

การใช้งานบล็อกตรวจจับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเพื่อการออกแบบด้วย
แบบจำลองและการพัฒนาต้นแบบอย่างรวดเร็ว
Using PWM Capture Block for Model-Based Design
and Rapid Prototyping Development

นาวาโท ผศ.อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ

กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Email: U.Boonprasert.TH@ieee.org

บทคัดย่อ: บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการออกแบบโดยใช้แบบจำลองและการพัฒนาต้นแบบอย่างรวดเร็ว โดยยกตัวอย่างการใช้บล็อกตรวจจับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยทีมวิจัยของโรงเรียนนายเรือ ทำงานร่วมกับบล็อกเซตมาตรฐานอื่น ๆ ในไลบรารีของซิมูลิงก์ เพื่อโปรแกรมสั่งการโมดูลอัลตราโซนิก ให้ตรวจจับและวัดระยะห่างระหว่างวัตถุ จากนั้นจึงแปลงโค้ดเพื่อใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาในกระบวนการพัฒนาต้นแบบ ผลการทดสอบที่ได้พบว่า บล็อกเซตที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานเข้ากันได้ดีกับไลบรารีอื่น ๆ ของซิมูลิงก์ สามารถใช้งานได้กับโปรแกรมแมทแลป 32 บิต และ 64 บิต ตั้งแต่เวอร์ชัน R2009b ขึ้นไป และสามารถแปลงโค้ดเพื่อใช้งานกับระบบฝังตัวให้ทำงานได้ตามลำพัง ช่วยให้งานพัฒนาต้นแบบเป็นไปได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์, การออกแบบด้วยแบบจำลอง, การพัฒนาต้นแบบอย่างรวดเร็ว, ซิมูลิงก์, แมทแลป

Abstract: This paper proposes the method of model-based design and rapid prototyping development using the PWM Capture Block as the example. This block was developed by a research team of the Royal Thai Naval Academy. We use this block and others standard Simulink's blockset library to program the ultrasonic module for object detection and distance measurement functions. The Simulink code which already developed could transform to use with STM32F4, a 32-bit microcontroller, helping the developers in their prototyping development process. The results showed that the PWM Capture block could work seamlessly with the others standard Simulink's blockset library and compatible with 32-bit and 64-bit versions of MATLAB R2009b and beyond. The complete Simulink code could be generated to use with the embedded systems for standalone system. This can help the prototyping process to be done quickly and easily, saving time and costs.

Keywords: Microcontroller, Model Based Design, Rapid Prototyping, Simulink, Matlab

1. บทนำ

วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัว คือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายใน เช่น หม้อหุงข้าวเครื่องซักผ้า ตู้เย็น รุ่นอัจฉริยะ สมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน เช่น ระบบควบคุมของรถยนต์ (ECU) อากาศยานไร้คนบิน (UAV) หรือจรวดนำวิถี เป็นต้น

ขั้นตอนในการใช้งานระบบสมองกลฝังตัว นักพัฒนาจะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการระบบ เช่นเดียวกับที่เครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีโปรแกรมต่างๆ อย่างไรก็ตามการเขียนโปรแกรมให้กับระบบสมองกลฝังตัวจะยากกว่าการเขียนโปรแกรมให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป เพราะนอกจากนักพัฒนาจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับภาษาคอมพิวเตอร์ เช่น ภาษาซี แล้วยังจะต้องเข้าใจ

หลักการทำงานของฮาร์ดแวร์ในเชิงลึก ทำให้การใช้งานระบบสมองกลฝังตัวในปัจจุบันยังจำกัดอยู่เฉพาะในกลุ่มนักพัฒนาที่มีทักษะความชำนาญเฉพาะทาง นอกจากนี้ การนำระบบสมองกลฝังตัวไปเชื่อมกับฮาร์ดแวร์ระบบเซนเซอร์ และแอคชูเอเตอร์ จะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อสื่อสารข้อมูลตามรูปแบบของโปรโตคอลที่หลากหลาย ทำให้งานพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเป็นไปด้วยความล่าช้า และไม่ทันต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

แนวคิดของการพัฒนาต้นแบบอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น เช่น การออกแบบด้วยแบบจำลอง (Model-Based Design: MBD) [1] ที่พัฒนาโดยทีมนักวิจัยของบริษัท MathWorks หรือที่เป็นที่รู้จักกันดีในวงการการศึกษาและวงการวิจัย คือผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

