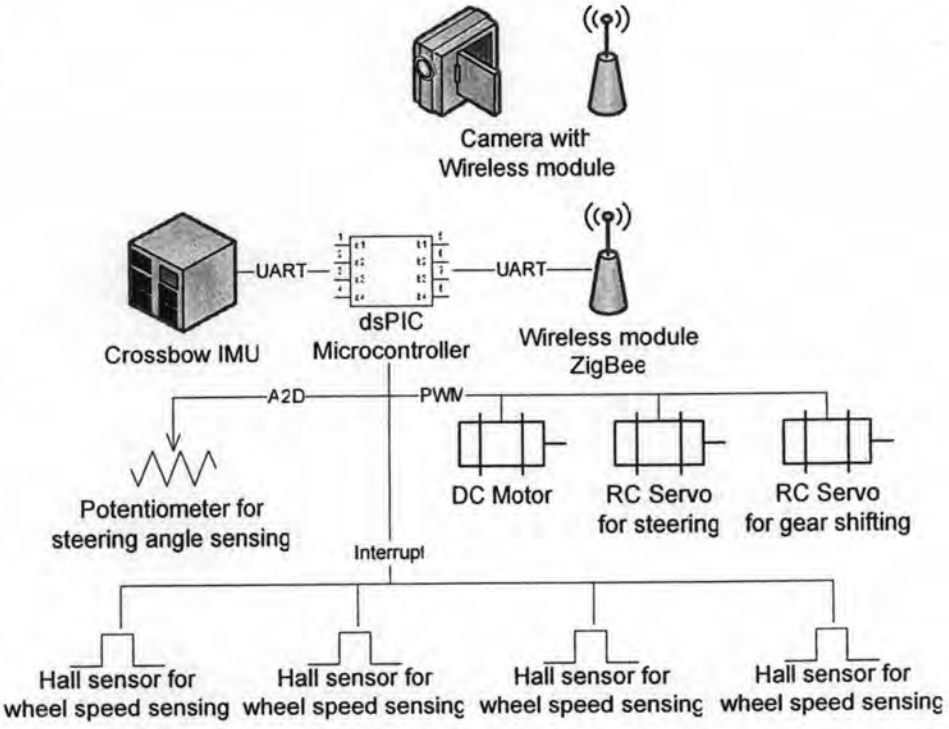
บทที่ 6
ระบบควบคุมบนยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดที่กำหนดไว้บนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนแล้ว ทำการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดภายใต้การออกแบบวงจร และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน จาก รูปที่ 6.1 แสดงถึงการสื่อสารของอุปกรณ์แต่ละตัวบนยานพาหนะ โดยการทำงานทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับตัวประมวลผลหลักในการคำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมดก่อนที่จะส่งไปยังคอมพิวเตอร์หลักควบคุมภายนอกผ่านชุดรับ-ส่งสัญญาณไร้สาย ในบทนี้จะอธิบายถึงการควบคุมการทำงานแต่ละส่วนของระบบภายในยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนดังต่อไปนี้



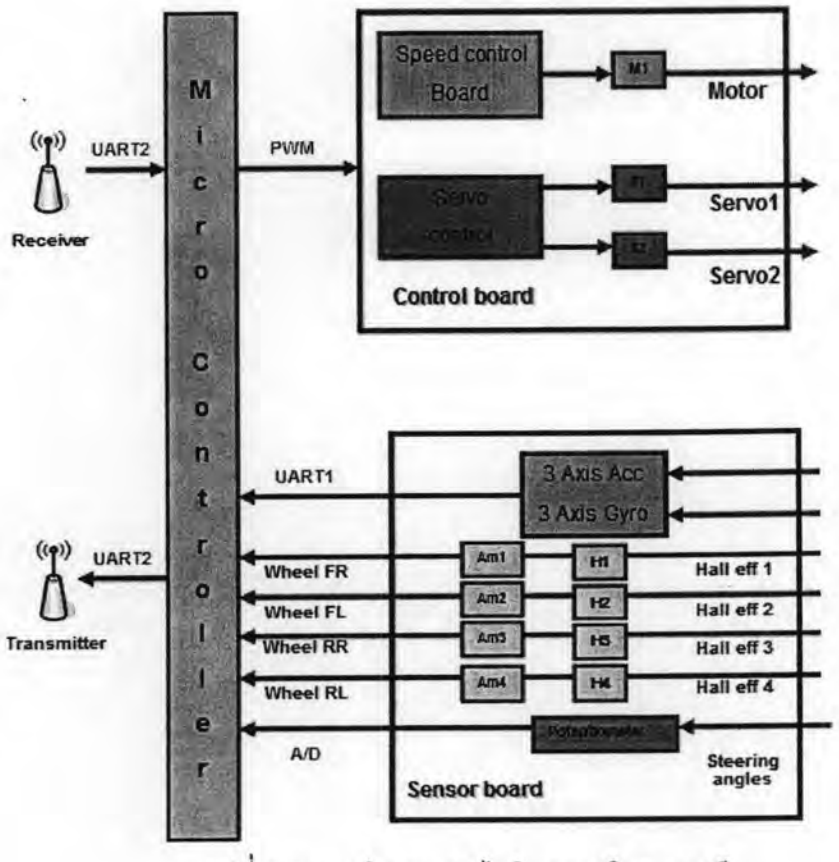
รูปที่ 6.1 ระบบการทำงานรวมบนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

