

# การกำจัดสัญญาณรบกวนการสั่นในการชั่งด้วยตัวกรองแบบปรับตัวได้ ที่อาศัยสัญญาณอ้างอิง AC จากเซนเซอร์ความเร่ง และ DC จากค่าคงที่

## Vibration Noise Cancellation of Weighing with Adaptive Filter Base on Reference Signal AC from Accelerometer and DC with Constant

นทีกานต์ มุลทองน้อย<sup>1,\*</sup> สุรพล บุญจันทร์<sup>1</sup> ปราโมทย์ วาดเขียน<sup>1</sup> อัญชลี มโนสืบ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Nateekan Moonthongnoi<sup>1</sup> Surapol Boonjun<sup>1</sup> Paramote Wardkein<sup>1</sup> Anchalee Manosueb<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

<sup>2</sup>Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

\*Corresponding Author E-mail: moonthongnoi.n@gmail.com

Received: December 3, 2020 Revised: March 2, 2021 Accepted: March 3, 2021

### บทคัดย่อ

ระบบชั่งน้ำหนักเป็นกระบวนการที่สำคัญในหลายกิจกรรม กิจกรรมบางอย่างต้องการความแม่นยำของน้ำหนักสูง แต่ในสภาพแวดล้อมจริงที่ไม่สามารถควบคุมได้ พบว่าสเตรนเกจที่ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักจะมีการปนเปื้อนด้วยการสั่นสะเทือนจากภายนอก ตัวอย่างเช่น รถบรรทุกที่บรรทุกพืชผลที่ไม่ได้ดับเครื่องยนต์ขณะทำการชั่งหรือขณะเคลื่อนที่ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการใช้อัลกอริทึม LMS ของตัวกรองแบบปรับตัวได้พร้อมกับตัวตรวจจับความเร่ง และค่าคงที่ DC ถูกใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณอ้างอิงสองตัว ให้กับตัวกรองแบบปรับตัวได้ในการกำจัดการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือน และเป็นสัญญาณน้ำหนักเป้าหมายที่คงตัวตามลำดับ ส่งผลทำให้ระบบที่นำเสนอสามารถกำจัดอิทธิพลของการสั่น และมีความแม่นยำในการวัดที่สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นแล้วระบบยังใช้เวลา และทรัพยากรในการคำนวณน้อยอีกด้วย

**คำสำคัญ:** การชั่งน้ำหนัก การสั่นสะเทือนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ตัวกรองแบบปรับตัวได้ เซนเซอร์วัดความเร่ง

### Abstract

The weighing system is a crucial part of the process in many activities. Some activities demand high accuracy, which is a real environment that cannot be controlled. We found that the strain gauge for weighing is interfered with external vibration, for example, a truck drives through the weighing system with a turned-on engine. Our research presents the use of the LMS algorithm of the adaptive filter and accelerometer. DC constant was used as a reference for the adaptive filter to eliminate vibratory noise and for the true weight assessment. Therefore, the weighing system we propose can improve the accuracy and requires less time and computing resources.

**Keywords:** Weighing, Vibration, Adaptive Filter, Accelerometer

## 1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรม ระบบการชั่งน้ำหนักต้องการความแม่นยำ ความถูกต้อง และความรวดเร็วในการหาค่าน้ำหนัก จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าปัญหามักจะเกิดขึ้นในระบบการชั่งน้ำหนักคือ สัญญาณเอาต์พุตของการชั่งน้ำหนักที่ได้รับมาจากเซนเซอร์จะมีการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือน ทำให้อ่านน้ำหนักที่ไม่มีความแม่นยำ ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางด้านต้นทุน และคุณภาพของสินค้า เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาวิธีการกำจัดสัญญาณปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนจำนวนมาก โดยมีการนำเสนอวิธีการต่างๆ เช่น

ปี ค.ศ. 2010 Zhang ได้นำเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณปนเปื้อนในระบบการชั่งน้ำหนักยานพาหนะโดยใช้การปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบปรับตัวได้ แอลเอ็มเอสที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นในการคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมฮอปฟิลด์ เปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าเฉลี่ย โดยผลของการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้ที่ Rui Zhang นำเสนอได้ผลที่ดีกว่าวิธีการหาค่าเฉลี่ย [1]

