ระบบติดตามข้อมูลการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสำหรับดูแลความปลอดภัยบนโครงข่ายไร้สายของมหาวิทยาลัยโดยใช้อุปกรณ์สมองกลฝังตัว

วสันต์ วิยะรันดร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ วสันต์ วิยะรันดร์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ ศรีบริรักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ ศรีบริรักษ์)

..... กรรมการ
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด่านกลาง)

..... กรรมการ
(ดร. ภัคพงศ์ จันทเปรมจิตต์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 8 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๓ จากมหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาเลขที่ ๖๓/๒๕๕๓ เรื่อง “ระบบติดตามรถจักรยานยนต์หายและแจ้งเตือนภายในมหาวิทยาลัยบูรพา” โดยงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์วิรุฬห์ ศรีบริรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ณกร อินทร์พยุง ดร. ภาณุวัฒน์ ด่านกลาง และ ดร.อภิรัฐ ลิ่มมณี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือรวมถึงให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน เอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนางานศึกษาให้สามารถใช้ประโยชน์ต่อไปได้ในอนาคต ตลอดจนคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ช่วยแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์เพื่อให้สามารถทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยาพนธ์ อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนนิสิตที่ช่วยให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหา และช่วยเหลือการจัดหาอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการทดลองของวิทยานิพนธ์นี้

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่มีส่วนช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

วสันต์ วิยะรันดร์

55910294: สาขาวิชา: วิศวกรรมไฟฟ้า; วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า)
คำสำคัญ: DEAD RECKONING/ VECTOR MAP/ KALMAN FILTER/ VEHICULAR NETWORK

วสันต์ วิยะรันดร์: ระบบติดตามข้อมูลการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสำหรับดูแลความปลอดภัยบนโครงข่ายไร้สายของมหาวิทยาลัยโดยใช้อุปกรณ์สมองกลฝังตัว (AN EMBEDDED RF-BASE VEHICLE TRAJECTORY DATA FOR SECURITY MONITORING SYSTEM OVER UNIVERSITY VEHICULAR NETWORK) กรรมการควบคุมงานนิพนธ์: วิรุฬห์ ศรีบริรักษ์, วศ.ม. 99 หน้า, ปี พ.ศ. 2560.

โดยทั่วไปวิธีการในระบุตำแหน่งของยานพาหนะนั้น คือ การใช้ระบบ GPS เนื่องจากการดูแลและป้องกันการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ที่มีจำนวนมากในพื้นที่ ๆ หนึ่ง เช่น มหาวิทยาลัย อีกทั้งยังมีความต้องการที่จะใช้ระบบมีราคาประหยัด สามารถใช้งานได้ ทั้งในพื้นที่ใต้อาคารและภายนอกอาคาร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการสร้างระบบและอุปกรณ์สำหรับติดตามยานพาหนะโดยไม่ใช้ GPS แต่จะใช้เครือข่าย Wireless sensor network ในการติดตามตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ส่วนประกอบของระบบนั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ติดตามไร้สายที่ออกแบบขึ้นเองสำหรับระบุตำแหน่งของยานพาหนะ และอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่ในการปล่อยสัญญาณระบุพิกัดตำแหน่ง Universal transverse mercator (UTM) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวส่วนหนึ่งจะถูกติดตั้งอยู่กับสถานที่ใดสถานที่หนึ่งและอีกส่วนหนึ่งจะถูกติดตั้งกับยานพาหนะซึ่งเคลื่อนที่ตลอดเวลา และการระบุตำแหน่งของยานพาหนะนั้นจะใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้ามาทำการประมวลผลโดยใช้อุปกรณ์ไร้สายประหยัดพลังงาน RFSystem-on-chip (RFSoc) CC1110 ในการสร้างแผนที่เส้นทางการเดินรถในรูปแบบการบอกพิกัดแบบ UTM และทำการส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้นั้นไปยังตัวรับสัญญาณที่อยู่ใกล้ที่สุดด้วยระบบนี้ทำให้สามารถส่งข้อมูลตำแหน่งและทำการแจ้งเตือนการโจรกรรมไปยังผู้ที่เป็นเจ้าของยานพาหนะได้แบบถ่วงที และในผลการทดลองการงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าระบบนั้นมีความถูกต้องในการสร้างแผนที่ระบุตำแหน่งของรถจักรยานยนต์มากน้อยเพียงใด

55910294: MAJOR: ELECTRICAL ENGINEERING; M.Eng. (ELECTRICAL ENGINEERING)
KEYWORD: DEAD RECKONING/ VECTOR MAP/ KALMAN FILTER/ VEHICULAR NETWORK

WASAN WIYARUN: AN EMBEDDED RF-BASE VEHICLE TRAJECTORY DATA FOR SECURITY MONITORING SYSTEM OVER UNIVERSITY VEHICULAR NETWORK. ADVISORY COMMITTEE: WIROON SRIBORRIRUX. M.Eng. 99 P. 2017.

The Global Positioning System (GPS) is a conventional means for vehicle localisation. Monitoring motorcycles in a specific security area, such as a university campus, is particularly challenging and requires a low-cost system that functional in indoor and outdoor environments. In this paper, we propose the design and development of a non-GPS motorcycle tracking system that uses wireless sensor networks. The system consists of three main components: a motorcycle radio frequency (RF) device, a Universal Transverse Mercator (UTM) broadcasting fixed base station, and a mobile base station. The accelerometer, gyroscope and magnetometer sensor data are used. The positioning algorithm is customized and embedded in a low-power CC1110 RF system-on-chip (RFSoC) device to generate a vehicle trajectory map in the UTM coordinate system. While in motion, the vehicle keep sending the data to other motorcycles and/or to nearby base stations. This is practical to monitor the location and send alert messages to the motorcycle owner in real time. Our experimental results have indicated that the system is capable of generating an accurate vector map of the trajectory of a stolen motorcycle.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
สารบัญ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ซ
สารบัญภาพ..... ฌ
บทที่
1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
ขอบเขตของการศึกษา..... 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย..... 3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
เทคโนโลยีสำหรับระบบป้องกันการสูญหายของยานพาหนะ 4
ระบบระบุตำแหน่งและการนำร่องแบบต่าง ๆ 6
ระบบนำร่องโดยการใช้ Inertial Platform..... 8
ระบบนำร่องโดยการใช้ Strapdown Inertial Platform..... 9
เซนเซอร์ที่ใช้ในงานด้านระบบนำร่อง..... 12
การวิเคราะห์สัญญาณเพื่อแยกแยะรูปแบบของสัญญาณ..... 21
การปรับปรุงคุณภาพในการประมวลผลสัญญาณสำหรับระบบนำร่อง..... 23
3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 29
ภาพรวมของระบบ..... 29
ส่วนประกอบของระบบ..... 30
รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์..... 33
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 38
4 การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ..... 49
การทดสอบเพื่อหาลักษณะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์..... 50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งด้วยกรรมวิธี Strupdown Inertial Navigation..... 81

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และ Base Station..... 89

5 สรุปและอภิปรายผล..... 90

สรุปผลการศึกษา..... 90

ปัญหาที่พบ..... 91

ข้อเสนอแนะและแนวทางในอนาคต..... 91

บรรณานุกรม..... 95

ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 99

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 หน้าที่ของแต่ละช่องข้อมูลทั้งหมด 35
3-2 หน้าที่ของแต่ละส่วนของ Application payload 36
3-3 หน้าที่ของแต่ละส่วนของ Vehicle position 36
3-4 คำสั่งต่าง ๆ ในส่วนของ V-CTAL 37
4-1 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถจอดนิ่ง 54
4-2 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในความถี่เมื่อรถจอดนิ่ง 57
4-3 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกขับไปนอกลานจอด 60
4-4 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกขับไปนอกลานจอด 63
4-5 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกลากไปทางซ้าย 66
4-6 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกลากไปทางซ้าย 69
4-7 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกลากไปทางขวา 72
4-8 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกลากไปทางขวา 74
4-9 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกยกขึ้นรถกระบะ 78
4-10 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกยกขึ้นรถกระบะ 80
4-11 คุณสมบัติเฉพาะของการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์แบบต่าง ๆ 81
4-12 ความแม่นยำในการแยกแยะรูปแบบการเคลื่อนไหว 82
5-1 สรุปผลการทดสอบการตรวจจับความเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์ 93

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 โครงสร้างภายในของ Gimbaled inertial platform 9
2-2 อุปกรณ์ Gimbaled inertial platform..... 9
2-3 อุปกรณ์ Strapdown Inertial ประเภทต่างๆ..... 10
2-4 แสดงการทำงานของ Strapdown inertial navigation system แบบสองมิติ 11
2-5 มุมที่เปลี่ยนไประหว่าง Body frame กับ Reference frame 11
2-6 ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของระบบ Strapdown navigation system 12
2-7 รูปแบบของเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดต่าง ๆ 14
2-8 อุปกรณ์ตรวจจับแผ่นดินไหวของจีนสมัยโบราณ 14
2-9 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ Mechanical accelerometer..... 15
2-10 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นดินไหว Seismometer 15
2-11 อุปกรณ์ Seismometers ที่เอาไว้ตรวจจับการเกิดแผ่นดินไหว 15
2-12 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดตัวเก็บประจุ..... 16
2-13 ตัวเซนเซอร์วัดความเร่งแบบ MEMS รุ่น MPU9150 ของบริษัท Texas Instruments 16
2-14 ตัวเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงกลในรูปแบบของกิมเบล..... 18
2-15 โครงสร้างของตัวเซนเซอร์ Fibre Optic Gyroscpoe 19
2-16 ตัวเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมรุ่น MPU9150 ของบริษัท Texas Instruments 20
2-17 เซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กรุ่น LSM303CTR ของบริษัท ST Microelectronic . 21
2-18 กระบวนการทำงานของตัวกรองแบบคาลมานอัลกอริทึม 22
2-19 การหาค่า Cross correlation ของสองสัญญาณ..... 22
2-20 ตัวอย่างของสัญญาณและการใช้สี่เหลี่ยมฝืนผ้าในการหาพื้นที่ใต้กราฟ 24
2-21 ตัวอย่างที่พื้นที่จากการอินทีเกรทและบริเวณที่เกิดความผิดพลาดขึ้น..... 24
2-22 คุณ Rudolf (Rudy) Emil Kálmán ผู้คิดตัวกรองคาลมาน 25
2-23 กระบวนการทำงานของตัวกรองแบบคาลมานอัลกอริทึม 27
3-1 ภาพรวมของระบบเฝ้าระวังความปลอดภัยสำหรับยานพาหนะ..... 29
3-2 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของตรววจับความเคลื่อนไหวสำหรับยานพาหนะ..... 30
3-3 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ที่ยานพาหนะ 31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-4 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของ Fix base staion 32
3-5 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของ Moving base station..... 32
3-6 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของการรับส่งข้อมูลในระบบ..... 33
3-7 กระบวนการรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และ Base station 34
3-8 โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ส่งระหว่าง V-Tag และ Base station 35
3-9 โครงสร้างข้อมูลของในส่วนการติดต่อระหว่าง Base station และ Application server ... 38
3-10 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากกระบวนการหารูปแบบการเคลื่อนไหว..... 39
3-11 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของระบบแยกแยะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์..... 40
3-12 บล็อคไดอะแกรมของการสร้างข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนไหว..... 41
3-13 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากกระบวนคำนวณจากการใช้เซนเซอร์ทั้งหมด 42
3-14 โครงสร้างของการประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่ง ณ เวลาใด ๆ ของยานพาหนะ 43
3-15 โครงสร้างวิธีการคำนวณหาค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ 44
3-16 โครงสร้างวิธีการคำนวณหาค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ 44
3-17 โครงสร้างวิธีการคำนวณหาความเร่งในทิศทางเทียบกับกรอบอ้างอิงระบาบพื้นโลก..... 45
3-18 บล็อคไดละแกรมการทำงานของระบบเพื่อสร้างเวคเตอร์ 45
3-19 การแบ่งพื้นที่สำหรับทำกาอินทีเกรท พื้นที่ Error ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ 46
3-20 กราฟในรูปแบบ Polar ของการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์..... 47
4-1 เส้นที่ทางสำหรับทดสอบการเก็บข้อมูล 50
4-2 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบการเคลื่อนไหว..... 51
4-3 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ในบริเวณลานจอดรถ 52
4-4 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ไว้นิ่ง ๆ 52
4-5 ข้อมูลจากเซนเซอร์และขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ..... 53
4-6 ข้อมูลจากเซนเซอร์และขนาดของค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ..... 54
4-7 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ในโดนเมนความความถี่ 55
4-8 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ 10 ชุดในโดนเมนความความถี่..... 56
4-9 ลักษณะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์ที่ถูกขับไปนอกลานจอด 58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-10 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอด..... 58
4-11 ข้อมูลจากเซนเซอร์และขนาดของค่าสหสัมพันเมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอด 59
4-12 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอด..... 60
4-13 ขนาดค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอดในโดนเมนความความถี่.... 61
4-14 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอดในโดนเมนความความถี่.. 62
4-15 ลักษณะการจอดรถจักรยานยนต์ที่ถูกลากหรือขยับไปทางซ้ายในบริเวณลานจอดรถ 63
4-16 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้าย 64
4-17 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้าย 65
4-18 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้าย 66
4-19 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางซ้ายในโดนเมนความความถี่ ... 68
4-20 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางซ้ายในโดนเมนความความถี่…..... 68
4-21 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ในบริเวณลานจอดรถแล้วถูกลากไปทางขวา 70
4-22 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ที่กำลังถูกลากหรือขยับไปทางขวา..... 70
4-23 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางขวา 71
4-24 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางขวา..... 72
4-25 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางขวาในโดนเมนความความถี่.... 73
4-26 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางขวาในโดนเมนความความถี่..... 74
4-27 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ในบริเวณลานจอดรถแล้วถูกยกขึ้นรถกระบะ 75
4-28 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ..... 76
4-29 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ 77
4-30 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ 77
4-31 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะในโดนเมนความความถี่... 79
4-32 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะในโดนเมนความความถี่..... 79
4-33 กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน x แกน y และแกน z 83
4-34 กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมในแนวแกน x แกน y และแกน z..... 83
4-35 กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเข็มสนามไฟฟ้าแม่เหล็กในแนวแกน x, y และ z. 84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-36 กราฟข้อมูลที่ได้จากคำนวณมุมในรูปแบบของ Euler angle 85
4-37 กราฟข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ 85
4-38 กราฟข้อมูลความเร็วของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ 86
4-39 กราฟข้อมูลระยะทางของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ 87
4-40 ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ 88
4-41 ตำแหน่งของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปทางเส้นทางในมหาวิทยาลัย..... 88
4-42 ค่าความผิดพลาดระหว่างเส้นทางที่ระบบสร้างขึ้นเทียบกับ GPS..... 89
4-43 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 1... 89
4-44 ประมาณข้อมูลที่ตัว Base Station สามารถรับได้ที่ความเร็วรถต่างๆ..... 90
4-45 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 2... 90
4-46 ประมาณข้อมูลที่ตัว Base Station สามารถรับได้ที่ความเร็วรถต่างๆ..... 91
4-47 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 3... 91
4-48 ประมาณข้อมูลที่ตัว Base Station สามารถรับได้ที่ความเร็วรถต่างๆ..... 92

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันยานพาหนะได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตมากขึ้น ทำให้คนส่วนใหญ่จัดหายานพาหนะเป็นของตนเองไม่ว่าจะเป็นรถจักรยานยนต์ หรือรถยนต์ และจากรถที่มากมาย โดยเฉพาะรถจักรยานยนต์ที่อยู่บนท้องถนนต่าง ๆ หรือตามสถานศึกษา หน่วยงานราชการต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งมีลักษณะพื้นที่ประมาณ 600 ไร่ และมีรถจักรยานยนต์ที่อยู่ภายในบริเวณดังกล่าวมากกว่า 10,000 คัน ซึ่งผลกระทบจากปริมาณรถจักรยานยนต์ดังกล่าว และเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ได้แก่ ปัญหาการโจรกรรม

การป้องกันปัญหาดังกล่าว ในระบบสถาบันศึกษา หรือสถานที่ราชการขนาดใหญ่นั้น ใช้วิธีการเฝ้าระวังความปลอดภัยโดยหน่วยรักษาความปลอดภัยที่กระจายตามจุดต่าง ๆ ปฏิบัติการลาดตระเวนทั่วพื้นที่ตามกำหนดเวลา รวมถึงมีการติดกล้องวงจรปิดในบริเวณต่าง ๆ แม้ว่าในระบบรักษาความปลอดภัยได้พยายามป้องกันโดยใช้วิธีการดังกล่าวแล้ว ยังคงพบการโจรกรรมเกิดขึ้นภายในพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ทำให้การดูแลด้วยบุคคลนั้นไม่สามารถกระทำได้ทั่วถึง และการติดตั้งกล้องวงจรปิดในพื้นที่ขนาดใหญ่นั้นจำเป็นต้องใช้กล้องจำนวนมาก และใช้บุคลากรในการเฝ้าดูแลตลอดเวลา อีกข้อที่สำคัญที่ไม่สามารถปฏิเสธได้ ได้แก่ ระบบกล้องวงจรปิดไม่สามารถแจ้งเตือนได้เมื่อมีเหตุโจรกรรมเกิดขึ้น

วิธีเบื้องต้นสำหรับการป้องกันปัญหาดังกล่าว ได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือนไว้ที่ยานพาหนะ อุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ตรวจจับในกรณีที่รถมีการสั่นสะเทือนโดยทำการส่งเสียงร้องเตือนออกมา ในส่วนของข้อด้อยที่พบ ได้แก่ อุปกรณ์ประเภทนี้โดยส่วนมากแล้วมักมีความไวต่อสิ่งเร้าเกินไป เนื่องจากในการจอดรถจักรยานยนต์นั้นมักจอดไว้ในระยะที่ติดกันมาก ดังนั้นเมื่อทำการติดตั้งไว้บนรถจักรยานยนต์มักเกิดการขยับของรถโดยไม่ตั้งใจบ่อยครั้ง และทำให้อุปกรณ์ทำงานโดยไม่ตั้งใจ และส่งผลให้เกิดความรำคาญต่อผู้คนบริเวณนั้น ๆ

อย่างไรก็ตามอีกหนึ่งวิธีที่เป็นที่นิยม ได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับติดตามตำแหน่งโดยการใช้การระบุตำแหน่งด้วยระบบ Global positioning system (GPS) ระบบนี้มีการส่งตำแหน่งปัจจุบันของรถมายังผู้ใช้ด้วยระบบการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Global system for mobile communications (GSM) ที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป ทว่าข้อจำกัดของระบบนี้ ได้แก่ ระบบไม่สามารถระบุตำแหน่งของรถได้ในกรณีที่ตัวรถนั้นจอดอยู่ภายในอาคาร หรือในวันที่ท้องฟ้า และสภาพ

อากาศไม่แจ่มใส นอกไปจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวยังต้องเสียค่าบริการรายเดือนให้กับบริษัทผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์อีกด้วย

จากข้อจำกัดดังกล่าว ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบป้องกันการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ภายในมหาวิทยาลัย โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ติดตาม และวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นที่รถจักรยานยนต์และส่งข้อมูลไปยังตัวอุปกรณ์รับสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บริเวณลานจอดรถ และอุปกรณ์รับสัญญาณดังกล่าวทำการส่งข้อมูลต่อไปยังผู้ใช้ และผู้รักษาความปลอดภัยต่อไป โดยอาศัยระบบอินเตอร์เน็ตและส่งข้อความไปยังโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้ โดยอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวนั้นทำการส่งข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากรถทั้งหมายเลขประจำตัว ตำแหน่งบริเวณที่อยู่ และสถานะภาพของรถในปัจจุบัน เช่น รถจอดอยู่นิ่ง รถกำลังขยับ หรือรถกำลังถูกขับออกจากลานจอดรถ เป็นต้น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวนั้นอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับรูปแบบสัญญาณมาทำการวิเคราะห์โดยได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ข้อดีของระบบนี้ ได้แก่ ต้นทุนของอุปกรณ์ที่มีราคาถูก และไม่มีค่าใช้จ่ายรายเดือนส่งผลให้ระบบมีความเหมาะสมในการนำมาลดปัญหาการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ได้เป็นอย่างดี และในกรณีที่การโจรกรรมมีการทำลายอุปกรณ์ ทั้งการตัดสายสัญญาณไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ เป็นต้น ระบบยังสามารถทราบว่ามีรถหายจากลานจอดรถ แตกต่างจากระบบอื่น ที่อุปกรณ์โดนตัดไฟเลี้ยงแล้วระบบไม่สามารถทำงานได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบอุปกรณ์ติดตามในรถจักรยานยนต์โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว และออกแบบระบบโครงข่ายสำหรับยานพาหนะ เพื่อช่วยในการแจ้งเตือนและติดตามรถที่คาดว่าถูกขโมยภายในบริเวณมหาวิทยาลัย
2. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูล และนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ ณ เวลาต่าง ๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาใช้ในการตรวจสอบความเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ และแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้
2. สามารถแบ่งเบาภาระของผู้รักษาความปลอดภัยในการตรวจสอบ และป้องกันการโจรกรรมได้

ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการตรวจการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติของรถจักรยานยนต์ และทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแล และเจ้าของรถ โดยในการศึกษานี้ทำการเก็บข้อมูลโดยมีขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์สำหรับติดตั้งในรถจักรยานยนต์ขนาด 100-125 cc โดยให้มีความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของรถ ได้แก่ รถจอดอยู่นิ่ง รถมีการขยับโดยไม่ตั้งใจ รถถูกติดเครื่องยนต์โดยไม่ได้รับอนุญาต และขับเคลื่อนที่ออกจากลานจอดรถ รวมถึงสามารถคำนวณ และบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถภายในมหาวิทยาลัยได้อย่างน้อย 40 นาที โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ความเร่ง เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม และเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้ารุ่น MPU9150 ของบริษัท Invensense

2. ออกแบบ และสร้างระบบเครือข่ายสำหรับยานพาหนะเพื่อให้รองรับการใช้งานภายในมหาวิทยาลัยที่มีพื้นที่ขนาดประมาณ 600 ไร่ โดยใช้อุปกรณ์สื่อสารที่มีย่านความถี่ 433 เมกกะเฮิรตซ์รุ่น CC1110 ของบริษัท Texas Instruments

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการสร้างระบบระบุตำแหน่งสำหรับยานพาหนะแบบต่าง ๆ และกรรมวิธีในการประมวลผลสัญญาณเพื่อลดสัญญาณรบกวน

2. ออกแบบการทดลอง และเขียนโปรแกรม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งตามที่ได้ออกแบบไว้

3. สรุปผลการทำงานเพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งของกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีสำหรับระบบป้องกันการสูญหายของยานพาหนะ

ในปัจจุบันนี้ระบบป้องกันการโจรกรรมยานพาหนะนั้นมีมากมายหลายรูปแบบให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกซื้อได้ และมีให้เลือกหลากหลายเทคโนโลยี โดยเทคโนโลยีที่มีจำหน่ายและใช้งานอยู่ทั่วไปมีดังนี้

1. การใช้อุปกรณ์ Remote control ในการควบคุมการทำงานของรถ ระบบแจ้งเตือนโดยการจับการสั่นสะเทือนของยานยนต์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีส่วนประกอบหลัก คือ เซนเซอร์วัดความเร่งแบบ 3 แกน เอาไว้สำหรับจับการสั่นสะเทือนของรถ และเมื่อมีการจับการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติได้ ก็จะทำการแจ้งเตือนโดยผ่านทางเสียง Jayendra, Kumarawadu and Meegahapola, (2007) แจ้งเตือนผ่านทางโทรศัพท์มือถือ Sadagopan, Rajendran and Francis, (2011) หรือมีการสั่งตัดระบบไฟฟ้าทั้งหมดของยานพาหนะเพื่อป้องกันการสตาร์ทรถ Guo, Cheng and Wu, (2009) แต่แน่นอนว่าระบบนี้ยังมีจุดอ่อน คือ ถ้าเกิดเหตุการณ์ที่มีผู้โจรกรรมที่มีความสามารถ และรับรู้ได้ว่ารถถูกติดตั้งอุปกรณ์เหล่านั้นเอาไว้ ผู้โจรกรรมก็เพียงแต่ทำการตัดระบบไฟเลี้ยงของวงจรดังกล่าวออก หรือตัดไฟเลี้ยงวงจรเสียงสัญญาณเตือนออก อุปกรณ์ก็จะไม่สามรถทำงานได้ และรถก็จะถูกขโมยออกนอกพื้นที่ไป

2. ระบบระบุตำแหน่งของรถโดยใช้ GPS ระบบระบุพิกัดด้วยสัญญาณจากดาวเทียม Angel and Brindha (2011) โดยการทำงานนั้นจะคล้ายคลึงกับระบบก่อนหน้านี้เพียงแต่ว่าหลังจากระบบสามารถตรวจจับได้ว่ารถมีการถูกขโมยได้แล้ว จะมีการแจ้งตำแหน่งพิกัดปัจจุบันของรถ โดยใช้การส่งผ่านข้อความ SMS ไปยังผู้ใช้อีกด้วย และหลังจากที่เจ้าของรถได้รู้ว่ารถของตนนั้นได้หายไป เจ้าของก็จะทำการโทรเข้าไปยังเบอร์โทรศัพท์ จากนั้นอุปกรณ์ดังกล่าวก็จะทำการส่งข้อความ SMS เพื่อบอกตำแหน่งของตนกลับมา Weifeng Zhong, Gong Chen, He Qi, Xiao Han Qi and Zha Cheng (2014) และในบางระบบยังสามารถที่จะติดตามรถได้แบบออนไลน์อีกด้วย Wu, Kung, Rao, Wang and Lin, (2008) โดยจะมีการส่งข้อมูลออนไลน์เข้าสู่ Server ตลอดเวลาผ่านทางระบบ GPRS/ 3G ทำให้ผู้ใช้นั้นสามารถเฝ้าดูรถของตนได้ตลอดเวลาผ่านทาง Web brower หรือทาง Application บนโทรศัพท์มือถือ เช่น ในงานวิจัยของ Mandal, Sen, and Chakraborty (2011) และ Watthanawisuth, Lomas, and Tuantranont (2012)

จุดอ่อนของระบบนี้ คือ อุปกรณ์ GPS นั้นจะทำงานได้ดีในวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่ง

เท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นจุดอ่อนที่นักโจรกรรมมักจะทำการเลือกวันทำการโจรกรรมในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใส และจุดอ่อนอีกข้อ คือ ระบบนี้จะต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายรายเดือนที่ต้องเสียให้กับค่ายบริการเครือข่ายอีกด้วย

3. ระบบป้องกันการโจรกรรมโดยใช้กล้อง ระบบนี้จะอาศัยการติดตั้งกล้องวงจรปิดไว้ในบริเวณลานจอดรถ และให้ผู้ดูแลรักษาความปลอดภัยเฝ้าดูอยู่หน้าจอ และใช้ยามคอยเดินตรวจตราบริเวณต่าง ๆ และระบบนี้ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพมากสำหรับในพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด แต่ถ้าหากต้องนำไปใช้กับพื้นที่ที่ต้องการการดูแลขนาดใหญ่ อย่างเช่น ในมหาวิทยาลัยที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ระบบนี้ค่อนข้างมีจุดอ่อน คือ จะต้องมีการติดกล้องวงจรปิดจำนวนมากทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของมหาวิทยาลัยเอง และต้องใช้คนจำนวนมากในการเฝ้าดูหน้าจอของกล้องวงจรปิด และถ้าหากการวางตำแหน่งการติดตั้งไม่ดี อาจทำให้เกิดจุดบอดที่กล้องมองไม่เห็น และทำให้ผู้โจรกรรมใช้ประโยชน์จากจุดนั้นซึ่งไม่มีใครมองเห็นทำการขโมยรถในบริเวณดังกล่าวได้อย่างง่ายดายอีกด้วย และอีกระบบที่ใช้กล้องเพื่อป้องกันโจรกรรม คือ การใช้กล้องในการแยกแยะใบหน้าของคนขับว่าใช้เจ้าของรถหรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะไม่สามารถสตาร์รถได้ Liu and He (2005) ข้อเสียของระบบนี้ คือ ผู้ที่จะสามารถขับรถขั้นนี้จะต้องลงทะเบียนก่อนเท่านั้น

4. การรักษาความปลอดภัยโดยใช้อุปกรณ์สำหรับการระบุตัวตนโดยคลื่นวิทยุ Radio frequency identification (RFID) หรือใช้อุปกรณ์ประเภทเซนเซอร์แบบไร้สาย Wireless sensor network (WSN) ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้อุปกรณ์ประเภท RFID หรือ WSN เข้าช่วยในการแจ้งเตือนผู้ที่เป็นเจ้าของรถซึ่งงานวิจัยของ Song, Zhu and Cao, (2008); Hsu, Shih, Huang and Shiue, (2012) มีหลักการทำงานของระบบ คือ ระบบจะทำการตรวจจับการสั่นไหวของรถ ตัวผู้ใช้นั้นจะมีตัวรีโมทสำหรับสั่งล็อคและปลดล็อคตัวรถ โดยที่ตัวรถจะมีการติดตั้งตัวรับสัญญาณอยู่ไว้ เมื่อตัวรถได้รับคำสั่งให้ทำการเฝ้าติดตามรถ อุปกรณ์ดังกล่าวก็จะทำการส่งข้อมูลไปยังต่อไปยังตัวรับสัญญาณอีกตัวหนึ่งที่ถูกตั้งไว้ในบริเวณลานจอดรถดังกล่าวซึ่งจะถูกเรียกว่า Station ซึ่งอุปกรณ์ Station นั้นจะทำหน้าที่ในการเฝ้าดูว่ารถที่อยู่ในลานจอดรถทุกคันยังอยู่ครบหรือไม่ โดยอาศัยการจับสัญญาณที่ค่อยส่งออกมาจากรถเป็นระยะ ๆ ดังนั้นถ้าเกิดเหตุโจรกรรมและมีการนำรถออกนอกพื้นที่ รวมถึงในกรณีที่มีความพยายามในการตัดสายสัญญาณไฟเลี้ยงอุปกรณ์หรือการทำลายตัวอุปกรณ์ไม่ว่ากรณีใด ๆ ซึ่งทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณหรือ Station ที่อยู่บริเวณลานจอดรถได้ ระบบก็จะแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลลานจอดรถทันที แต่ข้อเสียของระบบนี้ คือ ในกรณีที่ผู้ทำการโจรกรรมทำการโจรกรรมรถอยู่ใกล้ประตูทางออกมาก อาจทำให้ผู้ดูแลความปลอดภัยไม่สามารถสกัดกั้นรถให้ทันได้ หรือถ้าผู้โจรกรรมทำการทำลายเสารับสัญญาณของตัว Station ในบริเวณนั้นก่อนออกจากลานจอดรถ จะทำให้ระบบไม่สามารถบอกได้ว่ารถกันใดถูก

โจรกรรมเนื่องจากระบบไม่สามารถรับสัญญาณได้ ดังนั้นอาจทำให้ระบบทำการแจ้งเตือนทั้งหมดว่ารถทุกคันที่อยู่ในบริเวณนั้นถูกขโมยไป ซึ่งจริง ๆ แล้วไม่ถูกขโมย ดังนั้นจากเหตุการณ์ดังกล่าวอาจทำให้ผู้ดูแลรักษาความปลอดภัยเกิดความสับสนได้ นอกจากนี้ยังสามารถพบเห็นการประยุกต์ใช้ WSN ในการติดตามสิ่งของอื่นที่ไม่ใช้รถ เช่น He, Tan, and Lee (2009) ได้กล่าวถึงการประใช้ WSN ในงานด้านการดูแลคลังสินค้า เป็นต้น

ดังนั้นจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมแล้ว จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาปรับปรุงระบบป้องกันการโจรกรรมสำหรับยานพาหนะโดยใช้ทั้งแนวคิดทั้งสามแบบ คือ

1. ต้องเป็นอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติได้และต้องแม่นยำพอที่จะระบุได้เลยว่ามีการเคลื่อนไหวแบบถูกโจรกรรมอยู่หรือแค่มียามมาทำการขยับรถเฉย ๆ

2. ต้องเป็นระบบที่สามารถระบุได้ว่ารถถูกโจรกรรมออกจากลานจอดรถไปแล้วถึงแม้ว่าอุปกรณ์ที่ติดกับรถจะถูกทำลายหรือตัดไฟเลี้ยงไปแล้ว

3. ถ้าอุปกรณ์ยังไม่ได้ถูกทำลายหรือตัดไฟเลี้ยงขณะถูกโจรกรรมระบบจะต้องสามารถคาดการณ์ได้ว่ารถนั้นมีเส้นทางการเดินรถไปในทิศทางใดและเนื่องจากต้องการผลิตอุปกรณ์ที่ราคาถูก ดังนั้นการระบุเส้นทางเดินรถนั้นจะต้องไม่ใช้ GPS ในการระบุตำแหน่ง แต่ลดต้นทุนการผลิตและจากเป้าหมายในการวิจัยดังกล่าว ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ จะเป็นการมุ่งเน้นไปที่วิธีการระบุตำแหน่งของรถโดยไม่ใช้ GPS และวิธีการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนไหวของรถ เพื่อแยกแยะการเคลื่อนไหว เพื่อจะได้ส่งข้อมูลแจ้งเตือนผู้ใช้ต่อไป ซึ่งระบบนี้จะเป็นระบบที่คล้ายกับงานวิจัยของ Reza, Barbeau, and Alsubaihi, (2013); Sriborrirux, Danklang, and Indra-Payoong, (2008a) ซึ่งเป็นระบบสำหรับติดตามยานพาหนะและรถโดยสารตามลำดับ โดยใช้ WSN เช่นเดียวกัน

ระบบระบุตำแหน่งและนำร่องแบบต่าง ๆ

ในการระบุตำแหน่งและนำร่องนั้นสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลกนั้นได้ถูกใช้มาอย่างยาวนานตั้งแต่สมัยยุคแรกเริ่มของสิ่งมีชีวิต โดยสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดนั้นต่างก็มีวิธีระบุตำแหน่งและนำเส้นทางของตนเอง นกพิราบนั้นจะอาศัยการจับความเข้มสนามแม่เหล็กโลกเพื่อนำร่อง หรือช้างในป่าที่อาศัยการจดจำสภาพแวดล้อมที่การระบุแหล่งน้ำและแหล่งอาหาร แต่สำหรับระบบระบุตำแหน่งและนำร่องสำหรับมนุษย์นั้น ก็ได้มีการพัฒนามาอย่างก้าวกระโดด จากเมื่อ 1000 ปีที่แล้วโดยนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนั้น สามารถที่จะจำแนกประเภทของการระบุตำแหน่งและนำร่องได้ดังต่อไปนี้

1. ระบบนำร่องที่ผู้เดินทางรู้เส้นทางเอง จากสภาพแวดล้อม ระบบนี้ใช้ประสาทสัมผัสของตนเองเป็นหลักในการระบุว่า ณ ขณะนั้นรถของตนอยู่ที่ใด บริเวณไหนโดยอาศัยจากความจำ

ของตน โดยดูจากสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น ซึ่งแน่นอนว่าระบบระบุตำแหน่งแบบนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานกับยานพาหนะ เนื่องจากระบบถ้าจะทำจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ที่เรียนรู้การจำภาพสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งต้องอาศัยหน่วยความจำและใช้ CPU ในการประมวลมากทีเดียวเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่ทำงานได้เหมือนสมองของมนุษย์

2. ระบบนำร่องโดยใช้วัตถุที่อยู่บนท้องฟ้าในการช่วยในการนำทาง ระบบนี้จะใช้ดวงดาวที่อยู่บนท้องฟ้า เช่น พระอาทิตย์ ดาวเหนือ ในการระบุทิศทาง ซึ่งเทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่คนเราใช้มาตั้งแต่ยุคโบราณ แน่นอนระบบนี้ก็ยังไม่เหมาะนักที่จะนำมาใช้งานสำหรับติดตามยานพาหนะ

3. ระบบนำร่องด้วยสัญญาณวิทยุ ระบบนี้เป็นระบบที่นิยมนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำ โดยการทำงานของระบบจะอาศัยสัญญาณที่ได้จากตัวปล่อยสัญญาณมากกว่า 3 ตัว แล้วทำการนำข้อมูลที่ได้ เช่น ความแรงสัญญาณ เวลาที่ได้รับข้อมูล และตำแหน่งของตัวปล่อยสัญญาณนั้นมาคำนวณว่า ณ เวลานั้น ๆ อยู่บริเวณไหน โดย ไชยารัศมี กัณวัตม์ และ ชัชชัย คุณบัว (2553) ได้อธิบายถึงขั้นตอนการคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณวิทยุ นอกจากนี้ยังไม่ระบบระบุตำแหน่งต่าง ๆ ที่ใช้การคำนวณในรูปแบบนี้ด้วย คือ GPS, AGPRS, WIFI, Zigbee เป็นต้น

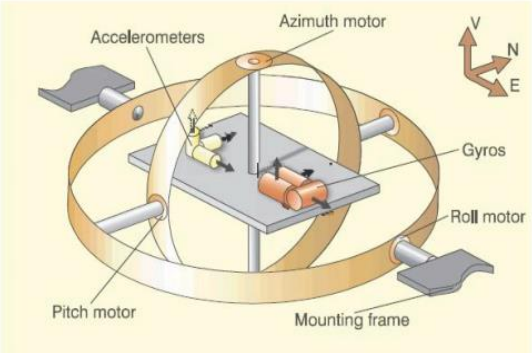
4. ระบบนำร่องที่คำนวณจากทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่หรือที่เรียกว่า Dead reckoning ระบบนำร่องประเภทนี้จะทำงานโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ใช้นั้นทราบพิกัดเริ่มต้น ทิศทางการเคลื่อนที่และความเร็วในการเคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ จากนั้นนำไปคำนวณตำแหน่งปัจจุบันของตนเอง โดยข้อมูลทิศการการเคลื่อนที่และความเร็วนั้นสามารถนำมาได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น มิเตอร์วัดความเร็วของรถ ซึ่งเซนเซอร์ที่ติดอยู่มอเตอร์หรือที่บริเวณล้อรถ (Encoder sensor) แต่ก็มียานพาหนะหลายชนิดที่ไม่สามารถใช้ Encoder ได้เนื่องจากไม่มีล้อ เช่น ยานดำน้ำ เครื่องบิน แต่ยานพาหนะดังกล่าวจะอาศัยเซนเซอร์จากความเร็วลม หรือความเร็วของน้ำเป็นตัวบอกว่ามีความเร็วเท่าไหร่ และนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งปัจจุบันต่อไป นอกจากยังมีอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่เป็นที่นิยมมาก ก็คือ ระบบนำร่องแบบเฉื่อย Strapdown inertial navigation system (SINS) เป็นระบบระบุความเร็ว ระยะทาง และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นจักรยาน จักรยานยนต์ เรือ เครื่องบิน หรือแม้กระทั้งยานอวกาศ โดยในระบบดังกล่าวนั้นจะประกอบไปด้วยเซนเซอร์หลัก ๆ 4 ชนิด คือ เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) เซนเซอร์ความอัตราเร็วเชิงมุม (Gyro meter) เซนเซอร์ความเข้มของสนามไฟฟ้า (Magnetometer) และเซนเซอร์วัดความดันบรรยากาศ (Barometer) และยังมีเซนเซอร์อีกมากมายที่สามารถใช้ทดแทนได้