อุปกรณ์ต่างๆบนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

- Microcontroller – dsPIC P30F4011
- Inertial Measurement Unit – Crossbow MNAV100CA
- Wireless module 2.4GHz– ZigBee IEEE 802.15.4
- Camera with wireless module 1.2GHz
- DC motor for driving
- RC servo for steering & RC servo for gear shifting

6.1 ระบบประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์

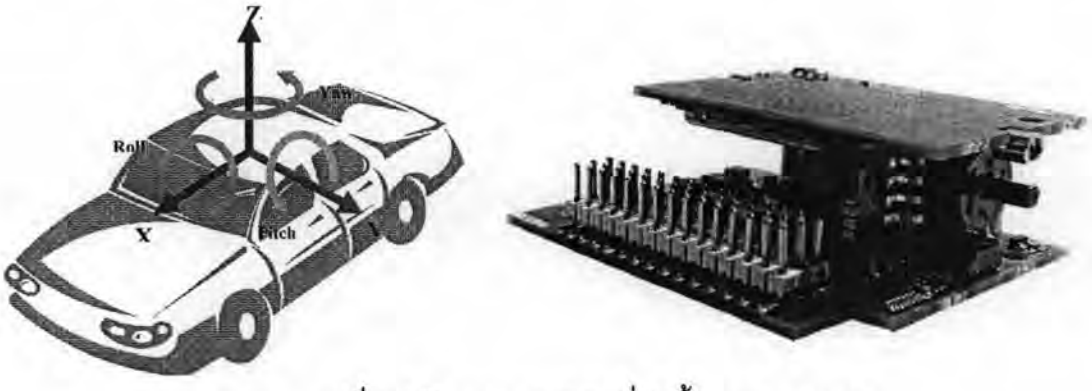
คือระบบประมวลผลหลักที่อยู่บนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน โดยจะเป็นตัวกลางในการรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอก ผ่านชุดวงจรรับ-ส่งสัญญาณข้อมูลไร้สาย ผ่านเข้ามายังช่องสัญญาณ UART2 (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยรอบของการรับ-ส่งข้อมูลอยู่ที่ 100Hz และใช้อัตราการส่งจำนวนข้อมูลที่ใช้ 38400 บิต/วินาที ความเร็วของสัญญาณฐานนาฬิกาใช้ 64MHz การทำงานบนตัวยานพาหนะคือรับข้อมูลคำสั่งที่ได้มาวิเคราะห์ว่าข้อมูลคำสั่งที่ส่งมาให้อุปกรณ์ใดทำงาน ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์สำหรับเคลื่อนที่ว่าจะให้หยุด เคลื่อนที่ไปข้างหน้า หรือไปข้างหลัง เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่1 ว่าจะให้เลี้ยวไปทางซ้ายหรือทางขวา เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่2 ว่าจะสั่งให้ใช้เกียร์ 1, 2, 3 หรือ 4 สำหรับในส่วนที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดเข้ามาวิเคราะห์บนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนส่งไปยังคอมพิวเตอร์รับค่าข้อมูลภายนอก ได้แก่ ค่าความเร็วเชิงเส้น และค่าความเร็วเชิงมุม ผ่านการสื่อสารช่อง UART1 ค่าแรงดันแต่ละล้อจะผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดันก่อนเข้าวงจรนับของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วทำการคำนวณข้อมูลออกมาเป็นความเร็ว ในส่วนของมุมเลี้ยวอ่านค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้ ผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วทำการคำนวณข้อมูลที่ได้เป็นมุมองศาการเลี้ยวออกมา



รูปที่ 6.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

6.2 การอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม

อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม หรือที่เรียกรวมกันว่า Inertial Measurement Unit (IMU) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่รวมเอาอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งเชิงเส้น และความเร็วเชิงมุมไว้ในตัว จึงถูกติดตั้งบนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน เพื่อให้ทราบถึงอัตราและทิศทางการเคลื่อนไหวของตัวยานพาหนะ สำหรับในตัว IMU ไม่สามารถส่งค่าข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอกได้โดยตรง ต้องอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลางในการผ่านข้อมูลก่อนส่งข้อมูลแบบไร้สายออกไป การอ่านค่า IMU ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อสื่อสารกันผ่านช่องสัญญาณพอร์ทอนุกรม (UART1) โดยหลักการอ่านข้อมูลจะแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.3 ทิศทางของ IMU ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