ในปี ค.ศ. 2017 Dhanesh นำเสนอการออกแบบตัวกรองอนุกรมของวอลเตอร์ราแบบปรับตัวได้อันดับที่สอง (Adaptive Second Order Volterra Series Filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนของระบบไม่เชิงเส้น (nonlinear system) โดยอาศัยโครงสร้างแลตทิซแซนแนล (lattice-channel structure) กับการหน่วงเวลาของตัวกรองอนุกรมวอลเตอร์ราแบบปรับตัวได้อันดับที่สอง โดยใช้อัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (ASVSF-LMS) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากสัญญาณการสั่นสะเทือนของค่าความผิดพลาดจากแบร์ริง โดยให้ผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดต่ำกว่าการใช้ตัวกรองปรับตัวแบบดั้งเดิม [2]

ในปี ค.ศ. 2009 Yang และคณะได้ทำการศึกษการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้จัดการสั่นสะเทือนของระบบรับน้ำหนักของยานพาหนะโดยใช้การจำลองแบบการทำงานระบบรองรับน้ำหนักด้วยระบบมวลสปริงที่มี

ค่าน้ำหนักที่ไม่คงที่ระหว่างล้อและถนนโดยใช้ตัวแปรอิสระ 2 ตัว two-DOF (Degrees of Freedom) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่า [3]

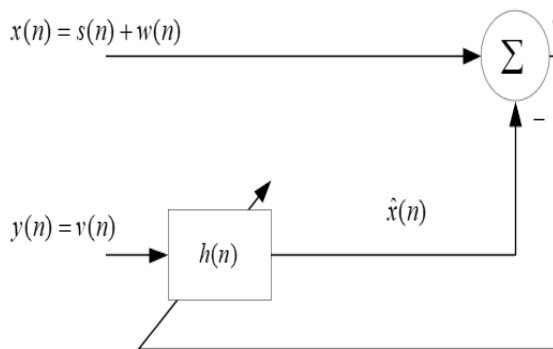
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนด้วยการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยอัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับการใช้เซนเซอร์ความเร่ง และค่าคงที่ไฟตรง ถูกใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงสองตัว ให้กับตัวกรองแบบปรับตัวได้ในการกำจัดการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา และเป็นสัญญาณน้ำหนักเป้าหมายที่คงตัวตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วการติดตั้งตัวเซนเซอร์วัดความเร่งยังไม่จำเป็นต้องติดตั้งอยู่ระหว่างตัวโหลด (Load) กับสเตรนเกจ จึงไม่ก่อให้เกิดการเสียหาย และรบกวนสัญญาณที่ได้รับจากสเตรนเกจขณะที่ทำการชั่งน้ำหนัก

บทความนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 กล่าวถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 2 กล่าวถึงตัวกรองแบบปรับตัวได้ ส่วนที่ 3 กล่าวถึงหลักการที่นำเสนอ ส่วนการทดลองและผลการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้แสดงไว้ในส่วนที่ 4 และ 5

## 2. ตัวกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter)

การประยุกต์ใช้งานตัวกรองแบบปรับตัวได้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน และเป็นวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวน [4] ที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ [5-6] จึงมีการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และอุปกรณ์การสื่อสาร เช่น เครื่องจักรกล โทรศัพท์เคลื่อนที่ [7-8] เป็นต้น อัลกอริทึมตัวกรองแบบปรับตัวได้ [9] ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีหลายอัลกอริทึมด้วยกัน เช่น แอลเอ็มเอสอัลกอริทึม (Least Mean Square Algorithm: LMS Algorithm) หรืออัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด, นอร์มอลไลซ์แอลเอ็มเอสอัลกอริทึม (The Normalised Least Mean Square: NLMS Algorithm) และรีเคอซีฟต์

ลีส์ตส์แควร์ (Recursive Least Square: RLS Algorithm) เป็นต้น ในการประยุกต์ใช้งานตัวกรองแบบปรับตัวได้ควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน แอลเอ็มเอสอัลกอริทึม เป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่มีรูปแบบการคำนวณที่ง่าย โครงสร้างไม่ซับซ้อน และไม่จำเป็นต้องรู้พารามิเตอร์ของสัญญาณอินพุตในการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และนำไปใช้งานสะดวก โดยค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่ลดลงนั้นได้มาจากวิธีการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองโดยใช้สมการภายในอัลกอริทึม ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยแอลเอ็มเอสอัลกอริทึม แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างตัวกรองแบบปรับตัวได้แอลเอ็มเอสอัลกอริทึมในการกำจัดสัญญาณรบกวน