ระบบนำร่องโดยการใช้ Inertial Platform

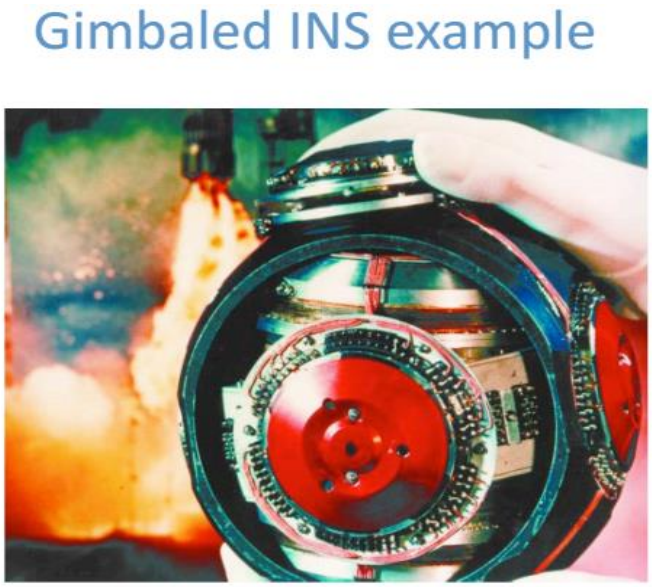
Shufegn, Cheng, and Zhenghua (2012) ได้กล่าวว่า การระบุตำแหน่งและนำทางโดยใช้ Inertial sensors นั้น จะอาศัยเซนเซอร์วัดความเร่งและเซนเซอร์วัดมุม โดยในสมัยก่อนจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Gimbaled platform หรืออีกชื่อหนึ่ง คือ Stabilized platform โดยอุปกณ์ดังกล่าวนั้นจะเป็นชิ้นส่วนที่เป็นโลหะที่หมุนได้ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ดังภาพที่ 2-1 ส่วนอุปกรณ์แบบที่สองมีชื่อว่า Strapdown ineritial navigation system (SINS) โดยในระบบนี้จะเป็นอุปกรณ์ที่พัฒนามาจาก Gimbaled platform เพียงแต่มีการติดชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวออกไป และเปลี่ยนจากเซนเซอร์วัดความเอียง มาเป็นเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแทน

1. ระบบนำทางโดยใช้ Gimbaled inertial platform ตัว Gimbal นั้นจะประกอบด้วยวงแหวนซ้อนกันจากภาพที่ 2-1 จะสังเกตุได้ว่าตรงกลางนั้นจะมีตัวเซนเซอร์วัดความเร่งว่างอยู่ นอกจากนี้ยังมีตัวเซนเซอร์วัดความเอียงของบอร์ดโดยอาศัยค่าที่อ่านได้จากวงแหวนต่าง ๆ โดยข้อดีของอุปกรณ์นี้ คือ ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์นั้นไม่ว่าจะเป็นค่าความเร่งที่แกนมีการขนานกับพื้น หรือค่าความเอียงในแนวแกนต่าง ๆ จะเป็นค่าที่สามารถนำไปประมวลในระบบได้โดยตรง โดยเราจะเรียกค่าที่ได้ว่า ค่าจากการอ้างอิงกับแกนโลก (Reference frame) ข้อเสียของระบบนี้ ถ้าหากยานพาหนะที่ไปติดตั้งมีการเคลื่อนที่แบบโลดโผน เช่น การตีลังกาหรือควงสว่านอาจทำให้อุปกรณ์นี้เกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า Gimbal lock ได้โดย Gimbal lock เป็นสภาวะของอุปกรณ์เกิดภาวะติดขัดจนไม่สามารถเคลื่อนไหวได้อีกและผลกระทบที่ตามมา คือ ระบบไม่สามารถใช้งานได้

2. ระบบนำทางโดยใช้ Strapdown inertial navigation system ระบบนี้เป็นระบบที่พัฒนามาจาก Gimbaled platform โดยมีการตัดส่วนอุปกรณ์ต้องมีการเคลื่อนไหวออกไป โดยที่เซนเซอร์วัดความเร่งนั้นจะถูกติดตั้งแบบขยับไม่ได้กับยานพาหนะ ดังที่แสดงอยู่ในภาพที่ 2-3 (ก) และการติดต่อในภาพที่ 2-3 (ข) และเซนเซอร์วัดความเอียงนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแทน ดังนั้นค่าที่ได้จึงต้องนำมาประมวลผลเพิ่มเติมก่อนจึงจะได้ค่าความเอียงออกมา และในการใช้งานจริงนั้นค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์นี้จะถูกเรียกว่า ค่าอ้างอิงจากตัวอุปกรณ์ (Body frame) ดังนั้นการจะนำไปสร้างเป็นแผนที่นำร่องนั้นจะต้องมีการแปลงค่าจาก Body frame ไปเป็น Reference frame ก่อนจึงนำไปใช้งานต่อไปได้ แต่ข้อดีของระบบนี้ คือ จะไม่มีส่วนที่ต้องเคลื่อนไหวทำให้ลดปัญหาการเกิด Gimbal lock ได้และในปัจจุบันนั้นเทคโนโลนี้ก็ได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องจนสามารถสร้างให้อยู่ในรูปแบบของ IC ขนาดเล็กดังภาพที่ 2-3 (ค)



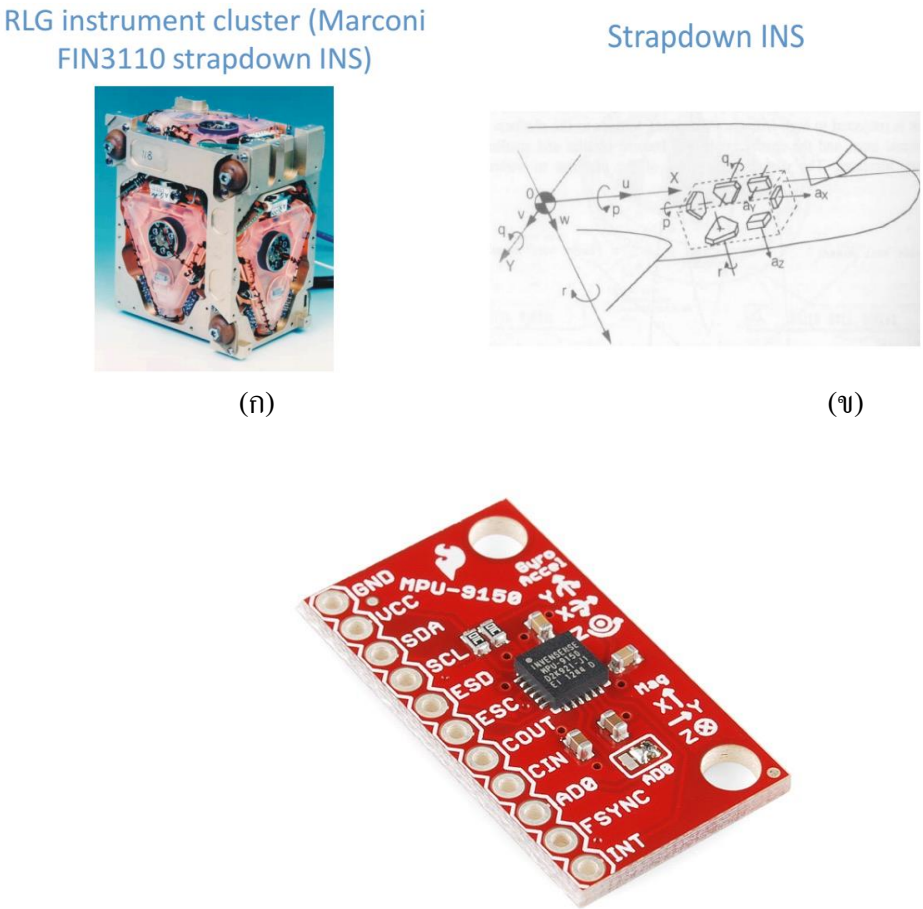
ภาพที่ 2-1 โครงสร้างภายในของ Gimbaled inertial platform



ภาพที่ 2-2 อุปกรณ์ Gimbaled inertial platform

ระบบนำร่องโดยใช้ Strapdown Inertial Platform

ในการวัดค่าที่ต้องการจากเซนเซอร์เพื่อนำมาคำนวณเป็นระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้แบบง่าย โดยจะใช้ค่าที่ได้จากที่ความเร่งและความเร็วเชิงมุมมาทำการคำนวณร่วมกันและหลักการทำงานของ Stapdown Navigation แบบ 2 มิตินั้นถูกแสดงไว้ในภาพที่ 2-4 ซึ่งภาพแสดงการติดตั้งระบบบนยานพาหนะที่ต้องการ โดยระบบนี้จะสมมุติว่ายานพาหนะดังกล่าวนั้นมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง และระบบนี้ประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งจำนวนสองตัว และเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมจำนวนหนึ่งตัว ในการติดตั้งเพื่อวัดค่านั้นจะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่งตัวแรก



(ก) (ข)

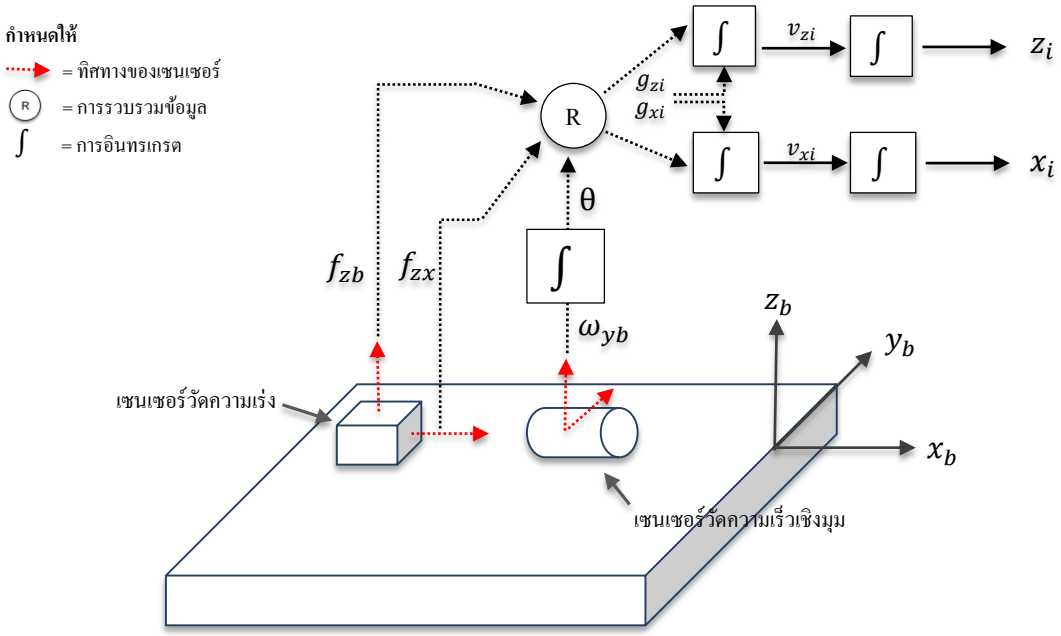
(ค)

ภาพที่ 2-3 อุปกรณ์ Strapdown ineritial ประเภทต่าง ๆ

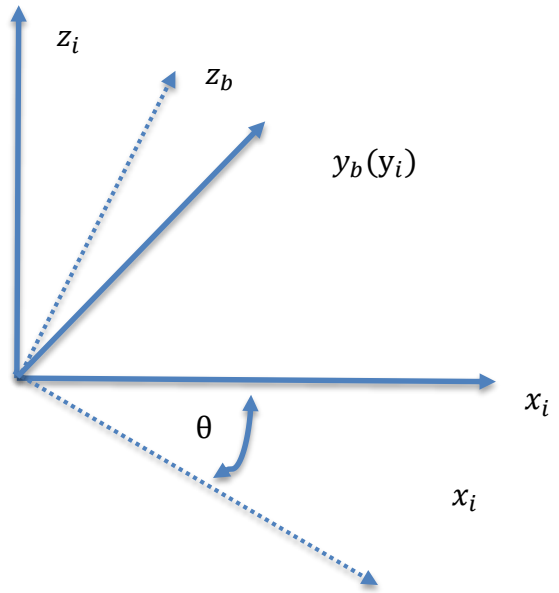
ติดตั้งไปในทิศทางของ x_b ส่วนอีกตัวถูกติดตั้งโดยหันไปทางด้านบน z_b และเซนเซอร์ความเร็วเชิงมุมจำนวนหนึ่งตัว ในการติดตั้งเพื่อวัดค่านั้นจะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่งตัวแรกโดยทางทิศของ x_b ส่วนอีกตัวถูกติดตั้งโดยหันไปทางด้านบน z_bและเซนเซอร์ความเร็วเชิงมุมนั้นจะถูกติดตั้งโดยให้สามารถวัดค่าความเร็วเชิงมุมรอบแกน x_b ได้และค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่ติดตั้งนี้จะเป็นค่าความเร็วเชิงมุม ω_{yb} โดยในภาพที่ 2-4 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการอินทีเกรทค่าเร็วเชิงมุมดังกล่าวจะทำให้ได้ค่ามุมที่เปลี่ยนไป ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2-5 โดยที่ θ เป็นมุมองศาระหว่างตัว Body frames และ Reference frames

จากภาพที่ 2-5 ค่า $\dot{\theta}$ คือ ค่าที่ได้จากการอินทิเกรทค่าความเร็วเชิงมุม เทียบกับเวลาโดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปประมวลผลรวมกับค่าแรงที่เกิดขึ้นกับตัววัตถุ f_{xb} และ f_{zb}และนำไปเทียบกับตัว Reference frame โดยที่จะมีการจะมีการนำค่าแรงโน้มถ่วงของโลก g_{xi} และ g_{zi} มา

คำนวณด้วย ซึ่งเมื่อเราทำการรวมกับค่าดังกล่าวแล้วจะทำให้เราได้ค่า $\dot{x}_i$ และ $\dot{z}_i$ ซึ่งเป็นค่าอนุพันธ์ของการอินทีเกรทสองครั้งทำให้ได้ค่าความเร็วและระยะทางตามลำดับ โดยที่สมการทั้งหมดนั้นถูกแสดงไว้ในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-4 การทำงานของ Strapdown inertial navigation system แบบสองมิติ



ภาพที่ 2-5 มุมที่เปลี่ยนไประหว่าง Body frame กับ Reference frame

$$
\begin{aligned}
\dot{\theta} &= \omega_{yb} \\
f_{xi} &= f_{xb}\cos\theta + f_{zb}\sin\theta \\
f_{zi} &= -f_{xb}\sin\theta + f_{zb}\cos\theta \\
\dot{v}_{xi} &= f_{xi} + g_{xi} \\
\dot{v}_{zi} &= f_{zi} + g_{zi} \\
\dot{x}_i &= v_{xi} \\
\dot{z}_i &= v_{zi}
\end{aligned}
$$

ภาพที่ 2-6 ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของระบบ Strapdown Navigation System

เซนเซอร์ที่ใช้ในงานด้านระบบนำร่อง

1. เซนเซอร์วัดความเร่งแบบ 3 แกน เซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (Accelerometer sensor) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุที่ตัวอุปกรณ์ถูกติดตั้งอยู่ โดยค่าที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปของ เมตร/วินาที^{2} (m/s^2) หรือที่ถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เซนเซอร์วัดความเร่งของวัตถุนั้นเอง และในปัจจุบันเซนเซอร์ชนิดดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบตั้งแต่ การใช้งานด้านเกมเพื่อความสนุกสนานสำหรับเด็กโดยนำมาใช้สำหรับการตรวจจับความเคลื่อนไหวของอุปกรณ์แบบสามมิติ หรือการใช้เพื่อสร้างระบบนำร่องในอาคารโดยใช้โทรศัพท์มือถือ He, Tan, and Lee (2009) รวมถึงใช้ในงานทางด้านโครงการอวกาศเพื่อมวลมนุษย์ชาติ เช่น นำมาใช้เพื่อสร้างระบบนำทางให้แก่ยานอโพโล 11 เพื่อเดินทางไปดวงจันทร์ เป็นต้น โดยที่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวัตถุและความเร็ว ณ เวลาใด ๆ เทียบกับเวลาได้ดังนี้

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{\Delta t} \tag{2-1}$$

เมื่อ $\vec{u}$ ความเร็วต้น (m/s) และ$\vec{v}$ ความเร็วที่เวลา Δt คือ เวลา และ $\vec{a}$ คือ ความเร่งของวัตถุ นอกจากนี้เรายังหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งที่เกิดขึ้นกับแรงที่กระทำกับวัตถุ จนทำให้มวลภายในเซนเซอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วและจากสมการพื้นฐานตามกฎของนิวตันสามารถคำนวณหาแรงที่กระทำได้ดังนี้

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a} \tag{2-2}$$

โดยที่ $\vec{F}$ คือ แรงที่กระทำกับวัตถุหน่วยเป็นนิวตัน และ m คือ น้ำหนักของวัตถุหน่วยเป็นกิโลกรัม และ $\vec{a}$ คือ ความเร่งของวัตถุหน่วยเป็น (m/s^2) นอกจากนี้เรายังความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งที่เกิดขึ้นกับวัตถุในรูปแบบค่าต่าง ๆ ในอีกมากมาย ทำให้ในปัจจุบันตัวเซนเซอร์วัดความเร่งนี้ได้รับความนิยมและได้รับบรรจุให้เป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างในโทรศัพท์มือ

และด้วยการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้ในปัจจุบันมีการค้นคว้าเพื่อสร้างเซนเซอร์วัดความเร่งออกมาหลายชนิด ซึ่งจะถูกกล่าวถึงต่อไป

จากความหลากหลายในการใช้งานทำให้มีการคิดค้นคว้าเพื่อสร้างเซนเซอร์ความเร่งขึ้นมามากมาย ทั้งที่มีขนาดใหญ่แต่น่าเชื่อถือความแม่นยำสูงและมีขนาดเล็กมากพอที่จะใส่ไว้ในโทรศัพท์มือถือและราคาถูก โดยภาพที่ 2-7 คือ ภาพตัวอย่างของเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดต่าง ๆ

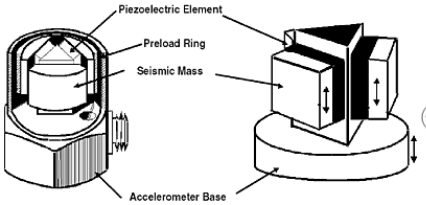
โดยในที่นี้จะทำการจำแนกชนิดของเซนเซอร์วัดความเร่งเป็นสองประเภทหลัก คือ แบบที่เป็นชิ้นส่วนเชิงกลทั้งหมด (Mechanical) ขนาดใหญ่ และแบบที่เป็นชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิคส์ (Solid state) และแบบสุดท้าย คือ แบบที่เป็นระบบเครื่องจักรระดับจุลภาค (Micro electronic memory system or MEMS Sensor) โดยแต่ละประเภทจะมีรายละเอียดดังนี้

1.1 เซนเซอร์วัดความเร่งแบบเชิงกล (Mechanical accelerometer) เซนเซอร์วัดความเร่งแบบเชิงกล (Mechanical accelerometer) เรียกได้ว่าเป็นเซนเซอร์ความเร่งแบบแรก ที่มีการออกแบบและใช้งานมาอย่างยาวนาน หนึ่งในตัวอย่างนั้น คือ เครื่องวัดแผ่นดินไหวแบบโบราณ ซึ่งมีหน้าหลักการในการตรวจสอบว่าเกิดแผ่นดินไหนขึ้นหรือไม่ ถ้าเกิดมีการเกิดที่ทิศใดจากตัวเมืองหลวง โดยสามารถดูทิศดังกล่าวได้จากลูกแก้วที่ตกออกมาจากปากของมังกร และนี่อาจเรียกได้ว่าเป็นเครื่องมือในยุคโบราณที่อาศัยหลักเกณฑ์การวัดความเร่งชิ้นเก่าแก่ที่สุดที่เรามีบันทึกอยู่ในปัจจุบัน โดยคาดว่าอุปกรณ์ดังกล่าวน่าถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 132 โดย Zhang Heng ดังภาพที่ 2-8 ด้านล่าง

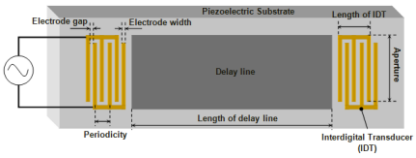
จากภาพที่ 2-8 ซึ่งเป็นรูปกลไกการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร่งแบบเชิงกลโดยอาศัยชิ้นส่วนสามชิ้นหลัก ๆ คือ ตัวก้อนมวลน้ำหนักซึ่งจะถูกยึดไว้ตัวสปริงด้านหนึ่งส่วนอีกด้านหนึ่งของสปริงจะถูกยึดติดแน่นไว้กับตัวกล่องหรือตัวโครงสร้างที่แน่นหนาบางอย่าง หลักการทำงาน ก็คือ เมื่อตัวกล่องหรือตัวโครงสร้างถูกทำให้เคลื่อนที่หรือมีการเพิ่มความเร็วขึ้น ตัวมวลที่ยึดติดกับสปริงจะไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกล่องนั้น ดังนั้นจึงทำให้ตัวสปริงที่มีการหดเข้าหรือยืดออกตามทิศทางที่ตรงกันข้ามกับที่มีการเคลื่อนที่ไป โดยระยะยืดของสปริงที่ได้นั้นสามารถนำไปคำนวณเป็นค่าความเร่งหรือหาความเร็วที่เปลี่ยนไปที่เกิดขึ้นกับเซนเซอร์ได้

ภาพที่ 2-9 ตัวอย่างอุปกรณ์วัดความเร่งอย่างง่ายโดยที่มวลสีแดงนั้นจะถูกยึดอยู่กับสปิงซึ่งปลายอีกด้านหนึ่งถูกยึดเข้ากับตัวกล่องและที่มวลนั้นจะมีตัวปากกาซึ่งปลายหัวปากกาถูกวางไว้กับกระดาษ และเมื่อมีแรงจากภายนอกเข้ามาทำกับตัวกล่องก็จะส่งผลให้ตัวมวลภายในเคลื่อนที่ไปมาทำให้ตัวปากกาถูกเขียนกระดาษที่เตรียมไว้ จากหลักการทำงานดังกล่าวจะพบเห็นการใช้เซนเซอร์ประเภทนี้ได้บ่อยในเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวดังภาพที่ 2-10 จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อ

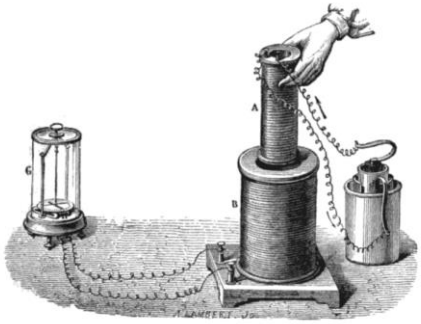
เกิดแผ่นดินไหวตัวเข็มจะเกิดการสั่นไหวอย่างรุนแรงและถูกเขียนไปยังกระดาษ โดยที่ตัวกระดาษจะถูกทำให้เลื่อนไปเรื่อย ๆ ดังภาพที่ 2-11



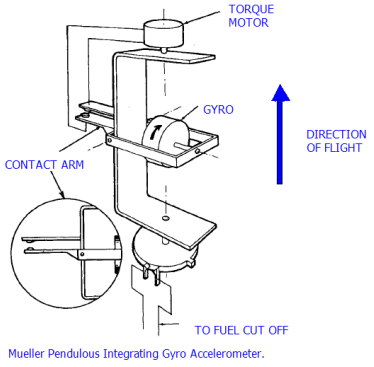
Piezoelectric accelerometer



Surface acoustic wave (SAW)



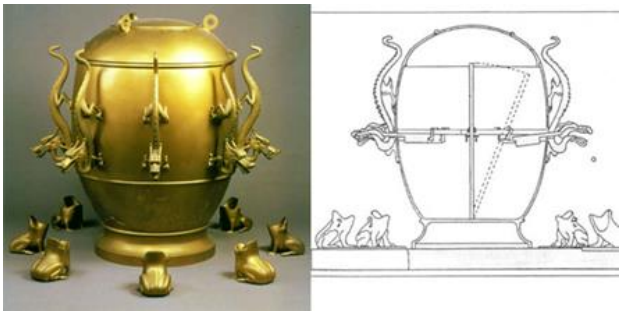
Magnetic induction



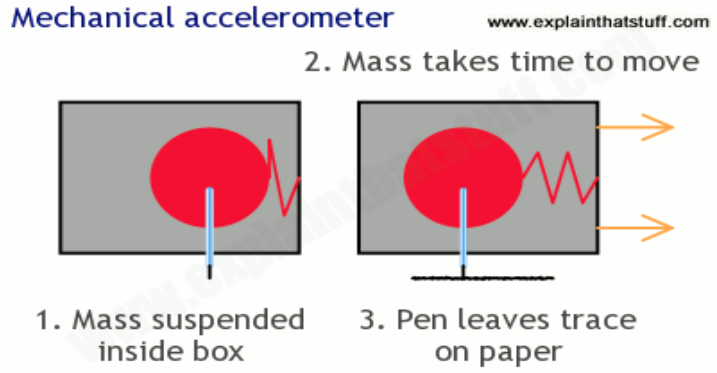
PIGA accelerometer

MEMS Accelerometer

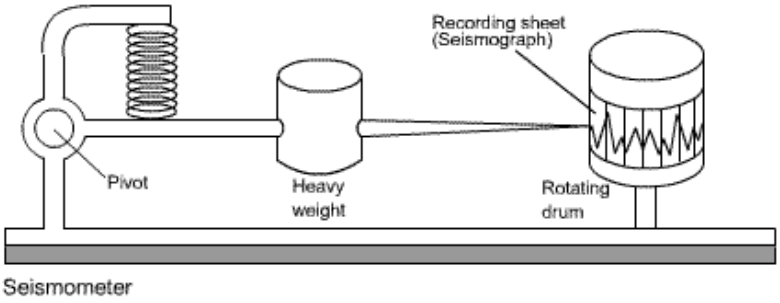
ภาพที่ 2-7 รูปแบบของเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดต่างๆ



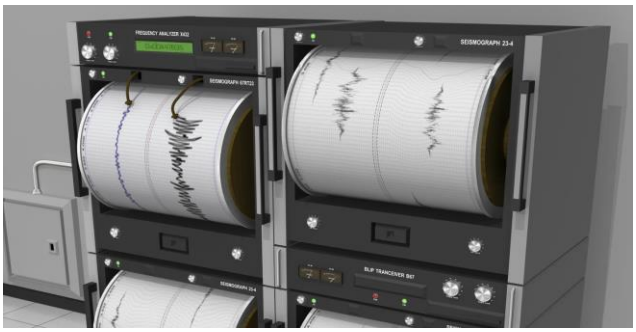
ภาพที่ 2-8 อุปกรณ์ตรวจจับแผ่นดินไหวของจีนสมัยโบราณ



ภาพที่ 2-9 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ Mechanical accelerometer



ภาพที่ 2-10 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นดินไหว Seismometer

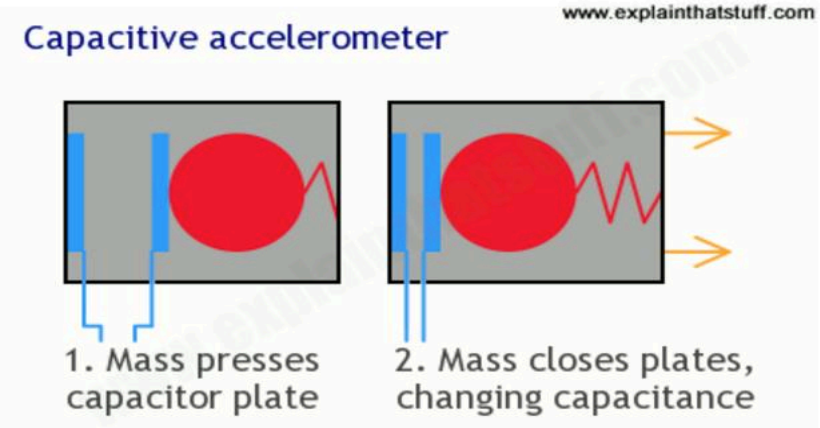


ภาพที่ 2-11 อุปกรณ์ Seismometers ที่เอาไว้ตรวจจับการเกิดแผ่นดินไหว

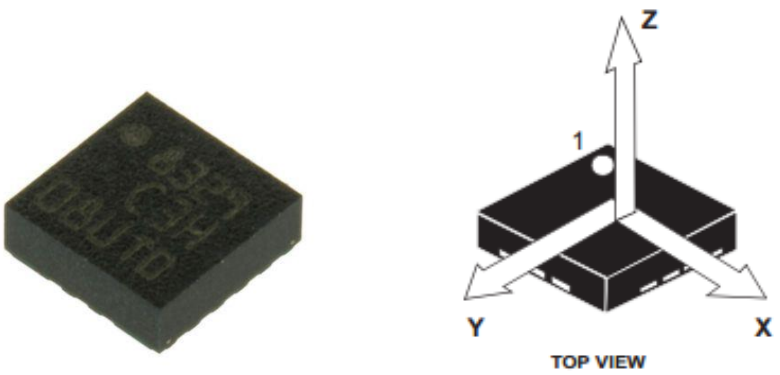
1.2 เซนเซอร์วัดความเร่งชนิด Solid state สำหรับตัว Solid state accelerometer นั้น คือ เซนเซอร์วัดความเร่งที่มีส่วนประกอบของอิเล็คทรอนิกส์และส่วนเชิงกลเป็นองค์ประกอบ โดยจะถูกออกเป็นประเภทย่อย ๆ ได้อีกหลายประเภท โดยบางชนิดอาจจะประกอบด้วย Surfacea acoustic wave, Bibratory และ Capacitive accelerometer และแต่ละชนิดก็มีหลักการและวิธีการใน

การวัดความเร่งออกมาได้แตกต่างกันไป แต่ ณ ที่นี้จะขออธิบายเพียงหลักการทำงานของ Capacitive accelerometer เท่านั้น เนื่องจากมีหลักการทำงานใกล้เคียงกับเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดเชิงกลก่อนหน้านี้

หลักการทำงานของ Capacitive accelerometer จะมีลักษณะการทำงานเหมือนตัว Mechanical accelerometer ก่อนหน้านี้แต่จะแตกต่างกันในส่วนของการเปลี่ยนจากตัวปากเป็นตัวแผ่น Capacitive metal plates สองแผ่น ซึ่งจากภาพที่ 2-12 จะสังเกตได้ว่าเมื่อตัวกล่องได้รับแรงกระทำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างช่องว่างระหว่างแผนโลหะสองแผ่นทำให้ค่าความเก็บจุเปลี่ยนไป ทำให้สามารถนำการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวมาคำนวณ เพื่อว่าความเร่งที่เกิดขึ้นได้



ภาพที่ 2-12 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดตัวเก็บประจุ



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-13 ทิศทางของวัดความเร่งของเซนเซอร์ รุ่น MPU9150 ของบริษัท Texas Instruments

1.3 เซนเซอร์วัดความเร่งชนิดจักรกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS Accelerometers) สำหรับเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดนี้จะถูกผลิตขึ้นโดยใช้สารประเภทซิลิกอนขนาดเล็ก ในการออกแบบระบบเชิงกลรวมถึงระบบบันทึกค่าความเร่งที่อ่านได้ และส่วนที่เอาไว้สำหรับติดต่อสื่อสารกับตัวไมโครโปรเซสเซอร์ภายนอก ทั้งหมดนี้จะถูกบรรจุไว้ในชิปเซ็ตขนาดเล็ก ดังภาพที่ 2-13 (ก)

ข้อได้เปรียบของเซนเซอร์วัดความเร่งลักษณะนี้คือตัวเซนเซอร์นั้นจะมีขนาดเล็ก ราคาถูก และในปัจจุบันก็มีบริษัทที่ผลิตเซนเซอร์ประเภทนี้ให้เลือกมากมาย โดยที่ความแม่นยำและความประหยัดพลังงานถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นตลอดเวลาที่ผ่านมา

และในปัจจุบันนั้นตัวเซนเซอร์วัดความเร่งชนิดนี้จะมีความสามารถในการวัดความเร่งของวัตถุที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ได้ในระนาบสามมิติดังภาพที่ 2-13 (ข) โดยค่าที่อ่านจะอยู่ในรูปของ

$$f_b = [a_x, a_y, a_z] \tag{2-3}$$

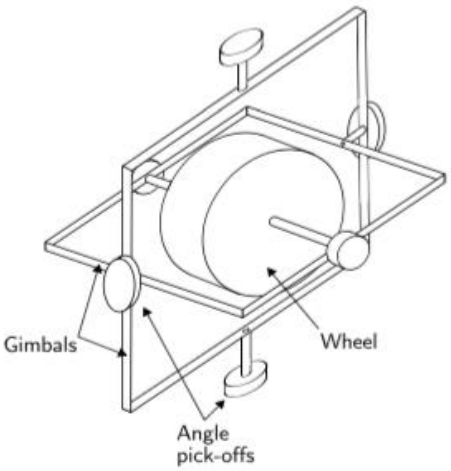
$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tan^{-1}(-a_y/a_z) \\ sin^{-1}(-a_x/\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}) \\ Magnetometer\ Heading \end{bmatrix} \tag{2-4}$$

โดยที่ f_b คือ ค่าจากเซนเซอร์วัดความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งทั้งสามแกน $a_x, a_y a_z$ คือ ค่าจากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ และค่า ϕ, θ, ψ คือ อค่ามุมของวัตถุที่กระทำต่อกรอบอ้างอิง

2. เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบ 3 แกน ตัวเซนเซอร์วัดความเร่งนั้น นั้นคือ ตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สำหรับวัดการหมุนที่มีการเปลี่ยนตามการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปแบบของเรเดียนต่อวินาที และจะแบ่งออกแบบสามประเภทดังนี้

2.1 เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบเชิงกล (Mechanical gyroscope) หลักการทำงานของตัววัดความเร็วเชิงมุมชนิดนี้ คือ ตัวอุปกรณ์จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนของล้อหมุนซึ่งจะหมุนอย่างต่อเนื่องอยู่กับอุปกรณ์และเคลื่อนไหวแบบสามมิติ เรียกว่า Gimbel การหมุนของล้อนั้นจะทำให้ผลกระทบที่เรียกว่าโมเมนตั้มขึ้นทำให้สามารถต้านแรงโน้มถ่วงเอาไว้ได้ ทำให้ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้ง Gyroscope จะมีการเคลื่อนที่ได้เอียงไปอย่างไรก็ตามตัวล้อที่ได้รับผลกระทบจากโมเมนตัมนั้นจะยังคงหมุนไปในทิศทางเดิมและมีความเอียงเท่าเดิมเสมอและตัว Gimbel นั้นจะมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดองศาที่เปลี่ยนไป เรียกว่า Angle pick-offs ซึ่งจะสามารถอ่านมุมที่มีการเปลี่ยนได้ทันที ดังตัวอย่างภาพที่ 2-14 โดยจะแตกต่างจากอุปกรณ์วัดมุมสมัยใหม่ที่กล่าวต่อจากนี้ซึ่งสิ่งที่ได้จะเป็นความเร็วเชิงมุมซึ่งต้องผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ก่อนถึงจะได้เป็นมุม และสิ่งที่ทำให้อุปกรณ์ประเภทนี้เสียเปรียบ คือ อุปกรณ์นี้ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ในการติดตั้งและเนื่องจากเป็นอุปกรณ์เชิงกลที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้มีความจำเป็นต้องการดูแลซ่อมแซมชิ้นส่วนที่

เคลื่อนอยู่ตลอด เช่น ชุดลูกปืนต่าง ๆ เป็นต้น และนอกจากนี้ตัวอุปกรณ์ยังสามารถหยุดเคลื่อนไหวได้ ถ้าหากการซ้อนทับกันของวงแหวนสองซึ่งเรียกอาการนี้ Gembel lock ได้อีกด้วย ทำให้ปัจจุบันได้รับความนิยมน้อยลง แต่อาจจะพบเห็นได้ในบางแห่ง เช่น เรือบรรทุกเครื่องบินรบขนาดใหญ่ที่ต้องการให้เรือรบลอยนิ่ง โดยใช้ประโยชน์จากโมเมนตัมที่เกิดขึ้นจาก Gyroscope ทำให้ตัวเรือไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นทะเล เป็นต้น

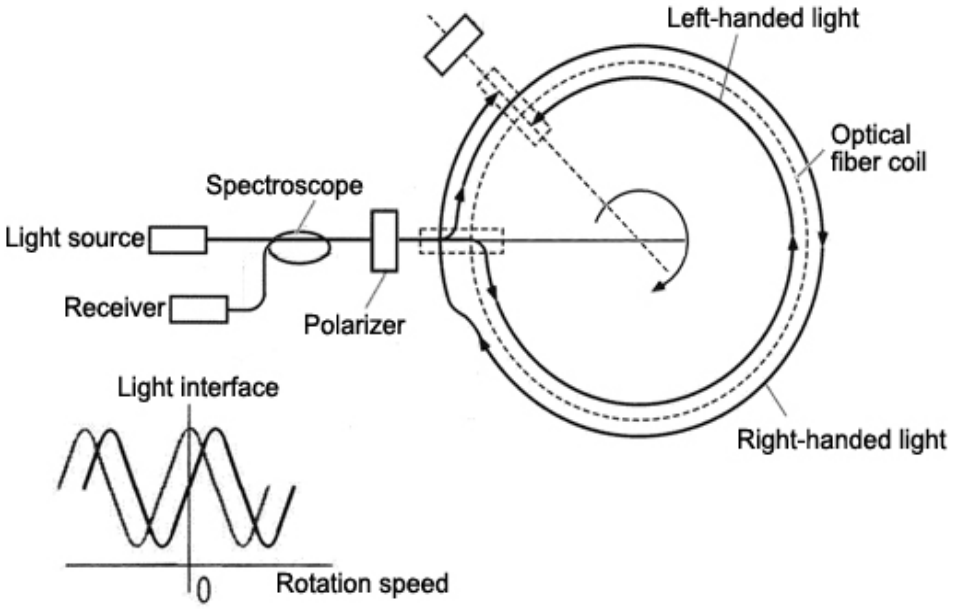


ภาพที่ 2-14 ตัวเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงกลในรูปแบบของกิมเบล

2.2 เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบออปติคอล (Fiber optical gyroscope) ตัวอุปกรณ์ Fiber optic gyroscope (FOG) นั้นจะใช้สำหรับการวัดความเร็วเชิงมุมของอุปกรณ์โดยหลักการทำงานของตัว FOG คือ การใช้หลักการอินเตอร์เฟียร์ของแสง โดยการวัดความแตกต่างเฟสระหว่างแสงที่มีส่งเข้าไปในขดใยแก้วนำแสงที่มีความยาวประมาณ 1000 เมตร โดยแสงตัวแรกจะถูกส่งจากปลายด้านแรกทำให้แสงเดินทางไปตามขดใยแก้วนำแสงในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ส่วนแสงชุดที่สองซึ่งมีความถี่เท่ากันกับชุดแรกจะถูกส่งออกไปพร้อมกันแต่ถูกส่งจากปลายด้านหนึ่งทำให้แสงเดินทางไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และเมื่อเกิดการหมุนในทิศทางใดทิศทางหนึ่งขึ้นจะส่งผลกระทบให้ระยะการเดินทางของแสงทางกลของแสงด้านหนึ่งสั้นกว่าอีกด้านหนึ่งเสมอให้เกิดเหตุการณ์ที่เฟสของแสงทั้งสองเลื่อนไปเรียกปรากฏการดังกล่าวว่า Signac effect และเมื่อตัวรับแสงทำการรับแสดงได้แล้วก็จะทำการวัดและคำนวณหาความต่างเฟสและคำนวณออกมาเป็นความเร็วเชิงมุม และเมื่อนำตัวอุปกรณ์ FOG มาเปรียบเทียบกับ Mechanical gyroscope จะพบว่าตัว FOG แตกต่างตรงที่ไม่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่ต้องเคลื่อนไหว ทำให้ดูแลรักษาง่ายกว่ามาก

และในการจะวัดให้แม่นยำนั้น อุปกรณ์นี้ต้องการอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณที่ดีและมีคุณภาพเพียงเท่านั้น

