

**การหลบหลีกสิ่งกีดขวางของรถอัจฉริยะบนพื้นราบ
ด้วยกลจักรวิทัศน์และตัวควบคุมแบบพีไอดี
Intelligent Car Obstacle Avoidance on Horizontal Ground
Using Machine Vision and PID Controller**

พุดิพงษ์ ขุนทรง¹, ปรณัฐ วิสุวรรณ² และ วิฑิต ฉัตรรัตน์กุลชัย^{1*}

¹ ห้องปฏิบัติการควบคุมหุ่นยนต์และการสัมผัสเทือน (CRVLab) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ. จตุจักร จ. กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

*นาย พุดิพงษ์ ขุนทรง: E-mail detectkids@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 080-645-9794, เบอร์โทรสาร 0-2579-4576

บทคัดย่อ

การหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในระบบของรถอัจฉริยะซึ่งต้องการความน่าเชื่อถือสูงในการตัดสินใจในหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นกับทางด้านหน้าของรถ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบกลจักรวิทัศน์เพื่อแยกแยะระหว่างสิ่งกีดขวางกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงใช้หลักการมองภาพสองตาเพื่อหาระยะห่างของวัตถุเพื่อนำมาออกแบบพฤติกรรมการหลบหลีกของรถอัจฉริยะที่มีรูปแบบการเคลื่อนที่การเลี้ยวแบบแอ็คเคอร์แมน โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมตำแหน่งของพวงมาลัยและควบคุมความเร็วของรถอัจฉริยะให้เหมาะสมกับการเลี้ยวอย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากการทดลองระบบกลจักรวิทัศน์ของรถอัจฉริยะเห็นได้ว่าระบบสามารถหาระยะห่างของวัตถุได้อย่างแม่นยำส่งผลให้สามารถออกแบบพฤติกรรมการเลี้ยวของรถอัจฉริยะได้อย่างเหมาะสม ตัวควบคุมแบบพีไอดีสามารถควบคุมมุมเลี้ยวของพวงมาลัยได้อย่างแม่นยำและความคุมความเร็วของรถโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง ± 0.1 กิโลเมตร/ชั่วโมงเท่านั้น

คำหลัก: รถอัจฉริยะ กลจักรวิทัศน์ ตัวควบคุมแบบพีไอดี การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

Abstract

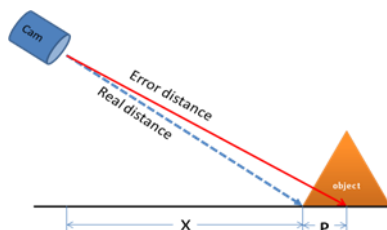
Effective obstacle avoidance is the most important factor in intelligent car system which requires good reliability in making decision to avoid obstacle at the front of the car. This research uses machine vision system to differentiate between obstacles and other environmental items and applies the principle of stereo vision to find the distance to the object in order to design the intelligent car avoiding behavior, which has Ackermann's turning pattern. PID controller is used in controlling the steering wheel position as well as controlling the car speed to be suitable for the effective turning. The machine vision experimental results show that the system can find accurate distance to the obstacle resulting in the ability to design

the appropriate turning behavior of the intelligent car. The PID controller can control the turning angle of the steering wheel accurately and can control the car speed within the ± 0.1 kilometer / hour margin only.

