

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249772



# รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

รถขับเคลื่อนอัตโนมัติไร้คนขับ

UNMANNED GROUND VEHICLE

โดย

ดร.ณรงค์เดช กิรดิทรานนท์

มหาวิทยาลัยสุรนารี

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยสุรนารี

พ.ศ. 2554



# รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

## รถขับเคลื่อนอัตโนมัติไร้คนขับ

### Unmanned Ground Vehicle



โดย

ดร.ณรงค์เดช กীরติพรานนท์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. ๒๕๕๔

ชื่อเรื่อง : รถขับเคลื่อนอัตโนมัติไร้คนขับ

ผู้วิจัย : ดร.ณรงค์เดช กิริติพรานนท์

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีที่พิมพ์ : 2554

สถานที่พิมพ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

จำนวนหน้างานวิจัย : 115 หน้า

คำสำคัญ : รถยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ รถไฟฟ้า การประมวลผลภาพ การระบุสิ่งกีดขวาง

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

### บทคัดย่อ

249772

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าให้สามารถเคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยมุ่งเน้นทั้งในส่วนของตัวรถ ระบบไฟฟ้า ระบบควบคุม และระบบประมวลผลสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัด ทั้งนี้เพื่อให้รถยนต์สามารถเคลื่อนที่เองได้โดยไร้คนขับ

งานวิจัยนี้ได้คัดแปลงรถกอล์ฟที่ต้องใช้คนบังคับให้สามารถถูกควบคุมจากระบบคอมพิวเตอร์ได้ และพัฒนาความสามารถของโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการตัดสินใจในการเคลื่อนที่ของรถ โดยส่วนประมวลผลหลักนี้จะรับข้อมูลจากหลายระบบย่อยคือระบบตรวจสอบขอบทาง ระบบตรวจจับเครื่องหมายจราจร ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง ระบบระบุตำแหน่งของรถ ระบบแผนที่ และระบบควบคุมตัวรถโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำมาประมวลผลเพื่อการตัดสินใจควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งในแต่ละระบบย่อยจะทำการตรวจวัดและสรุปเป็นสถานะของรถและสิ่งแวดล้อม เพื่อส่งมาให้ระบบตัดสินใจทำการวิเคราะห์และสั่งการ

จากการทดสอบระบบในภาพรวม รถที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถเคลื่อนที่อย่างอัตโนมัติ โดยสามารถเคลื่อนที่ไปบนถนนโดยพิจารณาจากขอบถนน และยังสามารถเลี้ยวในเส้นทางที่กำหนดได้ โดยใช้ระบบแผนที่ สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ แต่ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดเรื่องความสว่างของสภาพแวดล้อมและเงาของต้นไม้ที่ทำให้ระบบวิเคราะห์ขอบทางทำงานผิดพลาด

**Title** : Unmanned Ground Vehicle

**Researcher** : Dr. Narongdech Keeratipranon

**Institution**: Dhurakij Pundit University

**Year of Publication** : 2011

**Publisher** : Dhurakij Pundit University

**Sources**: Dhurakij Pundit University

**No. of page** : 115 page

**Keyword** : UGV, electric car, image processing, obstacle identification, microcontroller

**Copyright** : Dhurakij Pundit University

### **Abstract**

**249772**

The main objective of this project is to design and develop an Intelligent Vehicle System for automatic driving. This project adapts existing technology to solve a challenging problem, a car driving itself without any control from human.

The car platform of this project is obtained by modifying a standard 2-seat golf cart such that it is able to be controlled by a computer system. The main decision-making process receives information from many subsystems; road identification, traffic signal analyze systems, obstacle detection system, vehicle positioning systems, map direction system, and low-level hardware control system. Each subsystem will measure environment data, process them, and send extracted information to the decision-making system for further analyze and control the vehicle.