2.3 เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบจักรกลไฟฟ้าจุลภาค MEMS Gyroscopes จากที่กล่าวมาแล้วตัวอุปกรณ์แบบ Mechanical and Optical gyroscope นั้นเป็นตัวอุปกรณ์ที่มีทั้งส่วนของที่ต้องเคลื่อนไหวรวมถึงส่วนประกอบที่ซับซ้อนทำให้ในปัจจุบันได้รับความนิยมลดลง แตกต่างจาก MEMS Gyroscopes ที่ทั้งหมดถูกบรรจุอยู่ใน IC เพียงตัวเดียวโดยใช้เทคนิค Silicon micro-machining อีกทั้งอุปกรณ์ประเภทนี้ยังมีราคาถูกและความแม่นยำมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสามารถสรุปข้อดีของ Gyroscope คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา โครงสร้างแข็งแรง ใช้พลังงานต่ำ ใช้เวลาในการ Setup เพียงน้อยนิดก่อนเริ่มใช้งาน และที่สำคัญ คือ ราคาถูก



ภาพที่ 2-15 โครงสร้างของตัวเซนเซอร์ Fiber optic gyroscope

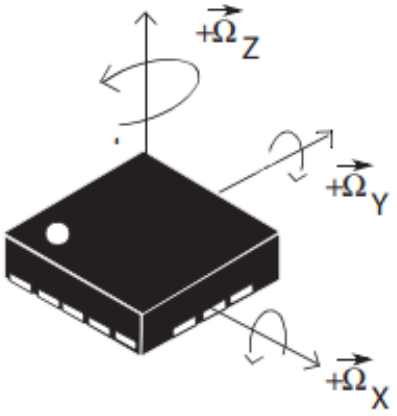
และเช่นเดียวกับเซนเซอร์วัดความเร่ง $\omega(x)$ ในปัจจุบันตัวเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมประเภทนี้จะมีความสามารถในการวัดความเร็วเชิงมุมได้สามแกนพร้อมกันดังภาพที่ 2-16 และสมการที่ 2-7

$$\omega(x) = \frac{dx}{dt} \tag{2-5}$$

$$\omega(x) = [\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z] \tag{2-6}$$

$$\theta = \int_0^t \omega(x)\, dx = \sum_0^t \omega(x) \cdot Ts \tag{2-7}$$

3. เซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กโลกแบบ 3 แกน ตัวเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กในงานด้านระบบนำทางนั้น หลัก ๆ แล้วจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาว่า ณ เวลาต่าง ๆ นั้น อุปกรณ์มีการหันไปในทิศทางใดกับแกนของโลก โดยค่าที่สามารถอ่านได้จากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นจะอยู่ในรูปของสมการที่ 2-7 และตัวอย่างของเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่นั้นจะแสดงในภาพที่ 2-18



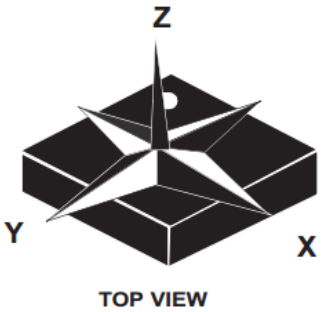
ภาพที่ 2-16 ทิศการการวัดความเร็วเชิงมุมรุ่น MPU9150 ของบริษัท Texas Instruments

และเนื่องจากในบางครั้งตัววัตถุที่ถูกติดตั้งตัวเซนเซอร์มีการเอียงทำมุม ณ เวลาต่าง ๆ ไม่เท่ากันทำให้ในการที่จะสามารถระบุทิศทางที่ถูกต้องในการเคลื่อนที่โดยใช้เพียงเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กเพียงอย่างเดียวนั้นทำได้ยาก ทำให้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้เซนเซอร์นี้ร่วมกับเซนเซอร์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์วัดความเร่งของวัตถุ หรือเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมก็ตาม และอีกสิ่งหนึ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึง ก็คือ ค่าความบิดเบือนอันเนื่องมาจากสารประกอบประเภทเหล็ก โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก ๆ คือ

$$M = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} \tag{2-8}$$

3.1 ความบิดเบือนอันเนื่องมาจากโลหะแข็ง (Hard iron) ความบิดเบือนนี้ คือ ค่าที่จะส่งผลกระทบต่อการอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นอย่างมาก โดยค่าที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่มีโลหะอยู่บริเวณรอบๆ ที่ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดความสนามแม่เหล็ก เช่น ตัวโครงสร้างของยานพาหนะ ดังนั้นในการที่ลดความบิดเบือนนี้สามารถที่จะแก้ไขได้โดยการติดตั้งเซนเซอร์ให้ห่างจากตัวโครงสร้างโลหะ

3.2 ความบิดเบือนอันเนื่องมาจากโลหะอ่อน (Soft iron) ค่าความบิดเบือนนี้เกิดมาจากโหละเหลวในชั้นเปลือกโลก โดยผลกระทบดังกล่าวทำให้ในแต่ละบริเวณของแผ่นเปลือกโลก ตัวเซนเซอร์จะสามารถอ่านความเข้มสนามแม่เหล็กได้ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและองศาที่เปลี่ยนไปนั้นเปลี่ยนตามไปด้วย



ภาพที่ 2-17 เซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กรุ่น LSM303CTR ของบริษัท ST Microelectronic

การวิเคราะห์สัญญาณเพื่อแยกแยะรูปแบบของสัญญาณ

ในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสองสัญญาณ เพื่อหาว่าสัญญาณทั้งสองนั้นเหมือนกันหรือไม่นั้น จะสามารถโดยจะแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก ๆ คือ

1. วิเคราะห์ความเหมือนกันโดยใช้ค่าพลังงาน (Similar in energy) หลักการวิเคราะห์สัญญาณประเภทนี้ Dargie (2009) ได้กล่าวว่าจะต้องนำสัญญาณที่มีอยู่นั้นมาหาค่าพื้นที่ใต้กราฟ ข้อมูลก่อนที่จะนำมาหาพื้นที่ใต้กราฟนั้นอาจจะมีการนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ และในการวิเคราะห์นั้น จะแบ่งออกเป็นสองชนิดหลัก ๆ คือ ในวิเคราะห์ในโดเมนเวลา (Time domain) ในการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ (Frequency domain) Sriborrirux, Leamsumran, and Dan-klang, (2014) เป็นการวิเคราะห์ เพื่อหากิจกรรมที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ไม่ว่าเป็นการนั่งการนอน การเดิน การหกล้ม โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งผ่านกระบวนดังภาพที่ 2-18

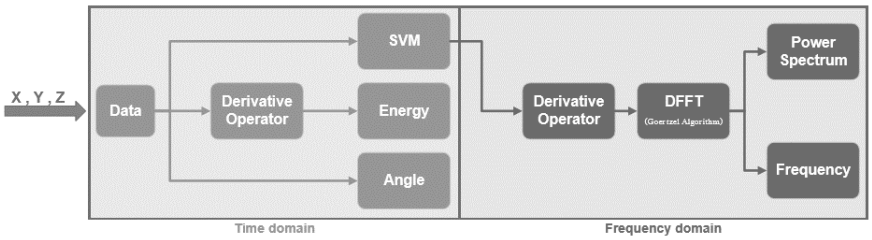
2. วิเคราะห์ความเหมือนกันโดยใช้ค่าสหสัมพันธ์ (Cross correlation) การวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการ Cross correlation คือ กระบวนการที่จะนำสัญญาณสองสัญญาณมาทำการเลื่อนและคูณกันดังภาพที่ 2-19 โดยที่สัญญาณ f คือ สัญญาณของข้อมูลต้นแบบและสัญญาณ g คือ สัญญาณอินพุตที่ต้องการนำมาทำ Cross correlation กับสัญญาณต้นแบบและสัญญาณ g นั้น จะถูกเลื่อนจากซ้ายไปขวาและเส้นสีดำ คือ ผลคูณของทั้งสองสัญญาณ โดยสามารถใช้สมการที่ 2-9 เพื่อคำนวณหาค่า Cross correlation ของสัญญาณที่ต้องการ

$$(f * g)[n] \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f * [m]g[m+n] \tag{2-9}$$

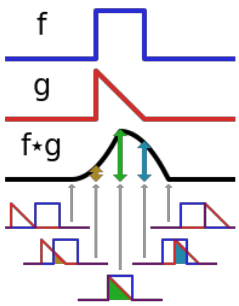
ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลสองชุดจะใช้ค่า Coefficient of correlation และจะทำให้สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับใด และยังบอกได้ด้วยว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นชนิดใด เช่น การประยุกต์ใช้ Cross correlation ในการอ่านค่าอัตราการเต้นหัวใจ Chin and Fang, (2017) การระบุตำแหน่งโดยใช้เสียงจากหลาย ๆ แหล่ง ทำการคำนวณความหน่วงเวลาโดยใช้ Cross correlation (Zonglong, Sun, Huang and Luo, 2016) การคำนวณเพื่อระบุตำแหน่งของรูปเล็กจากภาพขนาดใหญ่ Hasnat, Halder, Bhattacharjee and Nasipuri. (2016)

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \tag{2-10}$$

เมื่อ x_i, y_i คือ ค่าใด ๆ ของแต่ละตัวแปรที่เป็นคู่กัน $\bar{x}, \bar{y}$ คือ ค่าของแต่ล่ะตัวแปร และ r คือ ค่า Coefficient of correlation โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 และถ้าหากว่าค่าที่ได้นั้นอยู่ใกล้ 0 หมายความว่า สัญญาณ x_i และ y_i ไม่มีความสัมพันธ์กันหรือไม่คล้ายคลึงกันนั้นเอง แต่ถ้าหากค่าที่ได้ใกล้เคียง -1.0 หรือ 1.0 หมายความว่า สัญญาณทั้งสองมีความสัมพันธ์หรือ



ภาพที่ 2-18 กระบวนการทำงานของตัวกรองแบบคาลมานอัลกอริทึม



ภาพที่ 2-19 การหาค่า Cross correlation ของสองสัญญาณ

คล้ายคลึงกัน โดยค่า + แสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง ส่วนถ้าได้ติด – แสดงว่าสัญญาณทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน

3. วิเคราะห์ความเหมือนกันโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence, AI) ในการวิเคราะห์โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อแยกแยะสัญญาณนั้น จะเป็นการป้อนข้อมูลให้กับระบบที่มีปัญญาประดิษฐ์ โดยเมื่อระบบได้รับข้อมูลแล้วจะนำข้อมูลที่ได้ไปทำงานเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตนมีอยู่ว่า สัญญาณที่เข้ามานั้นใกล้เคียงกับสัญญาณใดที่ถูกฝึกสอนไว้ โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น การวิเคราะห์และจดจำใบหน้า Jiali, Tong and Fan (2015) การแยกแยะและจดจำเสียงผู้ใช้งานต่าง ๆ Dongfang, Baoquan and Shili (2016) ข้อด้อยของระบบนี้ คือ ระบบจำเป็นต้องมีหน่วยความจำจำนวนเพียงพอและมีหน่วยประมวลที่รองรับกับการทำงานในระดับนี้ได้

เนื่องจากตัวหน่วยประมวลผลที่ผู้วิจัยเลือกใช้นั้นไม่สามารถรองรับการทำงานของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ได้ ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์แบบหาค่าพลังงานของการทำ Cross correlation เนื่องจากว่าการคำนวณโดยใช้การหาค่า Coefficient of correlation ของสัญญาณที่ได้จากเคลื่อนไหวของรถนั้นจะต้องผ่านกระบวนการ Time shifting และ Time scaling เนื่องจากเหตุการณ์การเคลื่อนไหวของรถนั้นมีช่วงเวลาของกิจกรรมไม่เท่ากัน ทำให้ต้องใช้หน่วยประมวลผลและเวลาพอสมควร และการจะใช้การคำนวณหาค่าพลังงานเพียงอย่างเดียวนั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้จากกรณีผลรวมพลังงานใกล้เคียงกันได้ถึงแม้สัญญาณไม่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นผู้จัยจึงใช้กรรมวิธีในการหาค่าพลังงานของสัญญาณต้นแบบกับสัญญาณอินพุตที่เข้าโดยจะอธิบายกระบวนการทำงานในบทที่ 3 ต่อไป

การปรับปรุงคุณภาพในการประมวลผลสัญญาณสำหรับระบบนำร่อง

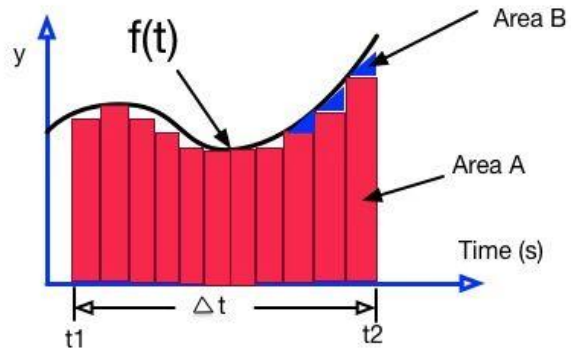
ในกระบวนการประมวลผลเพื่อใช้ในระบบนำร่องแบบ Starpdown inertial navigation system เพื่อที่จะคำนวณหาความเร็วการเคลื่อนที่และระยะทางการเคลื่อนที่ หรือแม้แต่การคำนวณหาค่ามุมที่เกิดจากการหมุนนั้น สามารถที่จะทำการหาค่าและทำการปรับปรุงค่าที่ได้ให้มีความแม่นยำมากขึ้นได้หลากหลายวิธี วิธีที่เป็นที่นิยมใช้ปัจจุบันนั้นจะมีอยู่ 2 แบบ ดังต่อไปนี้

1. การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) สำหรับการใช้กระบวนการระเบียบวิธีเชิงตัวเลข จะเป็นการประยุกต์เพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้วิธีการอินทีเกรท เช่น การหาค่าความเร็ว และระยะทาง หรือมุมที่เปลี่ยนไประหว่างตัว Body frame และ Reference frame เป็นต้น Seifert and Camacho (2007) โดยกระบวนนั้นจะเป็นการประมาณค่าการอินทิเกรทโดยการหาพื้นที่ได้กราฟ โดยจะมีการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเป็นสี่เหลี่ยมฝืนผ้าขนาดเล็ก จากนั้นทำการหาพื้นที่ใต้กราฟ

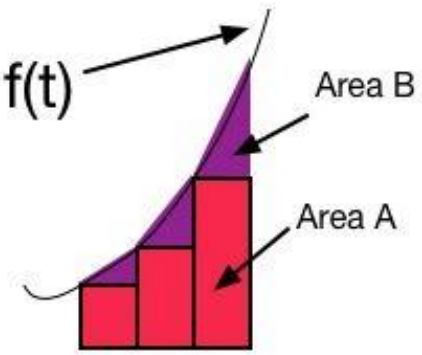
นั้นแล้วจึงนำทั้งหมดมารวมโดยสมการที่ใช้ในการประมาณการอินทีเกรทสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} f(x_i)\Delta x \qquad (2\text{-}11)$$

จากกระบวนการดังกล่าวจะพบว่ามีการเกิดค่าความผิดขึ้นได้ง่าย เนื่องจากการหาพื้นที่โดยอาศัยพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมนั้นจะเกิดพื้นที่หายไปดังภาพที่ 2-20 และเมื่อใช้วิธีในการคำนวณอย่างต่อเนื่องก็จะเกิด Error สะสมจนทำให้ผลลัพธ์ของข้อมูลผิดพลาด วิธีหนึ่งที่จะพอช่วยลดค่าความผิดพลาดดังกล่าว คือ การใช้ Frist order approximation หรืออีกชื่อหนึ่ง คือ Trapezoid method



ภาพที่ 2-20 ตัวอย่างของสัญญาณและการใช้สี่เหลี่ยมฝืนผ้าในการหาพื้นที่ใต้กราฟ



ภาพที่ 2-21 ตัวอย่างที่พื้นที่จากการอินทีเกรทและบริเวณที่เกิดความผิดพลาดขึ้น

จากภาพที่ 2-20 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ Area 2 นั้น คือ พื้นที่ที่สูตรหายไปจากกระบวนการอินทีเกรท ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความผิดพลาดจากการกระบวนการจึงต้องมีกาตรรวมเอาพื้นที่ Area 2 สองเข้าไปด้วยในแต่ละการหาพื้นที่ ณ Sampling ที่ n ดังสมการต่อไปนี้

$$Area_n = Sample_n + \left(\frac{Sample_n - Sample_{n-1}}{2} \right) \quad (2\text{-}12)$$

2. การใช้ตัวกรองคาลมานอัลกอริทึม (Kalmal filter algorithm) ตัวกรองคาลมานอัลกอริทึมถูกใช้ในการประมาณค่าของตัวแปรที่สนใจ ที่ถูกผลกระทบจากสัญญาณรบกวน โดยตัวกรองนี้ถูกคิดโดย Rudolf (Rudy) Emil Kálmán ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ วิศวกรไฟฟ้าและนักประดิษฐ์ Kálmán and R.E., (1960) โดยอัลกอริทึมนี้ยังถูกนำไปใช้ในภารกิจนำทางของยานอวกาศอะพอลโลอีกด้วย McGee and Schmidt, (1985) ทำให้ในปัจจุบันอัลกอริทึมนี้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการประมวลเพื่อทำระบบนำร่องยานยานพาหนะต่าง ๆ ไม่ว่าเป็นจะเป็นเครื่องบิน เครื่องร่อน Sheijani, Gholami, and Davari, (2013) เรือเดินสมุทร รถยนต์ เรือดำน้ำ Sheijani, Gholami, Davari and Emami, (2013) หรือกระบวนการลงจอดบนดาวอังคาร Wang and Xia (2015) เป็นต้น

ภาพที่ 2-22 คุณ Rudolf (Rudy) Emil Kálmán ผู้คิดตัวกรองคาลมาน

โดยที่การใช้ตัวกรองคาลมานอัลกอริทึมในทางปฏิบัตินั้นสามารถทำได้ดังนี้ โดยกำหนดให้

x_k คือ ค่าประมาณที่ต้องการ

z_k คือ ค่าที่ได้จากการได้จากเซนเซอร์

w_k คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากค่าความแปรปรวน Q_k

v_k คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการอ่านค่าของเซนเซอร์

“$(-)$” คือ ตัวบ่งชี้ว่า ค่าของตัวแปรนั้น ๆ เป็นค่าที่ได้ก่อนที่จะเกิดการวัด

“$(+)$” คือ ตัวบ่งชี้ว่า ค่าของตัวแปรนั้น ๆ เป็นค่าที่ได้หลังจากที่จะเกิดการวัด

$\overline{\mathrm{K}}$ คือ อัตราขยายของตัวกรองคาลมาน

Φ คือ เมตริกซ์ของการเปลี่ยนแปลงที่เวลา t_k

P_k คือ เมตริกซ์ของความแปรปรวน

H_k คือ เมตริกซ์ของการวัดค่าจากเซนเซอร์

ในขั้นตอนแรกนั้นจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสิ่งที่สนใจก่อน และในครั้งนี้จะขอยกตัวอย่างการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณหาระยะทางที่รถวิ่งได้ โดยใช้ค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งมาเป็นตัวอธิบาย โดยเริ่มจากสมการการเคลื่อนที่ในแนวราบซึ่งใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง ความเร็ว และระยะทางดังต่อไปนี้

$$v = u + at \tag{2-13}$$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 \tag{2-14}$$

จากสมการการเคลื่อนที่ดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบใหม่ในรูปแบบของตัวแปรเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$p_k = p_{k-1} + v_k\Delta t + \frac{1}{2}a_{k-1}\Delta t^2 \tag{2-15}$$

$$v_k = \ 0 \ \ + v_{k-1}\Delta t + a_{k-1}\Delta t \tag{2-16}$$

$$a_k = \ 0 \ \ + \ \ 0 + \ \ a_{k-1} \tag{2-17}$$

จากสมการที่ 2-15, 2-16 และ 2-17 เมื่อเราทำการนำมาจัดรูปใหม่ให้อยู่ในรูปเมตริกจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} p_k \\ v_k \\ a_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \Delta t^2 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{k-1} \\ v_{k-1} \\ a_{k-1} \end{bmatrix} \tag{2-18}$$

หลังจากที่เราสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาแล้วขึ้นตอนนี้ ก็คือ การทำหนดค่าตัวแปลต่าง ๆ ให้กับโมเดลของตัวกรองคาลมานดังต่อไปนี้ และจากสมการที่ 2-18 กำหนดให้

$$\text{Transform Matrix } \Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \Delta t^2 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2-19}$$

$$\text{System State } x_k \ = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \\ a_k \end{bmatrix} \tag{2-20}$$

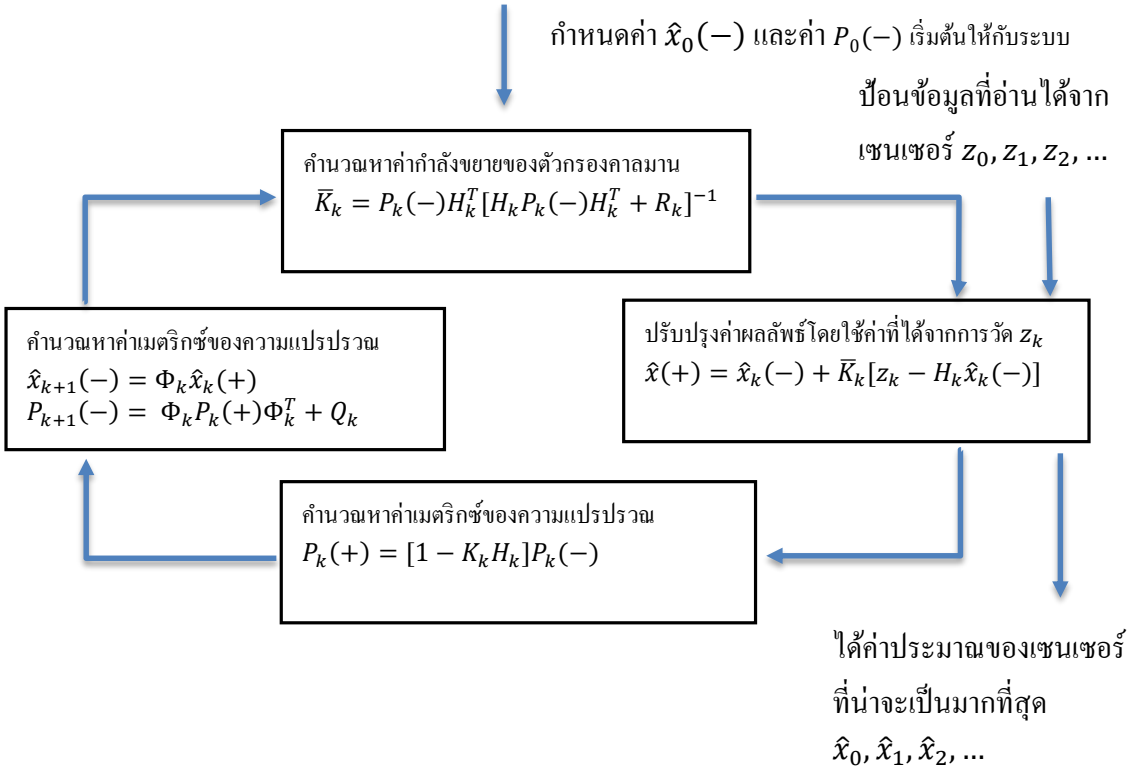
และจากความสัมพันธ์ของตัวกรองคาลมานกำหนดให้

$$z_k = \ Hx_k + v_k \tag{2-21}$$

โดยที่ x_k คือ ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ในรูปแบบ Matrix คือ ค่าสัญญาณรบกวนที่รวมเข้าไปกับเซนเซอร์ อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมการทำงานที่ผิดพลาดของเซนเซอร์ เนื่องจากในที่นี้มีการใช้เซนเซอร์วัดความเร่งเพียงตัวเดียว จึงทำให้ได้สมการ

$$\text{Measurement} \qquad z_k = [a_k] = [0 \quad 0 \quad 1] \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \\ a_k \end{bmatrix} + v_k \tag{2-22}$$

$$\text{Measurement Matrix} \qquad H = [0 \quad 0 \quad 1] \tag{2-23}$$



ภาพที่ 2-23 กระบวนการทำงานของตัวกรองแบบคาลมานอัลกอริทึม

จากภาพที่ 2-23 กระบวนการทำงานของตัวกรองคาลมาน เริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ $\hat{x}_0(-)$ การที่ตัวแปรดังกล่าวเป็นเครื่องหมายลบเพื่อเป็นการแสดงว่า ค่าดังกล่าวนั้นเป็นค่าที่สมมุติขึ้น แต่ในความจริงแล้วตัวนี้ค่าตัวแปรที่บ่งบอกค่าที่ระบบทำการคาดการณ์ล่วงหน้าว่าจะเอาต์พุตเป็นเช่นไร และเนื่องจากเป็นการเริ่มต้นระบบดังนั้นค่านี้จึงสามารถกำหนดเป็นค่าอะไรก็ได้ และในทางปฏิบัตินั้นมักกำหนดค่านี้ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเท่าที่จะคาดการณ์ได้ หลังจากนั้นก็จะทำการกำหนดค่าให้กับตัวแปรที่ชื่อว่า $P_0(-)$ ซึ่งก็คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณที่คาดเดาล่วงหน้า และเนื่องจากในตอนนี้เป็นการเริ่มต้นจึงสามารถกำหนดค่าความแปรปรวนเป็นเท่าใดก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติมักจะกำหนดให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ขั้นตอนต่อไปหลังจากที่กำหนดตัวแปรเริ่มต้นแล้ว ก็คือ การคำนวณเพื่อหาค่า Kalman Gain โดยที่ตัว Kalman gain นั้น ทำหน้าที่ในการเป็นดัชนีถ่วงน้ำหนักการปรับปรุงค่า $\hat{x}_0(-)$ ที่เราขั้นตอนต่อไป โดยการคำนวณหาค่า Kalman gain สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\bar{K}_k = P_k(-)H_k^T[P_k(-)H_k^T + R_k]^{-1} \quad (2\text{-}24)$$

ขั้นตอนต่อมาหลังจากที่คำนวณหาค่า Kalman gain ได้แล้ว คือ การคำนวณหาค่าของเอาต์พุตที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด $\hat{x}_k$ โดยการป้อนค่า z_k เข้าไปในระบบ โดยสามารถคำนวณได้

จากสมการดังต่อไปนี้

$$\hat{x}_k(+) = \hat{x}_k(-) + \bar{K}_k[z_k - H_k\hat{x}_k(-)] \quad (2\text{-}25)$$

จะสังเกตได้ว่าค่า $\hat{x}_k(+)$ ที่ได้นั้นเกิดจากการปรับปรุงค่าที่เราได้ทำการคาดการณ์ล่วงหน้าเอาไว้ $\hat{x}_k(-)$ โดยค่าที่ใช้ในการปรับปรุง คือ ค่าที่ได้จากอินพุตที่ป้อนเข้ามาในระบบ z_k ลบด้วยที่ที่เราทำการคาดการณ์ไว้ $H_k\hat{x}_k(-)$ จากนั้นจึงนำไปคูณด้วยค่า Kalman gain แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำการปรับปรุงค่า $\hat{x}_k(-)$ ที่คาดการณ์ไว้

ขั้นตอนถัดมา คือ การคำนวณหาค่าความแปรปรวนของความคาดเคลื่อนในการประมาณที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อนหน้านี้ $P_k(+)$ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_k(+) = [1 - \bar{K}_k H_k]P_k(-) \quad (2\text{-}26)$$

หลังจากนั้นก็จะเป็นกระบวนการคำนวณเพื่อหาค่าเอาพุตที่จะเป็นไปได้ในครั้งถัดไป รวมถึงคำนวณหาค่าความแปรปรวณล่วงหน้า ด้วยสมการ

$$\hat{x}_{k-1}(-) = \Phi_k x_k(+) \quad (2\text{-}27)$$

$$P_{k+1}(-) = \Phi_k P_k(+)\Phi_k^T + Q_k \quad (2\text{-}28)$$

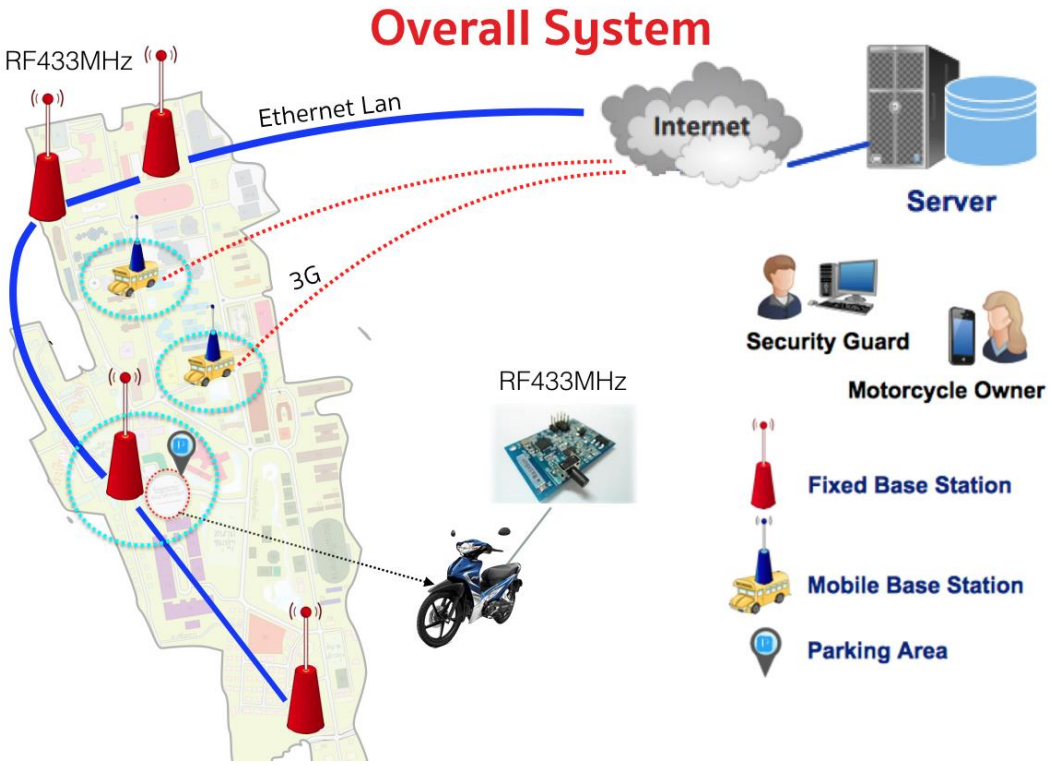
เมื่อได้ค่าที่ประมาณล่วงหน้ามาแล้วขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นกระบวนการคำนวณหาค่า Kalmal gain อีกรอบและถัดจากนั้นก็จะเป็นกระบวนการทำซ้ำเหมือนเดิมเพื่อหาค่า $\hat{x}_k$ จากอินพุตต่อไปเรื่อย ๆ

จะเห็นได้ว่าตัว Kalman filter ที่ได้อธิบายไปนั้นจะเป็นระบบที่อยู่ในรูปแบบของการคำนวณในเชิงเส้น (Linear) ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำงานของระบบจะไม่ดีเท่ากับ Kalman filter แบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear) หรือที่เรียกกันว่า Extended kalman filter โดย S.J. Julier and J.K. Uhlmann, (2004). ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เพียงตัวกรองแบบคาลมานเท่านั้น เนื่องจากด้วยข้อจำกัดของหน่วยประมวลที่ใช้ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลแบบ 8 bit ความเร็วเพียง 16MHz เพื่อให้ต้นทุนของอุปกรณ์ราคาถูก

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ภาพรวมของระบบ

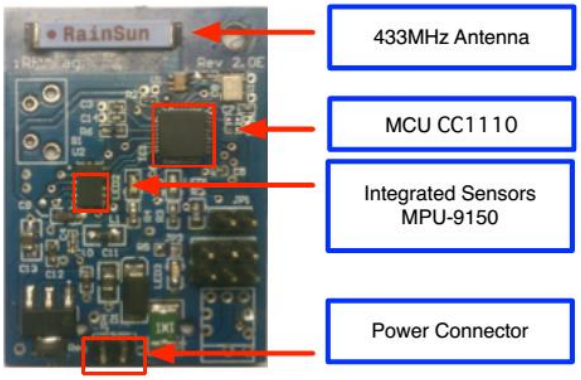


ภาพที่ 3-1 ภาพรวมของระบบเฝ้าระวังความปลอดภัยสำหรับยานพาหนะ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงภาพรวมการทำงานของระบบติดตามรถจักรยานยนต์ การทำงานของระบบจะเริ่มจากการติดตั้งตัว Base station ไว้ที่บริเวณลานจอดรถทั่วมหาวิทยาลัย ทั้งบริเวณจอดรถนอกอาคารและภายในอาคารจอดรถของแต่ละชั้นรวมถึงรถโดยสารประจำทางของมหาวิทยาลัย โดยที่ตัว Base station นั้น จะทำหน้าที่ในการอ่านข้อมูลจากตัวอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับรถจักรยานยนต์ ซึ่งจะถูกเรียกว่า วีแท็ก (V-Tag) และจะมีตัว Remote control เพื่อใช้ในการสั่งเฝ้าระวังหรือยกเลิกการเฝ้าระวัง และเมื่อตัว Base station ได้รับข้อมูลของรถแล้วก็จะทำการส่งข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ไปยัง Server ต่อไปเพื่อทำหน้าที่ในการจัดเก็บและแสดงผลไปยังผู้ใช้ต่อไปผ่านทางโทรศัพท์มือถือและหน้าเว็บไซต์สำหรับผู้ดูแลระบบความปลอดภัยต่อไป

ส่วนประกอบของระบบ

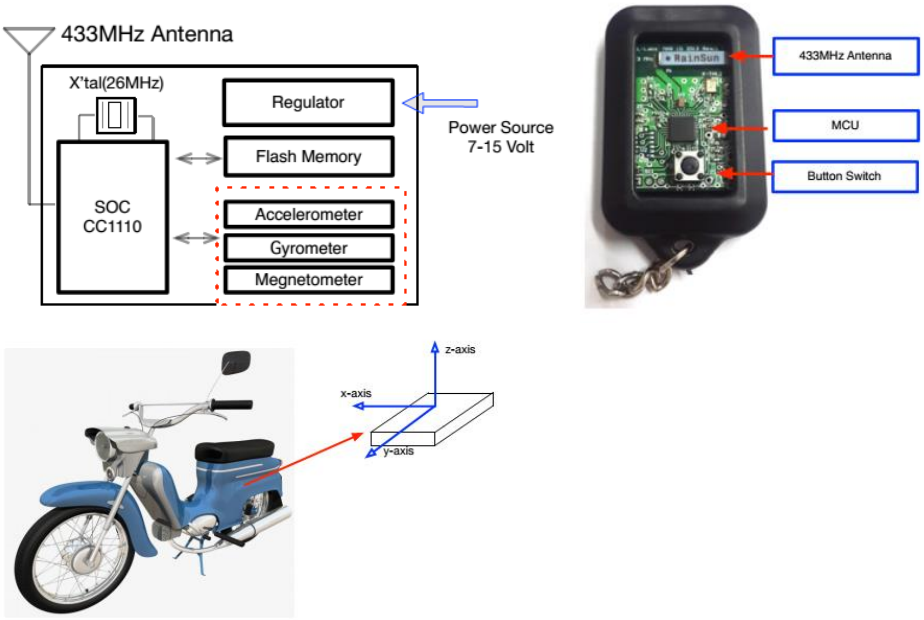
1. อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของยานพาหนะวีแท็ก V-Tag โดยอุปกรณ์นั้นจะอยู่ในภาพที่ 3-2 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะถูกติดตั้งอยู่ที่รถ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการระบุตัวตนของรถพร้อมทั้งประมวลและเก็บค่าสถานะต่าง ๆ ของรถ เช่น ระดับแบตเตอรี่ หมายเลขประจำตัว และสถานะภาพของรถ ณ เวลานั้น และจะส่งข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปยัง Base station



ภาพที่ 3-2 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของตรวจจับความเคลื่อนไหวสำหรับยานพาหนะ

ในการออกแบบนั้นจะแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ส่วน คือ ส่วนของการจัดการด้านพลังงาน การประมวลผลการเคลื่อนไหวของรถ และการจัดการด้านรับส่งข้อมูลผ่าน RF โดยที่หัวใจหลักของอุปกรณ์ตัวนี้จะอยู่ที่การใช้ System on chip CC1110 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ตะกูล 8051 และมี RF Transmitter อยู่ภายในตัว และสามารถส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 250k บิต/วินาที ใช้การมอดูเลชั่นแบบ Gaussian frequency-shift keying (GFSK) และสามารถตั้งกำลังส่งข้อมูลได้สูงสุดอยู่ที่ 0.01 Watts สำหรับโปรโตคอลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลนั้นจะใช้โปรโตคอล SimpliciTI Stack เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Ribeiro, Espírito-Santo, Weber Calixto and Garcia, (2014) ในการจัดการ การเข้าใช้ช่องสัญญาณของอุปกรณ์ โดยที่ IC ตัวดังกล่าวได้ถูกออกแบบโดยบริษัท Texas Instruments และใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานในการออกแบบโปรโตคอล โดยที่โปรโตคอลนี้สามารถที่จะเปิดหรือปิดการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้การเข้ารหัสแบบ AES ขนาด 128 บิต เพื่อรักษาความปลอดภัยและนอกจากนี้ยังมีเซนเซอร์วัดความเคลื่อนไหวรุ่น MPU-9150เซนเซอร์นี้ภายในจะประกอบไปด้วยเซนเซอร์ 3 อย่าง คือ เซนเซอร์วัดความเร่งแบบ 3-axis เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบ 3-axis และเซนเซอร์ความความเข้มสนามไฟฟ้าแบบ 3-axis และโดยเฉลี่ยแล้วอุปกรณ์นี้จะกินพลังงานในขณะรับส่งข้อมูลประมาณ 35 มิลลิแอมป์ และเวลาที่

ใช้ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 60 mS ถ้ามีการเข้ารหัสข้อมูล และอีกอุปกรณ์หนึ่งที่จะใช้คู่กับอุปกรณ์ดังกล่าว คือ ตัว Remote ดังภาพที่ 3-3 ซึ่งจะตัดส่วนของเซนเซอร์เหลือแค่ปุ่ม

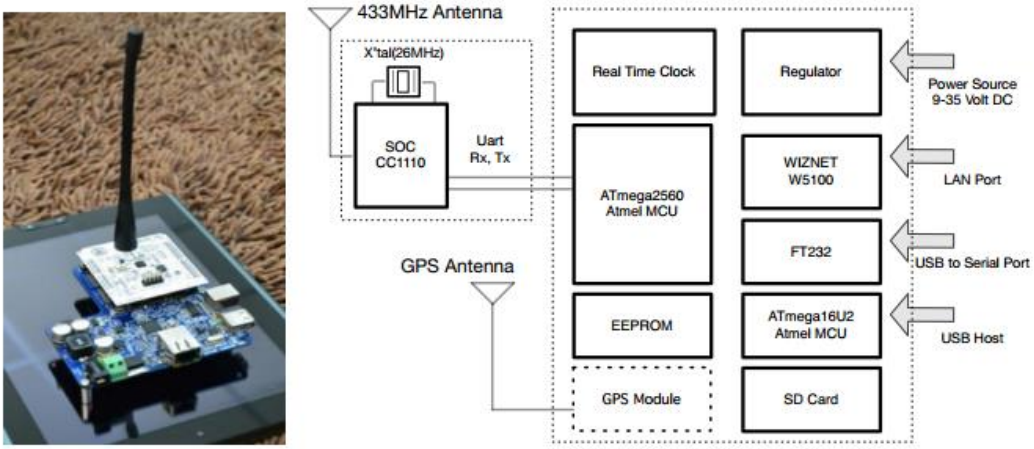


ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ที่ยานพาหนะ

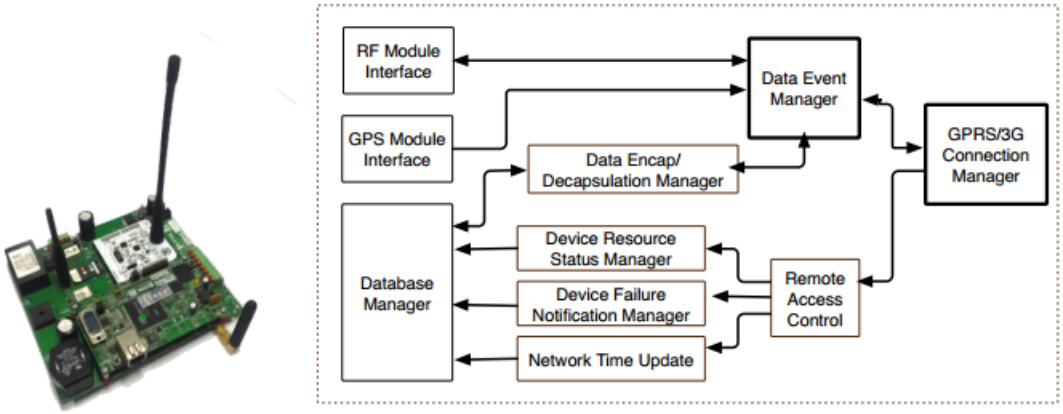
2. ตัวรับสัญญาณ Base station สำหรับการออกแบบตัวรับสัญญาณหรือที่เรียกว่า Base station นั้น จะใช้อุปกรณ์ดั้งเดิมในงานวิจัยของ Sriborrirux, Danklang and Indra-Payoong, (2008b) มาทำการปรับปรุงโดยที่ Base station จะประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบหลัก คือ Embedded Linux board, GSM module, Ethernet port และ RF Transceiver อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจาก V-Tag และส่งข้อมูลต่อไปยัง Server เพื่อประมวลผลต่อไปและส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ โดยโครงสร้างการจัดการจะเป็นดังภาพที่ 3-4 ซึ่งจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ RF Module จะทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลที่มาจาก V-Tag และสองส่วนที่จัดการส่งข้อมูลไปยัง Server