โดยที่  $x(n)$  คือ สัญญาณอินพุต  $s(n)$  คือ สัญญาณที่ต้องการ  $w(n)$  คือ สัญญาณรบกวน  $y(n)$  คือ สัญญาณอ้างอิง  $v(n)$  คือ สัญญาณรบกวนอ้างอิง  $\hat{x}(n)$  คือ สัญญาณเอาต์พุตของระบบส่วนการปรับตัว  $e(n)$  คือ ค่าความผิดพลาด

ในการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้จะอาศัยสมการที่ 1, 2 และ 3 ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์  $h(n)$  ของตัวกรอง

$$\hat{x}(n) = h(n)y(n) \quad (1)$$

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) \quad (2)$$

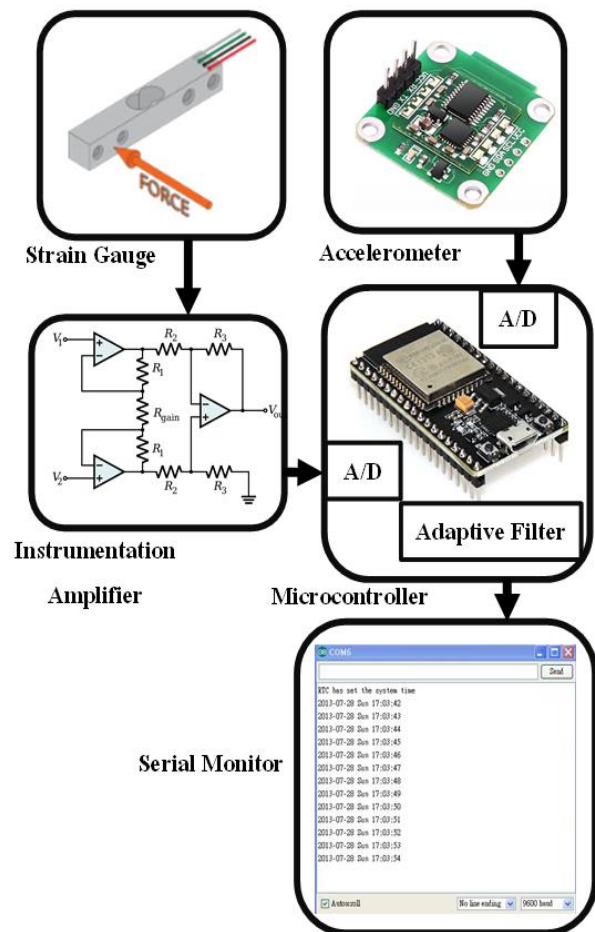
$$h(n+1) = h(n) + 2\mu e(n)y(n) \quad (3)$$

โดยที่  $\mu$  คือ ค่าอัตราขยายการปรับตัว (Adaptation Gain) หรือขนาดขั้น (Step Size)

การนำตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยแอลเอ็มเอสอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้งานในการลดสัญญาณรบกวนจากการสั่นสะเทือนที่นำเสนอ จะมีสัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณ ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

### 3. หลักการทำงานของการทำงานนำหนักที่มีการลดสัญญาณรบกวนจากการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยแอลเอ็มเอสอัลกอริทึมที่นำเสนอ

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 2 และมีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบที่นำเสนอ

### ส่วนเตรียมสัญญาณก่อนการประมวลผล

สัญญาณจากสเตรนเกจ ซึ่งประกอบด้วย แรงดันไฟตรงที่แปรผันตรงกับน้ำหนักของวัตถุ และ แรงดันไฟสลับที่เกิดจากการสั่นสะเทือนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก สัญญาณนี้จะถูกนำไปผ่านวงจรขยาย อินสตรูเมนต์ชัน เพื่อยกระดับสัญญาณให้อยู่ในระดับที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้ โดยจะ ขยักระดับสัญญาณด้วยการป้อนแรงดันไฟตรงเป็นแรงดัน อ้างอิงให้กับวงจรอินสตรูเมนต์ชัน ดังรูปที่ 3

สัญญาณปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือน สัญญาณนี้เป็นสัญญาณไฟสลับที่มีแอมพลิจูดขึ้นอยู่กับแรงจากการสั่นสะเทือน จะถูกตรวจจับได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยก่อนหน้านี้ได้เลือกใช้เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) แต่สัญญาณที่ได้จากเพียโซอิเล็กทริกนั้นมีค่าน้ำหนักปะปนมาด้วย ทำให้การกำจัดสัญญาณทำได้ยาก

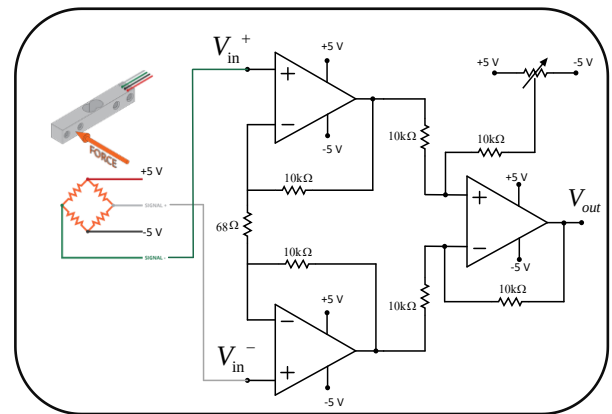
### ส่วนประมวลผล

ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี32 ในการประมวลผลสัญญาณ โดยพอร์ตแอนะล็อกอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 นั้นสามารถรับแรงดันได้ 0 ถึง 3.3 โวลต์ ในการประมวลผลใช้ส่วนซอฟต์แวร์ของตัวกรองแบบปรับตัวได้ และ โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองให้เป็นค่าน้ำหนักของวัตถุ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของซอฟต์แวร์ในหัวข้อถัดไป

### ส่วนการแสดงผล

ในการแสดงผลค่าน้ำหนักของวัตถุจะแสดงผ่านหน้าจอซีเรียลมอนิเตอร์บนคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์

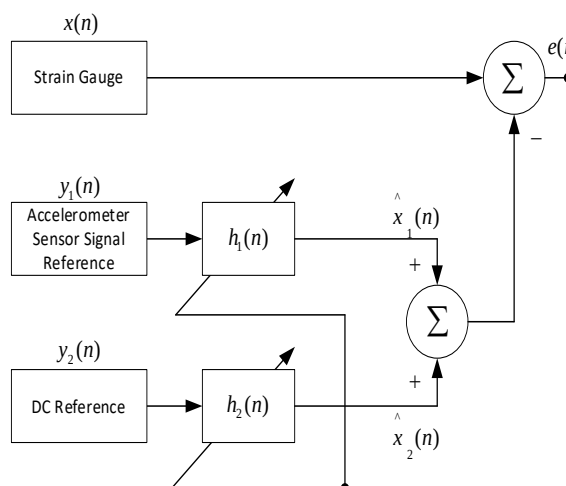
การทำงานของซอฟต์แวร์ สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ



รูปที่ 3 วงจรอินสตรูเมนต์ชันที่มีการยกระดับสัญญาณไฟตรง

การปรับระดับสัญญาณ เป็นการปรับระดับสัญญาณจากสเตรนเกจที่ผ่านวงจรขยาย และสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความเร่ง ให้มีระดับสัญญาณที่เหมาะสมในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 เพื่อไม่ให้เกิดการโอเวอร์โฟลของข้อมูล ด้วยการนำสัญญาณจากสเตรนเกจและสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาคูณกับ  $\frac{5}{4095}$  และ  $\frac{1}{1000}$  ตามลำดับ

การปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบปรับตัวได้ ตัวกรองแบบปรับตัวได้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณ สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณอ้างอิงที่มาจากเซนเซอร์วัดความเร่งถูกนำไปใช้เพื่อกำจัด การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมภายนอก สัญญาณที่ 2 คือสัญญาณแรงดันไฟตรง เพื่อนำไปใช้หาค่าน้ำหนัก โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 4 ในการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้จะอาศัยสมการที่ 4, 5, 6 และมีสมการในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง  $h_1(n)$  และ  $h_2(n)$  ดังสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 4 โครงสร้างของตัวกรองแบบปรับตัวได้ของวิธีการที่นำเสนอ

