

ระบบปากกาอัลตราโซนิกเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์รับข้อมูลการเขียน สำหรับคอมพิวเตอร์

Ultrasonic Pen System for Computer Handwriting Input Device

ภณภณ ปัญจมนั ชูเกียรติ การเกิด และ ดุสิต ธนเพทาย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: bpp255@hotmail.com, chgiat.g@ku.ac.th, fengdus@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบปากกาอัลตราโซนิกที่สามารถรับข้อมูลการเขียนผ่านพอร์ต Universal Serial Bus (USB) สำหรับคอมพิวเตอร์ โดยสามารถใช้งานแทนเมาส์ (mouse) ได้ และการเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงความแม่นยำด้วยการหาค่ากลางโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ มัธยฐาน ค่าเฉลี่ย และ 25% General Trim Mean (25% GTM) ซึ่งได้วิธีที่เหมาะสม คือ การหาค่า 25% GTM ขนาด 50 ค่าของข้อมูลการวัดระยะด้วยอัลตราโซนิก และการหาค่าเฉลี่ย ขนาด 40 ค่า ของข้อมูลที่ได้หลังจากการคำนวณ ตำแหน่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เฉลี่ย 90.86% และลดพิสัยได้เฉลี่ย 93.23%

คำสำคัญ:

อุปกรณ์รับข้อมูลการเขียน อัลตราโซนิก อินฟราเรด ไมโครคอนโทรลเลอร์

ABSTRACT

This research presents a Ultrasonic Pen System for Human Interface Device (HID) based on the principle of ultrasonic position via Universal Serial Bus (USB), which can be used as a mouse. A hypothesis is to improve the precision by calculating central tendency using microcontroller (MCU). Comparison of the mean, median and 25% General Trimmed Mean (25% GTM). The result indicates that the 50 times of 25% GTM for filtering the measured ultrasonic distance and mean for filtering calculated position can reduce the standard deviation (STD) by 90.86% and 93.23% for range.

Keywords:

handwriting input device, ultrasonic, infrared, microcontroller

1. คำนำ

อุปกรณ์ที่สามารถรับข้อมูลโดยการเขียนซึ่งมีวิธีการตรวจจับได้หลายวิธีการโดยแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่น จอสัมผัสแบบใช้ความต้านทาน (Resistive) ที่ใช้กันทั่วไปใน Personal Digital Assistance (PDA) และโทรศัพท์มือถือ จอสัมผัส ซึ่งมัลักษณะการรับข้อมูลเป็นแบบจุดเดียว (Single-touch) และมีการตอบสนองค่อนข้างช้าแต่มีราคาถูก จอสัมผัสแบบตัวเก็บประจุ (Capacitive) ที่มีราคาสูงขึ้น แต่พัฒนาให้สามารถรับข้อมูลแบบหลายจุด (Multi-touch)

จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ที่กล่าวมานั้นจำเป็นต้องมีพื้นที่เฉพาะในการรับข้อมูลไม่ว่าจะเป็นหน้าจอหรือแพด (pad) แต่ยังมีอีกวิธีการหนึ่ง คือ ปากกาอัลตราโซนิก ซึ่งใช้การคำนวณตำแหน่งของปากกาจากภาครับอัลตราโซนิก 2 ตัว ซึ่งวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่เฉพาะในการรับข้อมูล จึงสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่การใช้งานได้โดยคาลิเบรทก่อนใช้งาน อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียคือ ถ้ามีวัตถุไปบังการรับ-ส่งสัญญาณ หรือมีสัญญาณรบกวนอุปกรณ์จะทำให้ตำแหน่งผิดพลาดได้