โดยในที่นี้จะใช้บอร์ดสมองกลฝังตัวรุ่น JAMP II MINI เป็นบอร์ดหลักในการควบคุมการทำงานของโมดูลบนบอร์ด ได้แก่ การจัดการสำรองรวบรวมข้อมูลรวมถึงส่งข้อมูลไปยัง Server และในการจะส่งข้อมูลไปยัง Server นั้นจะสามารถทำการส่งข้อมูลได้สองเส้นทาง คือ เส้นทางแรก คือ การส่งข้อมูลโดยผ่านทาง GSM Module อีกเส้นทาง คือ ผ่านทาง Ethernet port เหตุผลที่เราได้ออกแบบให้อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลได้สองแบบ เนื่องจากในการติดตั้งนั้นจะมีการติดตั้งทั้งในบริเวณจอดรถทั่วไป ซึ่งสามารถเดินสายสัญญาณอินเตอร์เน็ตได้ นอกจากติดตั้งบริเวณลานจอดรถ

แล้ว เราจะมีการติดตั้งอุปกรณ์นี้กับรถโดยสารประจำทางของมหาวิทยาลัยด้วย เพื่อให้การรับสัญญาณนั้นควบคุมทุกเส้นทางและบริเวณที่ต้องการ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถโดยสารของมหาวิทยาลัยจึงต้องอาศัยโมดูล GSM ในการส่งข้อมูลที่รับได้ไปยัง Server ต่อไป



ภาพที่ 3-4 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของ Fix base staion



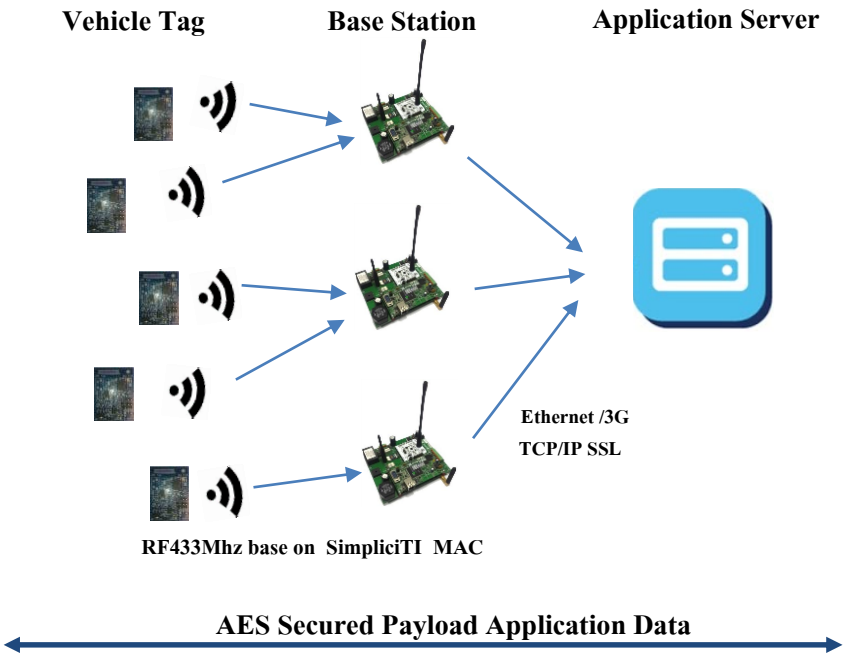
ภาพที่ 3-5 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของ Moving base station

3. ส่วนของการจัดเก็บข้อมูลส่วนกลาง (Enterprise server) สำหรับส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้มาจาก Base station ต่าง ๆ โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บและคัดกรองในส่วนนี้ ข้อมูลเบื้องต้นที่ทำการคัดกรอง ได้แก่ รถที่มีการติดตั้ง V-Tag เอาไว้ แต่ละคันนั้นอยู่บริเวณไหนของมหาวิทยาลัยบ้างและมีรถคันใดบ้างที่มีข้อมูลผิดปกติ เช่น รถบางคันตรวจจับได้ว่าถูกขยับโดย

ไม่ได้รับอนุญาตหรือรถบางคันกำลังจะขับเคลื่อนออกจากจุดจอดรถโดยไม่ได้รับอนุญาต เป็นต้น เมื่อระบบทำการตรวจพบสิ่งผิดปกติ ระบบจะดำเนินการแจ้งเตือนไปยังเจ้าของรถนั้น ๆ โดยผ่านทางข้อความ SMS และทำการแจ้งเตือนผ่านทางหน้าเวปไซค์ของผู้ดูแลความปลอดภัยเพื่อในฝ่ายดูแลรักษาความปลอดภัยทำการตรวจสอบกันต่อไป

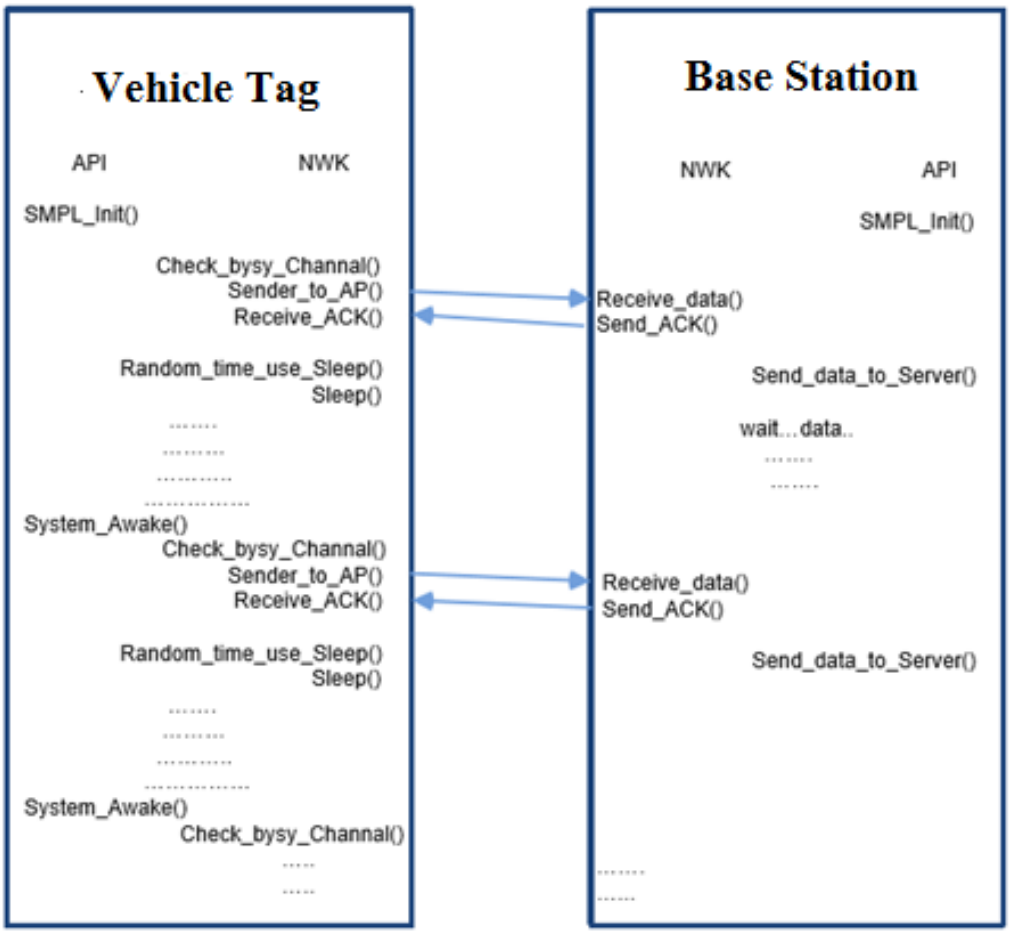
รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

รูปแบบการติดต่อสื่อสารหว่างอุปกรณ์นั้นจะมีการแสดงโครงสร้างดังภาพที่ 3-6 โดยจะประกอบไปด้วยสองส่วน คือ ส่วนติดต่อระหว่าง Vehicle Tag (V-Tag) และ Base station ซึ่งรูปแบบการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์นี้จะเป็นแบบไร้สายโดยใช้คลื่นความถี่ย่าน 433MHz และสื่อสารกันด้วยโปรโตคอล SimpliciTI ส่วนต่อมาส่วนติดต่อสื่อสารระหว่าง Base station ไปยัง Application server โดยใช้การติดต่อสื่อสารผ่านระบบเครื่อข่าย Ethernet ในกรณีที่เป็น Fix bases station และเปลี่ยนไปใช้ 3G ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์ประเภท Moving base station โดยใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารผ่านทาง TCP/ IP และข้อมูลทั้งหมดจากตัว V-Tag นั้นจะถูกเข้ารหัสด้วยมาตรฐาน AES 128 บิต เพื่อเป็นการปกป้องข้อมูลไม่ให้สามารถถูกดักฟังข้อมูลได้โดยง่าย



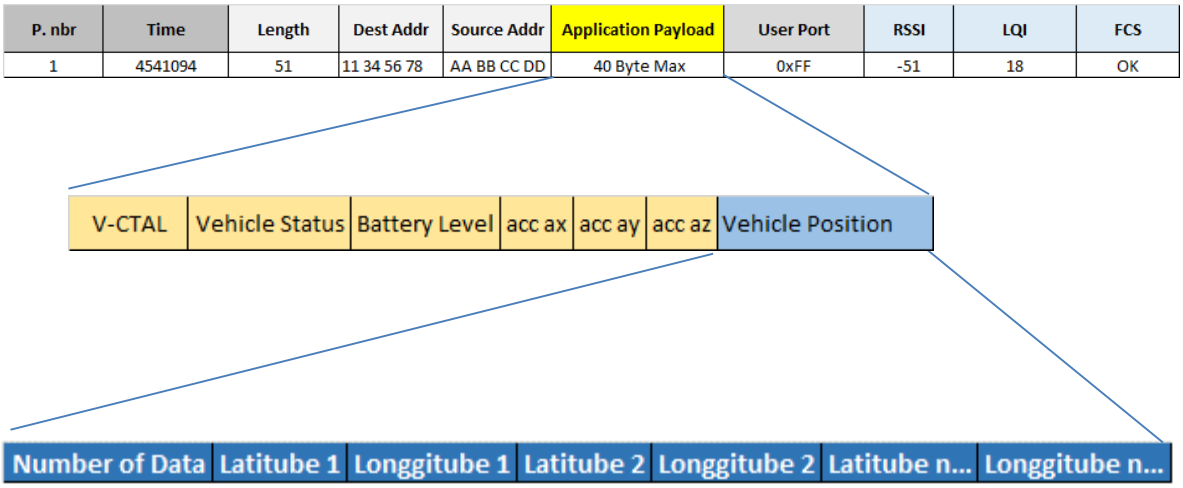
ภาพที่ 3-6 ฟังก์ชั่นไดอะแกรมของการรับส่งข้อมูลในระบบ

การรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และตัว Base station นั้น จะเป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบของ Aloha โปรโตคอล โดยที่ตัว V-Tag โดยปกติแล้วจะอยู่ในสถานะหลับตามเวลาที่สุ่มขึ้นมาได้ในช่วง 10 ถึง 20 วินาที เมื่อถึงเวลาที่กำหนดแล้วตัวอุปกรณ์จะทำการตื่นขึ้นมาเพื่อทำการส่งสถานะต่าง ๆ ไปยังตัวรับ ซึ่งก็คือ ตัว Base station และในขั้นตอนก่อนจะทำการส่งข้อมูลนั้น ตัวอุปกรณ์จะเริ่มจากตรวจสอบก่อนว่าช่องสัญญาณที่จะทำการส่งนั้นว่างอยู่หรือไม่ ถ้าว่างอยู่ก็จะทำการส่งข้อมูลออกไป แต่ถ้าหากช่องสัญญาณนั้นไม่ว่างก็จะทำการสุ่มเวลาใหม่อีกครั้งเพื่อที่จะส่ง และเมื่อทำการส่งข้อมูลไปถึงตัว Base station ตัวอุปกรณ์ดังกล่าวก็จะทำการยืนยันว่าได้รับข้อมูลแล้วโดยการส่งข้อมูลกลับไปยัง V-Tag เพื่อยืนยันการรับข้อมูลและถ้าหากตัว V-Tag ไม่ได้รับข้อความยืนยันจาก Base station ตัว V-Tag จะทำการส่งข้อมูลใหม่อีกครั้ง



ภาพที่ 3-7 กระบวนการรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และ Base station

สำหรับข้อมูลที่จะทำการส่งจาก V-Tag ไปยัง Base station นั้นจะถูกบรรจุอยู่ในส่วน Application payload ของโปรโตคอล SimpliciTI ดังภาพที่ 3-8 และในส่วนรายละเอียดของแต่ละส่วนอธิบายไว้ในตารางที่ 3-1



ภาพที่ 3-8 โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ส่งระหว่าง V-Tag และ Base station

ตารางที่ 3-1 หน้าที่ของแต่ละช่องข้อมูลทั้งหมด

ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
1. P.nbr	ข้อมูลสำหรับส่งนำร่องเฉพาะเครือข่าย มีขนาด 1 ไบต์
2. Time	ข้อมูลเวลาที่ทำการส่ง มีขนาด 4 ไบต์
3. Length	ความยาวของข้อมูลทั้งหมด มีขนาด 1 ไบต์
4. Dest Addr	หมายเลขประจำตัวของ Station โดยมีขนาด 4 ไบต์
5. Source Addr	หมายเลขประจำตัวของ V-Tag โดยมีขนาด 4 ไบต์
6. Application payload	ส่วนของข้อมูลต่าง ๆ ของยานพาหนะ มีขนาด 40 ไบต์
7. User Port	หมายเลขช่องทางการสื่อสารในที่นี้จะใช้หมายเลข 255 มีขนาด 1 ไบต์
8. RSSI	ความแรงสัญญาณที่ตัวรับจะอ่านได้ มีขนาด 1 ไบต์
9. LQI	ความแรงสัญญาณที่ได้รับต่อความแรงสัญญาณของสัญญาณรบกวน มีขนาด 1 ไบต์
10. FCS	มีขนาด 1 ไบต์

ตารางที่ 3-2 หน้าที่ของแต่ละส่วนของ Application payload

ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
1. V-CTAL	ส่วนของข้อมูลคำสั่งต่างๆ ขนาดข้อมูล 4 บิต
2. Vehicle Status	ส่วนแสดงสนานะต่างๆ ของยานพาหนะ ขนาดข้อมูล 4 บิต
3. Battery Level	ระดับแบตเตอรี่ของยานพาหนะหน่วยเป็น % ขนาดข้อมูล 1 ไบต์
4. Acc Ax	ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน x ขนาดข้อมูล 2 ไบต์
5. Acc Ay	ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน y ขนาดข้อมูล 2 ไบต์
6. Acc Ay	ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน z ขนาดข้อมูล 2 ไบต์
7. Vehicle Position	ชุดข้อมูลตำแหน่งที่ตัวยานพาหนะบันทึกได้

ตารางที่ 3-3 หน้าที่ของแต่ละส่วนของ Vehicle position

ชนิดข้อมูล	**คำอธิบาย**
1. Number Data	จำนวนของข้อมูลทั้งหมดจำนวน n ไบต์
2. Longgitube 1	ข้อมูลตำแหน่งลองติจูดชุดที่ 1
3. Latitube 1	ข้อมูลตำแหน่งละติจูดชุดที่ 1
4. Longgitube 2	ข้อมูลตำแหน่งลองติจูดชุดที่ 2
5. Latitube 2	ข้อมูลตำแหน่งละติจูดชุดที่ 2
6. Longgitube n	ข้อมูลตำแหน่งลองติจูดชุดที่ n
7. Latitube n	ข้อมูลตำแหน่งละติจูดชุดที่ n

จากตารางที่ 3-2 และตารางที่ 3-3 รวมถึงตารางที่ 3-4 คือ รายละเอียดของข้อมูลในส่วนที่ใช้ในการส่งจากตัวอุปกรณ์ V-Tag ไปยังตัว Base station และทั้งหมด คือ ภาพรวมของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่าง V-Tag และตัว Base station ที่ทำการติดตั้งอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยและส่วนต่อไปจะเป็นส่วนของการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base station และ Application server นั้น จะเป็นการติดต่อสื่อสารผ่านทางการเชื่อมต่อทางอินเตอร์เน็ตและใช้รูปแบบการส่งข้อมูลแบบรีพรีเซนเทชั่นสเตททรานเฟอร์ (Representational state transfer, REST) ที่กำหนดไว้ โดยในที่นี้จะทำการส่งข้อมูลแบบของรูปแบบ JSON ทั้งหมด โดยที่รูปแบบข้อมูลต่าง ๆ นั้นจะทำ

การปรับปรุงมาจากข้อมูลที่ทำการส่งระหว่าง V-Tag และ Base station ที่เคยอยู่ในรูปแบบของข้อมูล Binary มาอยู่ในรูปแบบ JSON ทั้งหมดดังภาพที่ 3-9

ตารางที่ 3-4 คำสั่งต่าง ๆ ในส่วนของ V-CTAL

ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
PKT	บิตที่ 7 คือ ชนิดของข้อมูลที่กำลังจะทำการส่ง กำหนดค่าเป็น 0 เมื่อเป็นข้อมูลที่ต้องส่งจาก V-Tag ไปยัง Base station กำหนดค่าเป็น 1 เมื่อเป็นข้อมูลที่ต้องการส่งจาก Base station ไปยัง V-Tag
SQNB[6:4]	บิตที่ 4 ถึง บิตที่ 6 หมายเลขเฉพาะของข้อมูล โดยหมายเลขดังกล่าวจะเป็นเลขที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ค่าเมื่อทำการส่งจาก V-Tag ไปยัง Base station ในขณะที่เมื่อเป็นการตอบกลับจาก Base station จะกำหนดค่าในข้อมูลนี้เป็นเลขชุดเดียวกันกับที่ได้รับข้อมูลจาก V-Tag มาเพื่อเป็นการยืนยันตัว Base station ได้รับข้อมูลจากหมายเลขใดแล้ว 000-111 แสดงหมายเลขเฉพาะของข้อมูลนั้น ๆ เมื่อหมายเลขเพิ่มขึ้น จนถึงค่า 111 แล้วตัวเลขจะเริ่มที่ 000 ใหม่อีกครั้ง
VSTAS[3:1]	บิตที่ 1 ถึงบิตที่ 3 ใช้สำหรับส่งข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ของรถแบบต่าง ๆ 0001 ยานพาหนะอยู่นิ่ง 0010 ยานพาหนะถูกขยับโดยไม่ได้รับอนุญาต 0011 ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ออกจากลานจอดรถด้วยวิธีการเข็น 0100 เครื่องยนต์ของยานพาหนะถูกสตาร์ท หรือกำลังทำงานอยู่ 0101 ยานพาหนะถูกขับเข้ามาจอดในลานจอดรถ 0111 ยานพาหนะถูกโจรกรรมโดยการยกขึ้นไปวางบนรถกระบะ
VLOCK	บิตที่ 0 ใช้สำหรับแสดงสถานะการควบคุมจากเจ้าของยานพาหนะ 0 ตัวยานพาหนะไม่ได้อยู่ในสถานะเฝ้าระวัง 1 ตัวยานพาหนะอยู่ในสถานะเฝ้าระวังเป็นพิเศษ ถ้ายานพาหนะเกิดการเคลื่อนไหวโดยไม่ได้รับอนุญาตไม่ว่ากรณีใด ๆ ระบบที่ส่วนกลางจะทำการแจ้งเตือนไปยังเจ้าของยานพาหนะในทันที

```
{
“Time”: 4541094,  “Length”:51, “DestAddr”: “11345678”,
“SourceAddr”: “AABBCCDD”,
“AppPayLoad”: {
                    VCTAL:{
                                “PKT”: “”,
                                “SQNB”: 122,
                                “VSTAT”:  2,
                                “VLOCK”:0
                                },
                    “BatteryLevel”: 100,
                    “AccAx”: 252,
                    “AccAy”: 987,
                    “AccAz”: 16150,
                     “VPosition”:{
                                    “NumData”: 4,
                                    “Position” : [13.276406, 100.925164, 13.276065, 100.926869,
13.273360, 100.927845,]
                                    }
                    }
“UserPort”: 255, “RSSI”: -51, “LQI”:18, “FCS”: “OK”
}
```

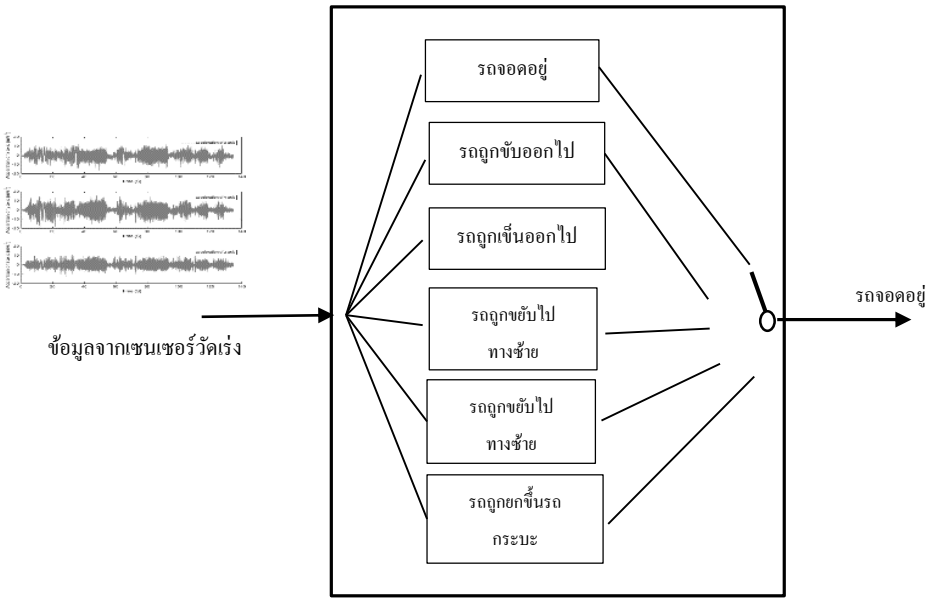

ภาพที่ 3-9 โครงสร้างข้อมูลของในส่วนการติดต่อระหว่าง Base station และ Application server

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะประกอบไปด้วยสองส่วน คือ ส่วนของการวิเคราะห์หาการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติโดยไม่ได้รับอนุญาตโดยใช้กระบวนการตรวจจับรูปแบบการเคลื่อนไหวของรถ เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการตรวจจับความผิดปกติที่กำลังเกิดขึ้นกับรถ และทำการแจ้งเตือนก่อนที่รถจะถูกขับออกจากอาคารจอดรถหรือลานจอดรถ และส่วนที่สอง คือ การประมวลผลเพื่อหาการเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถที่ออกจากลานจอดโดยไม่ได้รับอนุญาต

ซึ่งจะใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ที่มีอยู่ในการคำนวณร่วมกับจุดอ้างอิงตำแหน่งเริ่มต้นที่ได้รับจากตัว Base station จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลต่อไปยัง Server โดยในแต่ละส่วนจะมีหลักการทำงานดังนี้

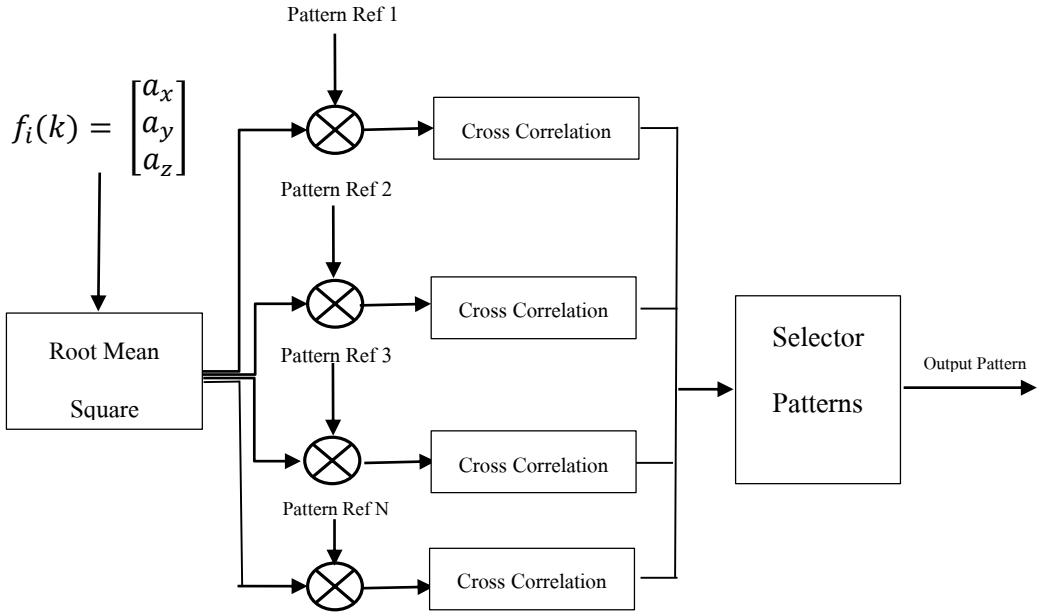
1. กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อระบุลักษณะการเคลื่อนไหวของยานพหนะ การวิเคราะห์เพื่อรูปแบบการเคลื่อนไหวนั้นจะเป็นการนำข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาว่า ณ เวลานั้นตัวรถจักรยานยนต์ที่จอดอยู่ที่ลานจอดมีการเคลื่อนไหวหรือไม่ ถ้ามีเป็นการเคลื่อนที่ที่ถูกขยับไปทางซ้ายหรือทางขวาเพื่อให้รถคันอื่นจอดได้หรือไม่ หรือว่าถูกใครบางคนทำการโจรกรรมและกำลังขับรถออกไปจากลานจอดแล้ว จากภาพที่ 3-10 คือ ตัวอย่างผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากกระบวนการหารูปแบบการเคลื่อนไหวโดยใช้กระบวนการที่นำข้อมูลการเคลื่อนไหวในปัจจุบันไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลภายในอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่



ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากกระบวนการหารูปแบบการเคลื่อนไหว

การประมวลผลสัญญาณเพื่อนำมาใช้ในการแยกแยะการเคลื่อนไหวแต่ละแบบของยานพาหนะนั้นในที่นี้จะใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง $f_i(k)$ ป้อนเข้าสู่ระบบแยกแยะการเคลื่อนไหวดังภาพที่ 3-11 โดยข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบนั้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบ (Pattern ref) ซึ่งถูกเก็บไว้อยู่แล้วภายในอุปกรณ์ โดยใช้วิธีการ Cross correlation

จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่ทำหน้าที่เลือกว่าสัญญาณนั้นมีความใกล้เคียงกับสัญญาณใดมากที่สุด



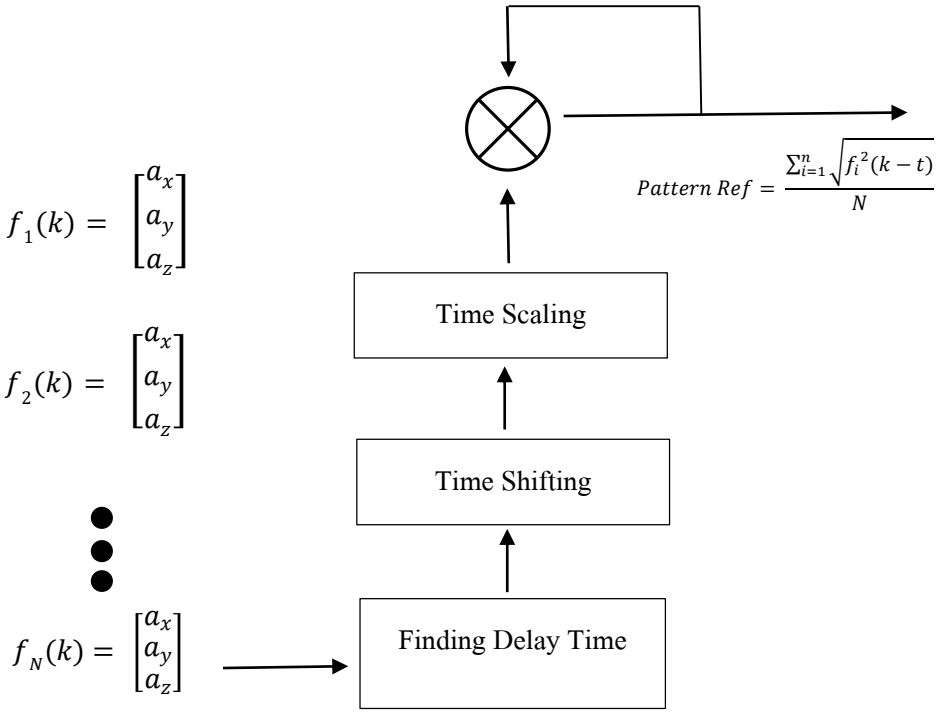
ภาพที่ 3-11 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของระบบแยกแยะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์

ในกระบวนการการทำ Cross correlation นั้นจะมีการนำสัญญาณสองสัญญาณมาทำการคูณกันทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 3-1

$$(f * g)(n) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m]g[m+n] \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ f ข้อมูลต้นแบบหรือ ก็คือ ข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนไหว g คือ ชุดข้อมูลที่ต้องการจะทำการเปรียบเทียบ โดยข้อกำหนดของการทำ Cross correlation นั้นก็คือ ข้อมูลทั้งสองจะมีการสุ่มข้อมูลจากตัวเซนเซอร์ (Sample rate) ที่เท่ากันและในที่นี้จะใช้ข้อมูลที่มีการสุ่มข้อมูลที่ 20 Hz นอกจากนี้ข้อมูลที่จะต้องการเปรียบเทียบกับข้อมูลการเคลื่อนไหวต้นแบบจะมีจำนวนชุดข้อมูลที่เท่ากันเสมอ

ในส่วนของสร้างฐานข้อมูลของรูปแบบการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์แบบต่าง ๆ นั้นจะเป็นการทดลองในลักษณะต่าง ๆ ทั้งหมด 10 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อข้อมูลกลางของรูปแบบนั้น ๆ โดยใช้กระบวนการดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 บล็อคไดอะแกรมของการสร้างข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนไหว

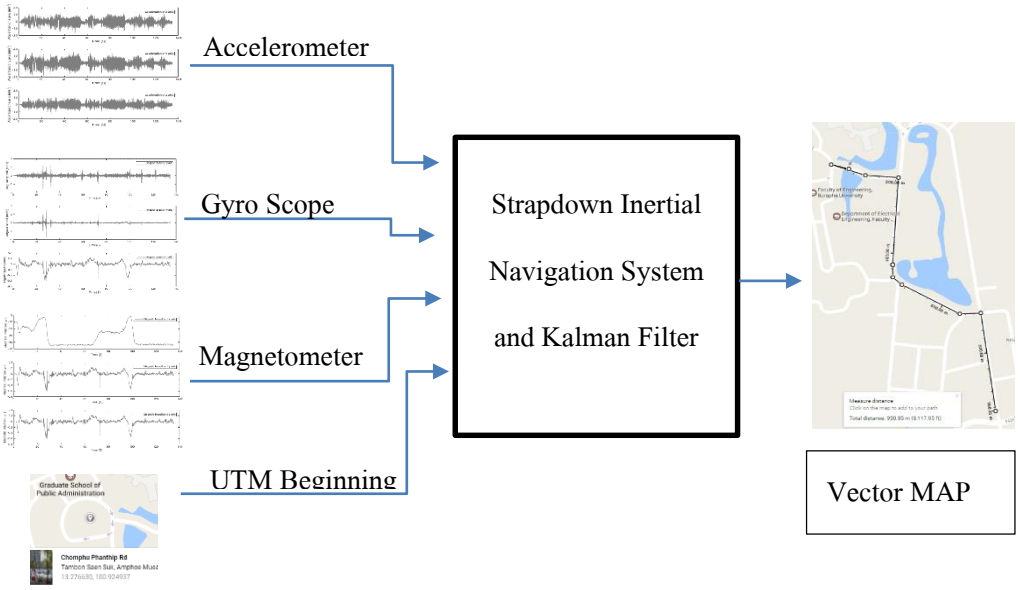
จากภาพที่ 3-12 ข้อมูลจากการทำการทดลองเพื่อหารูปแบบการเคลื่อนไหวในแต่ละครั้งนั้นจะถูกนำไปผ่านกระบวนการหา Finding delay time กับสัญญาณก่อนหน้า จากนั้นจะเลื่อนเวลาไปให้ตรงกับสัญญาณก่อนนี้ โดยใช้กรรมวิธี Time shifting เมื่อสัญญาณตรงกันแล้วก็จะทำการปรับขนาดของสัญญาณเพื่อให้ความใกล้เคียงกัน และสุดท้ายจึงทำการรวมข้อมูลเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่น่าจะเป็นที่สุด

2. กระบวนการสร้างเส้นทางการเดินรถ (Dead reckoning algorithm) หลังจากที่อุปกรณ์ Vehicle-Tag ทำการตรวจจับได้ว่า รถมีการการเคลื่อนไหวโดยไม่ได้รับอนุญาตและมีการเคลื่อนที่ออกมาจากนอกจุดรับสัญญาณบริเวณลานจอดรถที่ทำการลงทะเบียนไว้ ตัวอุปกรณ์ Vehicle-Tag ก็จะมีการเริ่มบันทึกเส้นทางของรถ โดยการบันทึกนั้นจะอยู่ในรูปแบบของเวคเตอร์ดังสมการ

$$u(m,n) = m\vec{A}_x + n\vec{A}_y \quad (3\text{-}2)$$

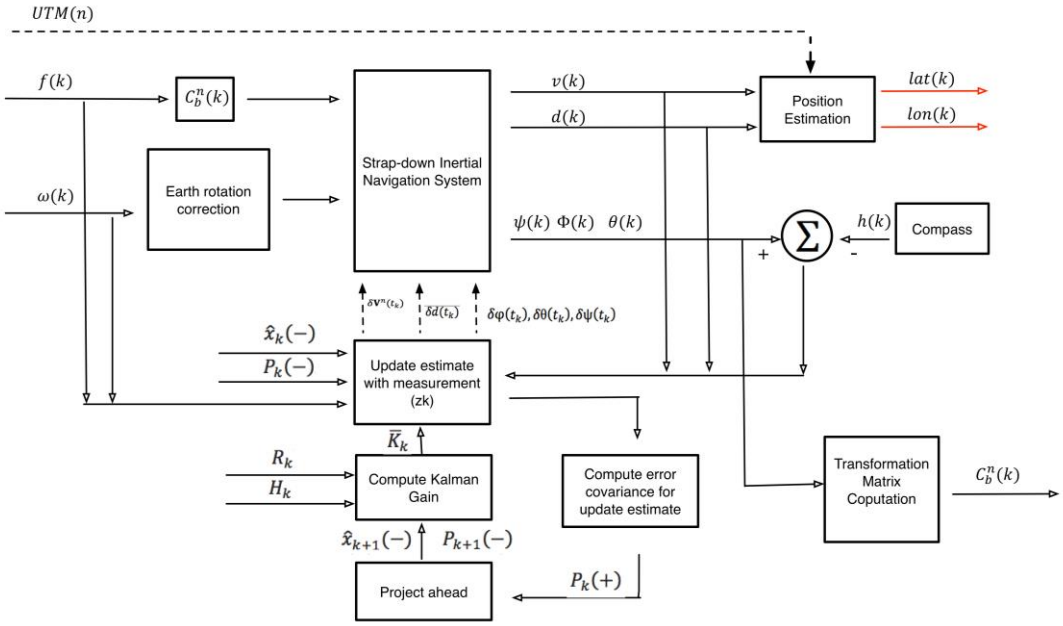
เมื่อ $u(m,n)$ คือ เวคเตอร์แบบ 2 มิติ ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลก m และ n คือ ค่าพิกัดบนแผนที่ในแนวแกน x และแนวแกน y และในกระบวนการหาค่าเวคเตอร์การเคลื่อนที่ของรถโดยไม่ใช้ GPS นั้นจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากตัวเซนเซอร์ที่มีในการหาความเร็วของรถและระยะทางการเคลื่อนที่โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง และนำข้อมูลที่ได้ไปผนวก

เข้ากับค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กและค่าพิกัดเริ่มต้นที่ได้จาก Base station และนั้นก็ทำให้ได้เวคเตอร์การเคลื่อนที่ของรถ หลังจากนั้นก็จะทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ลง Flash memory และส่งให้ตัว Base station ต่อไป และในส่วนของเซนเซอร์วัดความเร่งเชิงมุมนั้นจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพการคำนวณหาค่าเวคเตอร์ เนื่องจากในการใช้งานจริงนั้นการเคลื่อนที่ของรถนั้นจะมีการเคลื่อนที่ทั้งในแบบเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และขึ้นลงทำให้เราต้องใช้ค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมเพื่อมาช่วยในการคำนวณหาค่าความเอียงของรถ และนำค่าที่ได้มาทำการปรับปรุงหาค่าความเร่ง ความเร็ว และระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ของรถให้ถูกต้องต่อไป โดยภาพที่ 3-13 แสดงตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถที่น่าจะได้จากของระบบ



ภาพที่ 3-13 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากกระบวนคำนวณจากการใช้เซนเซอร์ทั้งหมด

3. การใช้ตัวกรองคามาลในการช่วยลดความผิดพลาด ในการสร้างเส้นทางเดินรถของยานพาหนะนั้น เนื่องจากในกระบวนการทำงานจริงนั้นจะใช้จักรยานยนต์ในการทดสอบและผลกระทบที่ตามมา คือ เรื่องของการสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์ ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการใช้ตัวกรอง Kalman filter และใช้ระบบการคำนวณแบบ Strapdown inertial navigation มาช่วยแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดจากการเอียงของรถในขณะเข้าโค้ง รวมถึงความผิดพลาดที่เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์ V-Tag ไม่ได้ระนาบกับพื้นโลก ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 โครงสร้างของการประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่ง ณ เวลาใด ๆ ของยานพาหนะ

กระบวนการทำงานเริ่มจากการอ่านค่าเซนเซอร์ทั้งสามชนิดที่เป็นลักษณะของแกนอ้างอิงสามมิตินั้นจะได้ค่าออกมาได้รูปแบบของค่าต่าง ๆ ดังนี้