From the actual experiment at the Dhurakij Pundit university football field, the car can autonomously drive along the walking track from start to the goal. However, the main limitation of the system is the lighting condition of the environment and the shadows of the objects in the moving track. These shadows make the road identification process misunderstanding between the shadow and actual road boundary.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณนักศึกษาชมรมโรบอท ที่ช่วยกันพัฒนาชิ้นงาน อย่างตั้งใจยิ่ง โดยเฉพาะส่วนโครงสร้างที่ต้องใช้ทักษะและความเอาใจใส่อย่างสูง

ขอขอบคุณทีมนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยกันผลักดันให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วง แม้จะมีสิ่งท้าทายระหว่างการออกแบบและพัฒนาจำนวนมาก

ท้ายสุดนี้ ผู้จัดทำโครงการวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ และให้ความรู้แก่ผู้ที่สนใจในระดับหนึ่ง หากมีข้อบกพร่อง ผิดพลาดหรือไม่ถูกต้องประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย และยินดีรับฟังคำชี้แนะหรือคำติชมจากท่านผู้รู้ทุกท่าน เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการทำงานในอนาคตต่อไป

ดร.ณรงค์เดช กิริติพรานนท์

พฤศจิกายน 2554

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ .....	12
2.3.1 อุปกรณ์ GPS.....	12
2.3.2 อุปกรณ์ Laser Range Finder .....	13
2.3.3 อุปกรณ์กล้อง Webcam.....	17
2.3.4 อุปกรณ์ Digital Compass Module.....	18
2.3.5 อุปกรณ์ Wheel Encoder .....	18
2.4 การประมวลผลภาพ.....	19
2.4.1 ความรู้พื้นฐานด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	20
2.4.2 ระบบสีสำหรับภาพดิจิทัล .....	20
2.4.3 การแปลงระบบสี.....	23
2.4.4 การทำ Threshold.....	23
2.4.5 การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering).....	24
2.4.6 Edge Detection .....	25
2.5 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks ).....	27
2.6 การประมาณการเคลื่อนที่ .....	28
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	30
2.8 สรุป .....	31
<b>บทที่ 3 การออกแบบ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย</b> .....	<b>33</b>
3.1 การออกแบบระบบรถอัจฉริยะโดยรวม.....	33
3.1.1 แผนการทำงานของระบบตัดสินใจกลาง .....	33
3.1.2 แผนการทำงานของระบบระบุขอบทาง .....	34
3.1.3 แผนการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง.....	34

3.1.3	แผนการทำงานระบบระบุตำแหน่ง.....	34
3.1.4	แผนการทำงานของระบบวิเคราะห์สัญญาณจราจรและสิ่งกีดขวาง.....	35
3.1.5	แผนการทำงานของระบบแผนที่.....	35
3.1.6	แผนการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
3.2	การตัดแปลงและปรับปรุงระบบรถไฟฟ้า.....	36
3.2.1	ข้อมูลของรถที่นำมาพัฒนาเป็นรถอัจฉริยะ .....	37
3.2.2	การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ.....	38
3.2.3	ระบบการควบคุมรถแบบบังคับด้วยแท่นควบคุม .....	44
3.2.4	การควบคุมรถโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	45
3.2.5	เขียนโปรแกรมควบคุมระบบฮาร์ดแวร์ .....	47
3.3	ระบบตัดสินใจกลาง .....	48
3.3.1	การออกแบบการทำงานของระบบตัดสินใจกลาง .....	48
3.3.2	การเชื่อมต่อระบบตัดสินใจกลางกับส่วนต่างๆ .....	52
3.4	การวิเคราะห์สัญญาณภาพ .....	56
3.4.1	ระบบวิเคราะห์ป้ายจราจร .....	56
3.4.2	ระบบระบุขอบทาง .....	61
3.5	การวิเคราะห์สิ่งกีดขวาง.....	66
3.6	การวิเคราะห์สัญญาณ GPS.....	71
3.6.1	รูปแบบของสัญญาณ GPS .....	71
3.6.2	เขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าสัญญาณ GPS.....	72
3.7	ระบบแผนที่.....	74
3.7.1	สนามที่ใช้ในการทดสอบ .....	75