จากข้อได้เปรียบของระบบดังกล่าวจึงทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งพัฒนาด้านต่างๆ กัน เช่น Lee et al. (2005) [1] ออกแบบและพัฒนาระบบที่ควบคุมโดย System on-a-chip (SOC). Lee et al. (2007) [2] พัฒนาระบบที่ทนต่อสัญญาณรบกวนด้วย Two Step Methods และการใช้ภาคส่งหลายตัวด้วย Time Slot Hopping. Nonaka et al. (1993, 1995) [3] ใช้ความต่างเฟสของคู่ภาครับ และทดลองกับภาคส่งหลายๆ แบบ Bradley et al. (2006) [4] พัฒนาระบบปากกาอัลตราโซนิก โดยทดลองร่วมกับนักวาดภาพ 6 คนควบคุมด้วย Peripheral Interface Controller (PIC) มีความละเอียดที่ 0.8 มิลลิเมตร ที่อัตราการส่งข้อมูล 48 เฮิร์ตซ์

ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำอุปกรณ์ที่สามารถรับข้อมูลการเขียน โดยใช้หลักการของอัลตราโซนิกและแสงอินฟราเรดซึ่งติดตั้งได้ง่ายกับจอคอมพิวเตอร์ทั่วไป อุปกรณ์นี้สามารถใช้งานแทนเมาส์ และยังสามารถ

รองรับข้อมูลการเขียนบนพื้นที่ต่างๆ เช่น กระดาษ กระดาน กระดานไวท์บอร์ด หรือบนพื้นราบ ทำให้อาจนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น การสอน การนำเสนองาน เป็นต้น โดยมีวิธีการแก้ปัญหาความแม่นยำด้วยการหาค่ากลาง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

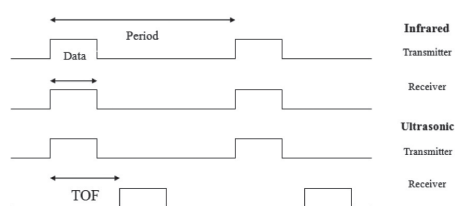
ในการวิจัยครั้งนี้ได้จัดทำอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งโดยใช้อัลตราโซนิกและอินฟราเรด โดยเรียกระบบนี้ว่า ระบบปากกาอัลตราโซนิก จำลองวงจรกรองด้วยโปรแกรม LTSpice IV ออกแบบ PCB ด้วยโปรแกรม Altium Designer Winter 09 และเขียนโปรแกรมด้วย IAR Embedded Workbench ผ่าน ST-LINK



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ภาคส่งและภาครับ

2.1. หลักการทำงานของระบบ

ระบบปากกาอัลตราโซนิกประกอบด้วย ภาครับ (Receiver) และภาคส่ง (Transmitter) ดังภาพที่ 1 โดยหลักการทำงานคือใช้อัลตราโซนิกวัดระยะระหว่างภาคส่งและภาครับทั้ง 2 ตัว โดยใช้อินฟราเรดเป็นสัญญาณในการซิงโครไนซ์เวลา และส่งข้อมูลสถานะปุ่มกด หลังจากนั้นภาครับจะส่ง HID Report ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่าน HID Protocol [5]



ภาพที่ 2 รูปแบบการส่งสัญญาณอินฟราเรดและอัลตราโซนิก

เมื่อถือว่าแสงมีความเร็วสูงมากเมื่อเทียบกับเสียง รูปแบบการส่งสัญญาณที่ใช้ในระบบเป็นดังภาพที่ 2 โดยสัญญาณอินฟราเรดและอัลตราโซนิกถูกส่งจากภาคส่งพร้อมกัน โดยเวลาในการส่งสัญญาณอินฟราเรดจะถูกแปลความหมายเป็นสถานะปุ่มกดของภาคส่ง และเวลาในการเดินทางของเสียงจะนำมาคำนวณเป็นระยะทางคำนวณความเร็วเสียงที่อุณหภูมิต่างได้ ดังสมการที่ 1[4]

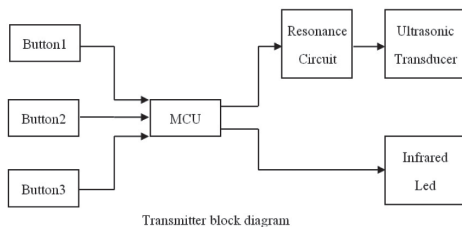
$$V_s = 331.4 + (0.6 \times T) \quad (1)$$

โดยที่ V_s แทน ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)