ค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง

$$f_b(k) = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \tag{3-3}$$

ค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม

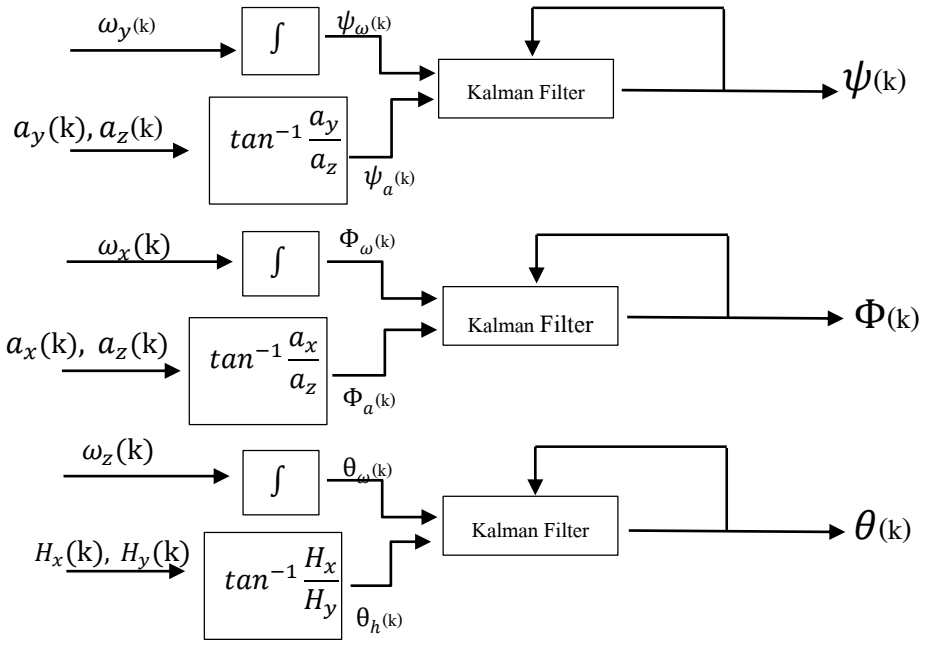
$$\omega_b(k) = \begin{bmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{bmatrix} \tag{3-4}$$

ค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้า

$$h(k) = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} \tag{3-5}$$

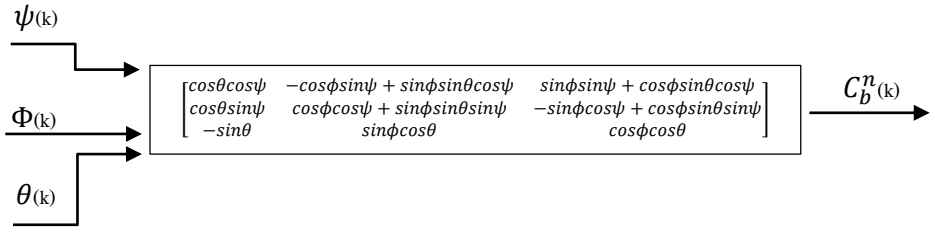
จากสมการที่ 3-3-3-5 คือ ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการอ่านจากเซนเซอร์ที่มีอยู่ ขั้นตอนต่อไป คือ การนำข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ระบบประมวลผล เพื่อคำนวณหาระยะทาง ความเร็ว การเคลื่อนที่ และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ดังนั้นในขั้นแรกนั้นจะทำการคำนวณเพื่อหาค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะซึ่งก็คือ ค่า $\psi(k), \Phi(k)$ และ $\theta(k)$ ตามลำดับ



ภาพที่ 3-15 โครงสร้างวิธีการคำนวณหาค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

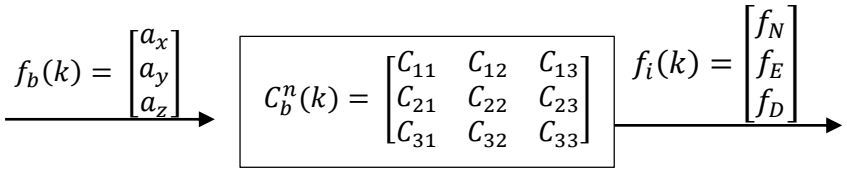
หลังจากที่คำนวณหาค่า ค่า $\psi(k), \Phi(k)$ และ $\theta(k)$ ได้แล้วขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณหา $C_b^n(k)$ ซึ่งสามารถใช้กระบวนการดังภาพที่ 3-16 ในการคำนวณ



ภาพที่ 3-16 โครงสร้างวิธีการคำนวณหาค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

จากภาพที่ 3-17 คือ ภาพที่แสดงกระบวนการสร้าง $C_b^n(k)$ หรือไดเรคโคไซต์เมตริก (Direct cosine matrix) โดยการใช้ค่าจากมุมแบบออยเลอร์ $\psi(k), \Phi(k)$ และ $\theta(k)$ ซึ่งจะได้

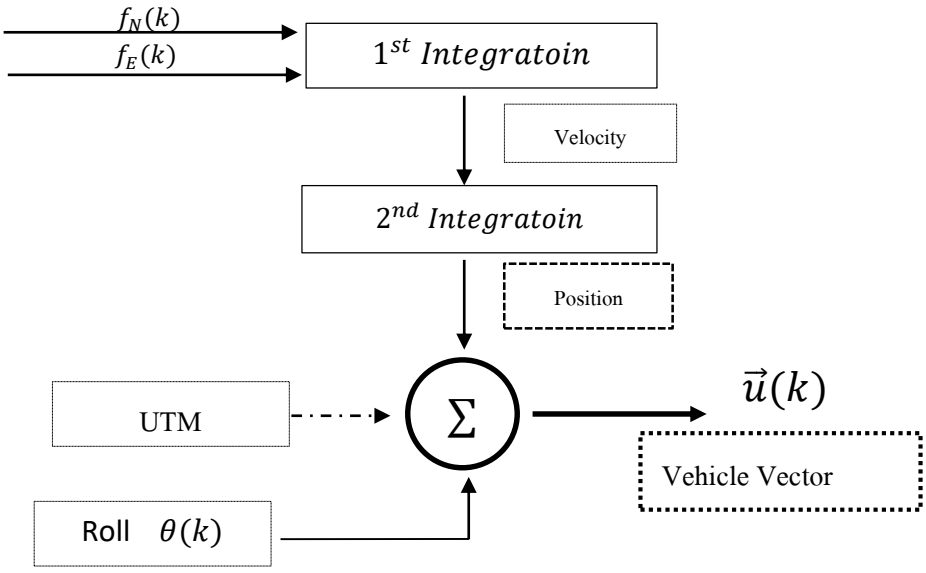
ผลลัพธ์เป็นเมตริกขนาด 3x3 ดังภาพ 3-17 หลังจากที่ได้ $C_b^n(k)$ ขั้นต่อไปการนำค่าไปคำนวณเพื่อหาค่า f_i โดยใช้ค่าจากเซนเซอร์วัดความเร่ง f_b ที่ติดตั้งอยู่ที่ยานพาหนะ



ภาพที่ 3-17 โครงสร้างวิธีการคำนวณหาความเร่งในทิศทางเทียบกับกรอบอ้างอิงระบาบพื้นโลก

จากภาพที่ 3-17 เป็นการแสดงวิธีการคำนวณค่า f_i ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ เมตริกขนาด 3x1 โดยจะประกอบไปด้วย f_N คือ ข้อมูลความเร่งที่เกิดขึ้นกับตัวยานพาหนะในแนวแกนทิศเหนือ f_E คือ ข้อมูลความเร่งในแนวทิศตะวันออก และ f_Dคือ ความข้อมูลความเร่งในแนวดิ่งซึ่งตั้งฉากกับพื้นโลก โดยข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนี้จะถูกนำไปคำนวณร่วมกับทิศทางเพื่อสร้างเป็นเส้นทางเดินรถต่อไป

4. การคำนวณหาเส้นทางเดินรถโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข สำหรับรายละเอียดในการคำนวณหาค่าความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่งนั้น จะกระทำโดย

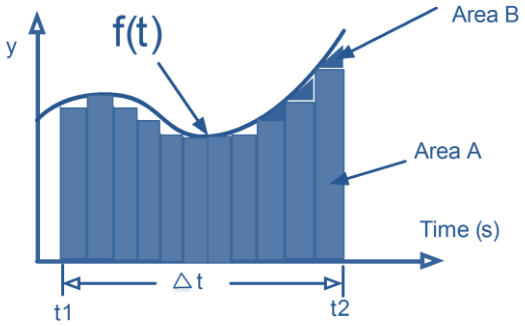


ภาพที่ 3-18 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของระบบเพื่อสร้างเวคเตอร์

อาศัยตัวประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ความเร็ว และความเร่งดังสมการต่อไปนี้

$$\vec{s} = \int \vec{v}dt \ , \ \vec{v} = \int \vec{a}dt \ \therefore \ \vec{s} = \iint (\vec{a}dt)\, dt \tag{3-6}$$

เมื่อ $\vec{a}$ คือ ค่าความเร่ง $\vec{v}$ คือ ค่าความเร็วของวัตถุ $\vec{s}$ คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้และ dt คือ เวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่ในช่วงเวลาหนึ่ง จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงจะสรุปได้ว่าในการคำนวณหาค่าระยะทางนั้นสามารถทำได้โดยการนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง มาทำการอินทีเกรทหนึ่งครั้งเราก็ได้ค่าความเร็วของรถ และเมื่อเรานำค่าความเร็วที่ได้ไปอินทีเกรทอีกครั้งหนึ่งก็จะได้ค่าระยะทางที่รถวิ่งไปได้ หลังจากนั้นเราจึงนำค่าที่ได้ไปรวมกับค่าทิศทางการเคลื่อนที่ $\theta(k)$ ซึ่งจะได้เป็นทิศทางการเคลื่อนที่ และค่าพิกัดเริ่มต้น (UTM Value) เพื่อสร้างเวคเตอร์การเคลื่อนที่ของรถต่อไป



ภาพที่ 3-19 การแบ่งพื้นที่สำหรับทำกาอินทีเกรท พื้นที่ Error ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ

โดยในทางปฏิบัตินั้นเนื่องจากตัวประมวลผลที่ใช้นั้นเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนั้นการอินทีเกรทจึงต้องอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (The numerical integration) ซึ่งเป็นการหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้รูปทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular approximation method) โดยแสดงอยู่ในภาพที่ 3-19 และมีสมการแสดงดังต่อไปนี้

$$\int_{t1}^{t2} f(t)dx = \lim f(t_i)\Delta x \tag{3-7}$$

เมื่อ $\Delta x = \frac{t_2 - t_1}{n}$

เนื่องจากในทางเทคนิคแล้วการใช้วิธีนี้เราจะสังเกตได้ว่าจะมีความผิดพลาดอยู่ โดยจะสังเกตได้จากภาพที่ 3-19 ในบริเวณพื้นที่ B นั้นจะเป็นพื้นที่ที่สูตรหายไป ดังนั้นวิธีอย่างง่ายที่จะลดความผิดพลาด คือ การใช้ The first-order approximation หรือก็คือ การหาพื้นที่บริเวณที่หายไปโดยใช้การคำนวณหาพื้นที่สามเหลี่ยมเพิ่มเติมนั้นเอง ดังสมการต่อไปนี้

$$area_k = [f(t) + \frac{(f(t)+f(t-1)}{2}] \quad (3\text{-}8)$$

ดังนั้นจากวิธีการข้างต้นจึงสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่จากความเร่งของรถได้จากสมการ:

$$v(k) = v(k-1) + \left[a(k) + \frac{a(k)-a(k-1)}{2}\right] * T \quad (3\text{-}9)$$

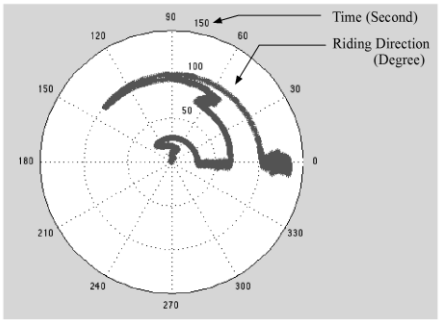
$$p(k) = p(k-1) + \left[v(k) + \frac{v(k)-v(k-1)}{2}\right] * T \quad (3\text{-}10)$$

เมื่อ $v(k)$ คือ ค่าความเร็ว ณ ตำแหน่ง k ในหน่วย เมตรต่อวินาที และ $p(k)$ คือ ระยะทางที่รถวิ่งได้ในหน่วย เมตร แต่ในต่างปฏิบัติเนื่องจากค่าความเร่งที่จะใช้นั้นมีอยู่สองค่า คือ ค่า f_N และค่า f_E ซึ่งเป็นค่าความเร่งที่เกิดในทางทิศเหนือและตะวันออกตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าความเร็วได้จากการสมการต่อไปนี้

$$v_i(k) = v_i(k-1) + \frac{tan^{-1}(\frac{f_N}{f_E})}{\left|tan^{-1}(\frac{f_N}{f_E})\right|} * \sqrt{(f_N(k))^2+(f_E(k))^2} * \Delta t \quad (3\text{-}11)$$

$$p_i(k) = p(k-1) + \left[v_i(k) + \frac{v_i(k)-v_i(k-1)}{2}\right] * \Delta t \quad (3\text{-}12)$$

สมการที่ 3-11 คือ สมการสำหรับใช้ในการคำนวณค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากคำนวณหาความเร่งในแนวแกนทิศเหนือและตะวันออก f_N และ f_E ตามลำดับ และสมการที่ 3-12 คือ สมการที่สำหรับคำนวณระยะการที่เคลื่อน



ภาพที่ 3-20 กราฟในรูปแบบ Polar ของการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์

และขั้นตอนต่อไปหลังจากที่ได้ค่าระยะทางมาแล้ว คือ การคำนวณหาทิศทางที่รถกำลังเคลื่อนที่อยู่และในการคำนวณนี้จะอาศัยค่าความเข้มสนามไฟฟ้า $h(k)$ และความเร็วเชิงมุม$\omega(k)$

เพื่อนำมาคำนวณเพื่อใช้เป็นเข็มทิศเพื่อระบุองศาการเคลื่อนที่ของยานพาหานะ ณ เวลานั้น ๆ ซึ่งก็คือ ค่า $\theta(k)$ ที่ได้มีการแสดงวิธีการคำนวณไว้แล้วก่อนหน้านี้ โดยจะแสดงตัวอย่างของกราฟที่ทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะอยู่ในภาพที่ 3-20 และนำค่าที่ไปรวมกับค่าระยะทางการเคลื่อนที่ของรถเพื่อสร้างเป็นพิกัด p_k ซึ่งมีจุดอ้างอิงเป็นจุด (0,0) ดังสมการต่อไปนี้

$$p_k(m,n) = m\vec{A}_x + n\vec{A}_y \tag{3-13}$$

เมื่อ $m(k) = p(k)\cos(\theta(k))$

และ $n(k) = p(k)\sin(\theta(k))$

เมื่อ $\theta(k)$ คือ ค่ามุมการหมุนในแนวระนาบกับพื้นโลก หลังจากนั้นเราจะนำค่าตำแหน่ง p_k ที่ได้มาทำการรวมกับค่าตำแหน่งเริ่มต้น utm_{new}ที่ได้จาก Base station มาเป็นตัวอ้างอิงตำแหน่งตามแผนที่โลกของจริง เพื่อระบุตำแหน่งที่แน่ชัดของรถดังสมการต่อไปนี้

$$u_k(m,n) = utm_{new}(x,y) + p_k(m,n) \tag{3-14}$$

โดยค่า utm_{new} สามารถเปลี่ยนแปลงได้หากรถมีการเคลื่อนที่ผ่าน Base station ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นจาก Base station ที่อยู่บริเวณลานจอดรถต่าง ๆ หรือจาก Base station ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่รถโดยสารประจำทางของมหาวิทยาลัยก็ตาม

บทที่ 4
การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ในบทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการทำงานระบบแยกการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์แบบต่าง ๆ และระบบระบุตำแหน่งและเส้นทางการเดินรถของรถจักรยานยนต์ เมื่อถูกโจรกรรม และสุดท้ายการทดสอบประสิทธิภาพระบบรับส่งข้อมูลของโครงข่ายยานพาหนะที่ผู้วิจัยออกแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การทดสอบเพื่อหาลักษณะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์ ผู้ทำการวิจัยจะทำการจำลองเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นกับรถจักรยานยนต์ เช่น มีคนมาขยับรถไปทางซ้ายหรือทางขวา เพื่อให้มีพื้นที่เพิ่มขึ้นที่จะสามารถนำรถจักรยานยนต์จอดเพิ่มได้ รวบทั้งเหตุการณ์ที่ไม่ได้ขึ้นบ่อยแต่สร้างความเสียหายได้ เช่น เหตุการณ์โจรกรรมรถแล้วเข็นรถหรือขับรถหรือยกรถขึ้นรถกระบะแล้วนำรถออกนอกบริเวณมหาวิทยาลัย โดยในการเก็บข้อมูลนั้นจะกระทำโดยใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูลที่ 20 Hz และแบ่งการทดสอบได้ดังนี้

1.1 ตัวจักรยานยนต์จอดอยู่นิ่งที่ลานจอดหรือไม่

1.2 ตัวจักรยานยนต์กำลังถูกขยับเลื่อนไปทางซ้ายหรือไม่

1.3 ตัวจักรยานยนต์กำลังถูกขยับเลื่อนไปทางขวาหรือไม่

1.4 ตัวจักรยานยนต์กำลังถูกขับออกไปนอกลานจอดหรือไม่

1.5 ตัวจักรยานยนต์กำลังถูกยกขึ้นรถกระบะหรือไม่

2. การทดสอบระบบระบุตำแหน่งของรถจักรยานยนต์หลังจากถูกโจรกรรมแล้ว การทดสอบนี้ผู้ทำการวิจัยจะทำการจำลองเหตุการณ์ว่า ผู้ทำการโจรกรรมรถทำการโจรกรรมรถได้และกำลังจะนำรถออกไปยังบริเวณประตูทางออกของมหาวิทยาลัย โดยเริ่มต้นที่จากบริเวณลานจอดรถหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ไปบริเวณประตูทางออกด้านหนึ่งของมหาวิทยาลัยบูรพา และเนื่องจากระบบของผู้ทำการวิจัยนั้นได้มีการติดตั้งตัวรับสัญญาณไว้สองจุด คือ บริเวณเริ่มต้นที่มีรถจักรยานยนต์จอดอยู่ดังภาพที่ 4-1 โดยการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม และเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็ก ในการคำนวณเพื่อหาระยะทางแล้วทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับการระบุเส้นทางด้วย GPS โดยใช้แอพพลิเคชั่นบนมือถือ

ภาพที่ 4-1 เส้นทางสำหรับทดสอบการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และ Base station เนื่องจากตัวระบบจะประกอบไปด้วยสามส่วนทั้งตัวอุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว V-Tag และตัว Base station ที่ถูกติดตั้งอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย รวมถึงได้ถูกติดตั้งไว้ที่รถโดยสารของมหาวิทยาลัย ดังนั้นจึงต้องการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่าง ๆ ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่เกิดขึ้น โดยการทดสอบดังนี้

3.1 การทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างตัว V-Tag และ Base station เมื่อตัว V-Tag มีการเคลื่อนที่แต่ตัว Base station ถูกติดตั้งไว้ข้างถนนไม่เคลื่อนที่ไปไหน

3.2 การทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างตัว V-Tag และ Base station โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

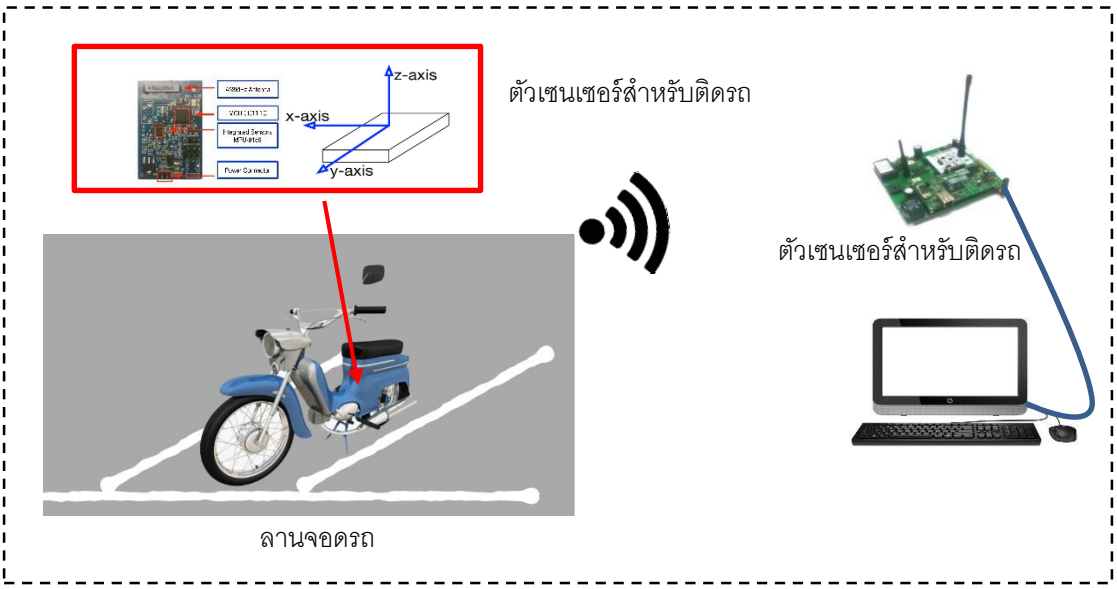
3.3 การทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างตัว V-Tag และ Base station โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน

การทดสอบเพื่อหาลักษณะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์

การเก็บผลทดสอบของลักษณะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์จะทำการเก็บข้อมูลได้ใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. รถจักรยานยนต์ 1 คัน
2. ตัวอุปกรณ์เซนเซอร์ V-Tag สำหรับติดรถ
3. ตัวตัวสัญญาณ Base station
4. คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการดึงข้อมูลจากอุปกรณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

เพื่อจะแยกแยะประเภทของการเคลื่อนแบบต่าง ๆ ได้ ผู้วิจัยจะทำเก็บข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนแบบต่าง ๆ อย่างละหนึ่งครั้งก่อน เพื่อใช้เป็นสัญญาณต้นแบบ จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนไหวเพิ่มอีกตัวอย่างละ 10 ครั้ง เพื่อเอาไว้ใช้การทดสอบและเปรียบเทียบว่า ณ เวลาต่าง ๆ นั้น ตัวรถจักรยานยนต์มีการเคลื่อนไหวแบบใดอยู่ โดยที่จะมีทดสอบประสิทธิภาพระบบในการแยกแยะแบบต่างดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

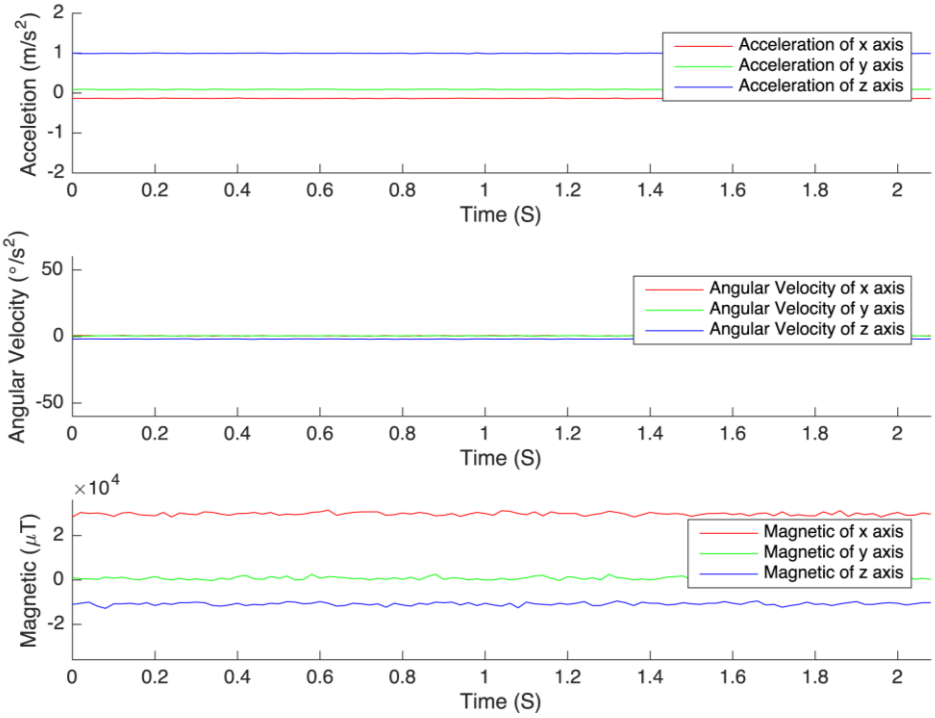


ภาพที่ 4-2 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบการเคลื่อนไหว

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อรถจักรยานยนต์จอดหยุดนิ่งกับที่ ในการวิเคราะห์เหตุการณ์นี้จะกระทำโดยการจอดรถจักรยานยนต์ไว้ที่ลานจอดรถ โดยต้องไม่มีบุคคลใดไปทำการขยับรถช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นตัวอุปกรณ์จะทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถดึงข้อมูลออกมาได้ภายหลัง โดยในที่นี้จะทำการทดลองเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 ครั้ง และจากภาพที่ 4-3 คือ ภาพแสดงการลักษณะการจอดของรถบริเวณลานจอด

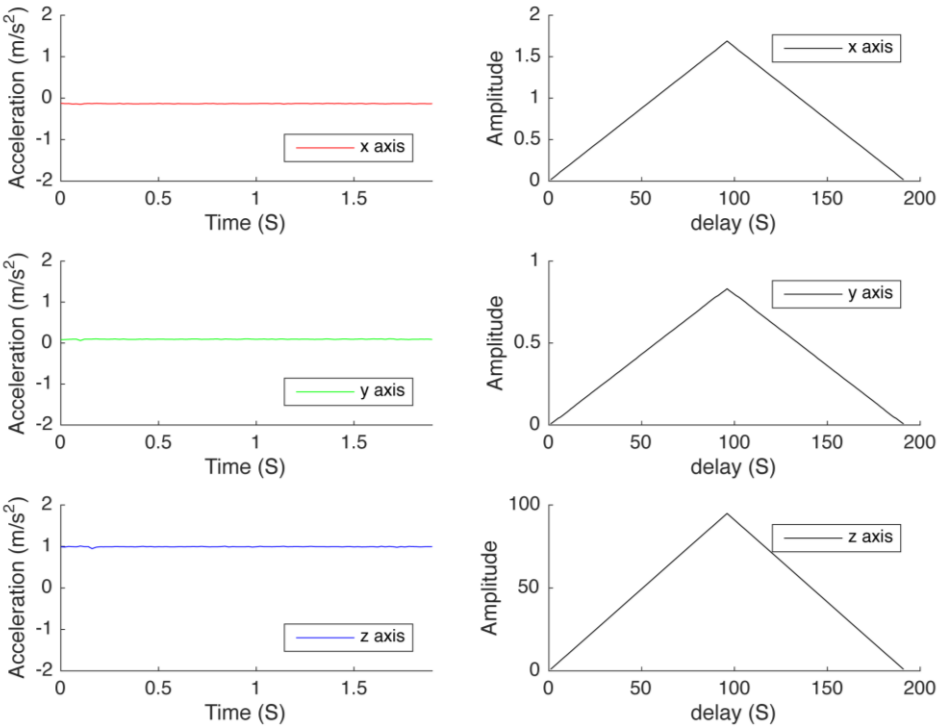
ภาพที่ 4-3 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ในบริเวณลานจอดรถ

จากภาพที่ 4-4 คือ กราฟที่แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยในส่วนของด้านบนสุด คือ ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง กราฟลำดับต่อมา คือ กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม และสุดท้ายด้านล่างสุด คือ ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้า และสามารถข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะเฉพาะได้ดังนี้



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ไว้นิ่ง ๆ

1.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์เมื่อจอดอยู่นิ่ง ๆ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนเวลา

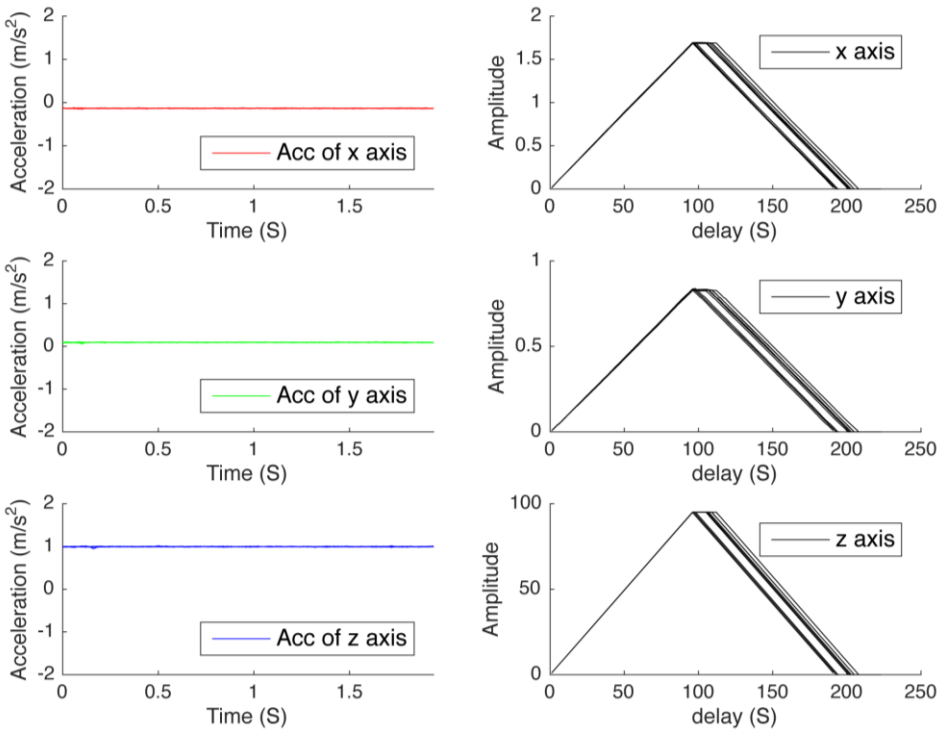


(ก) (ข)

ภาพที่ 4-5 ข้อมูลจากเซนเซอร์และขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ

จากภาพที่ 4-5 แสดงภาพตัวอย่างของการนำข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการหาค่าสหสัมพันธ์ โดยในการวิเคราะห์นี้จะใช้ข้อมูลที่รถจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ ทั้งหมดสองชุด และจากตัวอย่างเมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์จะสามารถคำนวณได้ค่าดังนี้ คือในแกน X ได้ค่า 189.04 ในแนวแกน Y ได้ค่าสูงสุด คือ 92.63 และในแนวแกน Z ได้ค่าที่ได้ คือ 1.0649*1.0e+04

และเมื่อนำตัวอย่างการทดลองการจอดรถจักรยานยนต์ที่ลานจอดรถนิ่งทั้งหมด 10 ครั้ง มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ จะได้รูปแบบของข้อมูลดังภาพที่ 4-6



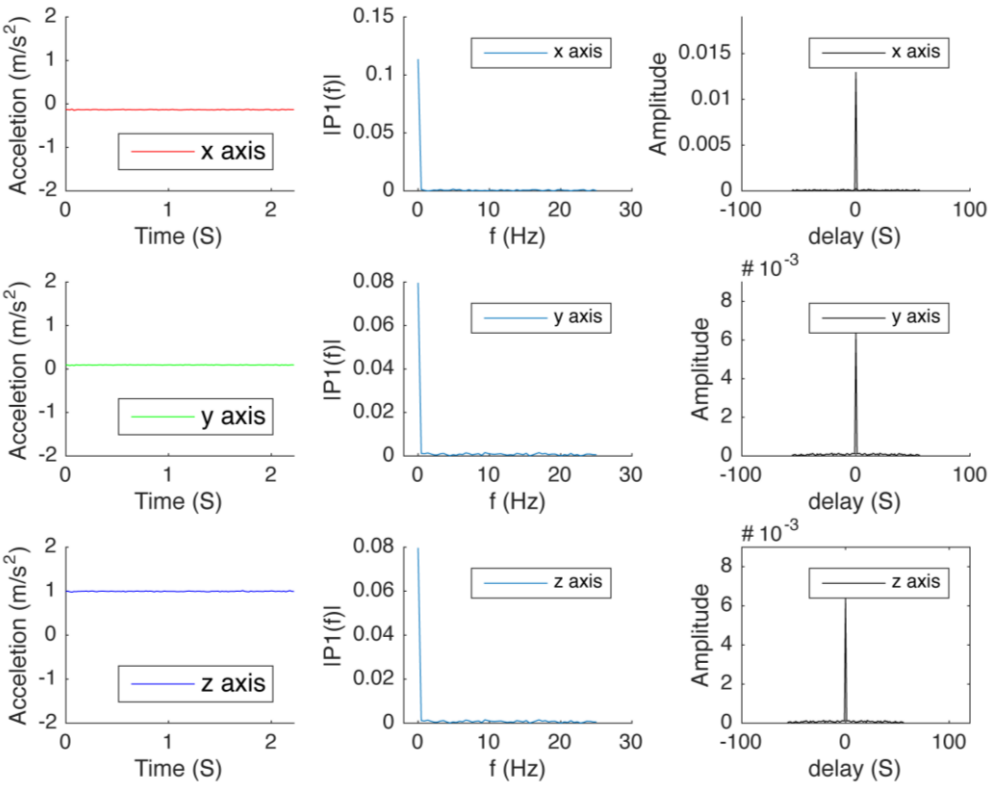
ภาพที่ 4-6 ข้อมูลจากเซนเซอร์และขนาดของค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ

ตารางที่ 4-1 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถจอดนิ่ง

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
189.0359	92.6250	1.0649*1.0e+04
177.3143	86.6070	0.9983*1.0e+04
178.2657	88.2320	1.0067*1.0e+04
163.0912	80.7743	0.9217*1.0e+04
181.0158	88.5566	1.0160*1.0e+04
183.7437	90.2620	1.0354*1.0e+04
184.1943	90.4274	1.0360*1.0e+04
163.6850	80.7962	0.9211*1.0e+04
165.8012	81.9832	0.9317*1.0e+04
172.0129	85.0193	0.9403*1.0e+04
$\overline{x}$ 175.8160	86.5283	0.9872*1.0e+04

จากตารางที่ 4-1 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย X นั้นอยู่ที่ 175.816 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 163.09 และมีค่าสูงอยู่ที่ 189.036 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 86.5283 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 80.77 และมีค่าสูงอยู่ที่ 92.62 และค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 0.9872*1.0e+04 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.9283*1.0e+04 และมีค่าสูงอยู่ที่ 1.0449*1.0e+04

1.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์เมื่อจอดนิ่ง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งในโดเมนความถี่



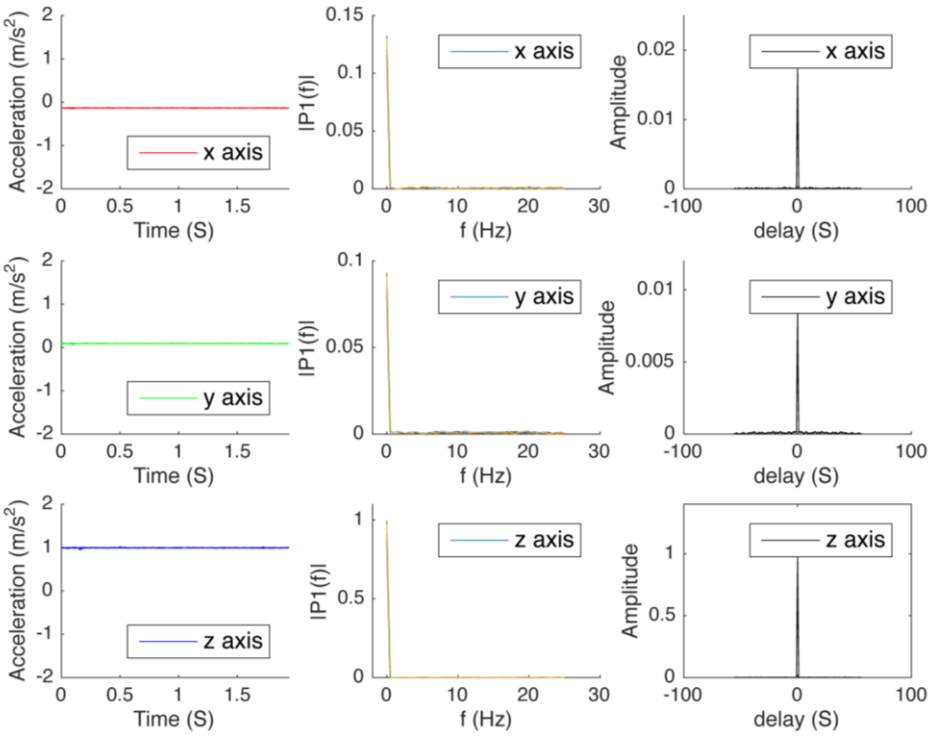
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-7 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ในโดนเมนความความถี่

ภาพที่ 4-7 (ก) แสดงภาพของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง และภาพที่ 4-7 (ข) คือ ภาพที่แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกแปลงให้อยู่โดเมนความถี่แล้วโดยจะสังเกตได้ว่าความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงจะมีอยู่แค่บริเวณใกล้ 0 Hz ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากข้อมูลในโดเมนเวลานั้นไม่มีการขยับมากนัก และภาพที่ 4-7 (ค) คือ ภาพที่แสดงขนาดของข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลในโดเมนเวลาจากตัวอย่างไป

หาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับสัญญาณต้นแบบ เพื่อใช้สำหรับการนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณตัวอย่างและสัญญาณต้นแบบ โดยจากภาพที่ 4-7 (ค) สามารถหาค่าพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน x ได้ที่ 0.0213 ของแกน Y ได้ที 0.015 และของแกน Z สูงสุดที่ 0.8372

เมื่อนำตัวอย่างการทดลองการจอดรถจักรยานยนต์ที่ลานจอดรถนิ่งทั้งหมด 10 ครั้งแล้วแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่มาและทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ จะได้รูปแบบของข้อมูลดังภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์จอดนิ่ง ๆ 10 ชุดในโดนเมนความความถี่

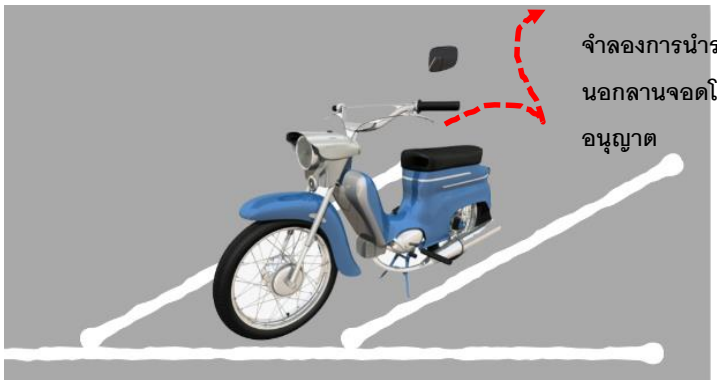
จากตารางที่ 4-2 ที่แสดงค่าของนอร์มัลไลเซชันของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ค่าสหสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของแกน X นั้นอยู่ที่ 0.0204 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0213 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0267 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 0.01655 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.015 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0184 และ ค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 1.0422 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.8372 และมีค่าสูงอยู่ที่ 1.8029

ตารางที่ 4-2 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในความถี่เมื่อรถจอดนิ่ง

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
0.0213	0.015	0.8372
0.0235	0.0162	0.9402
0.0233	0.016	0.9241
0.0267	0.0184	1.0925
0.0229	0.0157	0.9069
0.0221	0.0154	0.8769
0.0221	0.0154	0.8769
0.0267	0.0184	1.0925
0.0262	0.0183	1.0721
0.0256	0.0167	1.8029
$\overline{x}$ 0.02404	0.01655	1.0422