$$\hat{x}_1(n) = h_1(n)y_1(n) \quad (4)$$

$$\hat{x}_2(n) = h_2(n)y_2(n) \quad (5)$$

$$e(n) = x(n) - \hat{x}_1(n) - \hat{x}_2(n) \quad (6)$$

$$h_1(n+1) = h_1(n) + 2\mu e(n)y_1(n) \quad (7)$$

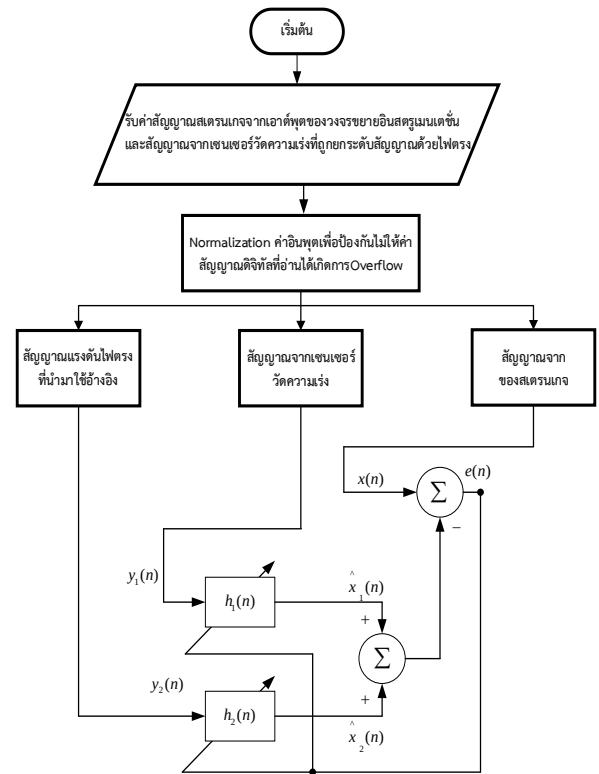
$$h_2(n+1) = h_2(n) + 2\mu e(n)y_2(n) \quad (8)$$

โดยที่  $x(n)$  คือ สัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ ซึ่งประกอบไปด้วย แรงดันไฟตรงที่แสดงค่าน้ำหนักรวมมากับสัญญาณปนเปื้อนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่ผ่านวงจรขยายอินสตรูเมนต์ชัน,  $y_1(n)$  คือ สัญญาณอ้างอิงจากเซนเซอร์วัดความเร่งซึ่งแปรผันตรงกับการสั่นสะเทือน,  $y_2(n)$  คือ สัญญาณแรงดันไฟตรงที่ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงเพื่อหาค่าน้ำหนักของวัตถุ,  $e(n)$  คือ ค่าความแตกต่างระหว่าง  $x(n)$  กับสัญญาณ  $\hat{x}_1(n)$  และ  $\hat{x}_2(n)$   $\mu$  คือ ขนาดขั้นโดยที่  $\hat{x}_1(n)$  และ  $\hat{x}_2(n)$  คือ สัญญาณเอาต์พุต ของการปรับสัญญาณปนเปื้อนอ้างอิงและแรงดันไฟตรง(ค่าน้ำหนัก) อ้างอิง ตามลำดับ

การประมาณค่าค่าน้ำหนัก จะใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการประมาณค่า โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกับเอาต์พุตสเตรนเกจ  $x(n)$  และสัมประสิทธิ์ตัวกรอง  $h_2(n)$  จากการทดลองโดยทำการชั่งน้ำหนัก 0.125 ถึง 5 กิโลกรัม โดยเพิ่มทีละ 0.125

กิโลกรัม และนำข้อมูลที่ได้นำไปสร้างความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) การทำงานของซอฟต์แวร์โดยรวมแสดงดังรูปที่ 5