Keywords: Intelligent car, Machine Vision, PID Controller, Avoidance obstacle

1. บทนำ

การหลบหลีกสิ่งกีดขวางอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นพื้นฐานสำคัญของอัจฉริยะเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่และคนใช้ถนน ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับและแยกแยะสิ่งกีดขวางออกจากสิ่งแวดล้อมรวมถึงระยะห่างจากวัตถุถึงตัวรถเพื่อให้รถอัจฉริยะเลี้ยวหลบได้อย่างปลอดภัย โดยมีผู้เสนอแนวคิด เช่น Felipe Jiméze , José Eugenio Naranjo [1] ได้เสนอการใช้ Laserscanner ใช้ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางรวมถึงรถคันหน้าด้วยทิศทางที่ต่างกันแม้สามารถค้นหา ระยะห่างได้อย่างแม่นยำแต่ยังคงไม่สามารถแยกแยะได้ว่าสิ่งกีดขวางนั้นคืออะไรจึงเกิดการนิยมใช้การมองเห็นโดยกล้องวิดีโอเพื่อระยะห่างของสิ่งกีดขวางบนถนนซึ่งมีผู้เสนอแนวคิดเลือกใช้กล้องเพียงหนึ่งตัวเพื่อหาระยะห่างของวัตถุ เช่น นายกฤษดา โชคสินอนันต์ (2543) [2] เสนอวิธีตรวจจับความเร็วของรถยนต์โดยการประมวลผลจากสัญญาณวิดีโอที่ศกนโดยการทำงานแบบทันกาล แต่เกิดค่าความผิดพลาดแบบพาราแลกซ์ เมื่อกล้องติดตั้งบริเวณที่สูงจากระดับพื้นดินแล้วมองกตกลงยังสิ่งของ ภาพที่ปรากฏในกล้องนั้นบริเวณหน้ารถจะเป็นบริเวณที่อยู่ห่างจากกล้องไปเท่ากับ X+P ซึ่งระยะที่แท้จริงนั้นเป็นเพียงระยะ X เท่านั้น



รูปที่ 1 ค่าความผิดพลาดแบบพาราแลกซ์

หรือแนวคิดการเลือกใช้กล้องมากกว่าหนึ่งตัวเพื่อหาระยะของสิ่งกีดขวาง เช่น การค้นหาสิ่งกีดขวางของ

โดยอาศัยหลักการมองภาพของรถอัจฉริยะ REAL [3] โดยการประมวลผลของ 2 กล้องเรียกว่า หลักการมองภาพสองตา (Stereo Vision)



รูปที่ 2 รถอัจฉริยะของทีม REAL

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาและควบคุมรถอัจฉริยะด้วยภาพด้วยการควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ โปรแกรม LabVIEW ควบคุมกับ Vision Assistant ในการรับภาพและนำมาวิเคราะห์ด้วยกลจักรวิทัศน์ซึ่งใช้หลักการมองภาพสองตาเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางรวมถึงใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมตำแหน่งของพวงมาลัยและควบคุมความเร็วของรถ

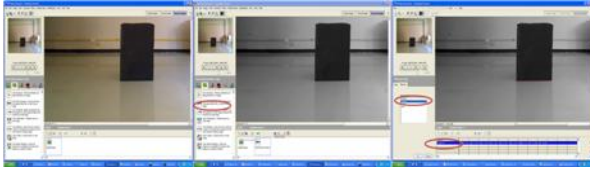
2. ระบบของรถอัจฉริยะ

2.1 ระบบกลจักรวิทัศน์

Machine Vision [4] เป็นการทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆมีความสามารถในการ "รับรู้" ภาพซึ่งทำให้เครื่องจักรสามารถตัดสินใจสั่งงานกลไกต่างๆได้เปรียบเทียบได้กับการ "มองเห็นและการรับรู้" ของมนุษย์สามารถแยกแยะสิ่งของต่างๆเมื่อมีวัตถุในมาขวาง โดยเมื่อมนุษย์มองเห็นสิ่งของต่างๆจะสั่งการให้สมองสั่งการเพื่อจะตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรเพื่อหลบวัตถุนั้น

2.1.1 การประมวลผลภาพจากกลจักรวิทัศน์

1. เราต้องทำการสอบเทียบภาพโดยวัดว่าพิกเซลกับขนาดของจริงเป็นเท่าใด เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะซ้าย ขวา ของวัตถุ