แมทแลป และซิมมูลิงก์ โดยเฉพาะซิมมูลิงก์ เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยมในการใช้ทำ MBD มาก เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการ เช่น ความง่ายในการใช้งาน ลดข้อผิดพลาดของการโปรแกรม มีมาตรฐานสากลรองรับ และการสร้างโค้ด (Code Generation) เพื่อนำไปใช้งานกับฮาร์ดแวร์ได้หลายบริษัท เช่น dSPACE, Freescale, Texas Instrument, ฯลฯ เป็นต้น จึงทำให้เกิดความรวดเร็วในงานพัฒนาต้นแบบประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย [2]

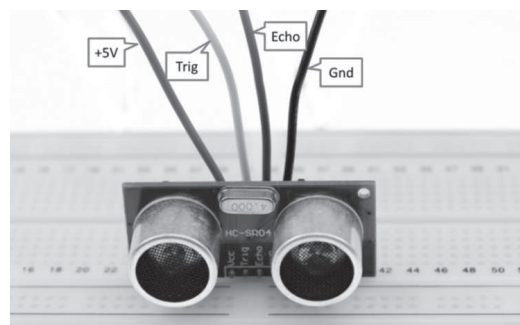
ห้องปฏิบัติการระบบสมองกลฝังตัวแบบกราฟิกของโรงเรียนนายเรือ จึงได้พัฒนาชุดคำสั่งแบบบล็อกเชตสำหรับใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์และการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ ด้วยซิมมูลิงก์ ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงกราฟิก (Graphical Programming) โดยบทความวิจัยนี้ ได้หยิบยกเอาตัวอย่างของการใช้งานบล็อกตรวจจับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม อ่านค่าจากโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิก ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ราคาถูก ที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปในประเทศ เพื่อเป็นตัวอย่างของการพัฒนาต้นแบบอย่างรวดเร็วให้กับภาคอุตสาหกรรมและนักวิจัย ได้นำไปประยุกต์ใช้ตามความต้องการต่อไป จึงเป็นที่มาของบทความวิจัยนี้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 โมดูลอัลตราโซนิกและการประยุกต์ใช้งาน

บทความนี้เลือกใช้โมดูลอัลตราโซนิกรุ่น HC-SR04 แสดงตามภาพที่ 1 โมดูลนี้ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางแบบไม่สัมผัส [3] โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงเกินกว่าการได้ยินของมนุษย์ วัดระยะได้ตั้งแต่

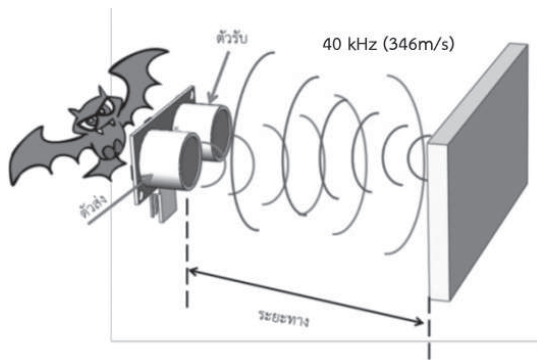
2 - 400 เซนติเมตร หรือ 1 - 156 นิ้ว สามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ได้ง่าย ใช้พลังงานต่ำ เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ หรืองานด้านหุ่นยนต์ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 1 โมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04 และการต่อใช้งาน



ภาพที่ 2 การใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกในยานควบคุมอัตโนมัติ



ภาพที่ 3 หลักการตรวจจับและวัดระยะทางระหว่างวัตถุด้วยคลื่นเสียง

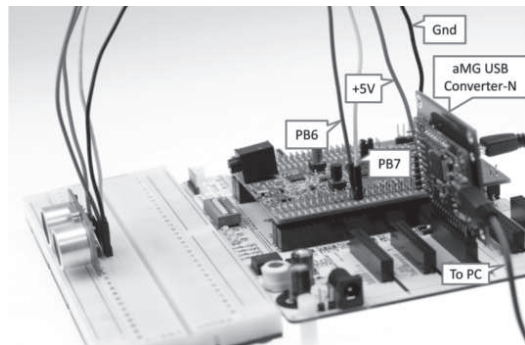
หลักการทำงาน จะเหมือนกันกับการตรวจจับวัตถุด้วยเสียงของค้างคาว ตามภาพที่ 3 ตัวส่งอัลตราโซนิก จะส่งคลื่นความถี่ 40 kHz ออกไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณ 346 เมตรต่อวินาที และตัวรับจะคอยรับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากวัตถุ เมื่อทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น เวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับ (t) ก็จะสามารถหาระยะทางระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ (S) ได้จากสมการที่ 1