3.7.2 ส่วนของการระบุทิศทางด้วยแผนที่ (Map Referencing) .....	76
3.7.3 เขียนโปรแกรมติดต่อกับระบบตัดสินใจกลาง .....	79
3.8 สรุปขั้นตอนการออกแบบโดยรวม .....	79
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>80</b>
4.1 การควบคุมรถแบบบังคับด้วยมือ .....	80
4.1.1 ระบบควบคุมระยะใกล้ .....	80
4.1.2 ระบบควบคุมระยะไกล .....	80
4.2 การควบคุมรถผ่านคอมพิวเตอร์ .....	81
4.3 การวิเคราะห์สัญญาณภาพ .....	82
4.3.1 ระบบการวิเคราะห์หาขอบทาง .....	82
4.3.2 ระบบการวิเคราะห์ป้ายจราจร .....	85
4.4 การวิเคราะห์สิ่งกีดขวาง .....	87
4.5 การวิเคราะห์สัญญาณ GPS .....	89
4.6 การบอกทิศทางโดยใช้แผนที่ .....	92
4.7 การวิ่งรถอัตโนมัติในสนามฟุตบอล .....	97
4.8 สรุปผลการดำเนินงาน .....	99
<b>บทที่ 5 วิเคราะห์การทดลอง</b>	<b>102</b>
5.1 สมรรถนะของรถที่ดัดแปลง .....	102
5.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ .....	103
<b>บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย</b>	<b>106</b>
6.1 ภาพรวมของระบบ .....	106

6.2 การบรรจุวัตถุประสงค์ .....	106
6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	107
6.4 สรุป .....	107
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>109</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>112</b>

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 รถกอล์ฟไฟฟ้าที่ใช้ในการพัฒนา	4
1.2 ระบบการทำงานของรถอัจฉริยะในภาพรวม	5
2.1 Laser Range Finder รุ่นต่างๆของบริษัท Hokuyo	13
2.2 ลักษณะการตรวจวัดของ Laser Range	14
2.3 ลักษณะ Format ที่ใช้ในการติดต่อของ Laser Range	14
2.4 ลักษณะ Format ที่ส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ถึง Laser Range	16
2.5 ลักษณะ Format Echo ที่ได้จาก Laser Range	16
2.6 ลักษณะ Format ของ คำสั่ง MD0520056001102	17
2.7 อุปกรณ์ตรวจจับแสง และจานแถบสีขาว-ดำ	19
2.8 อุปกรณ์ Wheel Encoder	19
2.9 พิกัดของระบบภาพดิจิทัล	20
2.10 ระบบสี RGB	20
2.11 ระบบสี Grayscale	21
2.12 ระบบสี HSV	21
2.13 รูปการสร้างภาพไบนารี	22
2.14 ตัวอย่างการแปลงภาพเป็นแบบ Binary	22
2.15 ภาพในระบบสี Grayscale และภาพที่ทำ Threshold	24
2.16 ภาพก่อนและหลังการกำจัด Noise	24
2.17 ภาพก่อนและหลังการปรับความคมชัด	25
2.18 หลักการของการหาขอบด้วยวิธีต่างๆ	26
2.19 ตัวอย่างการหาขอบภาพโดยใช้ Edge detector แบบต่างๆ	26
2.20 โครงสร้างเซลล์สมอง	27
2.21 โมเดลจำลองการเคลื่อนที่ของรถ	28
2.22 อุปกรณ์ Microcontroller ตระกูล Atmel AVR-128	30
3.1 โครงสร้างระบบรถอัจฉริยะ	33
3.2 ระบบการเชื่อมต่อของระบบตัดสินใจกลาง	33
3.3 ระบบการเชื่อมต่อของระบบระบุขอบทาง	34