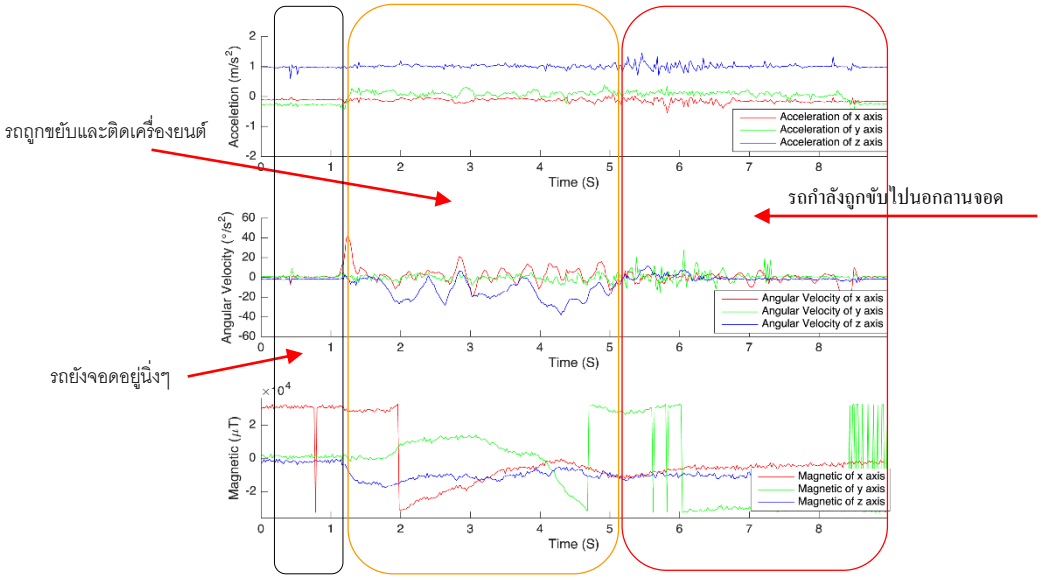
2. การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อรถจักรยานยนต์ถูกโจรกรรมและขับออกไปนอกลานจอด การวิเคราะห์เหตุการณ์นี้จะกระทำโดยการจอดรถจักรยานยนต์ไว้ที่ลานจอดรถ หลังจากนั้นจะมีบุคคลเข้าไปที่ตัวรถเพื่อทำการถอยรถออกจากที่จอดและทำการติดเครื่องยนต์จากนั้นจึงทำการขับออกไปนอกลานจอด โดยที่ตัวอุปกรณ์จะทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของอุปกรณ์เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถดึงข้อมูลออกมาได้ต่อไป โดยในที่นี้จะทำการทดลองเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 ครั้ง และจากภาพที่ 4-9 คือ ภาพแสดงการลักษณะการจอดของรถบริเวณลานจอดและตัวอย่างเส้นแดงที่บอกลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ

จากภาพที่ 4-10 คือ กราฟที่แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นสามช่วงเวลา คือ ช่วงแรกรถนั้นถูกจอดอยู่นิ่ง จากนั้นจะช่วงที่รถถูกขยับและติดเครื่องยนต์ และสุดท้ายเป็นช่วงที่รถกำลังถูกขับไปนอกลานจอด โดยผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลบางส่วนจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้



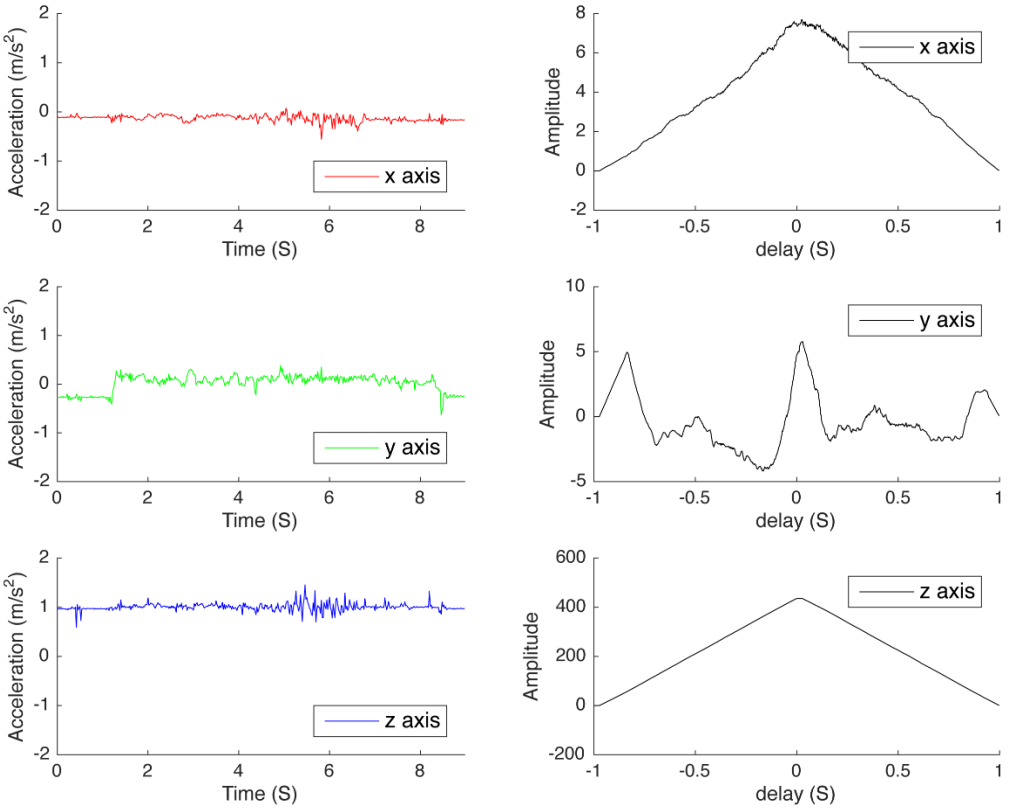
ภาพที่ 4-9 ลักษณะการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์ที่ถูกขับไปนอกลานจอด

จากภาพที่ 4-9 คือ กราฟที่แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นสามช่วงเวลา คือ ช่วงแรกรถนั้นถูกจอดอยู่นิ่ง จากนั้นจะช่วงที่รถถูกขยับและติดเครื่องยนต์ และสุดท้ายเป็นช่วงที่รถกำลังถูกขับไปนอกลานจอด โดยผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลบางส่วนจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้



ภาพที่ 4-10 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอด

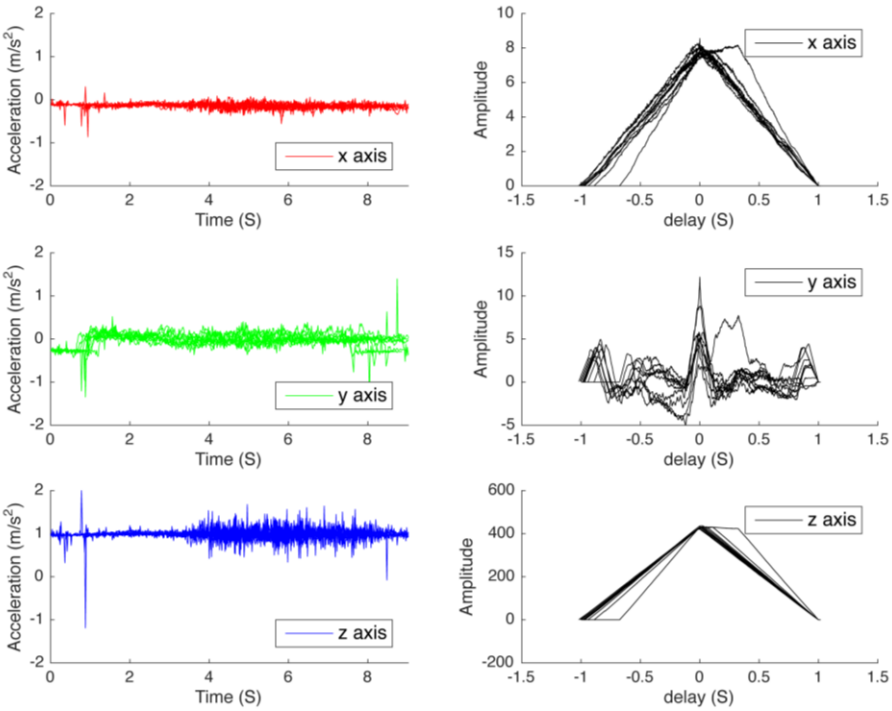
2.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์เมื่อกำลังถูกขับออกไปนอกลานจอด โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนเวลา



ภาพที่ 4-11 ข้อมูลจากเซนเซอร์และขนาดของค่าสหสัมพันเมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอด

ภาพที่ 4-11 แสดงภาพตัวอย่างของการนำข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการหาค่าสหสัมพันธ์ โดยในการวิเคราะห์นี้จะใช้ข้อมูลที่รถจักรยานยนต์ทั้งหมดสองชุด และจากตัวอย่างเมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์จะสามารถคำนวณได้ค่าดังนี้ คือ ในแกน X ได้ค่า 7.6978 ในแนวแกน Y ได้ค่าสุงสุด คือ 5.7805 และในแนวแกน Z ได้ค่าที่ได้ คือ 436.3557

เมื่อนำตัวอย่างการทดลองการจอดรถจักรยานยนต์กำลังถูกขับไปนอกลานจอดทั้งหมด 10 ครั้ง มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ จะได้รูปแบบของข้อมูลดังภาพที่ 4-12



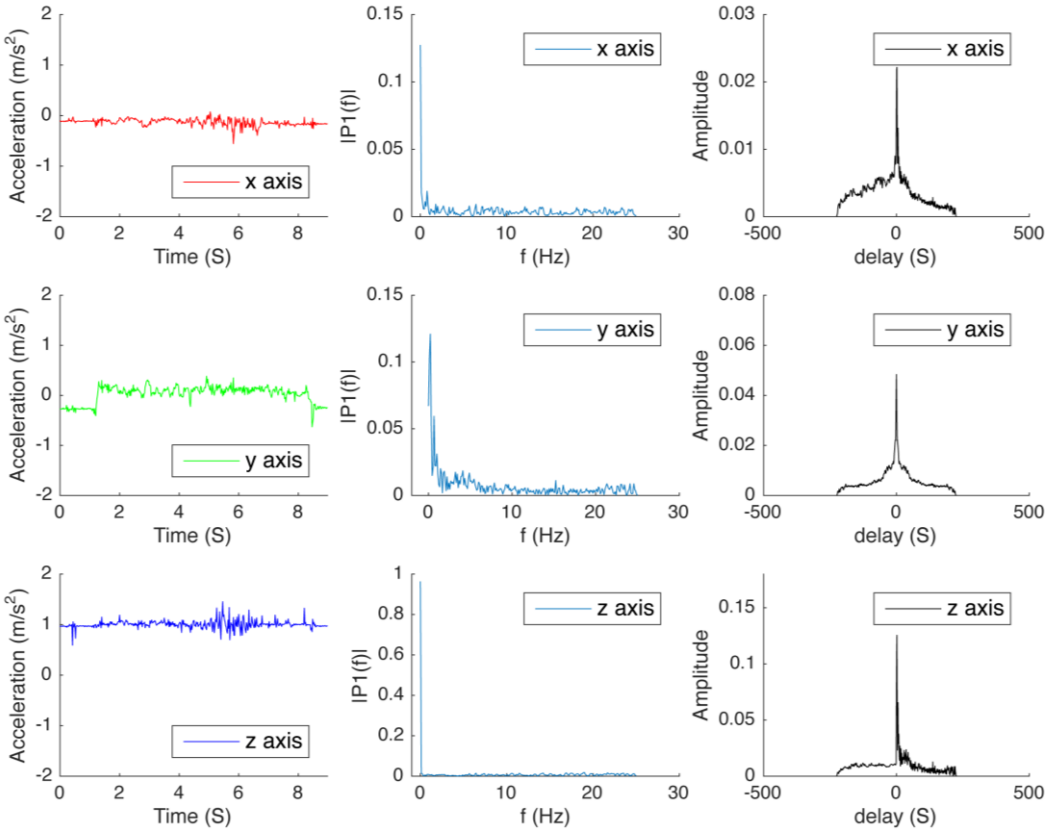
ภาพที่ 4-12 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอด

ตารางที่ 4-3 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกขับไปนอกลานจอด

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
7.6978	5.7805	436.3557
8.5487	12.1868	432.9536
7.8287	3.845	431.4075
7.8800	8.829	430.1615
8.2737	5.5705	420.8388
8.1772	7.7285	431.5814
7.8804	5.806	430.4441
8.1280	3.8514	426.3667
8.1441	5.7023	424.0308
8.0818	5.1089	428.9402
$\overline{x}$ 8.0640	6.570918	430.2106

จากตารางที่ 4-3 ที่แสดงพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย X นั้นอยู่ที่ 8.0640 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 7.6978 และมีค่าสูงอยู่ที่ 8.5487 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 6.5709 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 3.8450 และมีค่าสูงอยู่ที่ 12.1868 และ ค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 430.9513 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 420.8388 และมีค่าสูงอยู่ที่ 447.3840

2.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์ที่ถูกขับออกไปนอกลานจอดในรูปแบบโดเมนความถี่

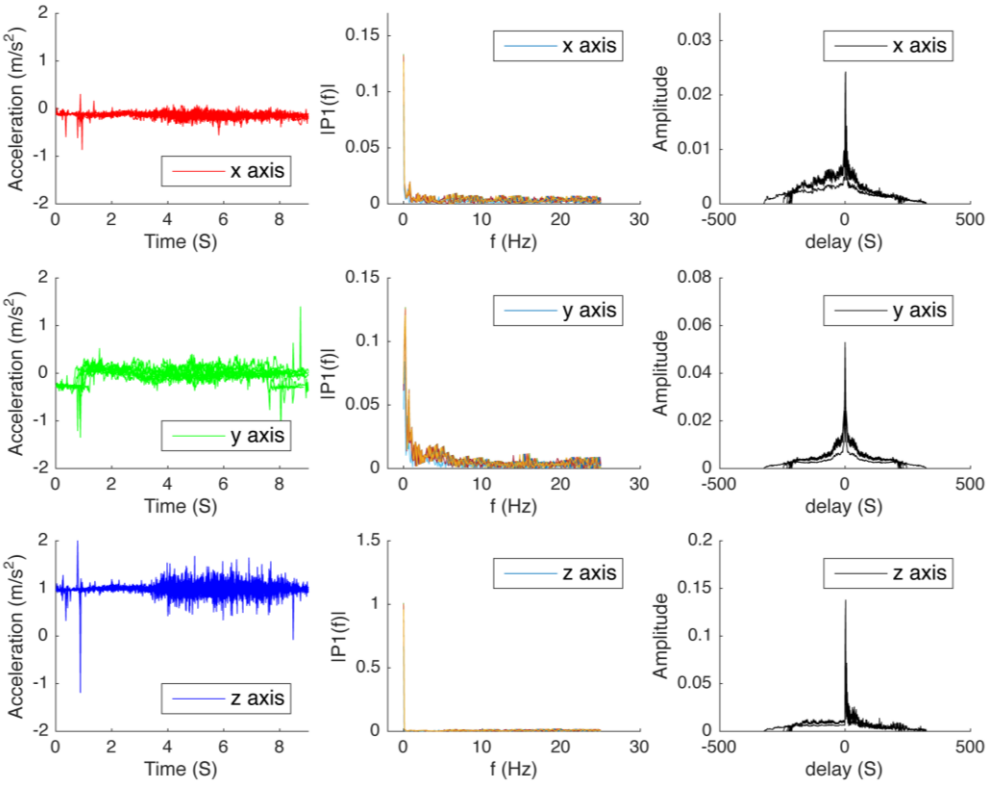


(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-13 ขนาดค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอดในโดนเมนความความถี่

จากภาพที่ 4-13 (ก) แสดงภาพของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง และภาพที่ 4-13 (ข) คือ ภาพที่แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกแปลงให้อยู่โดเมนความถี่แล้วโดยจะสังเกตได้ว่าความถี่ที่มี

แอมพลิจูดสูงจะมีอยู่แค่บริเวณใกล้ 0 Hz แต่ก็จะมีข้อมูลความถี่อื่นที่มีค่าและอยู่ใกล้ ๆ 0 Hz ด้วยเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากข้อมูลในโดเมนเวลานั้นมีการขยับพอสมควรด้วยจึงทำให้เกิดความถี่ในบริเวณอื่นด้วย และภาพที่ 4-13 (ค) คือ ภาพที่แสดงขนาดของข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลในโดเมนความถี่ไปหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับสัญญาณต้นแบบ เพื่อใช้สำหรับการนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณตัวอย่างและสัญญาณต้นแบบ โดยจากภาพที่ 4-13 (ค) สามารถสรุปค่าพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน x ได้ที่ 0.0222 ของแกน Y ได้ที่ 0.0433 และของแกน Z สูงสุดที่ 0.8372 และเมื่อทำการทดลองครับสิบครั้งสามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 4-14



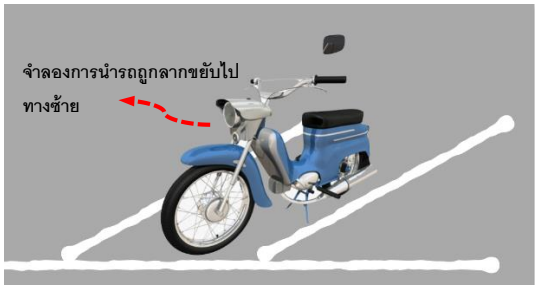
ภาพที่ 4-14 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกขับไปนอกลานจอดในโดนเมนความความถี่

จากตารางที่ 4-4 ที่แสดงค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ค่าสหสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของแกน X นั้นอยู่ที่ 0.0215 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0113 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0249 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 0.0459 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0242 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0529 และ ค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 1.0560 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.8372 และมีค่าสูงอยู่ที่ 1.9402

ตารางที่ 4-4 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกขับไปนอกลานจอด

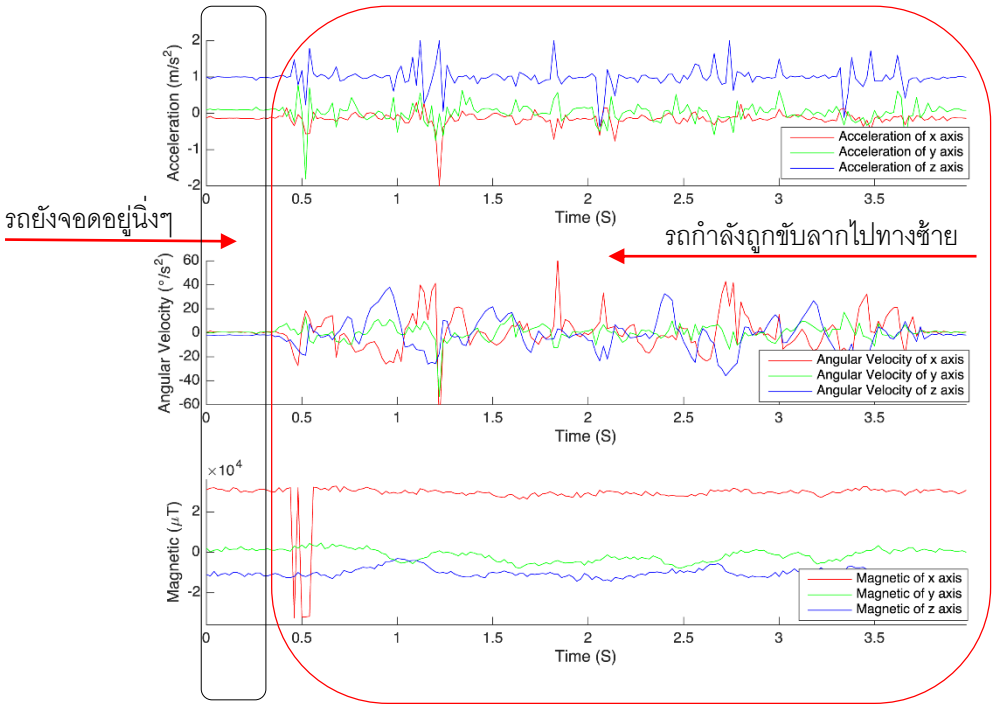
พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
0.0222	0.0483	0.8372
0.0233	0.0509	0.9402
0.0209	0.0455	0.9241
0.0227	0.0496	1.0925
0.0243	0.0529	0.9069
0.0113	0.0242	0.8769
0.0188	0.041	0.8769
0.0225	0.049	1.0925
0.0237	0.0518	1.0721
0.022	0.0479	1.9402
$\overline{x}$ 0.0215	0.0459	1.0560

3. การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อรถจักรยานยนต์ที่ถูกขับรถขยับไปทางซ้าย การวิเคราะห์เหตุการณ์นี้จะกระทำโดยการจอดรถจักรยานยนต์ไว้ที่ลานจอดรถ หลังจากนั้นจะมีบุคคลเข้าไปที่ตัวรถเพื่อทำการลากหรือขยับทางด้านซ้าย โดยที่ตัวอุปกรณ์จะทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถดึงข้อมูลออกมาได้ต่อไป โดยในที่นี้จะทำการทดลองเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 ครั้ง และจากภาพที่ 4-15 คือ ภาพแสดงการลักษณะการจอดของรถบริเวณลานจอดและตัวอย่างเส้นแดงที่บอกลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ



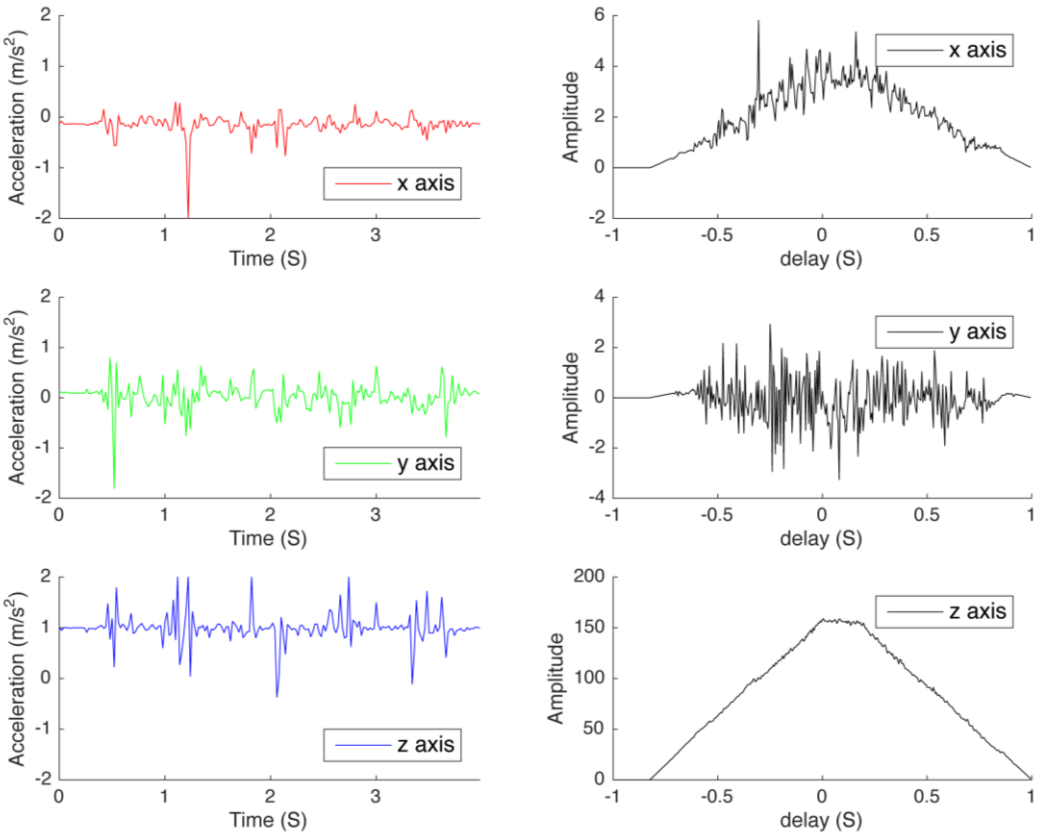
ภาพที่ 4-15 ลักษณะการจอดรถจักรยานยนต์ที่ถูกลากหรือขยับไปทางซ้ายในบริเวณลานจอดรถ

ภาพที่ 4-15 คือ กราฟที่แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นสองช่วงเวลา คือ ช่วงแรกรถนั้นถูกจอดอยู่นิ่ง จากนั้นจะช่วงที่รถถูกขยับลากไปทางซ้าย โดยผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลบางส่วนจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้



ภาพที่ 4-16 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้าย

3.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์เมื่อกำลังลากหรือขยับไปทางซ้ายโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนเวลา

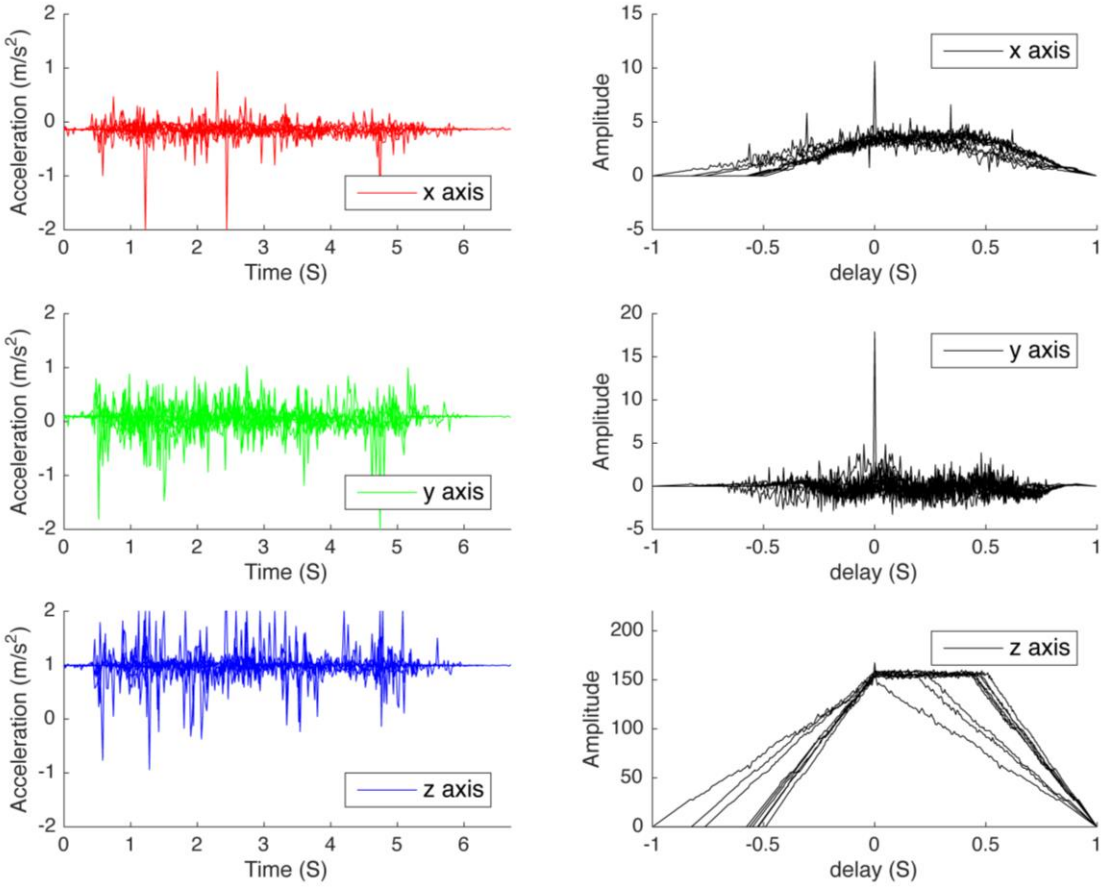


(ก) (ข)

ภาพที่ 4-17 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้าย

ภาพที่ 4-17 แสดงภาพตัวอย่างของการนำข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการหาค่าสหสัมพันธ์ โดยในการวิเคราะห์นี้จะใช้ข้อมูลที่รถจักรยานยนต์ทั้งหมดสองชุด และจากตัวอย่างเมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์จะสามารถคำนวณได้ค่าดังนี้ คือ ในแกน X ได้ค่า 5.8134 ในแนวแกน Y ได้ค่าสุงสุด คือ 2.9249 และในแนวแกน Z ได้ค่าที่ได้ คือ 158.9818

เมื่อนำตัวอย่างการทดลองการจอดรถจักรยานยนต์ที่ถูกลากหรือขยับไปทางซ้ายทั้งหมด 10 ครั้งมาการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ จะได้รูปแบบของข้อมูลดังภาพที่ 4-18 และจากตารางที่ 4-5 ที่แสดงพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย X นั้นอยู่ที่ 4.7037 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 4.1239 และมีค่าสูงอยู่ที่ 5.8134 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 2.582 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 1.6193 และมีค่าสูงอยู่ที่ 3.0952 และค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 159.8083 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 157.9128 และมีค่าสูงอยู่ที่ 167.4194



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-18 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้าย

ตารางที่ 4-5 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกลากไปทางซ้าย

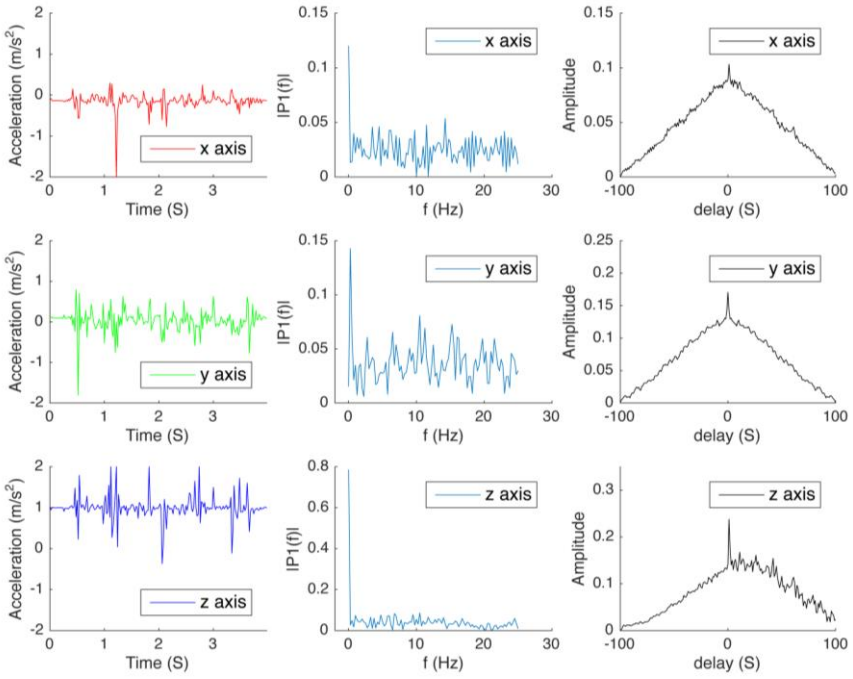
พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
5.8134	2.9249	158.9818
4.9124	2.7214	167.4194
4.7138	1.6193	157.9351
4.3850	2.7526	158.666
4.8835	3.0952	157.9128
4.7953	2.0308	160.3176

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
	4.7434	2.8263	159.9421
	4.2531	2.4703	160.6446
	4.1239	2.4923	158.0143
	4.4132	2.3492	158.2495
$\overline{x}$	4.7037	2.5282	159.8083

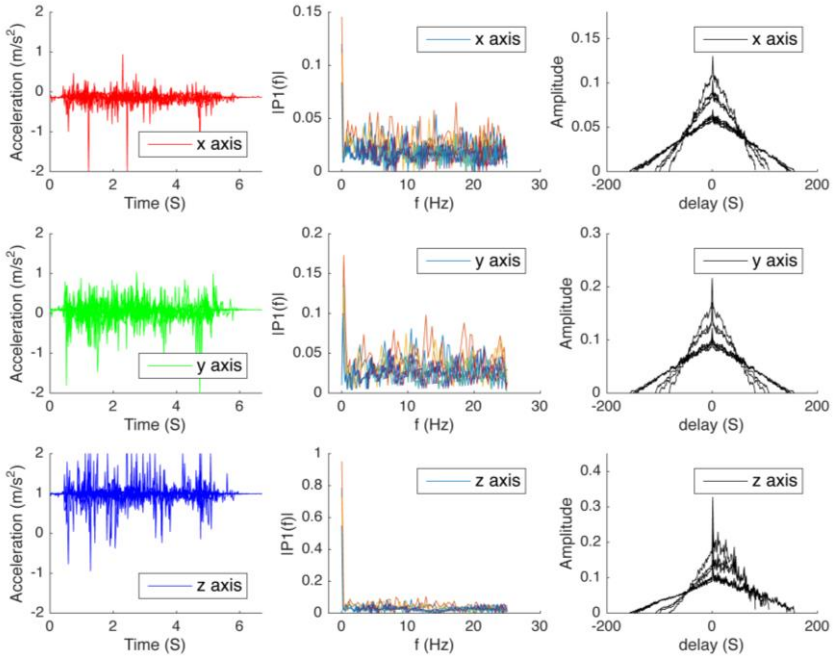
3.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางซ้ายโดยการวิเคราะห์ข้อมูลในโดเมนความถี่ ภาพที่ 4-19 (ก) ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ (ข) ข้อมูลของเซนเซอร์วัดความเร่งที่อยู่ในโดเมนความถี่ (ค) ขนาดของค่าที่ได้จากการนำข้อมูลสองชุดมาหาค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ

โดยจากภาพที่ 4-19 (ก) แสดงภาพของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง และภาพที่ 4-19 (ข) คือ ภาพที่แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกแปลงให้อยู่โดเมนความถี่แล้วโดยจะสังเกตได้ว่าความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงจะมีอยู่แค่บริเวณใกล้ 0 Hz แต่ก็จะมีข้อมูลความถี่ใกล้ ๆ 0 ที่มีค่าด้วยเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากข้อมูลในโดเมนเวลานั้นมีการขยับพอสมควรด้วยจึงทำให้เกิดความถี่ในบริเวณอื่นด้วย และภาพที่ 4-18 (ค) คือ ภาพที่แสดงขนาดของข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลในโดเมนเวลาจากตัวอย่างไปหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับสัญญาณต้นแบบ เพื่อใช้สำหรับการนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณตัวอย่างและสัญญาณต้นแบบ โดยจากภาพที่ 4-19 (ค) สามารถสรุปค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน x ได้ที่ 0.1032 ของแกน Y ได้ที่ 0.1705 และของแกน Z สูงสุดที่ 0.2379 และเมื่อทำการทดลองซ้ำสิบครั้ง ผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 4-20



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-19 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางซ้ายในโดนเมนความความถี่



(ก) (ข) (ค)

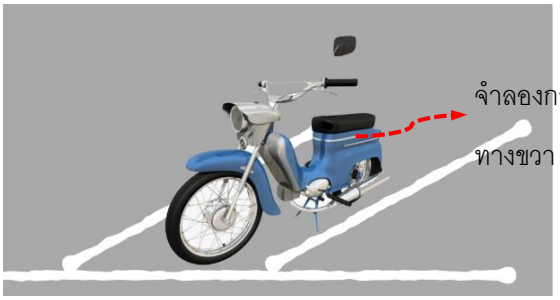
ภาพที่ 4-20 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางซ้ายในโดนเมนความความถี่

ตารางที่ 4-6 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกลากไปทางซ้าย

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
0.1032	0.1705	0.2379
0.1302	0.2160	0.3271
0.0959	0.1650	0.2147
0.0656	0.1135	0.1402
0.0618	0.1072	0.1304
0.0625	0.1085	0.1319
0.07	0.1224	0.1506
0.0676	0.1179	0.1451
0.0593	0.1231	0.1502
0.6523	0.1932	0.1485
$\overline{x}$ 0.1368	0.1437	0.1777

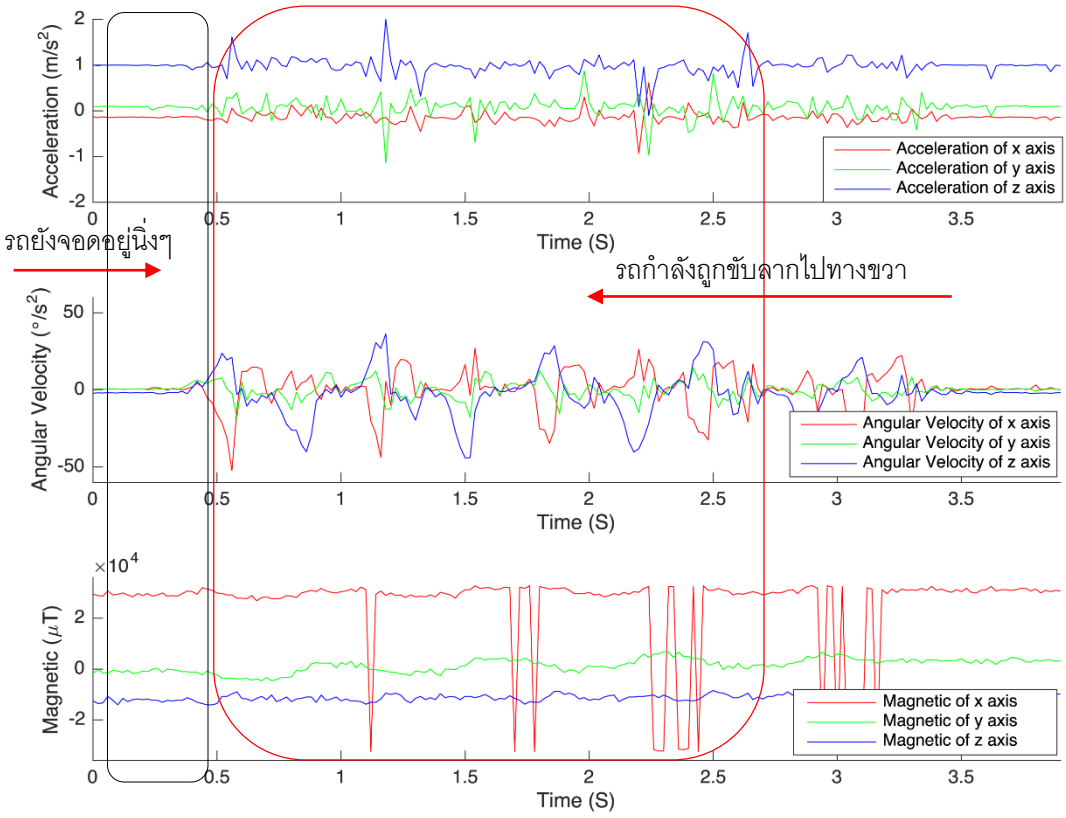
จากตารางที่ 4-6 ที่แสดงค่าค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ค่าสหสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของแกน X นั้นอยู่ที่ 0.349 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0287 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0501 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 0.0643 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0550 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0900 และ ค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 0.1777 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.1304 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.3271

4. การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อรถจักรยานยนต์ที่ถูกขยับไปทางขวา ในการวิเคราะห์เหตุการณ์นี้จะกระทำโดยการจอดรถจักรยานยนต์ไว้ที่ลานจอดรถ หลังจากนั้นจะมีบุคคลเข้าไปที่ตัวรถเพื่อทำการลากหรือขยับทางด้านขวา โดยที่ตัวอุปกรณ์จะทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถดึงข้อมูลออกมาได้ต่อไป โดยในที่นี้จะทำการทดลองเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 ครั้ง และจากภาพที่ 4-21 คือ ภาพแสดงการลักษณะการจอดของรถบริเวณลานจอดและตัวอย่างเส้นแดงที่บอกลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ



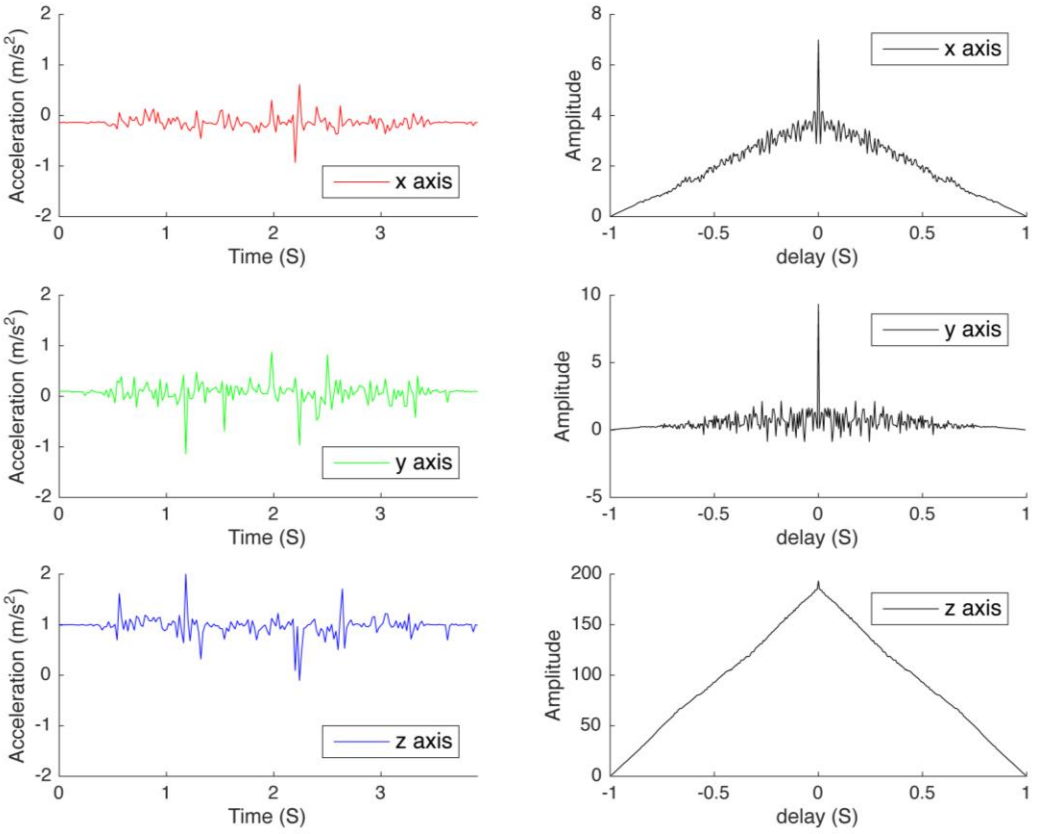
ภาพที่ 4-21 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ในบริเวณลานจอดรถแล้วถูกลากไปทางขวา

จากภาพที่ 4-21 คือ กราฟที่แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นสองช่วงเวลา คือ ช่วงแรกรถนั้นถูกจอดอยู่นิ่ง จากนั้นจะช่วงที่รถถูกขยับลากไปทางขวา โดยผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลบางส่วนจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้



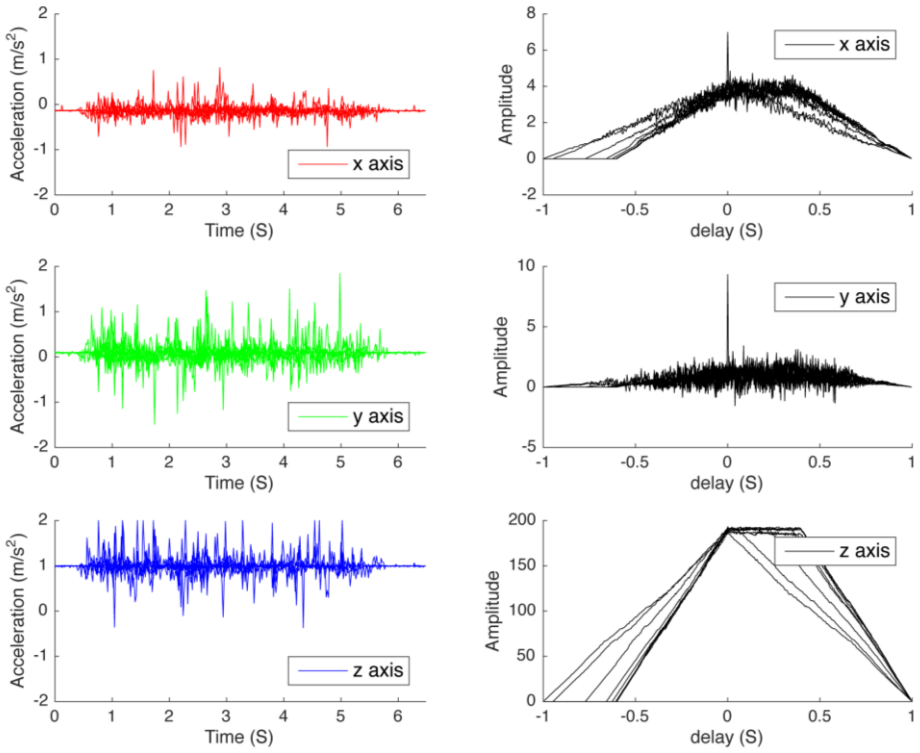
ภาพที่ 4-22 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ที่กำลังถูกลากหรือขยับไปทางขวา

4.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์เมื่อกำลังลากหรือขยับไปทางขวา โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ ภาพที่ 4-23 แสดงภาพตัวอย่างของการนำข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการหาค่าสหสัมพันธ์ โดยในการวิเคราะห์นี้จะใช้ข้อมูลที่รถจักรยานยนต์ทั้งหมดสองชุด และจากตัวอย่างเมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์จะสามารถคำนวณได้ค่าดังนี้คือในแกน X ได้ค่า 6.8935 ในแนวแกน Y ได้ค่าสูงสุด คือ 9.325 และในแนวแกน Z ได้ค่าที่ได้ คือ 193.2505 เมื่อนำตัวอย่างการทดลองการจอดรถจักรยานยนต์ที่ลานจอดรถนิ่งทั้งหมด 10 ครั้งมาการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ จะได้รูปแบบของข้อมูลดังภาพที่ 4-24



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-23 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางขวา



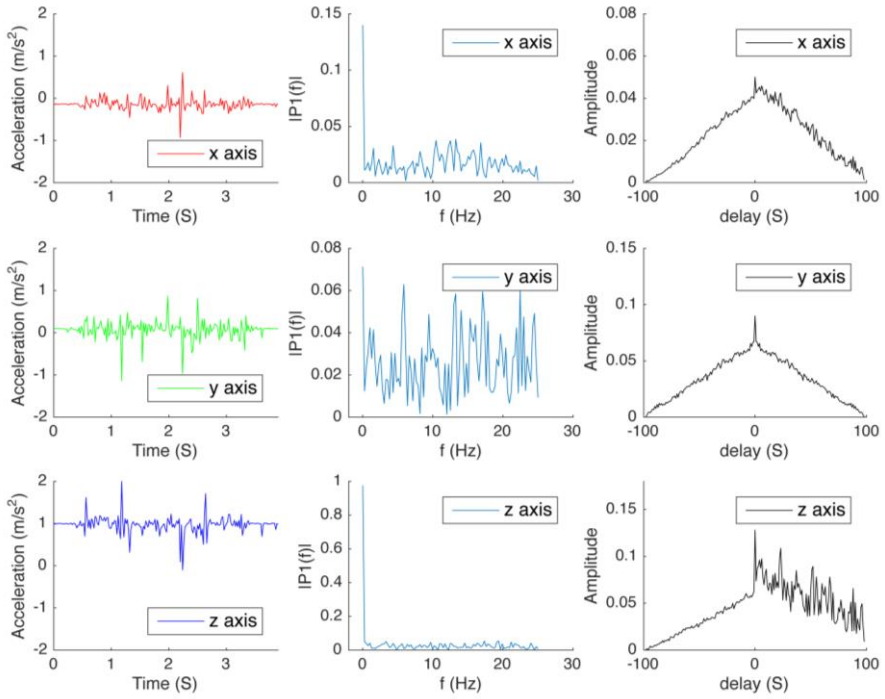
ภาพที่ 4-24 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกลากหรือขยับไปทางขวา

ตารางที่ 4-7 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกลากไปทางขวา

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
6.9835	9.325	193.2505
4.4367	2.2028	190.6518
4.4170	2.9542	192.8388
4.4092	2.9187	192.8044
4.1293	3.4248	191.7248
4.5271	2.5818	192.346
4.8494	2.4385	188.9825
4.2547	2.549	192.7278
4.4076	2.8384	187.7292
4.4280	2.849	192.7461
$\overline{x}$ 4.6843	3.4082	191.5802

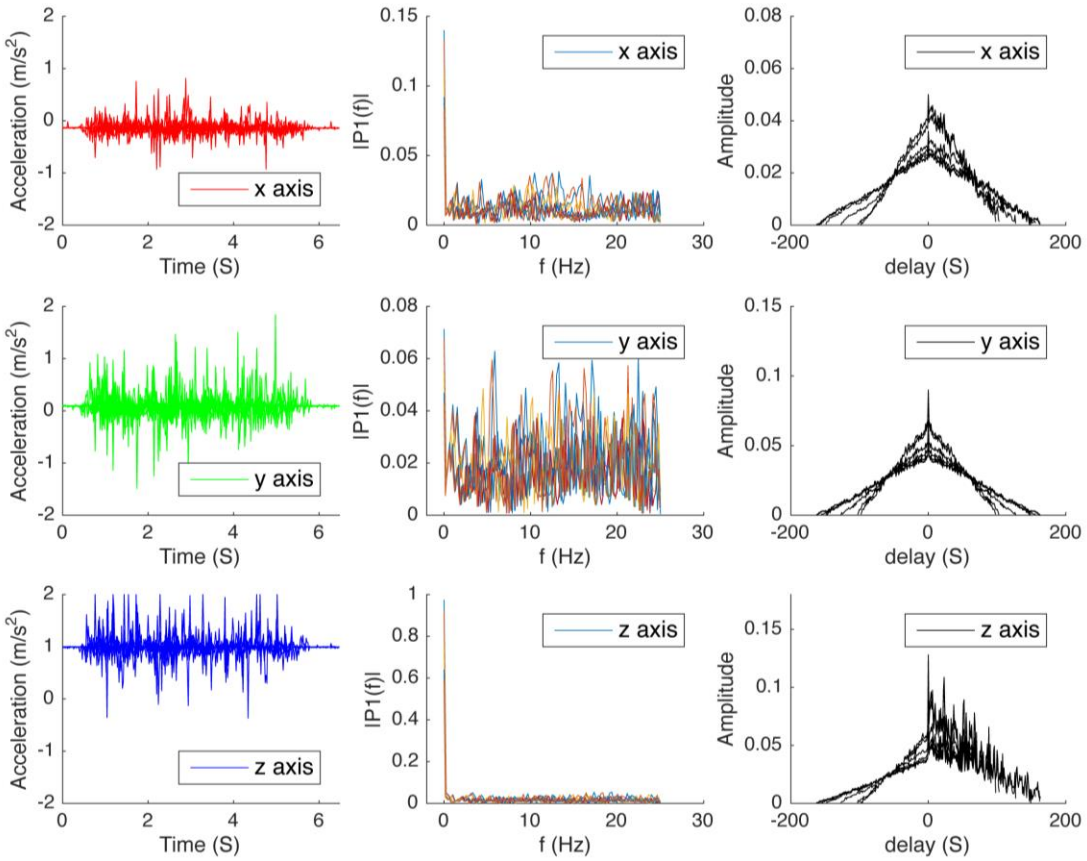
ตารางที่ 4-7 ที่แสดงพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย X นั้นอยู่ที่ 4.6843 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 4.1293 และมีค่าสูงอยู่ที่ 6.9835 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 3.4082 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 2.2028 และมีค่าสูงอยู่ที่ 9.3250 และ ค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 191.5802 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 191.5802 และมีค่าสูงอยู่ที่ 193.2505

4.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์ถูกลากไปทางขวา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบโดเมนความถี่ ภาพที่ 4-25 (ก) แสดงภาพของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง และภาพที่ 4-25 (ข) คือ ภาพที่แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกแปลงให้อยู่โดเมนความถี่แล้วโดยจะสังเกตได้ว่าความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงจะมีอยู่แค่บริเวณใกล้ 0 Hz แต่ก็จะมีข้อมูลความถี่ใกล้ ๆ 0 ที่มีค่าด้วยเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากข้อมูลในโดเมนเวลานั้นมีการขยับพอสมควรด้วยจึงทำให้เกิดความถี่ในบริเวณอื่นด้วย และภาพที่ 4-25 (ค) คือ ภาพที่แสดงขนาดของข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลในโดเมนเวลาจากตัวอย่างไปหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับสัญญาณต้นแบบ เพื่อใช้สำหรับการนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณตัวอย่างและสัญญาณต้นแบบ โดยจากภาพที่ 4-25 (ค) สามารถสรุปค่าสหสัมพันธ์สูงสุดของแกน x ได้ที่ 0.0501 ของแกน Y ได้ที่ 0.0900 และของแกน Z ที่ 0.128



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-25 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางขวาในโดนเมนความความถี่



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-26 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกขยับไปทางขวาในโดนเมนความความถี่

ตารางที่ 4-8 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกลากไปทางขวา

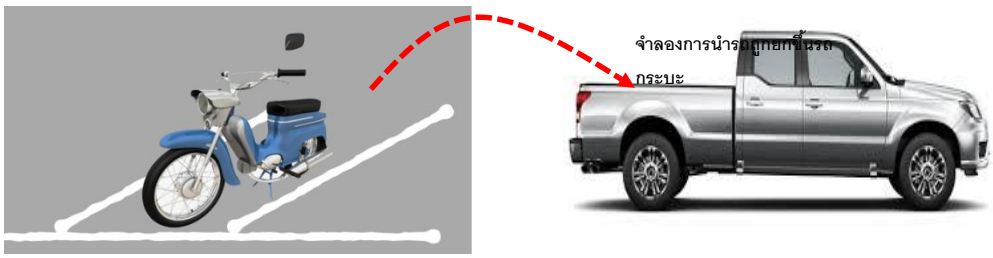
พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
0.0501	0.0900	0.128
0.046	0.0856	0.117
0.036	0.0685	0.0862
0.029	0.0555	0.0617
0.0287	0.0550	0.061
0.0291	0.0556	0.0618
0.0303	0.0570	0.0643

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
	0.0322	0.0618	0.0698
	0.0288	0.0552	0.0613
	0.0391	0.0583	0.0623
$\bar{x}$	0.0349	0.0643	0.07734

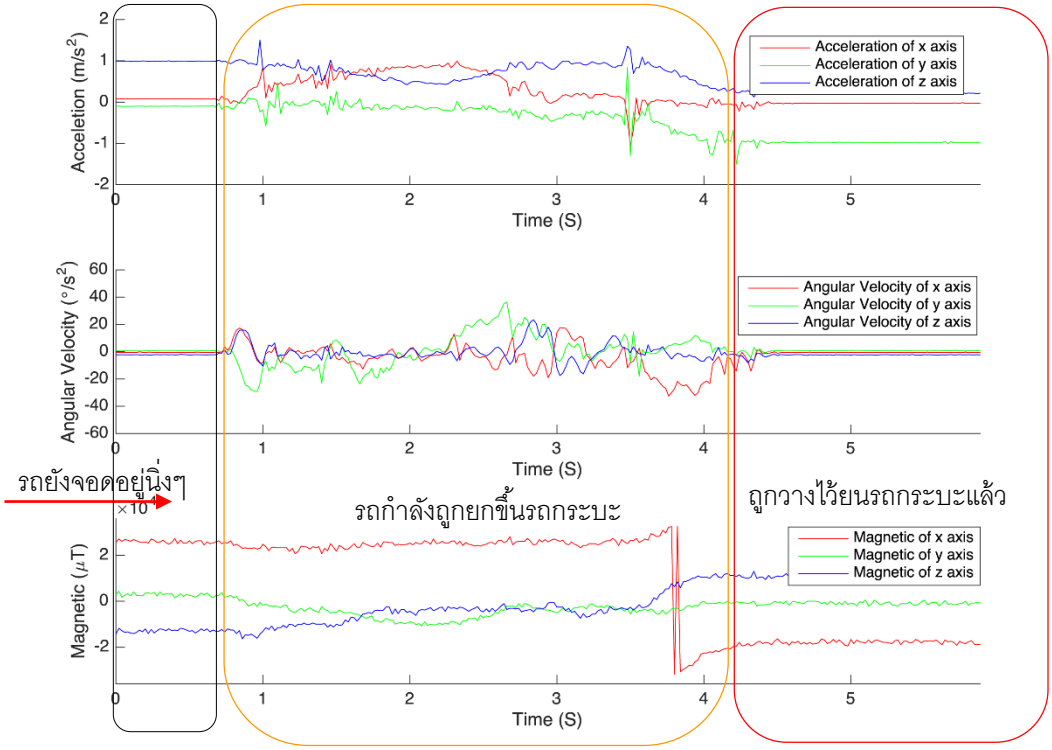
จากตารางที่ 4-8 ที่แสดงค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ค่าสหสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของแกน X นั้นอยู่ที่ 0.349 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0287 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0501 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 0.0643 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0550 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0900 และค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 0.1777 และมีความตำสุดอยู่ที่ 0.1304 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.3271

5. การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อรถจักรยานยนต์ที่ถูกยกขึ้นรถกระบะแล้วขับออกนอกมหาวิทยาลัย การวิเคราะห์เหตุการณ์นี้จะกระทำโดยการจอดรถจักรยานยนต์ไว้ที่ลานจอดรถ หลังจากนั้นจะมีบุคคลเข้าไปที่ตัวรถเพื่อทำการยกรถขึ้นหลังรถกระบะเพื่อนำออกไปนอกมหาวิทยาลัย โดยที่ตัวอุปกรณ์จะทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถดึงข้อมูลออกมาได้ต่อไป โดยในที่นี้จะทำการทดลองเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 ครั้ง และจากภาพที่ 4-27 คือ ภาพแสดงการลักษณะการจอดของรถบริเวณลานจอดและตัวอย่างเส้นแดงที่บอกลักษณะการเคลื่อนที่ของรถเพื่อนำขึ้นสู่รถกระบะ



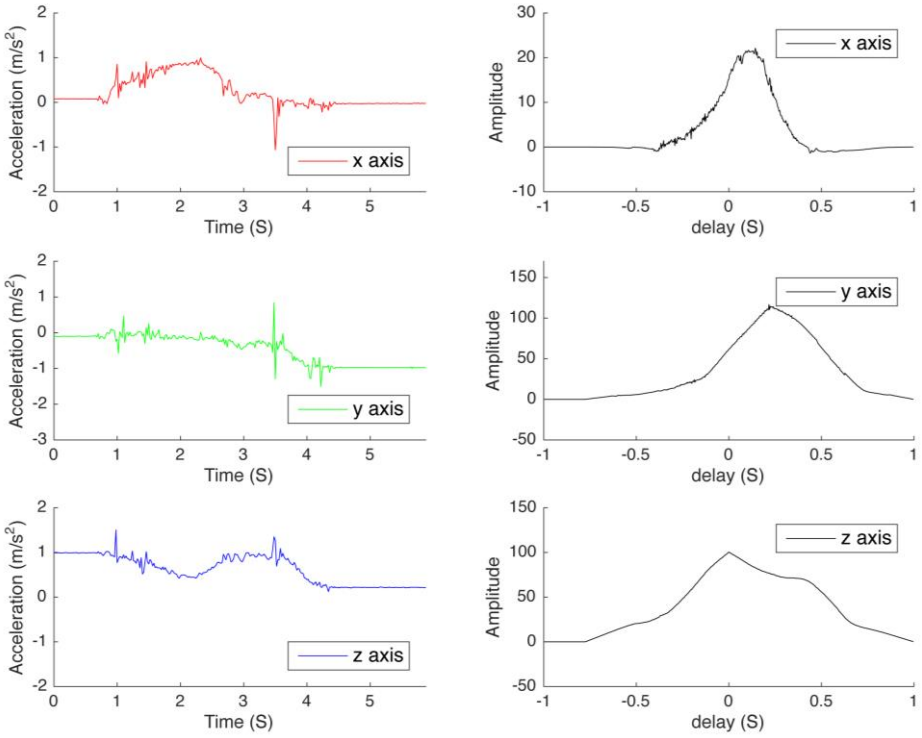
ภาพที่ 4-27 ลักษณะการจอดของรถจักรยานยนต์ในบริเวณลานจอดรถแล้วถูกยกขึ้นรถกระบะ

จากภาพที่ 4-28 คือ กราฟที่แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นสามช่วงเวลา คือ ช่วงแรกรถนั้นถูกจอดอยู่นิ่ง จากนั้นจะช่วงที่รถถูกยกขึ้นรถกระบะ และสุดท้ายเป็นช่วงที่รถถูกว่างไว้บนกระบะเรียบร้อยแล้ว โดยผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลบางส่วนจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้

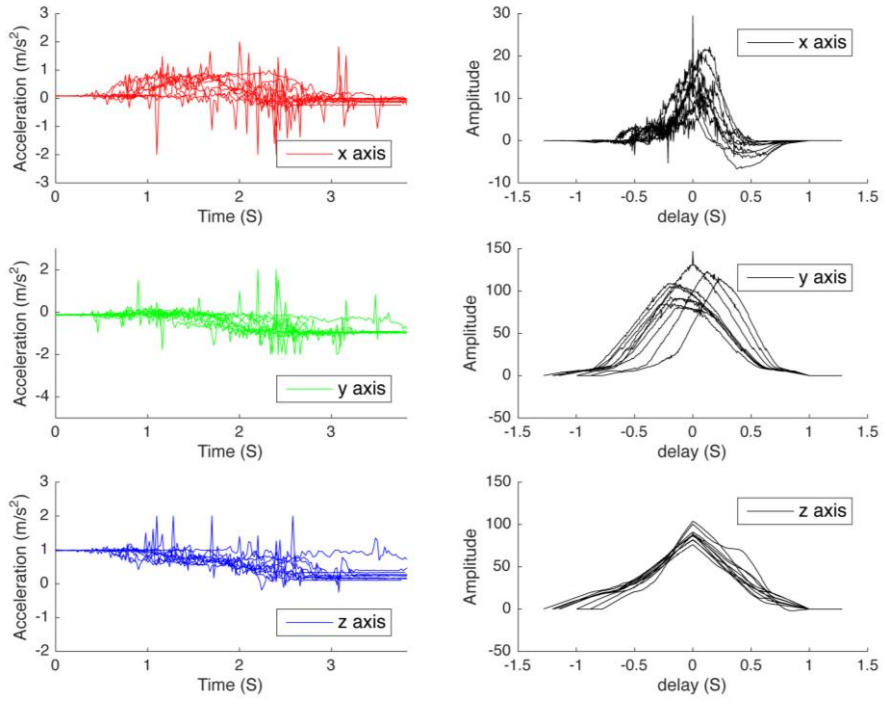


ภาพที่ 4-28 ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์เมื่อจอดของรถจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ

5.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์เมื่อกำลังถูกยกขึ้นรถกระบะในโดเมนเวลา โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการวิเคราะห์ จากภาพที่ 4-29 แสดงภาพตัวอย่างของการนำข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาทำการหาค่าสหสัมพันธ์ โดยในการวิเคราะห์นี้จะใช้ข้อมูลที่รถจักรยานยนต์ทั้งหมดสองชุด และจากตัวอย่างเมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์จะสามารถคำนวณได้ค่าดังนี้ คือ ในแกน X ได้ค่า 22.1303 ในแนวแกน Y ได้ค่าสุงสุด คือ 116.6095 และในแนวแกน Z ได้ค่าที่ได้ คือ 100.4377 และเมื่อนำตัวอย่างการทดลองซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง ผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4-30



ภาพที่ 4-29 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ



ภาพที่ 4-30 ข้อมูลค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุด เมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ

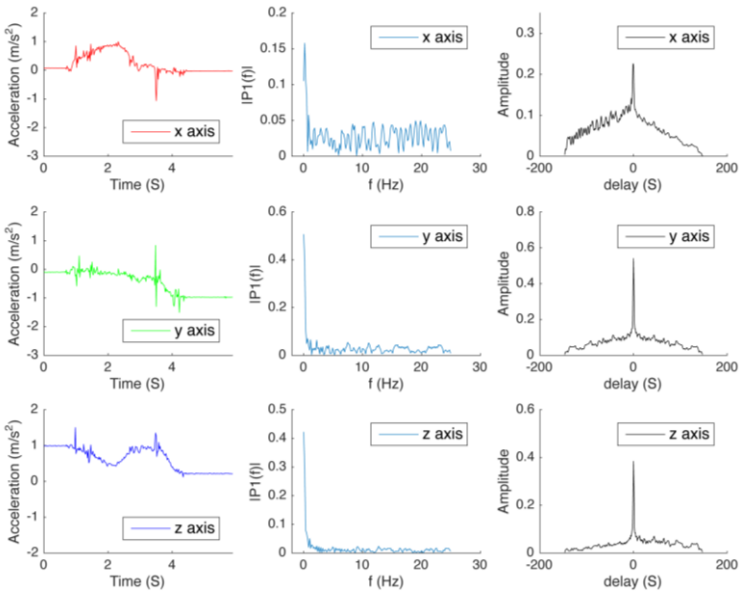
ตารางที่ 4-9 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเมื่อรถถูกยกขึ้นรถกระบะ

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
22.1303	116.6095	100.4377
29.4908	146.9331	90.0559
20.9758	81.7539	88.4956
21.4816	106.6372	82.1841
16.3353	105.414	81.5796
13.7533	109.2323	76.2405
16.2108	91.3565	90.9309
14.1822	123.0928	103.8606
14.8299	85.0412	86.0162
13.7363	93.5997	87.357
$\overline{x}$	18.5506	104.6091	88.8145

จากตารางที่ 4-9 ที่แสดงพื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย X นั้นอยู่ที่ 18.5506 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 13.7363 และมีค่าสูงอยู่ที่ 29.4908 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 104.6091 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 81.7539 และมีค่าสูงอยู่ที่ 147.9331 และ ค่าเฉลี่ย Z นั้นอยู่ที่ 88.8145 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 76.2405 และมีค่าสูงอยู่ที่ 103.8606

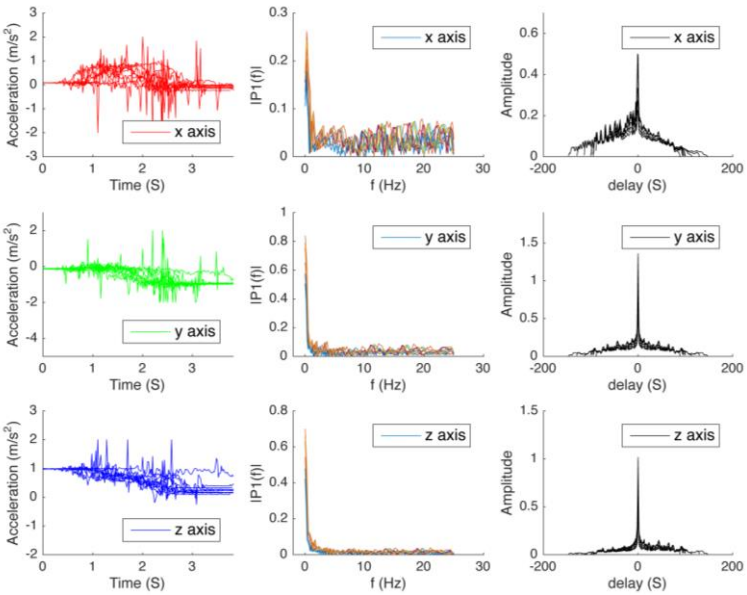
5.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลของรถจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะ โดยใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบโดเมนความถี่ในการวิเคราะห์ ภาพที่ 4-31 (ก) แสดงภาพของข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง และภาพที่ 4-31 (ข) คือ ภาพที่แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกแปลงให้อยู่โดเมนความถี่แล้วโดยจะสังเกตได้ว่าความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงจะมีอยู่แค่บริเวณใกล้ 0 Hz แต่ก็จะมีข้อมูลความถี่ใกล้ ๆ 0 Hz ที่มีค่าด้วยเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากข้อมูลในโดเมนเวลานั้นมีการขยับพอสมควรด้วยจึงทำให้เกิดความถี่ในบริเวณอื่นด้วย และภาพที่ 4-31 (ค) คือ ภาพที่แสดงขนาดของข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลในโดเมนเวลาจากตัวอย่างไปหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับสัญญาณต้นแบบเพื่อใช้สำหรับการนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณตัวอย่างและสัญญาณต้นแบบ โดยจากภาพที่ 4-31 (ค) สามารถสรุปค่าสหสัมพันธ์สูงสุดของแกน x ได้ที่ 0.226 ของแกน

Y ได้ที่ 0.5405 และของแกน Z สูงสุดที่ 0.3841 และเมื่อนำข้อมูลการทดลองซ้ำทั้งหมดสิบครั้งมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่จะสามารถได้ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-32



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-31 ขนาดของค่าสหสัมพันธ์เมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะในโดนเมนความความถี่



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4-32 ค่าสหสัมพันธ์ 10 ชุดเมื่อจักรยานยนต์ถูกยกขึ้นรถกระบะในโดนเมนความความถี่

ตารางที่ 4-10 พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่เมื่อรถถูกยกขึ้นรถกระบะ

พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Y	พื้นที่ใต้กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน Z
0.226	0.5405	0.3841
0.3347	0.8563	0.6243
0.4181	1.1053	0.8118
0.4181	1.1053	0.8118
0.4485	1.1986	0.886
0.4566	1.2200	0.9042
0.4257	1.1255	0.8279
0.2723	0.6761	0.4887
0.5004	1.3582	1.0168
0.4451	1.1887	0.8775
$\overline{x}$ 0.3978	1.0516	0.76776

จากตารางที่ 4-10 ที่แสดงค่าสหสัมพันธ์ในแนวแกน X, Y และ Z จากข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะเห็นได้ค่าสหสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของแกน X นั้นอยู่ที่ 0.3978 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.0287 และมีค่าสูงอยู่ที่ 0.0501 ค่าเฉลี่ย Y นั้นอยู่ที่ 1.0516 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.5405 และมีค่าสูงอยู่ที่ 1.3482 และค่าเฉลี่ย Z นั้น อยู่ที่ 0.76776 และมีความต่ำสุดอยู่ที่ 0.3841 และมีค่าสูงอยู่ที่ 1.0168

6. สรุปคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละรูปแบบการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์

จากการทดสอบทั้งหมดและทำการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบเฉพาะของการเคลื่อนไหวแบบต่าง ๆ นั้น สามารถสรุปคุณสมบัติทั้งในการหาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกันสัญญาณต้นแบบทั้งในรูปแบบโดเมนเวลาและในรูปแบบโดเมนความถี่ได้ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 คุณสมบัติเฉพาะของการเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์แบบต่าง ๆ

คุณสมบัติตัวชี้วัด			รถจอดนิ่ง	รถถูกขยับไปทางซ้าย	รถถูกขยับไปทางขวา	รถถูกขับไปนอกลานจอด	รถถูกยกขึ้นรถกระบะ
ค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลา	Min.	X	163.0912	4.1239	4.1293	7.6978	13.7363
		Y	80.7743	1.6193	2.2028	3.8450	81.7539
		Z	0.9211	157.9128	187.7292	420.8388	88.8145
	Avr.	X	175.8160	4.7037	4.6843	8.0647	18.5506
		Y	86.5283	2.5282	3.4082	6.509	104.6091
		Z	0.98721	159.8083	191.5802	430.9513	88.8145
	Max.	X	189.0359	5.8134	6.9835	8.5487	29.4908
		Y	92.625	3.0952	9.3250	12.1868	146.9311
		Z	1.0649	167.4194	193.2505	447.3840	103.8606
ค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่	Min.	X	0.0213	0.0593	0.0287	0.0113	0.2260
		Y	0.015	0.1072	0.0550	0.0242	0.5405
		Z	0.8372	0.2160	0.0610	0.8372	0.3841
	Avr.	X	0.02404	0.1368	0.0349	0.0215	0.3978
		Y	0.01655	0.1437	0.0643	0.0459	1.0516
		Z	1.04222	0.1777	0.0773	1.0560	0.7677
	Max.	X	0.0267	0.6523	0.0501	0.0249	0.5004
		Y	0.0184	0.2160	0.0900	0.0529	1.3582
		Z	1.8029	0.3271	0.1280	1.9402	1.0168

7. การทดสอบระบบแยกแยะรูปแบบการเคลื่อนไหว ส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ประเภทของกิจกรรมที่ได้ผ่านขั้นตอนการแยกแยะประเภท กิจกรรมที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยทำการทดสอบและวัดผลของกิจกรรมแต่ละประเภทโดยให้กลุ่มการทดสอบกิจกรรมละ 30 ครั้ง ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4-12 ความแม่นยำในการแยกแยะรูปแบบการเคลื่อนไหว

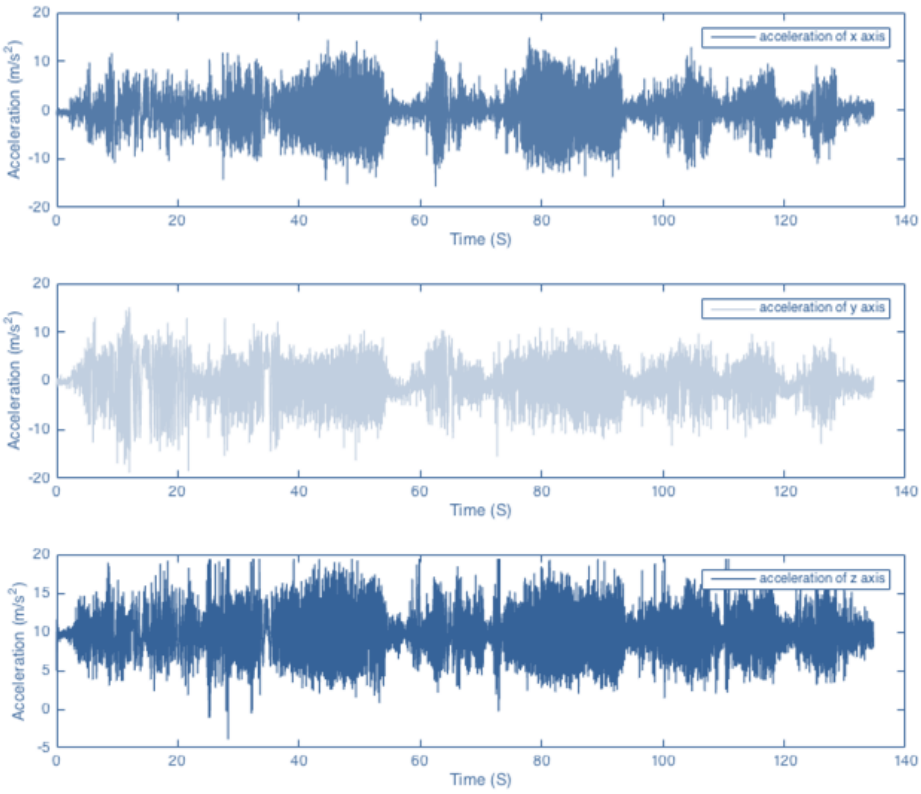
ประเภทกิจกรรม	ความถี่ในการตรวจพบ (ครั้ง)	ความแม่นยำ (ร้อยละ)
1. รถจอดอยู่นิ่ง ๆ	30	100%
2. รถถูกขยับหรือลากไปทางซ้าย	26	86%
3. รถถูกขยับหรือลากไปทางขวา	27	90%
4. รถถูกขับออกไปนอกลานจอด	26	86%
5. รถถูกโจรกรรมขึ้นรถกระบะ	21	70%
รวม	-	84.6%

ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งด้วยกรรมวิธี Strapdown Inertial Navigation

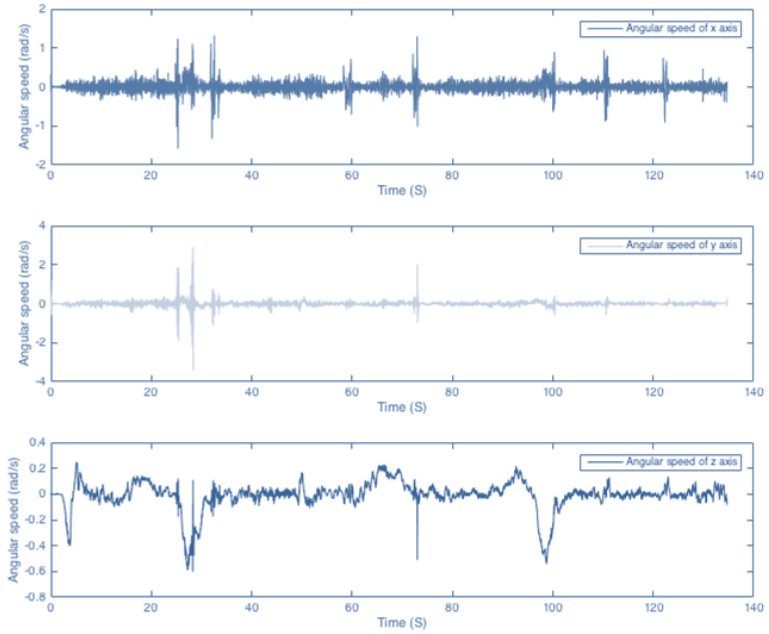
กระบวนการทดสอบนี้ผู้ทำการทดสอบจะกระทำการทดสอบการระบุตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง เซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งของรถ ณ เวลาต่าง ๆ ด้วยกระบวนการ Strapdown inertial navigation ตามที่กล่าวไปแล้ว โดยในการทดสอบนั้นจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ Vehicle tag ไว้ที่ตัวจักรยานยนต์และทำการขับจักรยานยนต์ดังกล่าวไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ และอุปกรณ์จะทำการส่งข้อมูลเส้นทางการเดินรถที่บันทึกไว้ได้ไปยัง Service ผ่านทางตัวรับสัญญาณ Base station ที่ติดตั้งไว้บริเวณลาดจอดรถและประตูทางอออกของมหาวิทยาลัย โดยตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่จะถูกใช้ในการสร้างเส้นทางนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ดังตัวอย่างดังต่อไปนี้

1. ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน Accelerometer ในการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งแบบ 3 แกนนี้ ซึ่งใช้เซนเซอร์ LSM303C มีการกำหนดให้ทำการเก็บข้อมูลที่ความถี่ (Sample rate) ที่ 100 Hz และทำการกำหนดค่าความเร่งสูงสุดสำหรับอ่านค่า (Maximum sensitivity) ของเซนเซอร์ไว้ที่ ±8g และค่าความละเอียดในการอ่านค่าเซนเซอร์ที่ 0.244 mg/LSB

2. ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบ 3 แกน Gyro scope การเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งแบบ 3 แกนนี้ ซึ่งใช้เซนเซอร์ L3GD20H ในการเก็บข้อมูลค่าความเร็วเชิงมุมแบบ 3 แกน มีการกำหนดให้ทำการเก็บข้อมูลที่ความถี่ (Sample rate) ที่ 100 Hz และทำการกำหนดค่าความเร็วการหนุนสำหรับอ่านค่าไวที่ (Maximum stativity) ±500dps และค่าความละเอียดในการอ่านค่าเซนเซอร์ที่ 17.50 mdsp/LSB