$$S = 346 \times 0.5t \quad (1)$$

เพื่อให้เกิดความสะดวกกับผู้ใช้งาน ในส่วนของการคำนวณหาระยะทาง ได้ถูกโปรแกรมอยู่ในระบบฝังตัวของเซนเซอร์เรียบร้อยแล้ว และส่งผลลัพธ์ของการคำนวณออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างสัมพันธ์กับระยะทางที่วัดได้

2.2 การโปรแกรมโมดูลอัลตราโซนิก

ขั้นตอนการโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของโมดูล HC-SR04 จะต้องใช้ MCU อีก 1 ชุด ในงานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ด MCU รุ่น



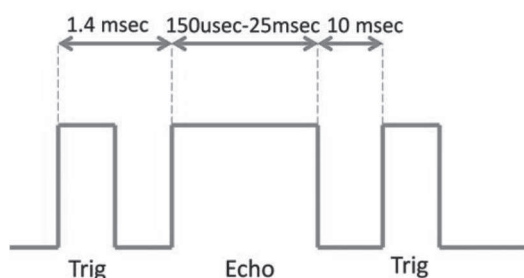
ภาพที่ 4 การต่อโมดูล HC-SR04 เข้ากับบอร์ด STM32F4DISCOVERY

STM32F4DISCOVERY ของ STMicroelectronics [4] โดยตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต่อเชื่อมแสดงตามภาพที่ 4

บอร์ด MCU นี้จะนำมาใช้เขียนคำสั่งเพื่อสื่อสารกับ HC-SR04 โดยบอร์ด MCU จะสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ความกว้างประมาณ 10 μsec ไปยังขา Trig เพื่อกระตุ้นให้ตัวส่งสร้างคลื่นความถี่ 40KHz ออกสู่อากาศ 8 ลูกคลื่น หลังจากนั้นอีกประมาณ 1.4 msec ตัวรับจะรับสัญญาณสะท้อนกลับได้และแปลงค่าระยะทางเป็นสัญญาณพัลส์ส่งออกไปที่ขา Echo มีความกว้างอยู่ระหว่าง 150 μsec – 25 msec ขึ้นอยู่กับระยะทางของวัตถุที่ถูกตรวจพบ ถ้าหากกว้างกว่านี้จะถือว่าตรวจไม่พบวัตถุ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสาร [5] แสดงตามภาพที่ 5 ขั้นตอนต่อไป MCU จะต้องอ่านสัญญาณจากขา Echo ของโมดูลและแปลงเป็นระยะทางที่ตรวจพบวัตถุโดยใช้สมการ 2 หรือ 3

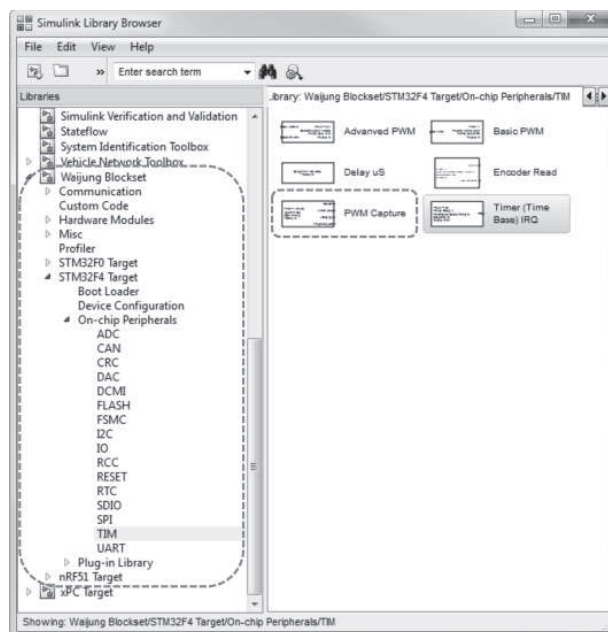
$$\text{Distance (cm)} = \text{Echo Time } (\mu\text{sec}) / 58 \quad (2)$$

$$\text{Distance (in)} = \text{Echo Time } (\mu\text{sec}) / 148 \quad (3)$$



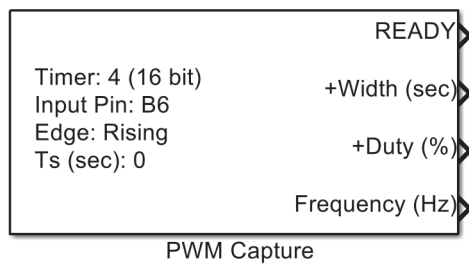
ภาพที่ 5 สัญญาณที่ขา Trig และขา Echo ของโมดูล HC-SR04

ขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดจะต้องโปรแกรมโดยใช้ภาษาซีสามารถดูตัวอย่างได้ที่ [6] ซึ่งไม่สะดวกในการนำไปใช้กับซิมมูลิงก์ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาไลบรารีสำหรับตรวจสอบสัญญาณระดับเบิยูเอ็มเพื่อใช้งานกับซิมมูลิงก์โดยเฉพาะ โดยสามารถดาวน์โหลดได้ที่ [7] หลังจากที่ได้ดาวน์โหลดและทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ไลบรารีนี้จะผนวกอยู่กับไลบรารีหลักของซิมมูลิงก์ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 บล็อกเซต Waijung ที่ถูกติดตั้งอยู่ในโลบาร์
ของชิมมลิงก์

เมื่อติดตั้งไลบรารีเรียบร้อยแล้ว ให้เข้าไปที่ Waijung> STM34F4 Target>On-chip Peripherals>TIM>PWM Capture ซึ่งบล็อก PWM Capture นี้ เป็นการโปรแกรมให้ MCU ตรวจวัดความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาทางขา PB6 โดยเริ่มต้นที่ขอบขาขึ้น และใช้โหมดเมอร์ 4 หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว จะส่งสัญญาณ READY เป็นลอจิกไฮและรายงานคุณสมบัติของสัญญาณที่วัดได้ คือ ความกว้าง (+Width) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ดิวตี้ (+Duty %) และความถี่ (Frequency) เป็นของสัญญาณ Trig แสดงตามภาพที่ 7

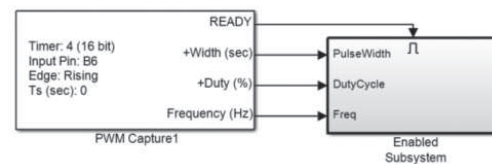
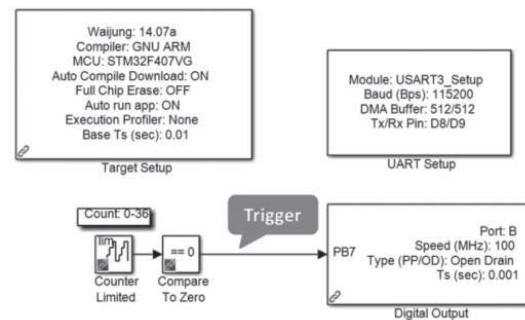


ภาพที่ 7 บล็อกเซตสำหรับอ่านค่าสัญญาณพัลส์

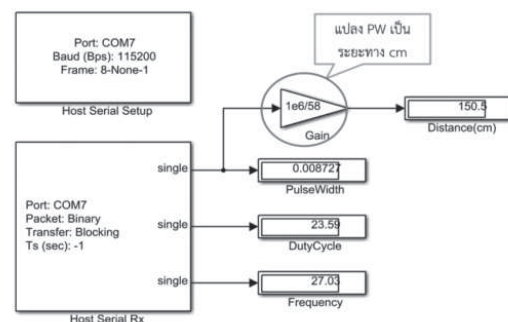
3. การทดลองอ่านค่าจากเซนเซอร์

การทดลองนี้จะโปรแกรม MCU ให้อ่านค่าจากเซนเซอร์แล้วส่งไปแสดงผลบนพีซี เริ่มจากต่อเซนเซอร์โมดูลเข้ากับบอร์ด MCU ตามภาพที่ 4 และเขียนโปรแกรมตามภาพที่ 8 บล็อก Counter Limited ทำงานร่วมกับบล็อก Compare To Zero เพื่อสร้างสัญญาณ Trig ออกทางขา PB7 ของ MCU บล็อก PWM Capture ทำหน้าที่ตรวจวัดความกว้างสัญญาณ Echo ที่เข้ามาทางขา PB6 ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปแสดงที่พีซีด้วยโปรโตคอลสื่อสารอนุกรม (USART)