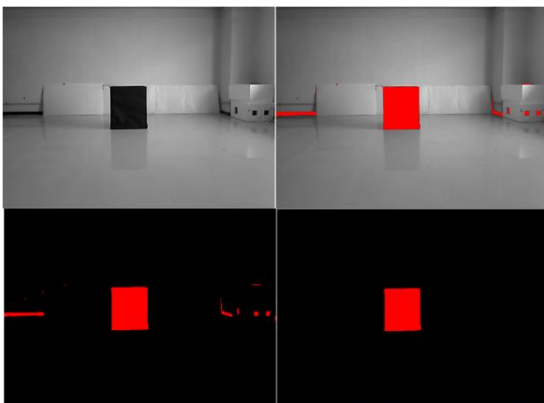


รูปที่ 3 การหาเซลล์รับภาพจากโปรแกรม LabVIEW

เราจะได้อัตราส่วนค่าพิกเซลต่อความยาวจริง

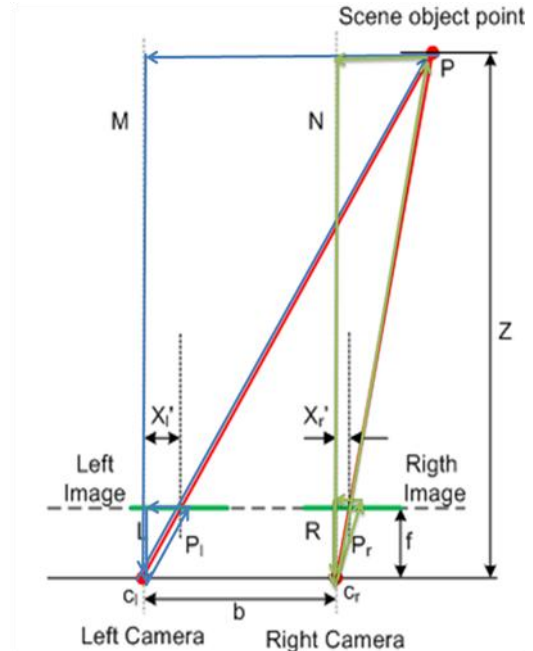
2. การทำแยกบริเวณ (Segmentation) กระบวนการนี้เป็นการแยกบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมุ่งเน้นว่า จะใช้วิธีใดหรือเงื่อนไขในการแยกวัตถุที่สนใจออกจากฉากหลัง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือจะใช้เงื่อนไขใดในการพิจารณาว่า พิกเซลที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น จัดเป็นของของวัตถุ (Objects) ใดที่อยู่ในภาพ หรือบริเวณใดที่จัดเป็นฉากหลัง (Background) นอกจากนี้ ยังต้องมีการคำนึงถึง การเก็บข้อมูลของวัตถุที่แยกออกมาให้ในรูปแบบใดจึงจะเหมาะสมสำหรับกระบวนการแยกภาพ

การแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold ซึ่งเป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าค่าเข้มชั้นแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพ Gray scale สำหรับการแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold นั้น จะเป็นการแปลงภาพ Gray scale ให้เปลี่ยนเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับ (Binary image) โดยการใช้เงื่อนไขว่าถ้าค่าความเข้มชั้นแสงที่พิกเซลที่ตำแหน่งต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ให้ค่าพิกเซลนั้นเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นดำมืดไป และถ้าพิกเซลใดมีค่าสูงกว่า Threshold แล้วให้พิกเซลนั้นมีค่า 255 หรือเปลี่ยนเป็นด้านสว่างไป



รูปที่ 4 ขั้นตอนการแยกบริเวณการใช้ Threshold

2.1.2 ระบบการรับภาพแบบสเตอริโอวิชั่น[5]



รูปที่ 5 ลักษณะทางเรขาคณิตของ Binocular stereo

จากรูปที่ 5 จุด P จะปรากฏ เป็นจุด P_L และ P_R บนระนาบภาพด้านซ้าย และระนาบภาพด้านขวา ตามลำดับ และกำหนดให้จุดกำเนิดของพิกัดของรูปอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งศูนย์กลางเลนส์ของกล้องด้านซ้าย ดังนั้นเราเปรียบเทียบสามเหลี่ยมคล้าย PMC_L ด้านซ้ายและ PMC_R ด้านขวาดังนั้นเราจะได้