T แทน อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

2.2. ภาคส่ง

ภาคส่งประกอบด้วยภาคส่งอินฟราเรด ภาคส่งอัลตราโซนิกและไมโครคอนโทรลเลอร์ มีบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 3



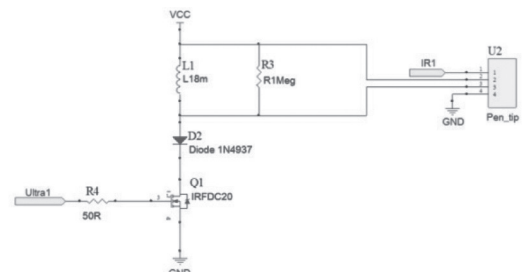
ภาพที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง

2.2.1 ภาคส่งอินฟราเรด

สัญญาณอินฟราเรดใช้ในการชิงโครโนท์เวลากับภาครับและส่ง สถานะปุ่มกดที่รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย LED อินฟราเรดถูกขับด้วยพัลส์ ความถี่ 38 กิโลเฮิร์ตซ์จากไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.2 ภาคส่งอัลตราโซนิก

ในการส่งอัลตราโซนิกใช้ทรานสดิวเซอร์ อัลตราโซนิก ZT40-16 ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ บีมแองเกิล 60 องศา ค่าเก็บประจุ 2400 พิโกฟารัด โดยใช้วงจร RLC เรโซแนนแบบขนาน ที่ความถี่กลาง 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังภาพที่ 4



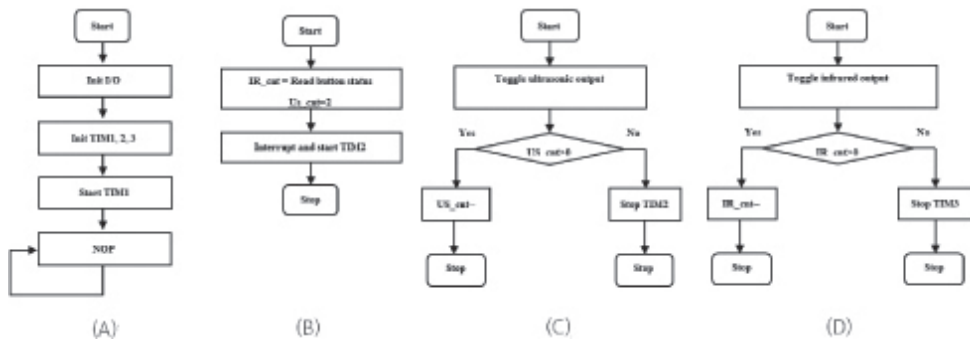
ภาพที่ 4 วงจรภาคส่งอัลตราโซนิก

2.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ภาคส่ง)

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F103 ทำหน้าที่ในการอ่านสถานะการกดปุ่ม และแปลงเป็นระยะเวลาในการส่งสัญญาณอินฟราเรดตามตารางที่ 1 โดยจะส่งสัญญาณอินฟราเรดและอัลตราโซนิกไปพร้อมกัน มีการทำงานคาบละ 5 มิลลิวินาที โดยมีการทำงานของโปรแกรมควบคุมตามโฟลว์ชาร์ตดังภาพที่ 5

ตารางที่ 1 การแปลความหมายการส่งสัญญาณอินฟราเรด

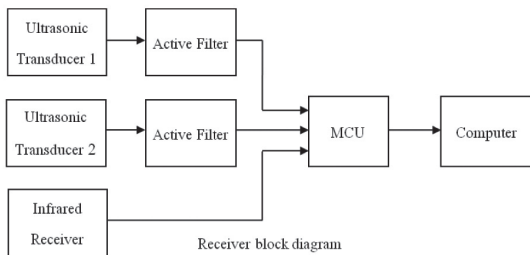
Action	Pulse	Infrared period
Noun	15	395
Left click	30	789
Right click	45	1184



ภาพที่ 5 Flowcharts ของโปรแกรมภาคส่งประกอบด้วย Main loop (A), TIM1 ISR (B), TIM2 ISR (C), TIM3 ISR (D)