6.2.1 การทำงานของ Crossbow รุ่น MNAV100CA

การส่งข้อมูลของ Crossbow รุ่น MNAV100CA สามารถเลือกได้ว่าให้ส่งข้อมูลอย่างสม่ำเสมอด้วยความถี่ 100, 50, 25, 20, 10, 2 Hz หรือส่งสัญญาณเมื่อมีการร้องขอ ซึ่งความถี่ในการส่งข้อมูลจะเกี่ยวข้องกับการตั้งค่าความเร็วอัตราการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมด้วย ซึ่งสามารถเลือกอัตราการส่งข้อมูลได้ในช่วง 9600, 19200, 38400 และ 57600 บิต/วินาที ซึ่งถ้าต้องการข้อมูลที่ความถี่สูงสุดที่อุปกรณ์ทำได้คือ 100 Hz จะต้องส่งข้อมูลที่อัตราส่งข้อมูลด้วยจำนวน 38400 บิต/วินาที ขึ้นไปโดยเป็นค่าที่เลือกใช้ในการทำงานบนยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

นอกจากนี้รูปแบบการรายงานข้อมูลยังสามารถเลือกได้ 2 รูปแบบ คือ Voltage mode จะส่งค่าข้อมูลดิบของเซนเซอร์แต่ละตัว โดยรายงานเป็นแรงดันของเซนเซอร์นั้นๆ หรือ รูปแบบที่สอง คือ Scaled mode จะรายงานเป็นข้อมูลที่แปลงเป็นหน่วยทางวิศวกรรมแล้ว เช่น g, rad/s^2 เป็นต้น ในการควบคุมยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนนี้เลือกใช้แบบ Scaled mode

6.2.2 การติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม

การติดต่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ IMU นั้นทำผ่านพอร์ตอนุกรมทางช่องสัญญาณ UART1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปแบบข้อมูลที่ Crossbow รุ่น MNAV100CA ส่งออกมาจะอยู่ในรูป

Header	Data	Checksum

ตาราง 6.1 รายละเอียดข้อมูลแต่ละไบต์ของเซนเซอร์ Crossbow

Byte	Data
1,2	Header (0x5555 "UU")
3	Measurement mode ("V" voltage mode, "S" scaled mode)
4,5	X-axis acceleration
6,7	Y-axis acceleration
8,9	Z-axis acceleration
10,11	X-axis angular rate
12,13	Y-axis angular rate
14,15	Z-axis angular rate
16,17	X-axis magnetic field
18,19	Y-axis magnetic field
20,21	Z-axis magnetic field
22,23	X-axis temperature
24,25	Y-axis temperature
26,27	Z-axis temperature
28,29	Absolute pressure
30,31	Pilot pressure
32,33	Checksum

เนื่องจากระบบควบคุมของยานพาหนะกำหนดความต้องการข้อมูลที่ความถี่ 100 Hz จึงเขียนโปรแกรมให้ IMU ส่งข้อมูลด้วยความถี่ 100 Hz และอัตราการส่งข้อมูลด้วยจำนวน 38400 บิต/วินาที่

กระบวนในการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ Crossbow รุ่น MNAV100CA เริ่มต้นจากการสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเปิดช่องทางการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมซึ่งในที่นี้ใช้ช่องทางสื่อสารด้วยโมดูลพอร์ทอนุกรมโหมด1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยอัตราส่งข้อมูลด้วยจำนวนที่ตรงกับเซนเซอร์ คือ 38400 บิต/วินาที เนื่องจากข้อมูลจะถูกส่งออกมาตลอดเวลา โดยทุกๆ การรับข้อมูล 1 ไบต์ จะเกิดอินเตอร์รัพท์ขึ้นเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่รับมา โดยเริ่มจากทำการตรวจหาส่วนหัวข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูล 2 ไบต์ที่มีค่าเป็น 0x5555 ในเลขฐาน 16 หรือ "UU" ในรูปแบบอักขระ เมื่อพบส่วนหัวข้อมูลแล้วข้อมูลที่จะเข้ามาต่อไปอีก 31 ไบต์เก็บลงในบัฟเฟอร์ จากนั้นจะตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการทำเช็คซัม ซึ่งกระบวนการเช็คซัมของเซนเซอร์ คือ เอาข้อมูลแต่ละบิตยกเว้นส่วนหัวข้อมูล และเช็คซัมมาบวกกัน ข้อมูล 16 บิตต่ำสุดจะเป็นค่าเช็คซัม ถ้าค่าเช็คซัมที่คำนวณได้ตรงกับเช็คซัมที่เซนเซอร์ส่งมา แสดงว่าการรับส่งข้อมูลไม่มีข้อผิดพลาด จะทำการประมวลผลข้อมูลต่อไป ถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น จะไม่สนใจข้อมูลชุดนั้น และทำการรับข้อมูลต่อไป