$$\frac{x}{z} = \frac{x'_L}{f} \quad (1)$$

ในทำนองเดียวกัน จากสามเหลี่ยมคล้าย PNC_L และ P_NRC_R เราจะได้

$$\frac{x-b}{z} = \frac{x'_R}{f} \quad (2)$$

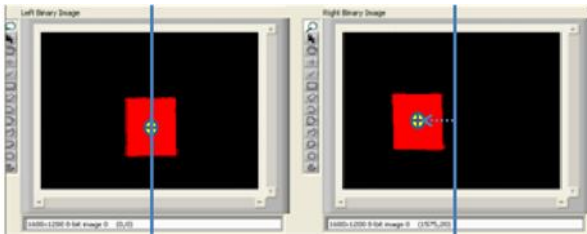
เรารวมสมการ (1) และ (2) เข้าด้วยกันเราจะได้

$$z = \frac{bf}{(x'_L - x'_R)} \quad (3)$$

x'_L คือ ระยะตำแหน่งของภาพจากกล้องซ้าย เมื่อเทียบกับแกน M และ x'_R ระยะตำแหน่งของภาพ

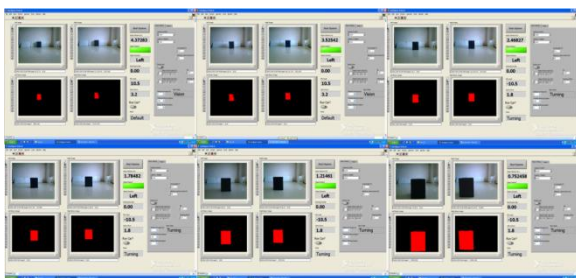
จากกล้องขวาเมื่อเทียบกับแกน N , b คือระยะห่างระหว่างกล้องสองตัว, f คือ ความยาวโฟกัส ดังนั้นเราจะหาระยะ Z หรือระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของภาพได้จากค่า Disparity ของภาพนั่นเอง ในการมองของมนุษย์นั้นจะมีหลักการมองเหมือนกับหลักการของ Stereo vision ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นเพียงแต่มาจากหลักการที่กล่าวมา แกน Optical ของกล้องทั้งสองนั้นขนานกัน

ภาพที่ได้จากการประมวลผลนั้นอยู่ด้านซ้ายหรือขวาเรานำค่าที่จากภาพมาคำนวณหาจุดศูนย์กลางของภาพที่ได้รับจากกล้องทั้งสองแล้วนำมาเปรียบเทียบว่าด้านไหนมีค่ามากกว่ากัน



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบหาตำแหน่งของวัตถุโดยรับภาพจากกล้องทั้ง 2 ตัว ซึ่งค่าที่ได้คือด้านซ้าย

เขียนโปรแกรม LabVIEW [6] จากสมการ (3) และเราทำการเคลื่อนที่วัตถุในระยะ 4.2, 3.6, 3, 2.4, 1.8 และ 1.2 เมตรตามลำดับ



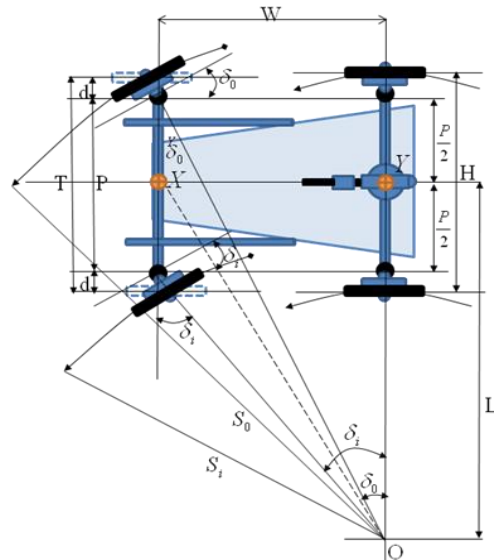
รูปที่ 7 ภาพที่ได้จากกล้องในระยะต่างๆ

2.2. ระบบการเลี้ยว

2.2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ของรถแบบแอ็คเคอร์แมน

ระบบการเลี้ยวแบบแอ็คเคอร์แมน[7] เป็นระบบการเลี้ยว ซึ่งขณะเลี้ยวรถเพลาล้อหน้าจะไม่เคลื่อนที่ไปทั้ง