2.3. ภาครับ

ภาครับ ประกอบด้วย ภาครับอินฟราเรด ภาครับอัลตราโซนิก และไมโครคอนโทรลเลอร์ มีบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง

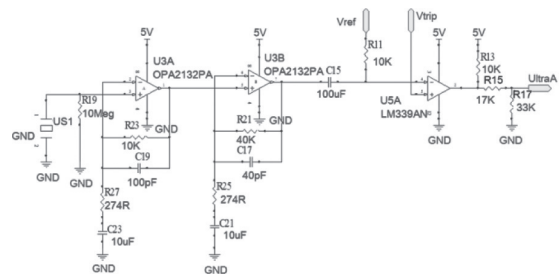
2.3.1 ภาครับอินฟราเรด

รับสัญญาณอินฟราเรดโดยใช้ TSOP 4838 ซึ่งสามารถต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง เนื่องจากภายในมีวงจรกรองแถบความถี่ผ่านความถี่กลางที่ 38 กิโลเฮิร์ตซ์ และ Auto Gain Control (AGC) เพียงแต่เพิ่มส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่คัตออฟที่ 338.79 เฮิร์ตซ์ ที่แหล่งจ่ายตัวรับอินฟราเรด เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย [6]

2.3.2 ภาครับอัลตราโซนิก

รับสัญญาณโดยทรานสดิวเซอร์- อัลตราโซนิก ZR40-16 ความถี่เรโซแนนซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ บีมแองเกิล 60 องศา ค่าเก็บประจุ 2400 พิโกฟารัด

ผ่านวงจรกรองแอดคิฟแบบป้อนกลับบวก ลำดับ 4 ความถี่กลางที่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราขยายประมาณ 42 เดซิเบล ดังภาพที่ 7



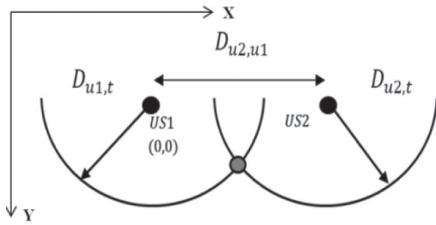
ภาพที่ 7 วงจรภาครับอัลตราโซนิก

2.3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ภาครับ)

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดเดียวกับภาคส่ง ในส่วนนี้ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากภาครับอัลตราโซนิก และภาครับอินฟราเรดมาคำนวณตำแหน่ง และติดต่อกับโฮสคอมพิวเตอร์ผ่าน HID Protocol โดยมีการทำงานของโปรแกรม คือ รอรับสัญญาณอินฟราเรดเพื่อเริ่มนับ TIM1 เมื่อได้รับสัญญาณอัลตราโซนิกหรืออินฟราเรดอีกครั้งจะเก็บค่า TIM1 ไว้ เมื่อได้ข้อมูลครบทั้ง 3 ค่า จะนำข้อมูลมาหาค่ากลางและคำนวณตำแหน่ง เพื่อส่งเป็น HID Report ไปยังคอมพิวเตอร์ และกลับไปรอรับสัญญาณอินฟราเรดในรอบต่อไป

2.4 การคำนวณตำแหน่ง

จอภาพที่ใช้เป็นฉากในงานวิจัยนี้มีขนาดในแกน X 30.5 เซนติเมตร ขนาดในแกน Y 17.5 เซนติเมตร คำนวณตำแหน่งโดยการหาจุดตัดของครึ่งวงกลม 2 วง ดังภาพที่ 8 เมื่อนำมาแปลงเป็นตำแหน่งบนจอภาพ จะได้ตำแหน่ง X, Y สำหรับ HID Protocol ที่มีหน่วยเป็นพิกเซล เทียบกับตำแหน่งมุมซ้ายบนของฉาก โดยชดเชยแกน X ด้วยระยะทางจากจุดอ้างอิงของจอ (ซ้ายบน) ไปยังจุดอ้างอิงเดิม (US1) และในแกน Y ชดเชยด้วยระยะชดเชยมุมบีมแองเกิล (D_{od}) จะได้ตำแหน่ง X, Y ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3