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4 ระบบการเชื่อมต่อของระบบระบุตำแหน่ง	34
3.5 ระบบการเชื่อมต่อของระบบวิเคราะห์สัญญาณจราจรและสิ่งกีดขวาง	35
3.6 ระบบการเชื่อมต่อของระบบแผนที่	35
3.7 ระบบการเชื่อมต่อของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	36
3.8 รถไฟฟ้าที่นำมาพัฒนา	37
3.9 ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องเว็บแคม	38
3.10 ภาพที่ถ่ายจากตำแหน่งกล้องในระบบเดิม ซึ่งติดห่างจากหลังคา	39
3.11 ภาพที่ถ่ายจากตำแหน่งกล้องในระบบใหม่ ซึ่งติดสูงใกล้หลังคา	39
3.12 Laser Range Finder รุ่น UTM-30LX	40
3.13 Digital Compass Module เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์	41
3.14 บอร์ด GPS GM-82	42
3.15 IC และวงจรภายในของ Max-232	42
3.16 วงจรการต่อใช้งาน MAX-232	42
3.17 บอร์ด MAX-232 ที่พัฒนาพร้อมใช้งาน	43
3.18 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ Wheel Encoder	43
3.19 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ Limit-switch เพื่อบังคับการเคลื่อน	45
3.20 โครงสร้างความสัมพันธ์ของระบบฮาร์ดแวร์	46
3.21 บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุมและรูปแบบการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน	47
3.22 ระบบการดำเนินงานโดยรวม	48
3.23 ส่วน GUI ของผู้ใช้โปรแกรม	49
3.24 ขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม	50
3.25 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเคลื่อนที่	51
3.26 ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่	51
3.27 ขั้นตอนการส่งงานการเคลื่อนที่และรับ-ส่งข้อมูล	52
3.28 ตัวอย่างคำสั่งการใช้งาน Serial port ด้วยโปรแกรม Matlab	53
3.29 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของระบบป้ายจราจร	56
3.30 ภาพป้ายจราจรที่ได้จากกล้องดิจิทัลชนิดป้ายเขียวขาว	56

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.31 ภาพป้ายเลี้ยวขวาที่ผ่านการใช้เทคนิคการเติมภาพ (imfill)	57
3.32 ภาพป้ายเลี้ยวขวาที่ผ่านการใช้เทคนิค Opening	57
3.33 ภาพป้ายเลี้ยวขวาที่ผ่านการใช้เทคนิค Data Type Conversion	58
3.34 ภาพป้ายเลี้ยวขวาที่ผ่านการใช้เทคนิค Circle Detection	58
3.35 ภาพป้ายเลี้ยวขวาที่ผ่านการใช้เทคนิค Cropping	59
3.36 ภาพป้ายเลี้ยวซ้ายที่ผ่านการใช้เทคนิค Cropping	59
3.37 ข้อมูลป้ายเลี้ยวขวาที่ระบบตรวจจับป้ายจราจรวิเคราะห์และส่งให้ระบบตัดสินใจกลาง	60
3.38 ข้อมูลป้ายเลี้ยวซ้ายที่ระบบตรวจจับป้ายจราจรวิเคราะห์และส่งให้ระบบตัดสินใจกลาง	60
3.39 ขั้นตอนของระบบระบุขอบทาง	61
3.40 ภาพที่ได้การกลิ้งเว็บแคม และทำการสร้างตาราง	62
3.41 การแปลงภาพสีชนิด RGB เป็นภาพสีชนิด Grayscale	62
3.42 การหาขอบภาพโดยใช้เทคนิค Canny	63
3.43 การกำจัดสัญญาณรบกวนหรือกำจัด Noise	63
3.44 การหาค่าของขอบทางในแกน X และแกน Y	64
3.45 ตำแหน่งรถที่อยู่ในตำแหน่งเลี้ยวซ้าย	65
3.46 ตำแหน่งรถที่อยู่ในตำแหน่งเลี้ยวขวา	65
3.47 ตำแหน่งรถที่ในตำแหน่งไม่ทำการเลี้ยว	65
3.48 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบระบุสิ่งกีดขวาง	66
3.49 ค่า Command Echo ที่ได้จาก Laser Range	66
3.50 ลักษณะของ Data ที่ได้จากการ Scan	67
3.51 ตัวอย่างการถอดรหัส	67
3.52 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสิ่งกีดขวาง	68
3.53 กราฟที่ได้จากการ Scan	69
3.54 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการ Scan	69
3.55 สิ่งกีดขวางอยู่ทางด้านขวา	70