ในการประมวลผลข้อมูลนั้น เนื่องจากข้อมูลจากตัวเซนเซอร์ถูกวัดออกมาด้วยความละเอียด 16 บิต (2 ไบต์) แต่การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้เพียงครั้งละ 8 บิต (1 ไบต์) ดังนั้นการอ่านข้อมูลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์จึงทำการแตกข้อมูลเป็น 2 ไบต์ และส่งไบต์สูงมาก่อน แล้วตามด้วยไบต์ต่ำ ดังนั้นเมื่อทำการรับข้อมูลมาแล้ว จะต้องนำข้อมูล 2 ไบต์มารวมกัน โดยบางส่วนของโค้ดโปรแกรมเป็นดังนี้

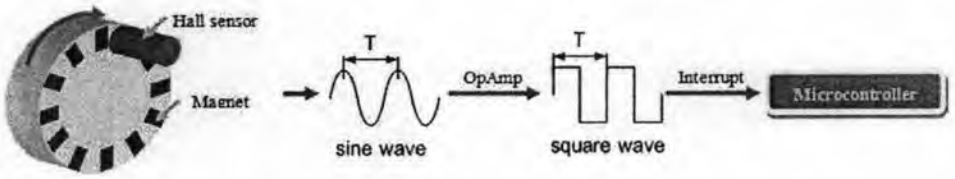
```
16 bits data = (High byte data << 8) | Low byte data
```

สำหรับข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านจากเซนเซอร์ Crossbow รุ่น MNAV100CA นั้นจะเอามาเพียงบางค่าเท่านั้น เนื่องจากบางไม่ได้เอาไปใช้ในการศึกษาพลศาสตร์ของยานพาหนะ โดยค่าที่อ่านออกมามีดังนี้

- X, Y, Z-axis acceleration
- X, Y, Z-axis angular rate
- X, Y, Z-axis magnetic field

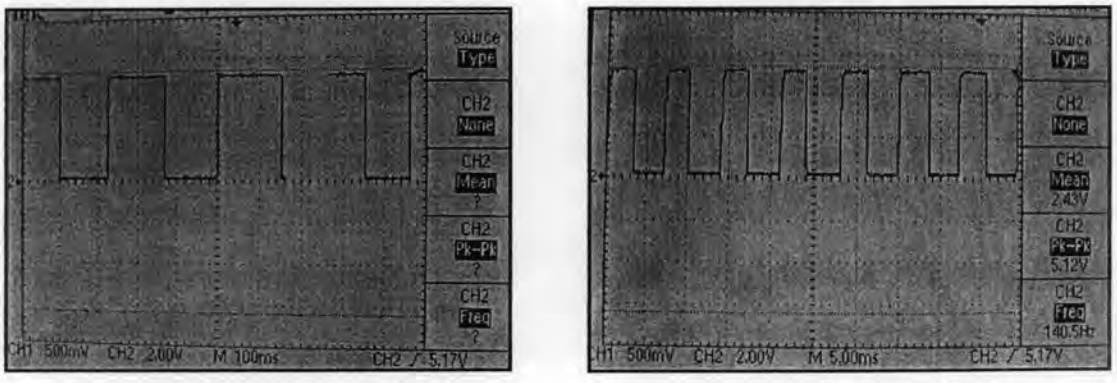
6.3 การวัดความเร็วล้อ

การติดต่อระหว่างตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์วัดความเร็วที่ล้อฮอลล์เซนเซอร์ โดยผ่านวงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณแรงดัน เนื่องจากคุณสมบัติของฮอลล์เซนเซอร์จะเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเมื่อมีสนามแม่เหล็กตัดผ่าน ดังนั้นจึงออกแบบให้ชุดฮอลล์เซนเซอร์ มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเป็นระดับสูง (ในสภาวะปรกติไม่มีสนามแม่เหล็ก) และสัญญาณระดับต่ำ (เมื่อมีสนามแม่เหล็กผ่าน) เพื่อให้ตัวประมวลผลอ่านค่าระดับสัญญาณแล้วนำไปแปลงเป็นความเร็ว โดยได้เขียนโปรแกรมให้สร้างฐานเวลาทุกๆ 1ms ดังนั้นทุกครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรงดันของฮอลล์เซนเซอร์ ตัวประมวลผลจะทำการคำนวณคาบเวลาที่เกิดขึ้น แล้วแปลงค่าข้อมูลให้ออกมาเป็นความเร็วตามที่เขียนโปรแกรมไว้



รูปที่ 6.4 รูปแบบการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์เมื่อผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

หลังจากติดตั้งแม่เหล็กทั้ง 4 ล้อ ทำการวัดข้อมูลจากแม่เหล็กแต่ละตัวจาก Scope เมื่อเกิดการเคลื่อนที่เพื่อนำเอาเงื่อนไขเหล่านี้ไปเขียนโปรแกรมแปลงค่ากลับให้เป็นความเร็วของแต่ละล้อโดยได้ข้อมูลดังนี้



(ก) ความเร็วต่ำสุดของการเคลื่อนที่ (ข) ความเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่