ภาพที่ 8 จุดตัดของครึ่งวงกลม 2 วง

$$X = \frac{S_{HID_x}}{D_x} \left[\frac{(D_{u1,t}^2 - D_{u2,t}^2 + D_{u1,u2}^2)}{2D_{u1,u2}} - \left(\frac{D_x - R_x}{2} \right) \right] \quad (2)$$

$$Y = \frac{S_{HID_y}}{D_y} \left[\sqrt{\frac{D_{u1,t}^2 - (D_{u1,t}^2 - D_{u2,t}^2 - D_{u1,u2}^2)^2}{4D_{u1,u2}^2}} - D_{od} \right] \quad (3)$$

โดยที่ S_{HID_x} แทนความละเอียด HID ในแกน X
 S_{HID_y} แทนความละเอียด HID ในแกน Y
 D_x แทนขนาดในแกน X ของฉาก
 D_y แทนขนาดในแกน Y ของฉาก
 $D_{u1,t}$ แทนระยะทางระหว่าง US1 กับภาค

ส่ง

$D_{u2,t}$ แทนระยะทางระหว่าง US2 กับภาคส่ง

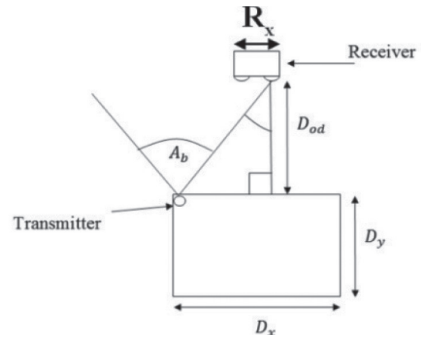
$D_{u2,u1}$ แทนระยะทางระหว่าง US1 และ US2

ซึ่งการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีนี้จะทำให้พื้นที่การใช้งานกว้างกว่าวิธีการของ Lee et al. (2005.2007) [1-2] แต่วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้มุมบีมแองเกิลมาพิจารณาด้วย

2.5 แก้ไขปัญหามุมบีมแองเกิล

เนื่องจากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้มีมุมบีมแองเกิล 60 องศา แต่โดยทั่วไปจะใช้เพียง 30 องศา เพื่อลดผลของการเลี้ยวเบนบริเวณขอบของทรานสดิวเซอร์ [7] จึงจำเป็นต้องเพิ่มระยะชดเชยระหว่างภาครับและภาคส่ง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณในแนวแกน X ได้กว้างขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะติดตั้งภาครับไว้กึ่งกลางฉากด้านบน โดยให้ภาครับวางตัวขนานกับแกน X ดังภาพที่ 9 และคำนวณระยะชดเชยมุมบีมแองเกิลได้ดังสมการที่ 4



ภาพที่ 9 ระยะชดเชยมุมบีมแองเกิล

$$D_{ob} = \frac{\left(\sin 90 - \left(\frac{A_b}{2} \right) \right)}{\sin \left(\frac{A_b}{2} \right)} \times \left(\frac{D_x + R_x}{2} \right) \quad (4)$$

โดยที่ D_{ob} แทนระยะชดเชยมุมบีมแองเกิล
 R_x แทนระยะระหว่างภาครับ 2 ตัว
 A_b แทนมุมบีมแองเกิล
 D_x แทนขนาดในแกน X ของฉาก

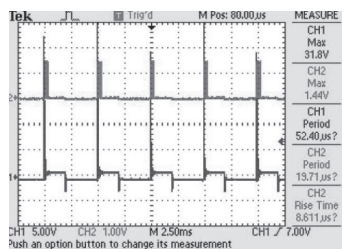
จอภาพที่ใช้เป็นฉากในงานวิจัยนี้มีขนาดในแกน X 30.5 เซนติเมตร ขนาดในแกน Y 17.5 เซนติเมตร ความละเอียด HID ในแกน X และ Y 32768 พิกเซล ถ้าใช้มุมบีมแองเกิลในการคำนวณ 30 องศา จากสมการที่ 1 จะได้ระยะชัดเขยมุมบีมแองเกิล 71.842 เซนติเมตร