โปรแกรมที่รันในฝั่งพีซีเพื่อรับค่าที่ส่งมาจาก MCU แสดงตามภาพที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่นำมาแสดงจะใช้บล็อก Display ส่วนค่า Gain เป็นการนำกว้างของสัญญาณพัลส์ที่วัดได้ในหน่วย msec มาคูณกับ 10^6 และหารด้วย 58 ซึ่งหมายถึง การทำให้เป็นระยะทางในหน่วย cm



ภาพที่ 8 โปรแกรมฝังตัวใน MCU

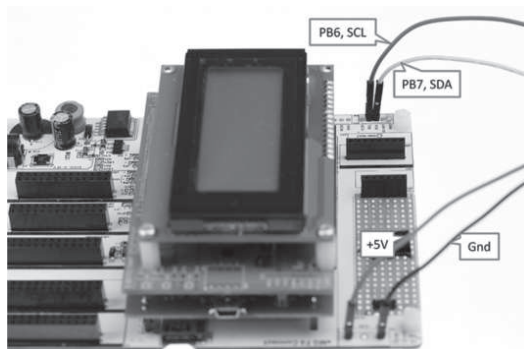


ภาพที่ 9 โปรแกรมที่รันในฝั่งพีซีและแสดงผลที่ได้จากเซนเซอร์

4. การทดลองระบบแบบตามลำพัง

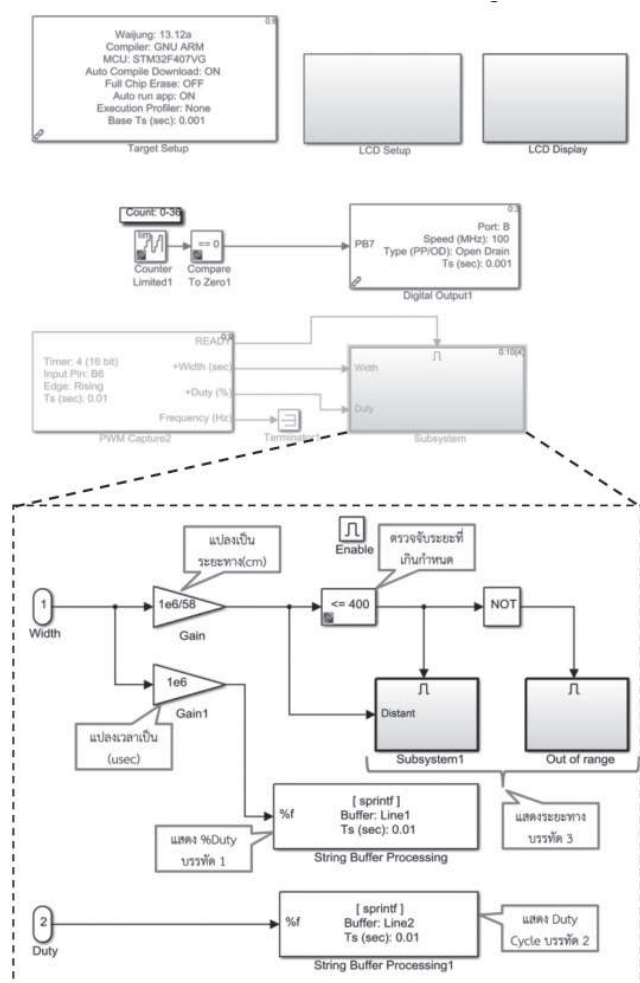
หลังจากที่ได้ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์เป็นที่พอใจแล้ว ขั้นตอนต่อไปของ MBD จะเป็นการนำเอาโปรแกรมที่อยู่ในฝั่งของพีซีไปรวมอยู่ในฝั่งของ MCU ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นการทดสอบการทำงานตามลำพัง (Standalone) โดยไม่ใช่พีซี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ควรจะต้องเหมือนกันกับการรันโปรแกรมบนพีซี จึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งโมดูล HC-SR04 นี้สามารถนำไปประยุกต์ทำเป็น

โครงการต่าง ๆ หรือเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ตลับเมตรไร้สาย หุ่นยนต์อัตโนมัติ ฯลฯ เป็นต้น โดยในส่วนของฮาร์ดแวร์จะต้องเพิ่มส่วนแสดงผล ในที่นี้ใช้เป็นจอแอลซีดีและให้ต่อวงจรตามภาพที่ 10



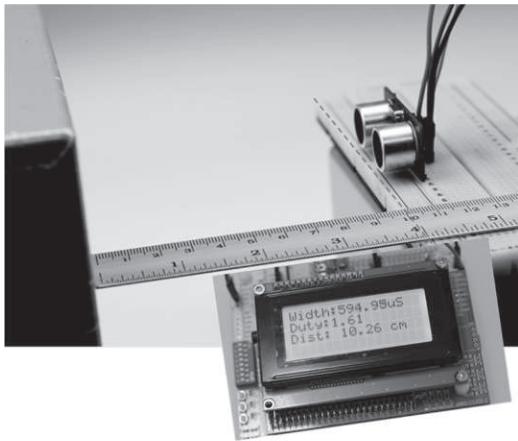
ภาพที่ 10 การประกอบฮาร์ดแวร์เพื่อทดสอบการทำงานตามลำพัง

จากนั้นให้โปรแกรม MCU ตามภาพที่ 11 บล็อก LCD Setup และ LCD Display ใช้เพื่อรองรับการแสดงผลของ MCU และในบล็อก Subsystem มีการเพิ่มเงื่อนไขของการแสดงผล โดยจะตรวจสอบว่าระยะทางที่วัดได้เกิน 400 cm หรือไม่ ถ้าไม่เกินจะให้แสดงค่าระยะทาง แต่ถ้าเกินจะให้แสดงข้อความว่า “Out of Range”



ภาพที่ 11 การโปรแกรมฝังตัวเพื่อให้ระบบทำงานตามลำพัง

ตัวอย่างการทดสอบความเชื่อถือได้ในการวัดระยะของเซนเซอร์แสดงตามภาพที่ 12 ซึ่งผลของการทดสอบพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจสำหรับการนำไปใช้กับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนัก



ภาพที่ 12 การโปรแกรมทดสอบการความแม่นยำของเซนเซอร์

5. สรุป

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอตัวอย่างของการพัฒนาต้นแบบอย่างรวดเร็วด้วยการใช้เทคนิค MBD ยกตัวอย่างการใช้บล็อก PWM Capture อ่านค่าจากระยะทางจากเซนเซอร์วัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก HC-SR04 เป็นกรณีศึกษา ผลจากการทดสอบซิมูเลตติ้งบล็อกที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ สามารถใช้งานร่วมกับบล็อกเซตมาตรฐานของไลบรารีซิมูเลตติ้งได้เป็นอย่างดี การโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยซิมูเลตติ้ง ช่วยสนับสนุนเทคนิคของการทำ MBD ทำให้งานพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเป็นไปได้

ได้อย่างรวดเร็ว ลดข้อผิดพลาด ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย เป็นประโยชน์โดยตรงกับภาคอุตสาหกรรม หรือผู้ที่สนใจทำโครงการเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้นำไปศึกษาเป็นตัวอย่าง และพัฒนาต่อยอดได้ต่อไป

ข้อแนะนำในการใช้งานเพื่อการวัดที่แม่นยำของเซนเซอร์นี้คือ มุมในการวัดควรอยู่ในช่วงไม่เกิน 15 องศา และพื้นผิวที่วัดควรจะมีเรียบมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 0.5 ตารางเมตร

บรรณานุกรม

- [1] MathWorks, 2014. Model-Based Design R2014b [Online] <http://www.mathworks.com/help/simulink/gs/model-based-design.html>
- [2] Lin, J., 2014. Measuring Return on Investment of Model Based Design [Online] http://www.mathworks.com/model-based-design/mbd-roi-video/Measuring_ROI_of_MBD.pdf
- [3] HC-SR04, n.d. User Guide [Online] http://www.electfreaks.com/store/download/product/Sensor/HC-SR04/HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf
- [4] STMicroelectronics, 2013. Discovery kit for STM32F407/ 417 line [Online] <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419>
- [5] Product User's Manual-HC-SR04 Ultrasonic Sensor, n.d. [Online] https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit
- [6] Abad, R., 2014. HCSR04 mbed Library, [Online] <http://developer.mbed.org/users/rabad1/code/HCSR04>
- [7] Blockset, W., 2014. STM32F4 Target for Hi-Performance & DSP Applications [Online] [https:// www.aimagin.com/download/](https://www.aimagin.com/download/)