รูปที่ 6.5 การวัดช่วงการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์ผ่านออสซิลโลสโคป

จากรูปที่ 6.5 เป็นการทดสอบหาความเร็วที่ล้อ โดยผลของกราฟมาจากช่วงของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ทำการเปรียบเทียบความเร็วของระยะห่างของแม่เหล็กสองตัวที่อยู่ติดกัน โดยจะเห็นว่า เมื่อความเร็วต่ำสุดของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนจะเกิดสัญญาณช่วงเวลาของ

แม่เหล็กสองตัวที่ติดกันเป็นเวลา 230ms ดังนั้นจะได้ค่าเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรมคำนวณความเร็วของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนโดยให้เงื่อนไขว่าถ้าเวลาการเคลื่อนที่น้อยกว่า 230ms ให้แสดงค่าความเร็วออกมาเป็นศูนย์ ซึ่งแสดงว่าไม่มีการเคลื่อนที่สาเหตุที่ทำแบบนี้เพราะว่าในการประมวลผลได้สร้างเงื่อนไขจากค่าเวลาของแม่เหล็กสองตัวติดกัน กลับเอาไปหาความเร็วที่ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนอีกที่หนึ่ง

6.4 การวัดมุมเลี้ยว

การติดต่อระหว่างตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดมุมล้อที่เลี้ยว โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีคุณสมบัติเมื่อเกิดการหมุนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน เมื่อนำมาต่อเข้ากับตัวประมวลผลที่มีฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณอนาลอกจากตัวต้านทานปรับค่าได้ ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยตัวประมวลผลที่ใช้ มีความละเอียดในการแปลงสัญญาณขนาด 10 บิต ดังนั้นเมื่อใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อเข้ากับตัวประมวลผลจะได้ความละเอียดในการแปลงค่าความต้านทานไปเป็นองศาของมุมล้อได้ 1024 ค่าข้อมูล (10 บิต) การเชื่อมต่อระหว่างตัวประมวลผล และอุปกรณ์จรวจวัดมุมล้อที่เลี้ยวแบบตัวต้านทานปรับค่าได้ทำโดยการป้อนไฟขนาด 5 v ไปที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วนำขาที่ความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงไปต่อเข้ากับตัวประมวลผล เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่แปลเปลี่ยนไปจากการหมุนของล้อ ไปเป็นค่าองศาในการตรวจวัดข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยว

รูปที่ 6.6 รูปแบบการทำงานระหว่างตัวประมวลผล และอุปกรณ์ตรวจวัดมุมล้อที่เลี้ยว

6.5 การรับ-ส่ง ข้อมูลผ่านชุดวงจรสื่อสารไร้สาย

เพื่อรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ควบคุม และส่งข้อมูลต่างๆ จากเซนเซอร์กลับไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุม โดยได้เลือกใช้ชุดวงจรสื่อสารไร้สายความถี่ 2.4 GHz วงจรสื่อสารไร้สายนี้สามารถรับข้อมูลผ่านโปรโตคอลแบบพอร์ทอนุกรม (RS-232) และส่งออกเป็นสัญญาณไร้สายได้เลย การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างวงจรสื่อสารไร้สายกับไมโครคอนโทรลเลอร์จึงใช้โปรโตคอลแบบพอร์ทอนุกรมผ่านทางโมดูลพอร์ทอนุกรมโหมด2ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์มายังไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งในรูปแบบรหัสแอสกี เนื่องจากจำนวนข้อมูลน้อย

และการส่งจากคอมพิวเตอร์ ในรูปแบบแอสกีสามารถทำได้ง่ายกว่า แต่ข้อมูลที่ส่งกลับจะส่งในรูปแบบฐานสอง เนื่องจากข้อมูลที่มีจำนวนมาก การส่งแบบฐานสองจะใช้ปริมาณข้อมูลน้อยกว่า

รูปแบบข้อมูลที่รับ-ส่งระหว่างวงจรสื่อสารไร้สายกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะอยู่ในรูป

Header	Data

ตาราง 6.2 รายละเอียดข้อมูลแต่ละไบต์ในการรับคำสั่งเป็นดังนี้

Byte	Data
1,2	Header (0x5555 "UU")
3	Acceleration – first digit
4	Acceleration – second digit
5	Acceleration – third digit
6	Gear
7	Steering – first digit
8	Steering – second digit
9	Steering – third digit

ตาราง 6.3 รายละเอียดข้อมูลแต่ละไบต์ในการส่งข้อมูลกลับเป็นดังนี้

Byte	Data
1,2	Header (0x5555 "UU")
3,4	X-axis acceleration
5,6	Y-axis acceleration
7,8	Z-axis acceleration
9,10	X-axis angular rate
11,12	Y-axis angular rate
13,14	Z-axis angular rate
15,16	First wheel speed
17,18	Second wheel speed
19,20	Third wheel speed
21,22	Fourth wheel speed
23,24	Steering angle