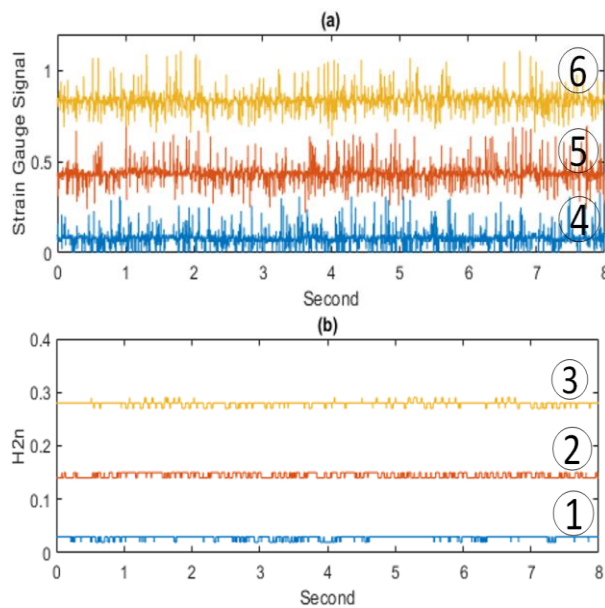
5



รูปที่ 5 แผนภูมิการทำงานของซอฟต์แวร์ของวิธีการที่นำเสนอ

#### 4. การทดลองและผลการทดลอง

ในบทความนี้การทดลองได้ถูกออกแบบโดยมีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้น้ำหนัก 0.28, 1.42 และ 2.7 กิโลกรัม ด้วยการสร้างแรงสั่นสะเทือนในแนวนอนขนานกับตัวฐานจากการใช้แรงกระทำของมนุษย์เพื่อจำลองการเกิดการสั่นสะเทือนด้วยการขยับฐานของเครื่อง ซึ่งเป็นเวลา 8 วินาที ได้ผลแสดงดังรูปที่ 6

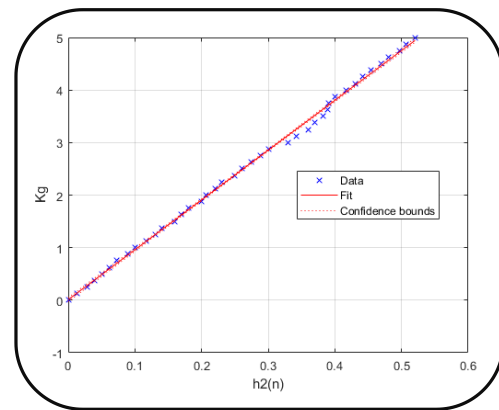


รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณที่มีการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนกับสัญญาณที่ผ่านระบบที่นำเสนอ

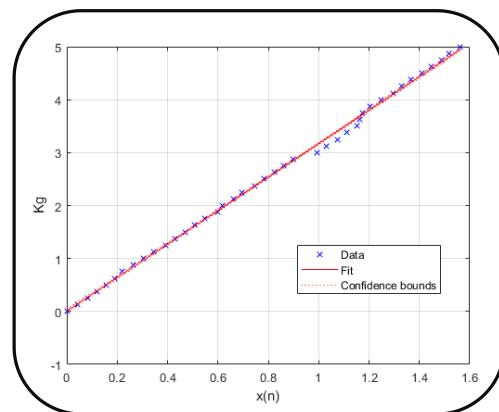
รูป 6(a) แสดงสัญญาณจากสเตรนเกจโดยตรง โดยที่เส้นกราฟ 4, 5 และ 6 คือสัญญาณจากสเตรนเกจของการชั่งวัตถุที่มีน้ำหนัก 0.28 กิโลกรัม, 1.42 กิโลกรัม และ 2.7 กิโลกรัม ตามลำดับ

รูป 6(b) แสดงสัญญาณจาก  $h_2(n)$  โดยที่เส้นกราฟ 1, 2 และ 3 คือสัญญาณ  $h_2(n)$  ที่เกิดจากการชั่งวัตถุที่มีน้ำหนัก 0.28 กิโลกรัม, 1.42 กิโลกรัม และ 2.7 กิโลกรัม ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ทำการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาสมการของความสัมพันธ์ของค่า  $h_2(n)$  กับค่าน้ำหนักของวัตถุและความสัมพันธ์ของเอาต์พุตจากสเตรนเกจกับค่าน้ำหนักของวัตถุ โดยทำการชั่งน้ำหนัก 0.125 ถึง 5 กิโลกรัม โดยเพิ่มทีละ 0.125 กิโลกรัม โดยผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $h_2(n)$  กับค่าน้ำหนักของวัตถุ



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $x(n)$  กับค่าน้ำหนักของวัตถุ

โดยโมเดลคณิตศาสตร์ของระบบที่นำเสนอที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนกับระบบสเตรนเกจที่ไม่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนเป็นดังสมการที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

$$w_1 = 9.4853 \cdot h_2(n) + 0.0097871 \quad (10)$$

โดยที่ 9.4853 คือ ค่าความชัน, 0.0097871 คือ ค่าคงที่ และ  $w_1$  คือค่าน้ำหนักที่ได้จากการสร้างโมเดลของ  $h_2(n)$

$$w_2 = 3.1605 \cdot x(n) + 0.0087197 \quad (11)$$

โดยที่ 3.1605 คือ ค่าความชัน, 0.0087197 คือ ค่าคงที่ และ  $w_2$  คือค่าน้ำหนักที่ได้จากการสร้างโมเดลของ  $x(n)$

ส่วนที่ 3 ทำการทดลองเพื่อทดสอบระบบ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการนำ

ค่าจากสเตรนเกจโดยตรงมาคำนวณหาค่าน้ำหนัก โดยการคำนวณค่าน้ำหนักจะใช้วิธีการ 2 วิธีด้วยกัน วิธีที่ 1 สุ่มค่าตัวอย่าง 1 ตัวอย่างทุก ๆ 1 วินาที และนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 8 วินาที วิธีที่ 2 ใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างการสุ่ม 1,125 ตัวอย่าง ซึ่งเท่ากับช่วงเวลา 1 วินาที และนำมาหาค่าเฉลี่ยทุก ๆ 1 วินาที เป็นระยะเวลา 8 วินาที นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า RMSE (Root Mean Square Error) เฉลี่ย ได้ผลดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 1 คือค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ คอลัมน์ที่ 2 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของสเตรนเกจโดยตรง ในขณะที่คอลัมน์ที่ 3 คือค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของระบบที่นำเสนอด้วยวิธีที่ 1 คอลัมน์ที่ 4 คือ ค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของสเตรนเกจโดยตรง ในขณะที่คอลัมน์ที่ 5 คือ ค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของระบบที่นำเสนอด้วยวิธีที่ 2

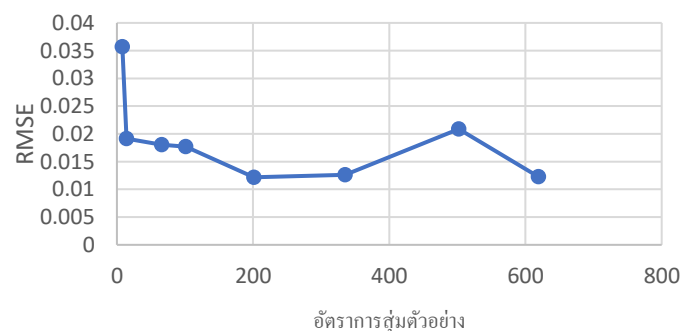
**ตารางที่ 1** ตารางการหาค่า RMSE เฉลี่ยของทุกน้ำหนักที่นำเสนอ

| น้ำหนักจริง<br>(kg)      | RMSE ของวิธีการสุ่ม |          | RMSE ของวิธีการเฉลี่ย |          |
|--------------------------|---------------------|----------|-----------------------|----------|
|                          | $x(n)$              | $h_2(n)$ | $x(n)$                | $h_2(n)$ |
| 0.28                     | 0.231095            | 0.031468 | 0.019330              | 0.009682 |
| 0.42                     | 0.087836            | 0.036646 | 0.013831              | 0.021315 |
| 0.7                      | 0.048243            | 0.041150 | 0.018100              | 0.019002 |
| 1.42                     | 0.149866            | 0.058851 | 0.035830              | 0.041000 |
| 1.7                      | 0.171169            | 0.062327 | 0.025905              | 0.029984 |
| 2.42                     | 0.047160            | 0.041410 | 0.037185              | 0.039552 |
| 2.7                      | 0.062017            | 0.034329 | 0.044859              | 0.044779 |
| 2.95                     | 0.265051            | 0.081945 | 0.058614              | 0.064814 |
| 3.28                     | 0.199365            | 0.080234 | 0.069116              | 0.069377 |
| 3.7                      | 0.149961            | 0.085799 | 0.066921              | 0.067272 |
| 3.95                     | 0.072111            | 0.084938 | 0.051833              | 0.051039 |
| RMSE เฉลี่ยของทุกน้ำหนัก | 0.134898            | 0.058100 | 0.040139              | 0.041620 |

เพื่อเป็นการแสดงสมรรถนะการทำงานของตัวระบบที่นำเสนอ จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการสุ่มตัวอย่าง เพื่อดูผลของประสิทธิภาพของระบบ โดยได้พิจารณาเรื่องความเร็วและค่าความผิดพลาดของระบบให้มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสำหรับการนำมาใช้กับงานที่นำเสนอมากที่สุด

โดยได้ทำการทดลองสุ่มอัตราการสุ่มที่ 619, 502, 335, 201, 101, 66, 14 และ 8 ตัวอย่างต่อวินาที ใช้ น้ำหนัก 3 น้ำหนัก คือ 0.465, 0.77 และ 1.465 กิโลกรัม และได้ใช้วิธีการที่ 2 จากส่วนที่ 3 ในหัวข้อการทดลอง และผลการทดลอง เพื่อหาค่าความผิดพลาดของแต่ละอัตราการสุ่ม เพื่อนำมาแสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการสุ่มที่ควรเลือกใช้ในงานที่นำเสนอจะเห็นว่าอัตราการสุ่มที่ 8 ตัวอย่างต่อวินาที เริ่มแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าความผิดพลาดเฉลี่ยโดยทั่วไปมากขึ้นอย่างชัดเจน ดังรูปภาพที่ 9

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด RMSE กับค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง



**รูปที่ 9** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด RMSE กับค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง

## 5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า วิธีการใช้น้ำหนักเฉลี่ยภายในช่วงเวลา 1 วินาทีนั้น ระบบที่นำเสนอ

มีค่า RMSE ที่สูงกว่าค่า RMSE ที่คำนวณจากเอาต์พุตของสเตรนเกจเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีการสุ่มค่าตัวอย่าง 1 ตัวอย่างทุกๆ 1 วินาที มาใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักวิธีการที่นำเสนอจะมีค่า RMSE ต่ำกว่า RMSE ที่คำนวณจากเอาต์พุตของสเตรนเกจอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการสุ่มตัวอย่างและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งเห็นว่าจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักไม่ควรน้อยกว่า 8 ตัวอย่าง ซึ่งอัตราการสุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุดจึงไม่ควรน้อยกว่า 8 ตัวอย่างต่อวินาที

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จากผลการทดสอบ ได้แสดงให้เห็นว่า ระบบที่นำเสนอเหมาะสมกับการชั่งน้ำหนักในลักษณะของงานที่ต้องการค่าน้ำหนักอย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง อย่างเช่นระบบการชั่งน้ำหนักในอุตสาหกรรม ระบบการชั่งน้ำหนักรถบรรทุกในขณะที่มีการเคลื่อนที่ (Weight In Motion) โดยระบบมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน รวดเร็ว และใช้ทรัพยากรในการคำนวณน้อย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Zhang, W. Lv and Y. Guo, "A Vehicle Weigh-In-Motion System Based on Hopfield Neural Network Adaptive filter," Conference on Communications and Mobile Computing, pp.123-127, 2015.
- [2] Dhanesh and L. Mathew, "Design of an Adaptive LMS Second Order Volterra Series Filter for Removing Noise from Vibration Signal of Faulty Bearing," Communication and Information, pp.1-5, 2017.
- [3] Q.M. Yang and J.M. Sun, "Study on vibration control based on adaptive filtering algorithm," Mechatronics and Automation, pp.4018-4022, 2009.
- [4] A. Rafique and S.S. Ahmed, "Performance Analysis of a Series of Adaptive Filters in Non-Stationary Environment for Noise Cancelling Setup," World Academy of Science, Engineering and Technology, No.74, p.332, 2013.
- [5] M. Sambur, "Adaptive noise canceling for speech signals," Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, Vol.26, pp.419-423, 1978.
- [6] B. Widrow, S.D. Stearns and J.C. Burgess, "Adaptive signal processing edited by bernard widrow and samuel d.stearns," The Journal of the Acoustical Society of America, 1986.
- [7] W. Hernández, "Improving the response of a wheel speed sensor using an adaptive line enhancer," Measurement, Vol.33, pp.229-240, 2003.
- [8] J.D. Wu and S.L. Lin, "Audio Quality Improvement of Vehicular Hands-Free Communication Using Variable Step-Size Affine-Projection Algorithm," International Journal of Wavelets Multiresolution and Information Processing, Vol.8, pp.875-894, 2010.
- [9] C. Chandrakar and M.K. Kowar, "Denoising ECG signals using adaptive filter algorithm," International Journal of Soft Computing and Engineering, Vol.2, pp.120-123, 2012.