แกน จะมีเฉพาะชิ้นส่วนที่อยู่ด้านนอกของสลักเท่านั้นที่เคลื่อนที่ โดยการบังคับของชิ้นส่วนต่างๆที่ต่อมาจากพวงมาลัย ระบบการเลี้ยวแบบแอ็คเคอร์แมนนี้ใช้กับรถยนต์ปัจจุบันทั้งหมด นอกจากรถที่ใช้บังคับเลี้ยวด้วยไฮดรอลิกส์



รูปที่ 8 ระบบการเลี้ยวแบบแอ็คเคอร์แมน

ตารางที่ 1 ตัวแปรของระบบการเลี้ยว

P	ความกว้างระหว่างสลักล้อหน้า
W	ความยาวของช่วงล้อหน้า-หลัง
δ_i	มุมเลี้ยวของล้อใน
δ_o	มุมเลี้ยวของล้อนอก
d	ระยะระหว่างสลักล้อถึงศูนย์กลางของยาง
T	ความกว้างของช่วงล้อหน้า
H	ความกว้างของช่วงล้อหลัง
L	ระยะตั้งฉากจากจุดกึ่งกลางล้อหลังถึงจุดศูนย์กลางของการเลี้ยว
S_i	รัศมีการเลี้ยวของล้อหน้าล้อใน
S_o	รัศมีการเลี้ยวของล้อหน้าล้อนอก
R_i	รัศมีการเลี้ยวของล้อหลังล้อใน
R_o	รัศมีการเลี้ยวของล้อหลังล้อนอก

ความสัมพันธ์ของมุมเลี้ยวและความยาวต่างๆ

$$\cot \delta_i = \frac{L - \frac{1}{2}P}{W} \quad (4)$$

$$\cot \delta_o = \frac{L + \frac{1}{2}P}{W} \quad (5)$$

รัศมีการเลี้ยว

$$S_i = W \operatorname{cosec} \delta_i - d = W \operatorname{cosec} \delta_i - \frac{1}{2}(T - P) \quad (6)$$

$$S_o = W \operatorname{cosec} \delta_o + d = W \operatorname{cosec} \delta_o + \frac{1}{2}(T - P) \quad (7)$$

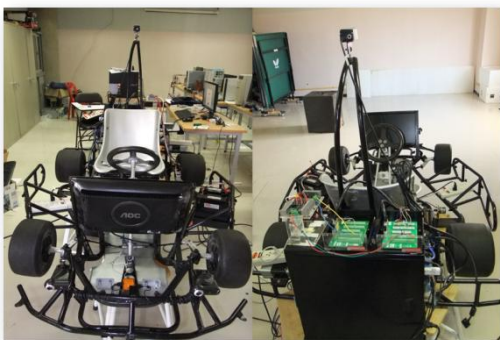
$$R_i = L - \frac{1}{2}H = W \cot \delta_i + \frac{1}{2}P - \frac{1}{2}H$$

$$= W \cot \delta_i + \frac{1}{2}(T - P) \quad (8)$$

$$R_o = L + \frac{1}{2}H = W \cot \delta_o + \frac{1}{2}P + \frac{1}{2}H$$

$$= W \cot \delta_o + \frac{1}{2}(T + P) \quad (9)$$

3. รถทดลองใช้การเลี้ยวแบบแอ็คเคอร์แมน ประกอบด้วยโครงสร้างที่มีค่าดังนี้



รูปที่ 9 ภาพหน้าและหลังของรถอัจฉริยะ

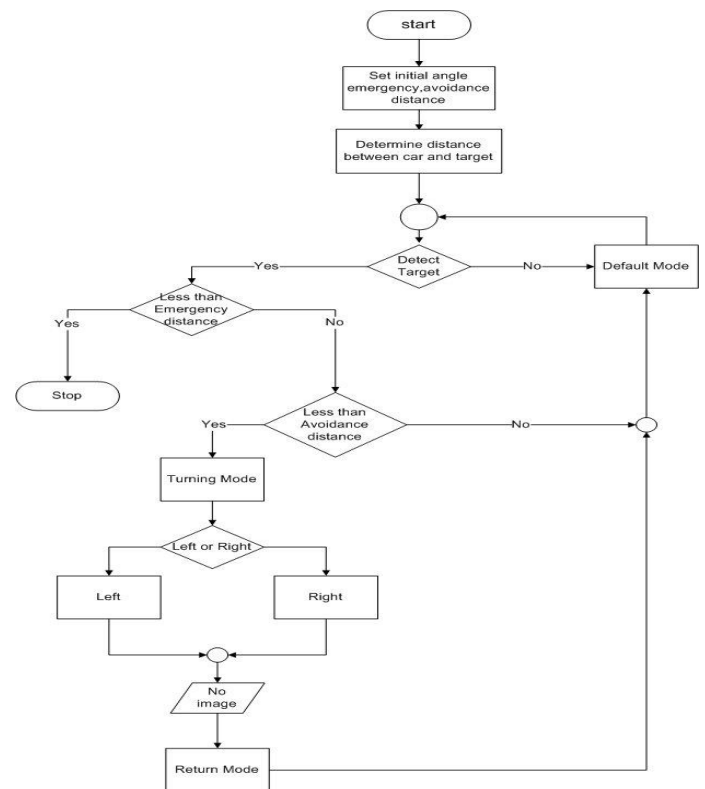
ตารางที่ 2 ค่าความยาวต่างๆของรถอัจฉริยะ

ตัวแปร	ความยาว หน่วย mm
W	1080
P	570

T	1000
H	1130
L	2600

จากตารางที่ 2 เราสามารถคำนวณหารัศมีสูงสุดได้จากสมการที่ (6), (7), (8) และ (9) ตามลำดับ เราจะได้ค่ารัศมีการเลี้ยวสูงสุดคือ 3165 มิลลิเมตรและมุมล้อในคือ 25 องศา แต่เพื่อความปลอดภัยเราจึงกำหนดช่วงระยะเลี้ยว คือ ระยะ 4 เมตร

3.1 การออกแบบพฤติกรรม



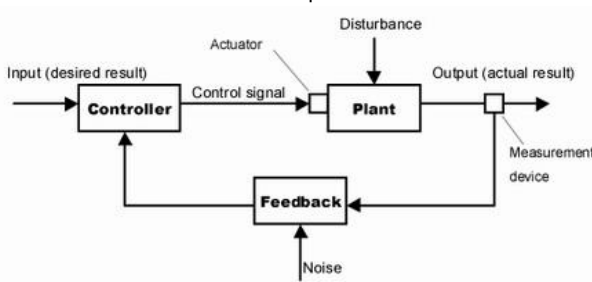
รูปที่ 10 เป็นการออกแบบพฤติกรรมของรถอัจฉริยะ เมื่อเรากำหนดช่วงระยะจากรัศมีการเลี้ยวเรากำหนดพฤติกรรมดังนี้

1. ระบบปกติ (Default Mode) เป็นพฤติกรรมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามปกติ
2. ระบบเลี้ยว (Turning Mode) เป็นพฤติกรรมเมื่อมีวัตถุเข้ามาสู่ระยะหลบวัตถุ (avoidance distance) รถจะทำการเลี้ยวเพื่อหักหลบวัตถุ

- ระบบหมุนค่ากลับ (Return Mode) เป็นการหมุนพวงมาลัยกลับองศาเดิม เพื่อเข้าสู่ระบบปกติ
- ระบบหยุดฉุกเฉิน เป็นพฤติกรรมที่ขึ้นกับระยะที่วัตถุที่ใกล้เกินกว่าจะหลบได้ (Emergency distance) ในที่นี้เราตั้งไว้ที่ 1.5 เมตร ล้อของรถจะหยุดหมุนทันที

3.2 ระบบขับเคลื่อน

เราจะควบคุมตำแหน่งของพวงมาลัยและควบคุมความเร็วของล้อด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี [8]



รูปที่ 11 ภาพแสดงการทำงานของมอเตอร์

โดยเรากำหนดอัตราขยาย ดังนี้ คือ

$$K_s = [K_p \quad K_i \quad K_d] = [0.005 \quad 0.001 \quad 0]$$

$$K_L = [K_p \quad K_i \quad K_d] = [0.007 \quad 0.03 \quad 0]$$

$$K_R = [K_p \quad K_i \quad K_d] = [0.007 \quad 0.03 \quad 0]$$

โดย K_s คือค่าอัตราขยายของมอเตอร์ของพวงมาลัย

K_L คือค่าอัตราขยายของมอเตอร์ล้อซ้าย

K_R คือค่าอัตราขยายของมอเตอร์ล้อขวา

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลของระบบกลจักรวิทัศน์

ตารางที่ 3 ผลของการหาระยะห่างของวัตถุจากกล้อง

ความยาว โฟกัส (มิลลิเมตร)	ระยะทาง(เมตร)					
	4.2	3.6	3.0	2.4	1.8	1.2
	m	m	m	m	m	m
10 mm	6.48	4.8	3.8	2.75	1.88	1.13
9.5 mm	6.28	4.66	3.64	2.62	1.78	1.08
9 mm	5.95	4.42	3.5	2.48	1.69	1.00
8.5 mm	5.62	4.17	3.27	2.34	1.60	0.96
8 mm	5.36	3.95	3.07	2.20	1.51	0.90
7.5 mm	4.95	3.69	2.80	2.07	1.41	0.85

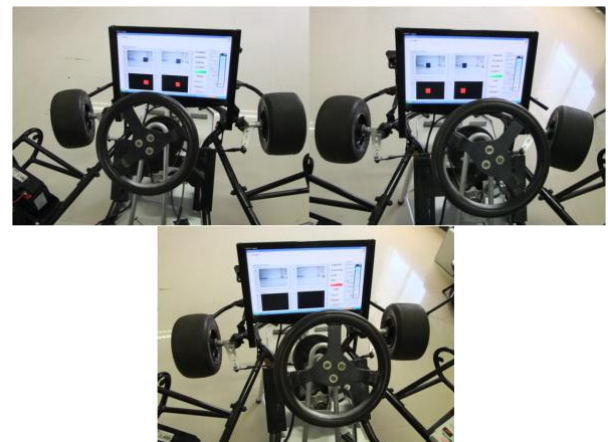
7 mm	4.63	3.43	2.70	1.93	1.32	0.79
6.5 mm	4.30	3.18	2.50	1.79	1.22	0.73
6 mm	4.00	2.96	2.31	1.65	1.13	0.68

จากการทดลองหาความยาวโฟกัสตามตารางที่ 3 เราเลือกความยาวโฟกัสที่ระยะทางที่ 4.2 ตามระยะทางที่เหมาะสมกับความปลอดภัยตามหัวข้อที่ 3 ผลจากตารางที่ 3 เราเลือกความยาวโฟกัส 6.5 mm ซึ่งระยะเริ่มต้นที่ 4.2 เมตรจากเรารวัดได้ 4.3 เมตรมีความผิดพลาดได้ระยะเท่ากับ 0.1 เมตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 2.380% และเมื่อระยะระหว่างวัตถุเปลี่ยนไปเป็น 3.6, 3, 2.4, 1.8 และ 1.2 m ตามลำดับค่าความผิดพลาดลดลงจนมีค่าใกล้เคียงที่สุดคือ 4.2 m ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเพียง 0.1 เมตร ซึ่งคิดเปอร์เซ็นต์ได้ 2.380 %

ถ้าเราเลือกความยาวโฟกัส 6 mm ซึ่งระยะเริ่มต้นที่ 4.2 เมตรจากเรารวัดได้ 4 เมตรมีความผิดพลาดได้ระยะเท่ากับ 0.2 เมตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 4.762% และเมื่อระยะระหว่างวัตถุเปลี่ยนไปเป็น 3.6, 3, 2.4, 1.8 และ 1.2 m ตามลำดับค่าความผิดพลาดลดลงจนมีค่าใกล้เคียงที่สุดคือ 4.2 m ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเพียง 0.2 เมตร ซึ่งคิดเปอร์เซ็นต์ได้ 4.761 %