กระบวนในการรับข้อมูลจากผ่านวงจรสื่อสารไร้สายจะติดต่อผ่านทางโมดูลพอร์ทอนุกรม โหมด2 กระบวนการจึงคล้ายกับการติดต่อกับ IMU โดยเริ่มจากให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเปิดช่องทางการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมซึ่งในที่นี้ใช้ช่องทางสื่อสารด้วยอัตราส่งข้อมูลด้วยจำนวน 38400 บิต/วินาที ทุกๆการรับข้อมูล 1 ไบต์จะเกิดอินเตอร์รัพท์ขึ้นเพื่อตรวจสอบข้อมูลที่รับเข้ามา โดยเริ่มจากทำการตรวจหา header ซึ่งเป็นข้อมูล 2 ไบต์ที่มีค่าเป็น 0x5555 ในเลขฐาน 16 หรือ "UU" ในรูปแบบอักขระ เมื่อพบส่วนหัวข้อมูลแล้วข้อมูลที่จะเข้ามาต่อไปอีก 7 ไบต์เก็บลงในบัฟเฟอร์ เนื่องจากข้อมูลที่ส่งมาอยู่ในรูปแอสกี จึงต้องทำการแปลงเป็นตัวเลข โดยการลบด้วยจำนวน 48 (รหัสแอสกีของเลขศูนย์) คือ Number data = ASCII data – 48 และในชุดข้อมูลความเร่ง และการเลี้ยว จะต้องทำการรวมข้อมูลเป็น 3 หลัก โดยการคูณค่าประจำหลัก แล้วบวกเข้าด้วยกัน

3 digits data = (First digit data x 100) + (Second digit data x 10) + Third digit data

ในส่วนการส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ กลับไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอก เนื่องจากข้อมูลมีจำนวน 2 ไบต์ แต่การส่งสามารถส่งได้ทีละ 1 ไบต์ จึงต้องทำการแบ่งข้อมูลเป็น 2 ไบต์ แล้วจึงทำการส่ง โดยตัวอย่างโค้ดโปรแกรมเป็นดังนี้

High byte data = Data / 256

Low byte data = Data mod 256

หรือ

High byte data = (Data >> 8) & 0x00FF

Low byte data = Data & 0x00FF

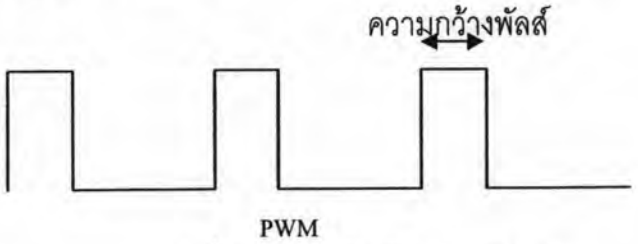
6.6 การควบคุมยานพาหนะ

การติดต่อระหว่างตัวประมวลผลไมโครคอลโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง เซอร์โวมอเตอร์สำหรับเปลี่ยนเกียร์และมุมเลี้ยว โดยตัวประมวลผลทำหน้าที่แปลงคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอกให้เป็นสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น(PWM) ไปควบคุมส่วนต่างๆต่อไปนี้ดังนี้

6.6.1 การควบคุมความเร็วยานพาหนะ

ความเร็วของยานพาหนะถูกควบคุมผ่านกล่องควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง โดยรับสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ประมาณ 50 Hz โดยความเร็วมอเตอร์ จะขึ้นกับความกว้างของ

สัญญาณพัลส์ ยิ่ง ความกว้างของสัญญาณพัลส์ต่ำจะยิ่งเดินหน้าเร็ว ยิ่งความกว้างของสัญญาณพัลส์สูงจะถอยหลังเร็ว โดยเดินหน้าเร็วสุดที่ความกว้างของสัญญาณพัลส์ 1.2ms และถอยหลังเร็วสุดที่ความกว้างของสัญญาณพัลส์ 1.8ms



PWM

รูปที่ 6.7 แสดงช่วงสัญญาณ PWM

เพื่อเลียนแบบการทำงานของคันเร่งยานพาหนะจริง ดังนั้นตำแหน่งการเหยียบคันเร่ง จึงถูกตีความเป็นความเร่งของมอเตอร์ การเหยียบคันเร่ง จะส่งค่าเป็นบวกมากน้อยตามตำแหน่งการเหยียบ การเหยียบเบรก จะส่งค่าเป็นลบมากน้อยตามตำแหน่งการเหยียบ ถ้าไม่เหยียบอะไรเลยความเร็วรถจะค่อยๆลดลงช้าๆ ความเร่งที่ใช้เป็นแบบเชิงเส้น และจะทำการคำนวณความเร็วของยานพาหนะใหม่ทุกๆ 1 ms และสั่งความเร็วนั้นไปให้มอเตอร์ตามสมการดังนี้

$$v = u + at \tag{6.1}$$

การคำนวณความเร็วยานพาหนะมีกระบวนการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
If forward gear
    If acceleration pedal stepped
        v = u + (acceleration gain * pedal value) t
    If brake pedal stepped
        If positive velocity
            v = u + (brake gain * pedal value) t
        If negative velocity
            v = u – (brake gain * pedal value) t
    Else
        If positive velocity
            v = u - (speed decay gain * pedal value) t
        If negative velocity
            v = u + (speed decay gain * pedal value) t
If reverse gear
```