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.56 สิ่งกีดขวางอยู่ทางด้านซ้าย	71
3.57 ค่าที่อ่านได้จาก GPS Module	73
3.58 แผนการดำเนินงานการวิเคราะห์สัญญาณ GPS	74
3.59 สนามฟุตบอลของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	75
3.60 สนาม Bangkok Racing Circuit	75
3.61 การทำงานของส่วนระบุทิศทางด้วยแผนที่	76
3.62 แผนการดำเนินการของส่วนระบุทิศทางด้วยแผนที่	76
3.63 การหามุมเลี้ยวในกรณีที่รถอยู่ในระยะที่กำหนดไว้	77
3.64 การหามุมเลี้ยวในกรณีที่รถไม่ได้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้	78
3.65 รถวิ่งไปถึงระยะที่กำหนดไว้แต่ไม่เลี้ยว	78
4.1 ตัวอย่างการหาขอบทาง	82
4.2 ตัวอย่างของภาพที่มีแสงมาก	83
4.3 ตัวอย่างของภาพที่มีแสงปานกลาง	83
4.4 ตัวอย่างของภาพที่มีแสงน้อย	84
4.5 ตัวอย่างของภาพที่มีเงาต้นไม้	84
4.6 ป้ายเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ป้ายจราจร	86
4.7 กราฟผลการทดลองการตรวจจับและวิเคราะห์ป้ายจราจร	86
4.8 ตำแหน่งของ Laser Range เมื่อติดตั้งกับตัวรถ	87
4.9 รูปแบบการทดลอง Scan วัตถุสองชนิดที่อยู่ด้านหน้าของ Laser Range	87
4.10 กราฟที่ได้จากการ Scan	88
4.11 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการ Scan	88
4.12 ภาพการรับข้อมูลจากชุดรับสัญญาณ GPS	90
4.13 ชุดข้อมูลที่ได้ทำการคัดเลือกออกมา	91
4.14 การพล็อตจุดลงบน Scale แผนที่ของสนามฟุตบอลของมหาวิทยาลัย	91
4.15 ทดสอบให้วิ่งไปถึงจุดที่กำหนด	92
4.16 ผลการทดสอบการวิ่งครบรอบ	93
4.17 รายละเอียดของการทดสอบการสอบถามทิศทาง	93

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.18 การทดสอบกับสนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	93
4.19 การทดสอบการเคลื่อนที่รอบสนามฟุตบอลมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	94
4.20 การกำหนดทางโค้งและแยกต่างๆ	94
4.21 การกำหนดจุดเริ่มต้น และการกำหนดเส้นทาง	95
4.22 การบอกชื่อทางโค้งหรือทางแยก	96
4.23 การบอกทิศทาง และองศาการเลี้ยว	96
4.24 สภาพช่องสนามในการทดสอบ ทั้งในช่วงแสงมากและแสงน้อย	97
4.25 เส้นทางการทดสอบและการวางตำแหน่งของป้ายจราจรและสิ่งกีดขวาง	97

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของรถไฟฟ้าที่ถูกใช้ดัดแปลงเป็นรถอัจฉริยะ	36
4.1 ร้อยละของความสำเร็จของการควบคุมรถด้วยคลื่นวิทยุแบบบังคับด้วยมือ ในภารกิจต่างๆ	79
4.2 ผลการทดลองโดยการควบคุมรถผ่านคอมพิวเตอร์	80
4.3 ผลการทดสอบเรื่องการวิเคราะห์หาขอบทาง	84
4.4 ผลจากระบบวิเคราะห์สิ่งกีดขวาง ซึ่งค่าที่ได้คือระยะทางคลาดเคลื่อน เฉลี่ยจากแต่ละรูปแบบการวางวัตถุ	88
4.5 ผลการทดลองการวิ่งรถอัตโนมัติ	98