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

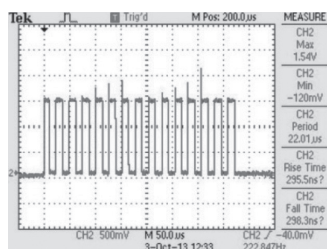
3.1 ภาคส่ง

ภาพที่ 10 แสดงสัญญาณที่ใช้กระตุ้นหลอด LED อินฟราเรดและอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ภาคส่ง โดย CH1 เป็นสัญญาณอัลตราโซนิก และ CH2 เป็นสัญญาณอินฟราเรด มีคาบในการส่งสัญญาณ 5 มิลลิวินาที หรือความถี่ 200 เฮิรตซ์ โดยอัตราการส่งที่เพียงพอในการติดตามการเคลื่อนไหวของการเขียนอยู่ที่ประมาณ 75 เฮิรตซ์ [3] และมีแรงดันสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ เพื่อใช้ในการกระตุ้นอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โดยสัญญาณทั้ง 2 จะถูกส่งออกมาพร้อมกัน

ภาพที่ 11 แสดงสัญญาณความถี่ 38 กิโลเฮิรตซ์ที่ใช้กระตุ้นหลอด LED อินฟราเรด [7]



ภาพที่ 10 สัญญาณอินฟราเรดและอัลตราโซนิกในภาคส่ง

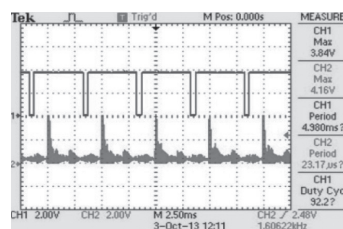


ภาพที่ 11 สัญญาณความถี่ 38 กิโลเฮิรตซ์ที่ใช้กระตุ้นหลอดอินฟราเรดในภาคส่ง

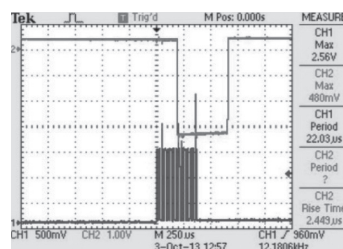
3.2 ภาครับ

ภาพที่ 12 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของสัญญาณอินฟราเรดและอัลตราโซนิกที่ภาครับ โดย CH1 เป็นสัญญาณอินฟราเรด และ CH2 เป็นสัญญาณอัลตราโซนิก มีคาบ 5 มิลลิวินาที มีระดับความแตกต่างของสัญญาณอินฟราเรด และอัลตราโซนิกที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจจับได้ โดยแก้ไขปัญหา Transient Intermodulation Distortion (TIM) ด้วยวงจรกรองแบบป้อนกลับบวก [7] แก้ไขปัญหาสัญญาณที่ได้รับมีขนาดเล็ก ด้วยวงจรกรอง ที่มีอัตราขยายสูง [7] และแก้ไขปัญหาค่าคลาดเคลื่อน เนื่องจากการสะท้อนของสัญญาณ [7] ด้วยการตรวจจับสัญญาณพัลส์สูงแรกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาพที่ 13 แสดงการเหลื่อมกันของสัญญาณอินฟราเรดในภาครับและภาคส่ง มีระยะเวลาประมาณ 150 ไมโครวินาที เนื่องจาก TSOP4838 ต้องใช้ระยะเวลากระตุ้นในการทำงาน [7] แต่ระยะเวลาดังกล่าวค่อนข้างคงที่ จึงสามารถแก้ไขได้ด้วยโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 12 สัญญาณอินฟราเรดและอัลตราโซนิกในภาครับ



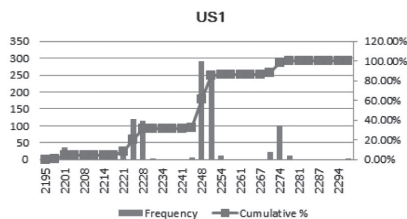
ภาพที่ 13 สัญญาณอินฟราเรดในภาครับและภาคส่ง

3.3 ปรับปรุงการกระจายของข้อมูล

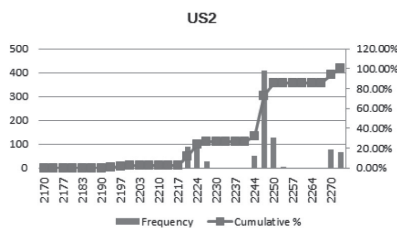
จากการทดลองเก็บข้อมูล 1000 ข้อมูลด้วย อัตราการส่ง 200 เฮิรตซ์ ที่ระยะขดเชยมุมบีบแองเกิล 72 เซนติเมตร วัดการกระจายของข้อมูลดิบจากการวัด ระยะด้วยอัลตราโซนิกตัวที่ 1 (US1) และอัลตราโซนิก ตัวที่ 2 (US2) ได้ผลดังภาพที่ 14 และการกระจายของ คู่อันดับ X,Y ดังภาพที่ 15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าตัดกลุ่ม ข้อมูลที่มีค่ามากและน้อยกว่า กลุ่มข้อมูลส่วนมาก ออก จะทำให้การกระจายลดลง จึงนำ 25% General trimmed mean (25%GTM) ซึ่งเป็นการตัดข้อมูลที่ มีค่ามากที่สุด 25% และน้อยที่สุด 25% มาพิจารณา ได้ผลดังภาพที่ 16 และการกระจายของคู่อันดับ X,Y ดังภาพที่ 17 เปรียบเทียบค่าการกระจายดังตารางที่ 2 โดยใช้ 25%GTM ขนาด 50 ค่า ในการหาค่ากลาง ของการวัดระยะ หลังจากนั้นหาค่าเฉลี่ยขนาด 40 ค่า หลังจากการคำนวณตำแหน่ง ทำให้การกระจายโดย รวมลดลงอย่างมาก โดยลดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้เฉลี่ย 90.86% และลดพิสัยได้เฉลี่ย 93.23%

ตารางที่ 2 การกระจายตัวของข้อมูลดิบและ 25% GTM

TYPE	X(mm)		Y(mm)	
	STD	RANGE	STD	RANGE
RAW	40.213	177.259	6.325	36.172
25%GTM	0.802	10.361	1.354	6.716
25%GTM+MEAN	0.447	2.51	1.087	4.385



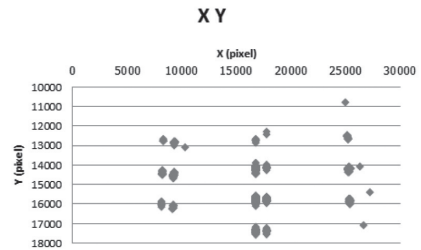
(A)



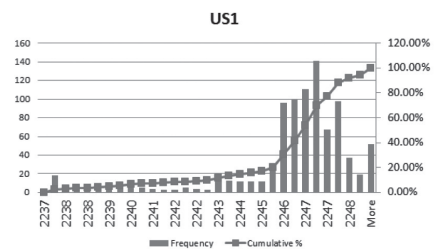
(B)

ภาพที่ 14 การกระจายของข้อมูลดิบ

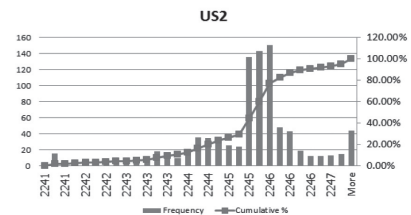
(A) อัลตราโซนิกตัวที่ 1 (B) อัลตราโซนิกตัวที่ 2



ภาพที่ 15 ข้อมูลดิบคู่อันดับ X,Y



(A)

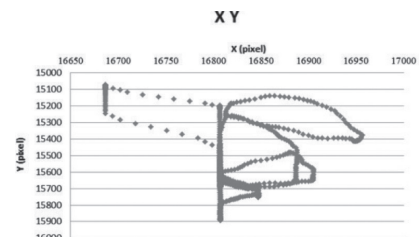


(B)