```
If acceleration pedal stepped
        v = u - (acceleration gain * pedal value)t
If brake pedal stepped
        If positive velocity
                v = u + (brake gain * pedal value) t
        If negative velocity
                v = u – (brake gain * pedal value) t
Else
        If positive velocity
                v = u - (speed decay gain * pedal value) t
        If negative velocity
                v = u + (speed decay gain * pedal value) t
```

6.6.2 การควบคุมมุมเลี้ยว

มุมเลี้ยวจะถูกควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งการสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่งใดๆ จะต้องส่งสัญญาณ PWM ที่ความถี่ประมาณ 50 Hz ให้เซอร์โวมอเตอร์ โดยมุมของเซอร์โวมอเตอร์จะขึ้นกับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของ PWM ในที่นี้ตำแหน่งมุมเลี้ยวซ้ายสุด จะต้องจ่ายความกว้างของสัญญาณพัลส์ 1.85ms และขวาสุดที่ 0.95ms

6.6.3 การควบคุมเกียร์

การเปลี่ยนเกียร์จะถูกควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์เช่นเดียวกับการเลี้ยว เพียงแต่ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์จะไม่ต่อเนื่องเหมือนการเลี้ยว กล่าวคือ ยานพาหนะจะมี 3 เกียร์ การเข้าเกียร์ 1 จะต้องจ่ายความกว้างของสัญญาณพัลส์ 1.93ms เกียร์ 2 ความกว้างพัลส์1.62ms เกียร์ 3 ความกว้างพัลส์ 1.30ms ส่วนการถอยจะทำที่เกียร์ 1 แต่จะสั่งทิศทางหมุนมอเตอร์กลับทิศ

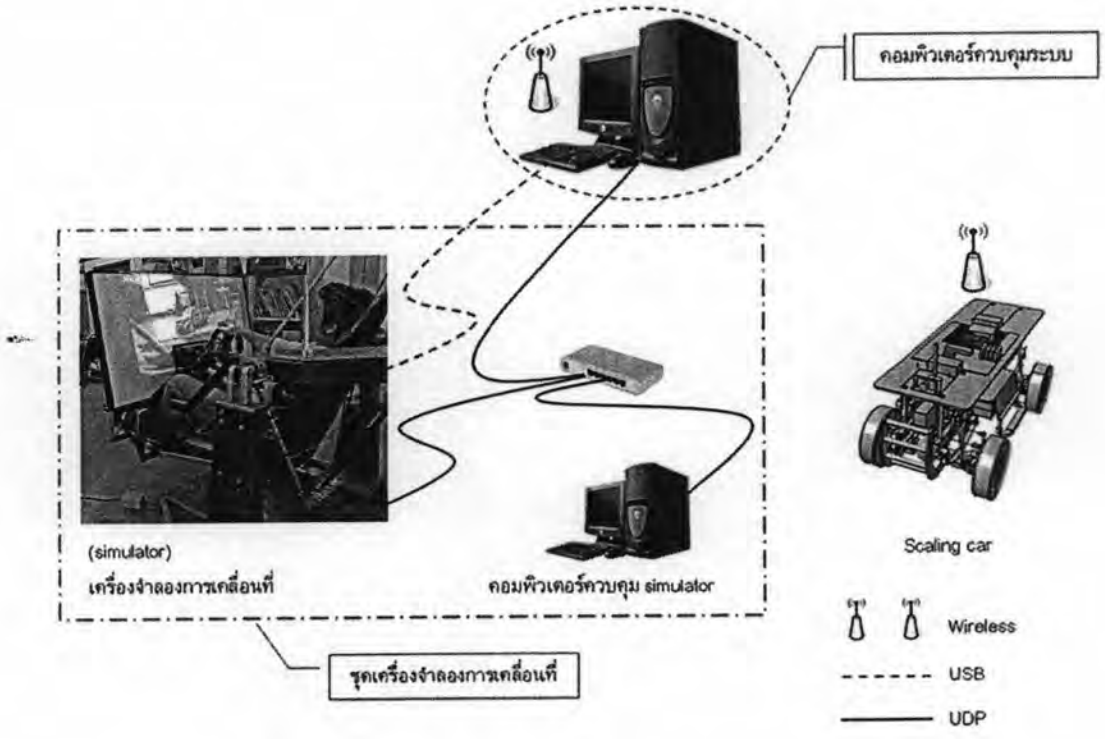
6.7 การทำงานของระบบโปรแกรมควบคุม

ระบบควบคุมการทำงานสื่อสารของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนนั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลางในการรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอกผ่านระบบชุดวงจรรับ–ส่งสัญญาณไร้สาย และมีหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆบนยานพาหนะ พร้อมทั้งรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ และส่งค่าข้อมูลที่อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถวัดได้นี้ กลับไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอกผ่านระบบชุดวงจรรับ–ส่งสัญญาณไร้สาย ในขณะที่สัญญาณภาพจากกล้องวีดีโอ

ที่ตรวจจับภาพเคลื่อนไหวซึ่งติดตั้งอยู่ที่ด้านหน้าของยานพาหนะจะใช้ชุดวงจรสัญญาณไร้สายส่งสัญญาณภาพคนละคลื่นความถี่แยกต่างหากจากระบบควบคุมหลัก โดยการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ภายนอกสามารถควบคุมได้ 2 แบบดังนี้

1. การควบคุมแบบ Manual คือ การควบคุมจากผู้ควบคุมโดยตรง กล่าวคือ ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนจะทำงานก็ต่อเมื่อ ผู้ควบคุมส่งสัญญาณไปยังยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน เช่น สัญญาณความเร็วการเคลื่อนที่ สัญญาณมุมเลี้ยวล้อ เป็นต้น เมื่อยานพาหนะได้รับคำสั่งจะทำงานแบบเวลาจริง ด้วยรอบการทำงานที่สัญญาณ 100 Hz

2. การควบคุมแบบ Automatic คือ การโปรแกรมกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ให้กับยานพาหนะ แล้วยานพาหนะจะเคลื่อนที่ตามข้อมูลเส้นทางที่กำหนดให้ เช่นการกำหนดให้วิ่งด้วยความเร็วคงที่แล้วเลี้ยวตามองศาที่กำหนด ด้วยรอบการทำงานที่สัญญาณ 100 Hz เช่นกัน