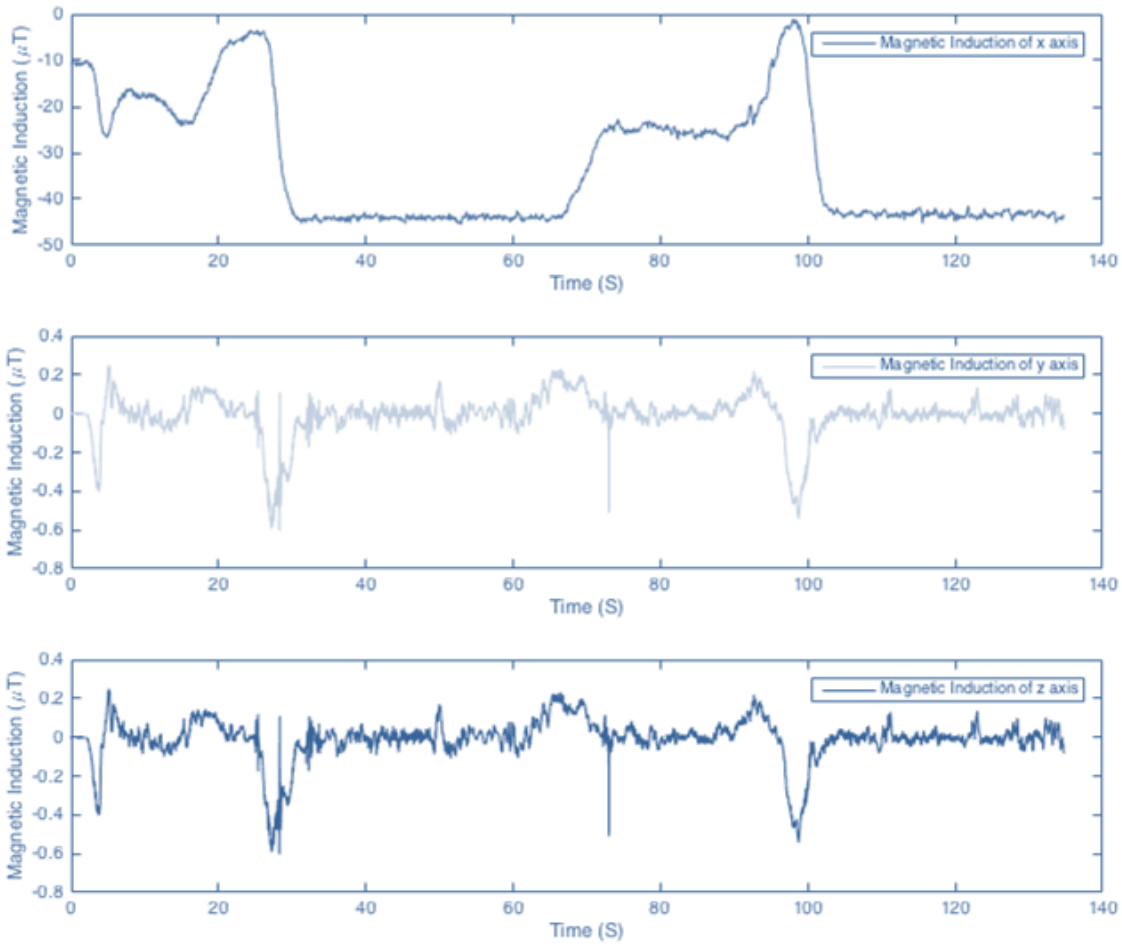


ภาพที่ 4-33 กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งในแนวแกน x แกน y และแกน z



ภาพที่ 4-34 กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมในแนวแกน x แกน y และแกน z

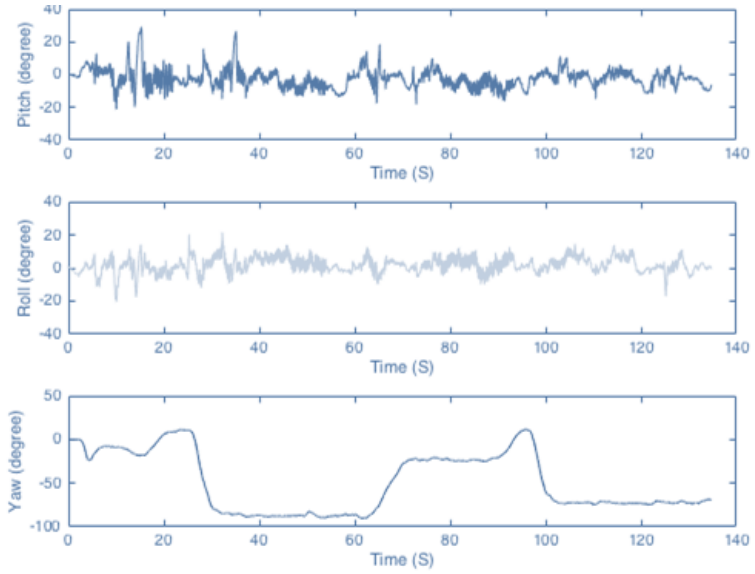
3. ตัวอย่างข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้าแบบ 3 แกน Magnetometer ในการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ 3 แกนนี้ ซึ่งใช้เซนเซอร์ MPU9150 ในการเก็บข้อมูลค่าความเข้มสนามไฟฟ้าแบบ 3 แกน มีการกำหนดให้ทำการเก็บข้อมูลที่ความถี่ Sample rate ที่ 100 Hz และทำการกำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดของความเข้มสนามไฟฟ้าไว้ที่ Maximum stativity ±16 guass และค่าความละเอียดในการอ่านค่าเซนเซอร์ที่ 0.58 mgauss/LSB



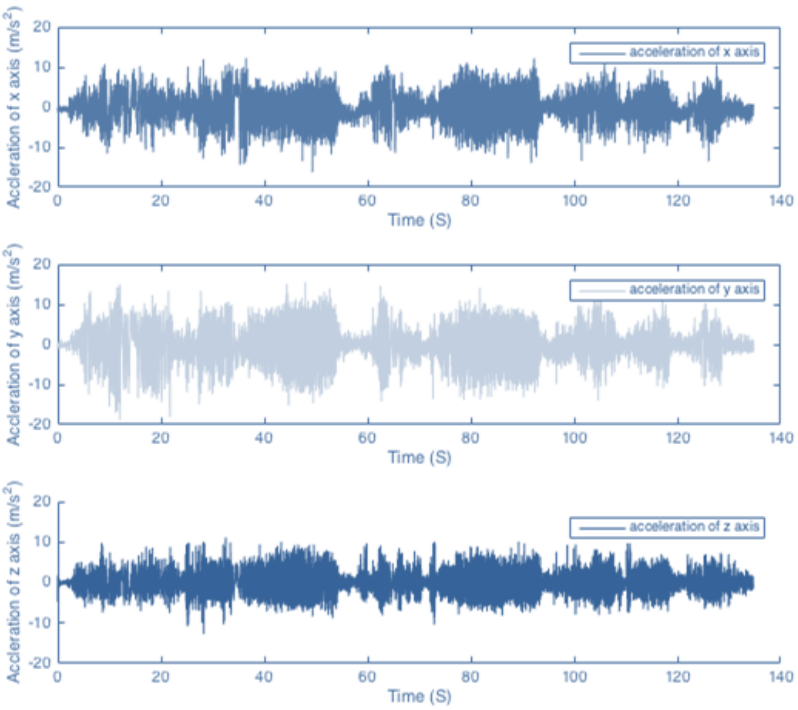
ภาพที่ 4-35 กราฟข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเข็มสนามไฟฟ้าแม่เหล็กในแนวแกน x, y และ z

4. การคำนวณเพื่อหาองศาการหมุนในรูปแบบ Euler angle (Φ, θ, ψ) การที่เราจะสามารถหาความเร็วการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและระยะทางการเคลื่อนที่ที่ถูกต้องได้นั้นเราจะทำการหาค่ามุมองศา ณ เวลาใดของรถเทียบกับพื้นโลกและทิศทางสนามแม่เหล็กของโลกก่อนหรือก็คือ ค่า Pitch $\Phi(k)$, Roll $\theta(k)$ และ Yaw $\psi(k)$ โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ความเร่งร่วมกับข้อมูล

ความเร็วเชิงมุม เพื่อหาค่า $\Phi(k)$ และ $\theta(k)$ และใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมร่วมกับเซนเซอร์วัดความเข้มสนามไฟฟ้าเพื่อหาค่า $\psi(k)$ โดยใช้กระบวนการดังภาพที่ 3-35



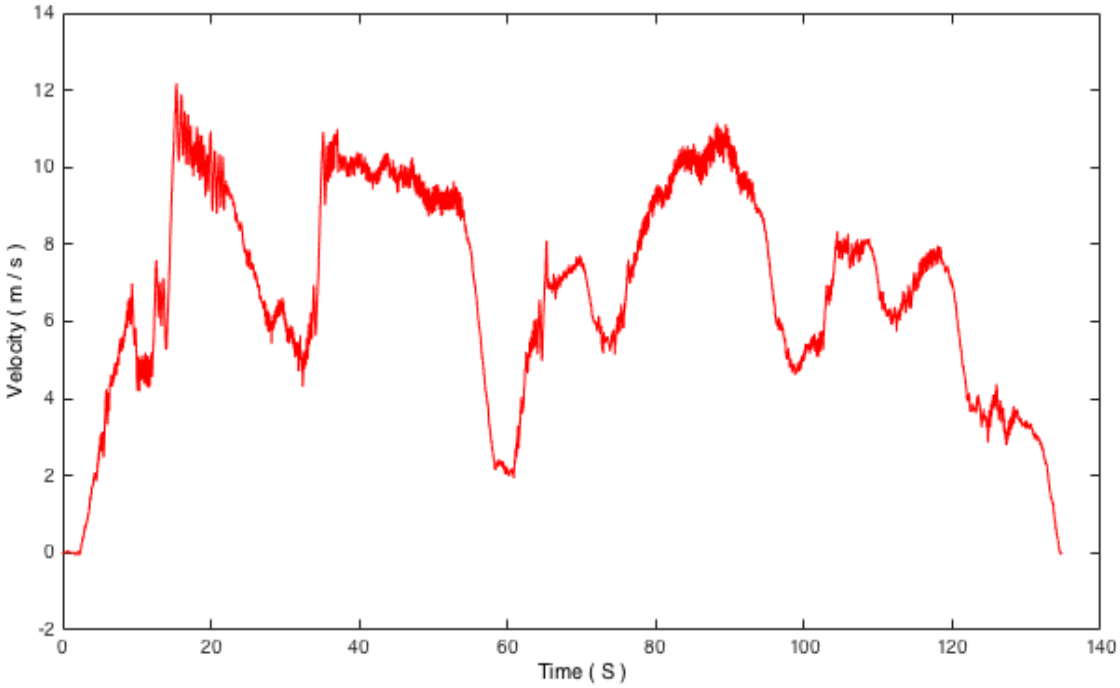
ภาพที่ 4-36 กราฟข้อมูลที่ได้จากคำนวณมุมในรูปแบบของ Euler angle



ภาพที่ 4-37 กราฟข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ

5. การคำนวณเพื่อหาแรงที่กระทำต่อยานพาหนะ (f_e^n) ในการหาค่าแรงที่กระทำต่อยานพาหนะนั้นเราจะใช้ค่า $C_b^n(k)$ ที่ได้จากกระบวนการก่อนหน้านี้ ร่วมกับค่าจากเซนเซอร์วัดความเร่ง $f_b(a_x, a_y a_z)$ ผ่านทางกระบวนการดังภาพ ที่ 4-37

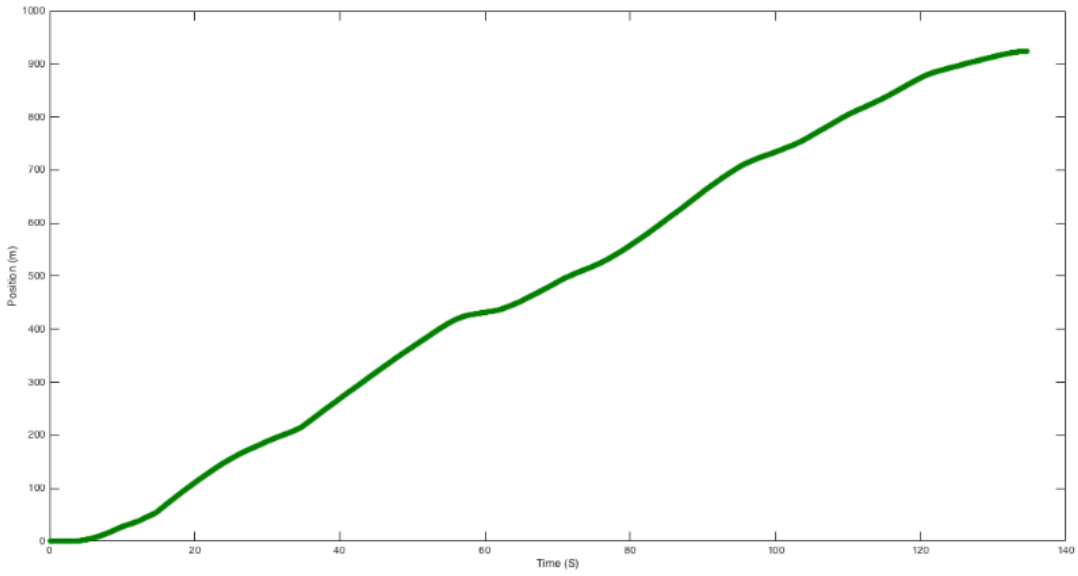
6. ตัวอย่างข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อผ่านกระบวนการ Dead reckoning กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่จะนำค่า f_e^nมาทำการคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของ $V_e(k)$ โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3-9 โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะออกมาในรูปแบบของความเร็ว (m/s)



ภาพที่ 4-38 กราฟข้อมูลความเร็วของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4-38 จะเห็นได้ว่าในตอนเริ่มต้นนั้นความเร็วของยานพาหนะจะมีค่าเป็น 0 m/s เนื่องมาจากในตอนเริ่มนั้นอยู่นิ่งกับที่ และเมื่อมีการขับรถไปตามเส้นที่กำหนดไว้ตัวรถก็จะมีความเร็วเพิ่มขึ้น และในส่วนที่รถมีความเร็วรถลดลงนั้นเกิดจากตัวรถมีการแตะเบรคจึงทำให้ความเร็วรถลดลง และในส่วนสุดท้ายจะเห็นว่าตัวรถนั้นมีความเร็วเป็น 0 m/s อีกครั้งเนื่องมาจากตัวรถนั้นถึงที่หมายที่กำหนดไว้และได้จอดรถนิ่งอยู่กับที่แล้ว

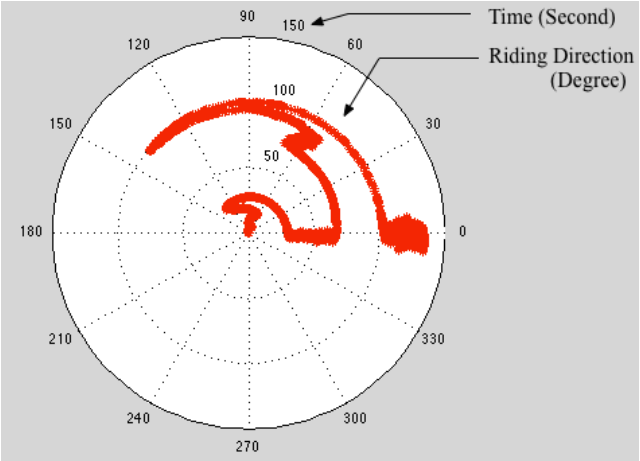
7. ตัวอย่างข้อมูลระยะทางของยานพาหนะเมื่อผ่านกระบวนการ Strapdown inertial navigation กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่จะนำค่า $V_e(k)$ มาทำการคำนวณระยะการคลื่อนที่ $S_e(k)$ ของยานพาหนะโดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3-10 โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะออกมาในรูปแบบของระยะทาง (เมตร) โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อสิ้นสุดการทดสอบระยะทางที่รถวิ่งได้ทั้งหมด คือ 923 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ระบบคำนวณได้



ภาพที่ 4-39 กราฟข้อมูลระยะทางของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ

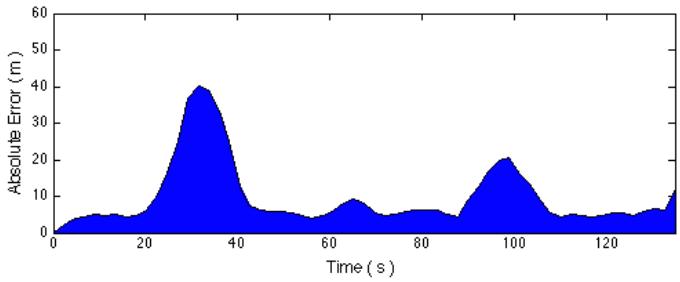
8. ตัวอย่างข้อมูลทิศทางการเคลื่อนที่เมื่อผ่านกระบวนการ Strapdown inertial navigation สำหรับภาพที่ 4-40 จะแสดงผลของการคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่ยานพาหนะที่ได้จากการใช้เซนเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กร่วมกับเซนเซอร์วัดความเร่งและเซนเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม

9. ตัวอย่างข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่เมื่อผ่านกระบวนการ Strapdown inertial navigation สำหรับภาพที่ 4-41 จะแสดงผลของการคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ยานพาหนะที่ได้จากการใช้ข้อมูลระยะทางการเคลื่อนที่ร่วมกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ โดยที่เส้นสีน้ำเงิน คือ เส้นทางที่ได้จากการใช้ GSP และเส้นที่สีเขียว คือ ที่คำนวณได้



ภาพที่ 4-40 ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ณ เวลาต่าง ๆ

ภาพที่ 4-41 ตำแหน่งของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปทางเส้นทางในมหาวิทยาลัย



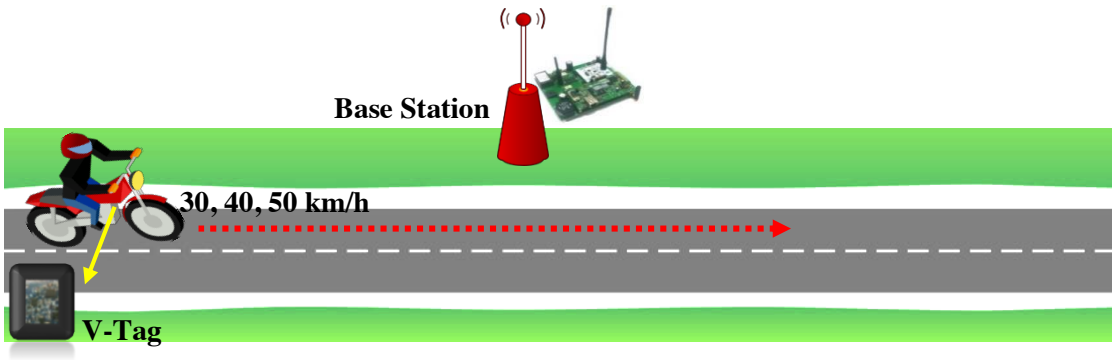
ภาพที่ 4-42 ค่าความผิดพลาดระหว่างเส้นทางที่ระบบสร้างขึ้นเทียบกับ GPS

จากภาพที่ 4-42 คือ กราฟที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง ณ เวลาต่าง ๆ ที่ได้จากตำแหน่งของ GPS โดยที่ระยะความเคลื่อนจากตำแหน่งสูงสุดอยู่ที่ 42 เมตร

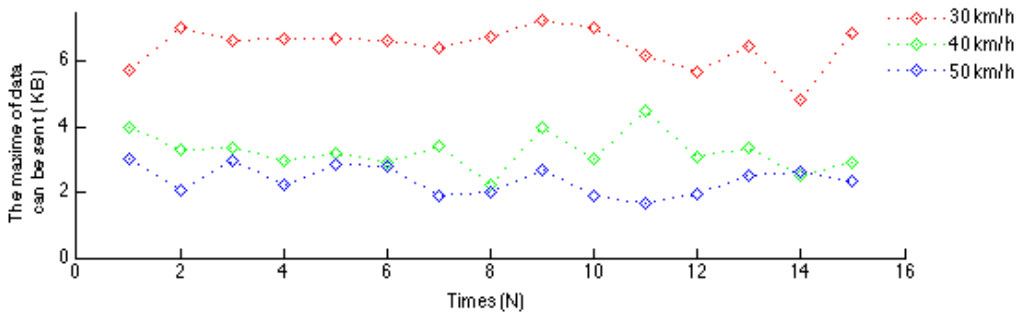
ทำการทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และ Base Station

สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง V-Tag และ Base Station นั้นจะเป็นการทดสอบในเรื่องของปริมาณการรับส่งข้อมูลระหว่างทั้งสองอุปกรณ์ว่าสามารถรับส่งข้อมูลกันในมากน้อยเพียงใดโดยมีผลการทดสอบของแต่ล่ะแบบดังนี้

1. การทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างตัว V-Tag และ Base station เมื่อตัว V-Tag มีการเคลื่อนที่แต่ตัว Base station ถูกติดตั้งไว้ข้างถนนไม่เคลื่อนที่ไปไหน ในกระบวนการทดสอบนี้ทำการทดสอบโดยใช้ Base Station ติดตั้งไว้ที่ข้างถนนจากนั้นทำการขับรถจักรยานยนต์ด้วยความเร็วตามที่กำหนดไว้ 30km/h, 40km/h และ 50km/h ผ่านบริเวณที่ติดตั้ง Base Station ไว้จำนวนทั้งหมด 15 ครั้งในแต่ละความเร็วจากนั้นนำผลข้อมูลที่ได้มาทำการประมวลผลว่าตัว V-Tag นั้นสามารถส่งข้อมูลไปยังระบบได้ทั้งหมดกี่ไบต์และจากภาพที่ 4-43 คือภาพจำลองการทดสอบ



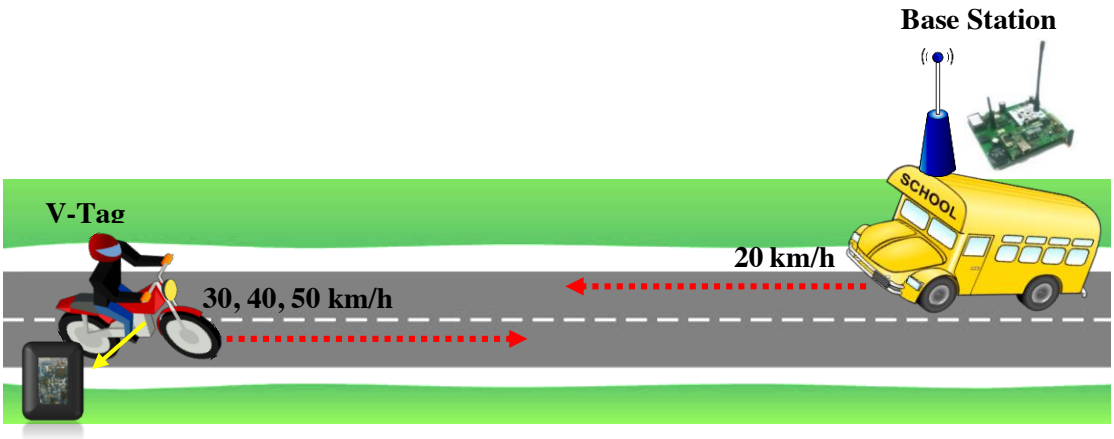
ภาพที่ 4-43 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 1



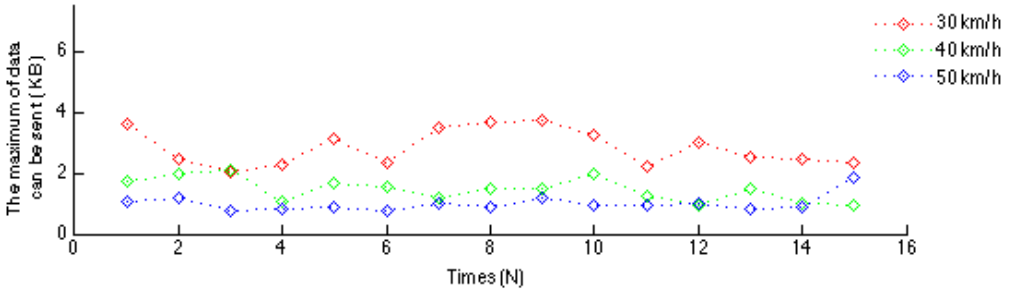
ภาพที่ 4-44 ประมาณข้อมูลที่ตัว Base Station สามารถรับได้ที่ความเร็วรถต่างๆ

จากภาพที่ 4-44 คือภาพผลการทดสอบเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่ตัว Base Station จะสามารถรับได้จาก V-Tag และพบว่าที่ความเร็ว 30 km/h ตัวอุปกรณ์สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 6.1 KB ที่ความเร็ว 40 km/h สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 3 KB และที่ความเร็ว 50 km/h สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 2.2 KB

2. การทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างตัว V-Tag และ Base station โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน ในกระบวนการทดสอบนี้ทำการทดสอบโดยใช้ Base Station ติดตั้งไว้รถโดยสารของมหาวิทยาลัยซึ่งจะวิ่งด้วยความเร็วลงที่ 20 km/h โดยที่รถจักรยานยนต์ด้วยความเร็วตามที่กำหนดไว้ 30km/h, 40km/h และ 50km/h ในทิศทางตรงกันข้ามกับรถโดยสาร ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 15 ครั้ง ในแต่ละความเร็ว จากนั้นนำผลข้อมูลที่ได้มาทำการประมวลผลว่าตัว V-Tag นั้นสามารถส่งข้อมูลไปยังระบบได้ทั้งหมดกี่ไบต์และจากภาพที่ 4-45 คือภาพจำลองการทดสอบ



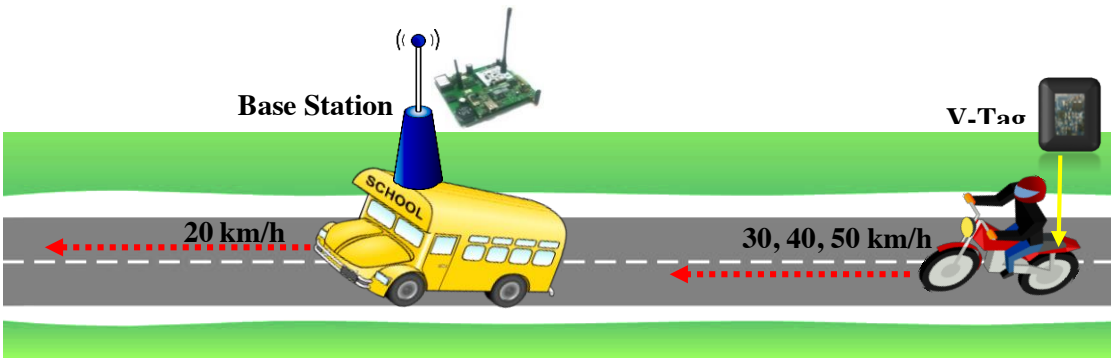
ภาพที่ 4-45 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 2



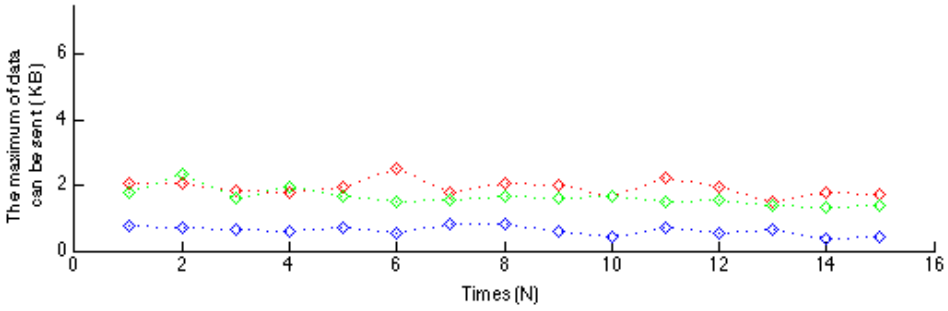
ภาพที่ 4-46 ประมาณข้อมูลที่ตัว Base Station สามารถรับได้ที่ความเร็วรถต่างๆ

ภาพที่ 4-46 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 2 เคือภาพผลการทดสอบเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่ตัว Base Station จะสามารถรับได้จาก V-Tag และพบว่าที่ความเร็ว 30 km/h ตัวอุปกรณ์สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 2.9 KB ที่ความเร็ว 40 km/h สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 1.5 KB และที่ความเร็ว 50 km/h สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 0.9 KB

3. ผลการทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างตัว V-Tag และ Base Station เมื่อตัว V-Tag มีการเคลื่อนที่แต่ ตัว Base Station อยู่กับเคลื่อนที่ ในกระบวนการทดสอบนี้ทำการทดสอบโดยใช้ Base Station ติดตั้งไว้รถโดยสารของมหาวิทยาลัยซึ่งจะวิ่งด้วยความเร็วลงที่ 20 km/h โดยที่รถจักรยานยนต์ด้วยความเร็วตามที่กำหนดไว้ 30km/h, 40km/h และ 50km/h ในทิศทางเดียวกันกับรถโดยสาร ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 15 ครั้ง ในแต่ละความเร็ว จากนั้นนำผลข้อมูลที่ได้มาทำการประมวลผลว่าตัว V-Tag นั้นสามารถส่งข้อมูลไปยังระบบได้ทั้งหมดกี่ไบต์และจากภาพที่ 4-47 คือภาพจำลองการทดสอบ



ภาพที่ 4-47 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 3



ภาพที่ 4-48 ประมาณข้อมูลที่ตัว Base Station สามารถรับได้ที่ความเร็วรถต่างๆ

ภาพที่ 4-48 การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลระหว่าง Base Station และ V-Tag แบบที่ 2 แคือภาพผลการทดสอบเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่ตัว Base Station จะสามารถรับได้จาก V-Tag และพบว่าที่ความเร็ว 30 km/h ตัวอุปกรณ์สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 1.9 KB ที่ความเร็ว 40 km/h สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 1.7 KB และที่ความเร็ว 50 km/h สามารถรับข้อมูลได้เฉลี่ยที่ 0.8 KB

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการศึกษา

จากการที่ปริมาณยานพาหนะในมหาวิทยาลัยเพิ่มและปัญหาที่ตามมาเกี่ยวกับเรื่องของการโจรกรรม และด้วยตัวอุปกรณ์ระบุตำแหน่งโดยใช้ GPS ที่มีอยู่ในปัจจุบันจะมีราคาถูก แต่ค่าบริการรายเดือนในการใช้เครือ 3G นั้นมีราคาแพงรวมถึงอาจไม่สามารถใช้ระบุตำแหน่งได้ในวันที่อากาศไม่สดใส และในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับสร้างระบุตำแหน่งและของยานพาหนะโดยไม่ใช้ GPS และทำการส่งข้อมูลตำแหน่งในปัจจุบันผ่านทางเครือข่ายไร้สายที่ออกแบบไว้ พบว่า ความแม่นยำในการระบุอยู่ที่ 8.71% โดยเทียบกับอุปกรณ์ประเภท GPS และในส่วนเรื่องระยะในการส่งข้อมูลพบว่าตัว Gateway หนึ่งตัวสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ประมาณสูงสุด 300 x 300 ตารางเมตร

นอกจากนี้งานวิจัยชิ้นนี้ยังได้เสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องการกับการแยกแยะความเคลื่อนไหวแต่ละประเภท และพบว่ามีความแม่นยำโดยรวมอยู่ที่ประมาณ 84.6% และสาเหตุของความไม่แม่นยำใกล้เคียงร้อยเปอร์เซ็นโดยเฉพาะเหตุการณ์รถถูกโจรกรรมขึ้นรถกระบะ คาดว่าเกิดจากในเหตุการณ์นั้นรูปแบบของการยกนั้นเกิดขึ้นได้หลากหลายทำให้รูปแบบข้อมูลนั้นไม่ค่อยมีความแน่นอน ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาในส่วนนี้ต่อไป

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการทดสอบการตรวจจับความเคลื่อนไหวของรถจักรยานยนต์

ประเภทกิจกรรม	ความถี่ในการตรวจพบ (ครั้ง)	ความแม่นยำ (ร้อยละ)
1. รถจอดนิ่ง	30	100%
2. รถถูกขยับหรือลากไปทางซ้าย	26	86%
3. รถถูกขยับหรือลากไปทางขวา	27	90%
4. รถถูกขับออกไปนอกลานจอด	26	86%
5. รถถูกโจรกรรมขึ้นรถกระบะ	21	70%
รวม	-	84.6%

ปัญหาที่พบ

จากการทดลองปัญหาที่พบ คือ เรื่องของการตั้งตัวอุปกรณ์ที่ตัวยานพาหนะ โดยจากการทดสอบพบว่า การที่อุปกรณ์จะสามารถทำงานได้ดีนั้น อุปกรณ์ที่ติดตั้งจะต้องถูกวางอยู่บนวัตถุที่สามารถป้องกันการสั่นไหว (Anti vibration) และปัญหาเรื่องของสัญญาณในการส่งข้อมูลนั้นจะมีประสิทธิภาพต่อเมื่อตัวรับสัญญาณ (Gateway) ถูกตั้งในบริเวณสูง ๆ จึงจะทำให้สามารถควบคุมพื้นที่ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร ได้

ข้อเสนอแนะแนวและทางในอนาคต

จากผลลัพธ์ในการทดลองพบว่าในการสร้างระบุตำแหน่งโดยใช้จากเซนเซอร์ 9 แกนเพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ จะทำให้การระบุทำแหน่งมีความผิดพลาดมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวอาจจะต้องมีการนำค่าตำแหน่งและระยะทางที่ได้จากการคำนวณด้วยความแรงสัญญาณ (RSSI) หรือตัว (Signal to noise ratio: SNR) โดยใช้ตัวรับสัญญาณอย่างน้อยสามตัวที่รับสัญญาณได้ มาประมวลผลร่วมกันเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

ไชยารัศมี กัณวัตม์, และ ดร.ชัชชัย คุณบัว. (2553). *ระบบติดตาม และระบุตำแหน่งของวัตถุในพื้นที่โล่ง โดยใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สาย (Zigbee).* ขอนแก่น: การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Abul Hasnat, Santanu Haider, Debotosh Bhattacharjee & Mita Nasipuri. (2017). *Gray scale image colorization using normalized cross correlation*. Coimbatore, India: Inventive Computation Technologies (ICICT).

Angel, G., & Brindha, A. (2011). *Real-time monitoring of GPS-tracking multifunctional vehicle path control and data acquisition based on ZigBee multi-hop mesh network*. San Diego, USA: International Conference on Recent Advancements in Electrical.

Bai Zonglong, Jinwei Sun, Boyan Huang & Lei Luo. (2017). *An improvement for accuracy of sound source location based on General Cross-correlation in reverberation environment.* Nagoya, Japan: Control, Automation and Robotics (ICCAR).

Bruno Ribeiro, António Espírito-Santo & Weber Calixto. (2014). Development of a low power wireless network to support elderly people based on eZ430-Chronos and SimpliciTI. Milano, Italy: Education and Research Conference (EDERC)

Caruso, M. (2000). *Applications of magnetic sensors for low cost compass systems*. Position Location and Navigation Symposium.

Chan Wei Hsu, Min Huai Shih, Hou Yu Huang & Yu Chi Shiue. (2012). *Verification of smart guiding system to search for parking space via DSRC communication.* QLD, Australia: ITS Telecommunications (ITST).

Dargie, W. (2009). *Analysis of Time and Frequency Domain Features of Accelerometer Measurements. Computer Communications and Networks*. San Francisco, USA: Proceedings of Internatonal Conference.

Dongfang Wang, Baoquan Fang & Shili Liang. (2016). *The Research progress about the intelligent recognition of lung sounds*. Chengdu, China: Computer and Communications (ICCC).

Fook Joo Chin, Qiang Fang, Tao Zhang & Irena Cosic. (2010). *A fast Critical Arrhythmic ECG waveform identification method using cross-correlation and multiple template matching.* Buenos Aires, Argentina: Engineering in Medicine and Biology Society.

Geeth Jayendra, Sisil Kumarawadu & Lasantha Meegahapola. (2007). *RFID-based anti-theft auto security system with an immobilizer*. Penadeniya, Sri Lanka: Industrial and Information Systems (ICIIS).

Han, J., Owusu, E., & Nguyen, L. T. (2012). *ACComplice: Location Inference using Accelerometers on Smartphones*. Taipei, Taiwan: Communication Systems and Networks (COMSNETS).

He, W., Tan, E., & Lee, E. (2009). *A solution for integrated track and trace in supply chain based on RFID & GPS.* Washington, DC, USA: Conference on Emerging Technologies & Factory Automation.

Huaqun Guo, H. S. Cheng & Y. D. Wu. (2009). An Automotive Security System for Anti-theft. Gosier, Guadeloupe: Networks, 2009. ICN '09. Eighth International Conference.

Hui Song, Sencun Zhu & Guohong Cao. (2008). *SVATS: A Sensor-Network-Based Vehicle Anti-Theft System*. Phoenix, AZ, USA: The 27th Conference on Computer Communications.

Jiali Ge, Tong Zhou & Fan Zhang. (2015). *Learning Part-Based Dictionary by Sparse NMF for Face Gender Recognition*. Hangzhou, China: Computational Intelligence and Design (ISCID).

Jung-Hsuan Wu, Chien-Chuan Kung, Jhan-Hao Rao, Pang-Chieh Wang, Cheng-Liang Lin & Ting-Wei Hou. (2008). *Design of an In-vehicle Anti-theft Component*. Kaohsiung, Taiwan: Intelligent Systems Design and Applications (ISDA).

Kalman, R. E. (1960). *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*. Journal of Basic Engineering.

Kurt Seifert & Oscar Camacho. (2007). *Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers*. Freescale Semiconductor Application Note.

Leonard A. McGee & Stanley F. Schmidt. (1985). *Discovery of the Kalman Filter as a practical tool for aerospace and industry.* NASA Technical Memorandum

Liansheng Wang & Yuanqing Xia. (2015). *Mars Entry Navigation With Uncertain Parameters Based on Desensitized Extended Kalman Filter*. IEEE Transsactions on Industrial Informatics.

Mandal, K., Sen, A., & Chakraborty, A. (2011). *Road traffic congestion monitoring and measurement using active RFID and GSM technology*. International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC).

Mohammad Shabani Sheijani, Asghar Gholami, Narjes Davari, & Mehdi Emami. (2013). *Implementation and Performance Comparison of Indirect Kalman Filtering Approaches for AUV Integrated Navigation System using Low Cost IM*U. Mashhad, Iran: Electrical Engineering (ICEE).

Reza, T. A., Barbeau, M. & Alsubaihi, B. (2013). *Tracking an on the run vehicle in a metropolitan VANET*. Intelligent Vehicles Symposium (IV).

S.J. Julier & J.K. Uhlmann. (2014*). Unscented filtering and nonlinear estimation*. Proceedings of the IEEE.

Sheijani, M. S., Gholami, A., & Davari, N. (2013). *Implementation and performance comparison of indirect Kalman filtering approaches for AUV integrated navigation system using low cost IMU*. Mashhad, Iran: Electrical Engineering (ICEE).

Shufeng, L., Cheng, L., & Zhenghua, Y. (2012). *Inertial navigation applications in navigation and positioning research*. Beijing, China: Signal Processing (ICSP).

Sriborrirux, W., Danklang, P., & Indra-Payoong, N. (2008a). *The design of RFID sensor network for bus fleet monitoring*. Phuket: International Conference on ITS Telecommunications.

Sriborrirux, W., Danklang, P., & Indra-Payoong, N. (2008b). *The Design of RFID Sensor Network for Bus Fleet Monitoring*. Chonburi: International Conference on ITS Telecommunications.

Sriborrirux, W., Leamsumran, P., & Danklang, P. (2014). *Real-time system for monitoring activity among the elderly using an RF SoC device with triaxial accelerometer data over a wireless sensor network*. London, UK: RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio).

Tahsin Arafat Reza, Michel Barbeau & Badr Alsubaihi. (2013). *Tracking an on the run vehicle in a metropolitan VANET*. Gold Coast, QLD, Australia: Intelligent Vehicles Symposium.

Vinoth Kumar Sadagopan, Upendran Rajendran & Albert Joe Francis. *Anti theft control system design using embedded system*. Beijing, China: Vehicular Electronics and Safety (ICVES)

Watthanawisuth, N., Lomas, T., & Tuantranont, A. (2012). *Wireless black box using MEMS accelerometer and GPS tracking for accidental monitoring of vehicles*. Hong Kong, China: Biomedical and Health Informatics (BHI).

Weifeng Zhong, Gong Chen, He Qi., Xiao Han Qi,& Zha Cheng (2014). *The Design of Vehicle Anti-theft System Based on the Improved D-S Evidence Theory*. Haikou, China: Future Generation Communication and Networking (FGCN).

Zhixiong Liu & Guiming He. (2005). *Research On Vehicle Anti-theft and Alarm System Using Facing Recognition*. Beijing, China: Neural Networks and Brain.