ภาพที่ 16 การกระจายของข้อมูลหลังการหาค่ากลาง

(A) อัลตราโซนิกตัวที่ 1

(B) อัลตราโซนิกตัวที่ 2



ภาพที่ 17 ข้อมูลคู่อันดับ X,Y หลังการหาค่ากลาง

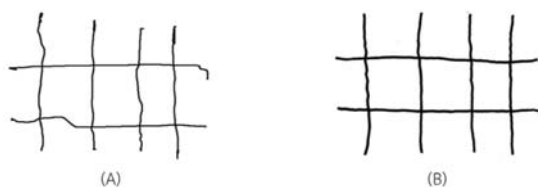
3.4 เปรียบเทียบผลในคอมพิวเตอร์กับภาพที่เขียนจริง

ภาพที่ 18 และ ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่เขียนด้วยปากกาอัลตราโซนิกในโปรแกรม Paint บนคอมพิวเตอร์ หลังการหาค่ากลางด้วย 25% GTM ขนาด 50 ค่าในการวัดระยะทาง และหาค่ากลางด้วยค่าเฉลี่ยขนาด 40 ค่า หลังจากการคำนวณตำแหน่ง

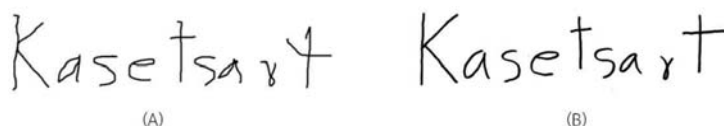
4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและอธิบายหลักการทำงานของระบบปากกาอัลตราโซนิก รวมถึงวิธีการแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อน และการเพิ่มความแม่นยำให้ระบบปากกาอัลตราโซนิกด้วยวิธีการหาค่ากลางของข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจุดเด่นของการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม คือสามารถปรับเปลี่ยนวิธีการในการคำนวณได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับ

เป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการพัฒนา โดยพบว่าการหาค่า 25% GTM ขนาด 50 ค่า ของข้อมูลการวัดระยะด้วยอัลตราโซนิก และการหาค่าเฉลี่ยขนาด 40 ค่า ของข้อมูลที่ได้หลังจากการคำนวณตำแหน่ง สามารถลดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เฉลี่ย 90.86% และลดพิสัยได้เฉลี่ย 93.23% อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าหลังจากการปรับปรุงการกระจายแล้ว จะได้ภาพที่แสดงในคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับภาพที่เขียนจริง



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบภาพตารางที่แสดงบนคอมพิวเตอร์ (A) กับภาพที่เขียนจริง (B)



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบภาพตัวอักษรที่แสดงบนคอมพิวเตอร์ (A) กับภาพที่เขียนจริง (B)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lee, J. and Chung, Y. 2005. **Design of a wireless handwriting input system for mobile devices**. Proceedings of the Ninth International Symposium, 222-225.
- [2] Lee, J., Hong, S. and Chung, Y. 2007. **Robust tracking of ultrasonic pen for handwriting digitizer applications**. IEEE Transactions, Consumer Electronics, 53: 1098-1102.
- [3] Nonaka, H. and Da-te, T. 1993. **Ultrasonic Pointing Device Using Supersonic Position**

Measurement. Transaction of the Society of Instrument and Control Engineers, 29: 735-744.

- [4] Bradley, A., Noakes, P. D. and Fleury, M. 2006. **Design of an Ultrasonic Interface for a Graphics Tablet**. Microprocessors and Microsystems, 30: 480-496.

- [5] Universal Serial Bus (USB) Device Class Definition for Human Interface Devices (HID) V1.11.

- [6] Vishay Semiconductors. **IR Receiver Modules for Remote Control Systems**. Rev. 1.1, 04-Sep-12.

- [7] เศรษฐกร สมฤทธิ์. 2006. **เครื่องวัดพิทช์ระบบ 3 มิติ โดยใช้หลักการอัลตราโซนิก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.