รูปที่ 6.8 ระบบควบคุมของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและระบบควบคุมภายนอก

จากรูปที่ 6.8 เป็นระบบการควบคุมแบบ Manual และถ้าควบคุมแบบ Automatic จากรูป 6.8 ก็จะไม่มีเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ในลูปการควบคุม โดยโปรแกรมควบคุมจากคอมพิวเตอร์ภายนอกพัฒนามาจากงานวิจัยของกฤษดา จันทร์แดง[28] สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้การควบคุมในโหมด Manual เท่านั้น เพื่อนำผลที่ได้จากการควบคุมยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน ไปเปรียบเทียบ

กับการคำนวณจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ความสมมูลระหว่างข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงกับการคำนวณภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการทำงานภายในยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนเป็นดังนี้

1. เริ่มโมดูลเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสร้างฐานเวลาทำงานทุกๆ 1 ms ซึ่งใช้เป็นตัวกำเนิดความถี่ให้โปรแกรมย่อยต่างๆ
2. เริ่มโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการวัดมุมเลี้ยวที่ล้อ
3. เริ่มโมดูลตรวจจับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับการอินเตอร์รัพท์เมื่อฮอลล์เซนเซอร์ตรวจเจอแม่เหล็กเพื่อวัดความเร็วล้อ
4. เริ่มโมดูลพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับควบคุมความเร็ว และมุมเลี้ยว และกำหนดค่าเริ่มต้นให้ความเร็ว และมุมเลี้ยว
5. เริ่มโมดูลพอร์ทอนุกรมโหมด1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับติดต่อกับ IMUและเลือกโหมดการทำงานของ IMU เพื่ออ่านข้อมูลที่เกิดขึ้น
6. เริ่มโมดูลพอร์ทอนุกรมโหมด2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับติดต่อกับคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอก ผ่านอุปกรณ์ชุดรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย
7. เมื่อยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอกโดยรับคำสั่งทุกๆ 1 ms มายังตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวิเคราะห์คำสั่ง ก่อนส่งไปให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานภาย
8. และในทุกๆ 1ms ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนจะส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ทุกตัวกลับไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอก เพื่อให้ทราบถึงสถานะของยานพาหนะที่เกิดขึ้นเมื่อรับคำสั่งจากการควบคุมภายนอก
9. การส่งภาพจากกล้องด้านหน้าของยานพาหนะในตำแหน่งผู้ขับขี่ จะส่งภาพไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมภายนอกโดยตรง และการทำงานจะเป็นอิสระแยกต่างหากกับระบบควบคุมยานพาหนะ เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากการส่งสัญญาณคลื่นความถี่เดียวกัน

สำหรับขั้นตอนที่ 1-6 เกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของรอบการทำงานของระบบโปรแกรมควบคุม ขั้นตอนที่ 7-8 จะทำงานพร้อมกันทุก 1 ms ภายใต้การออกแบบโปรแกรมควบคุมรอบการทำงาน ขั้นตอนที่ 9 จะทำงานตลอดเวลาไม่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการควบคุมใด