 210 และ 220 จากนั้นทำการทดสอบโดยให้ผู้ทดสอบเคลื่อนที่ไปสัมผัสเซนเซอร์สลับระหว่างบอร์ดทั้งสองจำนวน 15 ครั้งต่อระดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เมื่อกำหนดค่า Threshold เท่ากับ 180 และ 200 เซนเซอร์มีความไวต่อแรงสัมผัสสูง ส่งผลให้เกิดการตรวจจับสัญญาณเกิน (False Trigger) หลายครั้ง ขณะที่ค่า Threshold เท่ากับ 210 ให้ผลการตรวจจับที่ดีขึ้นแต่ยังคงพบการตรวจจับเกินในบางกรณี ส่วนค่า Threshold เท่ากับ 220 ให้ผลการตรวจจับที่มีเสถียรภาพมากที่สุด โดยสามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้ถูกต้องสูงสุดและมีจำนวนการตรวจจับผิดพลาดต่ำที่สุด ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่า Threshold ที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อความถูกต้องของระบบ เนื่องจากค่าที่ต่ำเกินไปจะทำให้ระบบมีความไวต่อสัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อม ขณะที่ค่าที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้ระบบไม่สามารถตรวจจับแรงสัมผัสที่เกิดขึ้นจริงได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า Threshold เท่ากับ 220 สำหรับการทดลองในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่า Threshold ของเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก

ลำดับ	ค่าที่กำหนด	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่อ่านค่า	จำนวนครั้งที่ไม่อ่านค่า	จำนวนครั้งที่อ่านค่าเกิน
1	180	15	5	0	8
2	200	15	7	1	7
3	210	15	9	1	5
4	220	15	10	3	2

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารระหว่างบอร์ดหลักและบอร์ดรอง

การประเมินประสิทธิภาพของระบบสื่อสารดำเนินการโดยวัดค่าความหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดรองและบอร์ดหลักผ่านเครือข่าย Wi-Fi โดยใช้โปรโตคอล UDP จำนวน 10 รอบการทดสอบ ผลการทดลองพบว่าระบบมีความหน่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 12.7 มิลลิวินาที และไม่พบการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลตลอดการทดสอบ คิดเป็นอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จร้อยละ 100 อีกทั้งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้โปรโตคอล UDP มีความเหมาะสมสำหรับระบบตรวจจับเหตุการณ์แบบเรียลไทม์ เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการเชื่อมต่อและยืนยันการรับข้อมูลที่ซับซ้อนเหมือนโปรโตคอล TCP ส่งผลให้สามารถลดความหน่วงในการสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับระบบจับเวลาที่ต้องการความละเอียดในระดับมิลลิวินาที

4.3 การทดสอบความแม่นยำของระบบจับเวลา

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแม่นยำของระบบจับเวลาโดยเปรียบเทียบกับสตีปวอทซ์มาตรฐาน เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงสั่นสะเทือน ระบบจะเริ่มจับเวลาโดยอัตโนมัติ และหยุดจับเวลาเมื่อมีการสัมผัสเซ็นเซอร์อีกครั้ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของระบบอยู่ในช่วง ± 0.02 วินาที และมีค่าความหน่วงเฉลี่ยในการเริ่มจับเวลาหลังจากตรวจพบการสัมผัสเท่ากับ 0.04 วินาที เมื่อพิจารณาในเชิงวิศวกรรม พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬา เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าความคลาดเคลื่อนที่มักเกิดจากการจับเวลาโดยมนุษย์อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ระบบสามารถลดข้อผิดพลาดจากปัจจัยมนุษย์และเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลการทดสอบได้

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบจับเวลากับสตีปวอทซ์มาตรฐาน

รอบทดสอบ	เวลาแสดงในระบบ (s)	เวลาเทียบสตีปวอทซ์ (s)	ค่าความคลาดเคลื่อน (s)
1	3.42	3.40	+0.02
2	5.19	5.21	-0.02
3	2.83	2.81	+0.02
4	4.57	4.55	+0.02

4.4 การทดสอบภาคสนาม

การทดสอบภาคสนามดำเนินการภายในพื้นที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสนามเซปักตะกร้อ โดยติดตั้งบอร์ดหลักและบอร์ดรองห่างกัน 10 เมตร เพื่อจำลองสถานการณ์การทดสอบสมรรถภาพทางกายจริงดังแสดงในภาพที่ 6 ทั้งในโหมดกำหนดเวลาและโหมดกำหนดระยะทาง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องภายใต้สภาพแวดล้อมจริง โดยมีอัตราการตรวจจับเหตุการณ์ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 85 ในทุกชุดการทดสอบ และสามารถส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจับเวลาแบบแมนนวล พบว่าระบบอัตโนมัติให้ค่าการทดสอบที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าและลดความแปรปรวนที่เกิดจากผู้ทดสอบ ทั้งนี้การไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้ในบางรอบอาจเกิดจากตำแหน่งการสัมผัสที่ไม่ตรงจุดตรวจจับหรือแรงสัมผัสที่ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด



(ก) บอร์ดหลัก

(ข) บอร์ดรอง

(ค) การทดสอบภาคสนาม

ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบภาคสนาม

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบระบบภาคสนาม

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่อ่านค่าปกติ	จำนวนครั้งที่ไม่อ่านค่า	เวลาเฉลี่ย
M1	แมนนวล-จับเวลาเอง	15	15	0	12.3
M2	แมนนวล-จับเวลาเอง	15	13	2	12.5
A1	อัตโนมัติ-ผ่านระบบ	15	14	1	11.8
A2	อัตโนมัติ-ผ่านระบบ	15	13	2	11.5

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำ ความเสถียร และความน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพทางกีฬาและการติดตามผลการฝึกซ้อมในสภาพแวดล้อมจริงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจับเวลาอัตโนมัติหรือเทคโนโลยีไอโอทีด้านการกีฬาในงานวิจัยที่ผ่านมา จุดเด่นและความใหม่ของระบบที่พัฒนาขึ้นคือการเป็นนวัตกรรมต้นแบบที่สามารถประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ และมีความยืดหยุ่นสูงในการสื่อสารไร้สาย ทำให้ช่วยลดช่องว่างด้านราคาและเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงเทคโนโลยี ประเมินสมรรถภาพทางกายในภาคสนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในส่วนของค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก ซึ่งดำเนินการ 15 ครั้งต่อระดับ แม้ผลการวัดจะแสดงความนิ่งของสัญญาณในห้องปฏิบัติการ แต่การทดลองในอนาคตควรมีการขยายขนาดกลุ่มตัวอย่างให้มากขึ้น

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาต้นแบบระบบจับเวลาและวัดระยะทางอัตโนมัติสำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ด้านความคล่องแคล่วว่องไวและเวลาปฏิกิริยาตอบสนอง โดยการบูรณาการระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก และแป้นพิมพ์กดรหัสผ่านบัส I2C ผลการทดสอบสมรรถนะระบบพบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ช่วยเพิ่มศักยภาพในการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์และมีความยืดหยุ่นสูงในการสื่อสารไร้สาย ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับแรงสัมผัสเชิงกลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และสามารถจัดเก็บข้อมูลผลการทดสอบในรูปแบบดิจิทัลได้โดยอัตโนมัติเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจับเวลาอัตโนมัติหรือระบบไอโอทีด้านการกีฬาในงานวิจัยที่ผ่านมา ระบบต้นแบบนี้เป็นนวัตกรรมต้นแบบที่มีความยืดหยุ่นสูง ช่วยลดช่องว่างในการเข้าถึงเทคโนโลยีทดสอบสมรรถภาพทางกายในภาคสนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบต้นแบบนี้จึงมีความพร้อมและเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในภาคสนาม ทั้งด้านการประเมินสมรรถภาพทางกาย การออกแบบโปรแกรมฝึกซ้อมสำหรับนักกีฬา ตลอดจนการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาเชิงวิชาการอย่างใดก็ตาม ระบบปัจจุบันยังมีข้อจำกัดด้านขนาดกลุ่มตัวอย่าง

สถิติในการประเมินขีดเริ่มเปลี่ยนของเซนเซอร์ (15 ครั้งต่อระดับ) ซึ่งควรมีการเพิ่มจำนวนการทดลองทางสถิติ (อย่างน้อย 30 ครั้งต่อระดับ) ในอนาคต นอกจากนี้ เพื่อยกระดับการวิเคราะห์เชิงลึกทางวิทยาศาสตร์การกีฬา งานวิจัยในระยะถัดไปมีแนวทางการพัฒนาปรับเปลี่ยนจากแผ่นรับแรงสั่นสะเทือน ไปสู่การใช้แผ่น Force Platform ขนาดเล็กที่ประยุกต์ใช้เซนเซอร์ FSR (Force Sensitive Resistor) เพื่อให้สามารถประเมินทั้งน้ำหนักแรงกระแทกและเวลาสัมผัสพื้นได้อย่างครอบคลุมยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนโครงการทางวิศวกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Barrett, B. T., Cruickshank, A. G., Flavell, J. C., Bennett, S. J., Buckley, J. G., Harris, J. M., & Scally, A. J. (2020). Faster visual reaction times in elite athletes are not linked to better gaze stability. *Scientific Reports*, 10(1), 13216. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69975-z>
- [2] Tomic, L., Janicijevic, D., Nedeljkovic, A., Leontijevic, B., & Garcia-Ramos, A. (2021). Reliability and sensitivity of reaction time measurements during quasi-realistic soccer situations. *Motor Control*, 25(3), 491–501. <https://doi.org/10.1123/mc.2021-0002>
- [3] Yu, T.-H., Tsai, F.-J., & Lu, T.-C. (2019). Development of an immediate feedback system of movement speed and performance with a piezoelectric sensor and its application in sport training. In *2019 IEEE 2nd International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)* (pp. 104–107). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICKII46306.2019.9042733>
- [4] Suksupaet, B., Senavongse, W., Ritthiwat, W., & Sueaseenak, D. (2021). A wireless ground reaction force measurement device using force sensor. In *2021 13th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)* (pp. 33–37). IEEE. <https://doi.org/10.1109/KST51265.2021.9415784>
- [5] Faux, D. A., & Godolphin, J. (2019). Manual timing in physics experiments: Error and uncertainty. *American Journal of Physics*, 87(2), 110–115. <https://doi.org/10.1119/1.5085437>
- [6] Abdullah, M. N. B., Yeong, C. F., Ming, E. S. L., Ramli, M. S. B., Khor, K. X., & Yang, C. (2021). Development of ReactRun: Advanced universal IoT system for agility training in sports and healthcare. In *2020 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)* (pp. 286–291). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IECBES48179.2021.9398743>
- [7] Kos, A., Umek, A., & Tomazic, S. (2015). Biofeedback in sport: Challenges in real-time motion tracking and processing. In *2015 IEEE 15th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BIBE.2015.7367681>
- [8] Vásquez, S., Turpo, J., Vincas, L., & Vargas, D. (2023). A training system for taekwondo players with impact and linear displacement data collection. In *2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CONIITI61170.2023.10324148>