

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ณ
บทที่	

1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สถานที่ทำงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 บริบทวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ORB-SLAM2.....	3
2.2 Extended Kalman Filter	6
2.3 Odometry	10
2.4 GNSS	13
2.5 Gyroscope and Accelerometer Calibration	20
2.6 Magnetometer Hard & Soft Iron Calibration.....	28
2.7 Transverse Mercator.....	32
2.8 Covariance matrix	36
2.9 ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ (Robot Operating System).....	39
2.10 Coordinate Frames for Mobile Platforms	42
2.11 Camera Calibration	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12 robot localization package.....	49
2.13 การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยอาศัยข้อมูลจาก GPS, IMU และระบบวัดระยะด้วยภาพ.....	51
3 วิธีดำเนินการวิจัย	55
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	55
3.2 ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเซนเซอร์และกล้อง	56
3.3 ปรับเทียบเซนเซอร์และกล้อง	59
3.4 เขียนโปรแกรมสำหรับการหลอมรวมเซนเซอร์	60
3.5 การทดสอบอัลกอริทึม	63
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	66
4.1 กล่าวนำ.....	66
4.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของอัลกอริทึม.....	66
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	77
ภาคผนวก ข	92
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองของตำแหน่งที่ความเร็วไม่เกิน 2.0 m/s	66
4.2 ความคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งจริง (Absolute Trajectory Error).....	67
4.3 RMS error	68
4.4 ผลการทดลองของตำแหน่งที่ความเร็วไม่เกิน 1.0 m/s	69
4.5 ความคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งจริง (Absolute Trajectory Error).....	69
4.6 RMS error	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ส่วนประกอบหลักของระบบ ORB-SLAM2..... 6
2.2	การหาค่าระยะทางจากแหล่งกำเนิดเพียงแหล่งเดียว 14
2.3	ความกำกวมที่เกิดจากการวัดระยะทางจากสองแหล่งกำเนิด 15
2.4	การแก้ความกำกวมของตำแหน่งด้วยการวัดเพิ่มเติม 15
2.5	ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนนาฬิกาของเครื่องรับต่อการวัด 16
2.6	ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนในการวัดแบบอิสระต่อความแน่นอนของตำแหน่ง 17
2.7	ผู้ใช้อยู่บนผิวทรงกลม 18
2.8	ผู้ใช้อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมที่ระบายสี 19
2.9	(a) ระนาบของจุดตัด (b) ผู้ใช้อยู่ที่หนึ่งในสองจุดบนวงกลมที่ระบายสี (c) ผู้ใช้อยู่ที่หนึ่งในสองจุดบนเส้นรอบวงของวงกลม..... 19
2.10	ระบบพิกัดของเซ็นเซอร์วัดความเฉื่อย..... 21
2.11	ข้อมูลจากไจโรสโคปเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ยังไม่ผ่านการปรับเทียบ (Uncalibrated) และค่าที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว (Calibrated)..... 22
2.12	การใช้งานการอินทิเกรตไจโรสโคป 24
2.13	ขั้นตอนการปรับเทียบแอกเซเลอโรมิเตอร์..... 25
2.14	ข้อมูลจากแอกเซเลอโรมิเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ยังไม่ผ่านการปรับเทียบ (Uncalibrated) และค่าที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว (Calibrated)..... 26
2.15	ผลลัพธ์สำหรับกรณีทดสอบที่ IMU เลื่อนในทิศทาง +y เป็นระยะทาง 0.5 เมตร..... 28
2.16	แสดงความแปรปรวนของข้อมูล..... 37
2.17	รูปบริษัท Willow Garage 39
2.18	ROS Computation Graph 31
2.19	การแสดงผลภาพของโลกที่มีศูนย์กลางเป็นโลกที่คงที่พร้อมกรอบแผนที่เชิงสัมพัทธ์ 37
2.20	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟรม 39
2.21	รูป tf ที่มีหุ่นยนต์สองตัวที่ใช้แผนที่ต่างกันเพื่อระบุตำแหน่งและมีกรอบโลกร่วมกัน..... 45
2.22	บอร์ด charuco..... 49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24	แผนผังการทำงานของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งสามชนิด 45
3.1	ประกอบที่หุ้มกล่อง..... 57
3.2	ภาพรณไฟฟ้าขนาดเล็กที่นำมาใช้ทดสอบ 57
3.3	ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์และกล่อง..... 58
3.4	แผนผังการเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ 58
3.5	แผนผังภาพรวมของระบบหลอมรวมเซนเซอร์ 61
3.6	แผนภาพโครงสร้างการรวมข้อมูลเซนเซอร์ใน ROS เพื่อระบุตำแหน่ง..... 62
3.7	เส้นทางสำหรับการทดสอบ 64
4.1	กราฟเส้นทางจริงเปรียบเทียบกับเส้นทางที่ได้จากการทดสอบ..... 68
4.2	กราฟเส้นทางจริงเปรียบเทียบกับเส้นทางที่ได้จากการทดสอบ..... 70