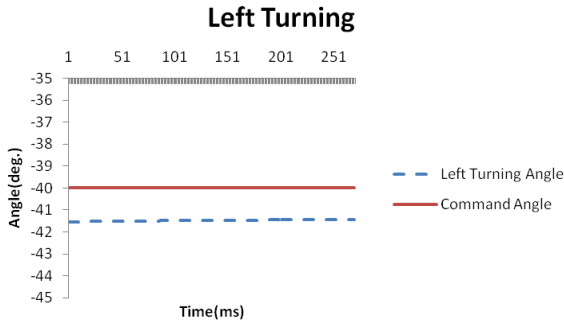
เราจึงเลือกใช้ความยาวโฟกัสที่ 6.5 มิลลิเมตรเนื่องจากมีค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า

4.2 ผลของระบบการเลี้ยว

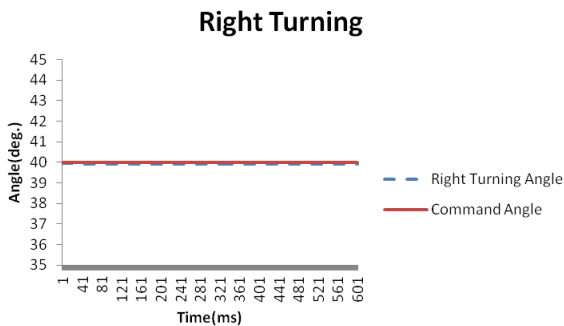


รูปที่ 12 ภาพแสดงการเลี้ยวของพวงมาลัย

เราสามารถควบคุมให้พวงมาลัยหมุนไป 4 องศาเพื่อจะได้มุมเลี้ยว 25 องศาตั้งเช่นที่คำนวณไว้ที่สมการ (4)



(ก)



(ข)

รูปที่ 13 (ก) มุมองศาของพวงมาลัยที่เลี้ยวด้านซ้าย
(ข) มุมองศาของพวงมาลัยที่เลี้ยวด้านขวา

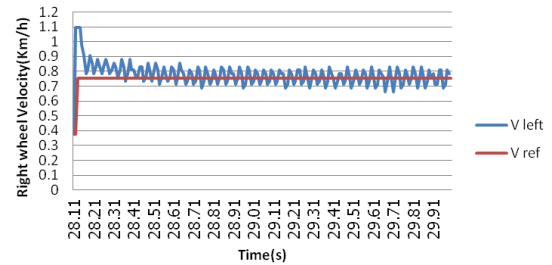
ผลจากการเลี้ยวของพวงมาลัยแสดงดังรูปที่ 13 ได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างมุมที่สั่งให้แกพวงมาลัยกับมุมที่พวงมาลัยทำงานได้จริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเลี้ยวซ้ายพวงมาลัยจะหมุนไปทางด้านซ้ายเราตั้งค่าเป็นเป็นด้านลบ (-) ผลที่ได้คือ -41.5 องศา มีค่าความผิดพลาด 3.632% และผลจากการเลี้ยวขวาเราตั้งค่าเป็น (+) จะได้ 39.940 องศา มีค่าความผิดพลาด 0.149%

4.3 ผลของระบบขับเคลื่อน

เราได้ทำการเปลี่ยนความเร็ว ณ ความเร็วต่างๆ ตั้งแต่ถอยหลังและเดินหน้า 1.5 km/h โดยป้อนกระแสให้แก่ตัวควบคุมมอเตอร์โดยค่า (+) เป็นเดินหน้า และค่า (-) เป็นการถอยหลัง ค่าที่ได้จากการ

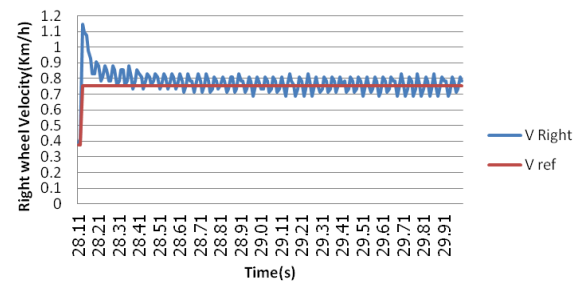
ทดลองนั้นสามารถติดตามคำสั่งของการเปลี่ยนความเร็วได้โดยมีค่าความผิดพลาด ไม่เกิน $\pm 10\%$

Left wheel Velocity



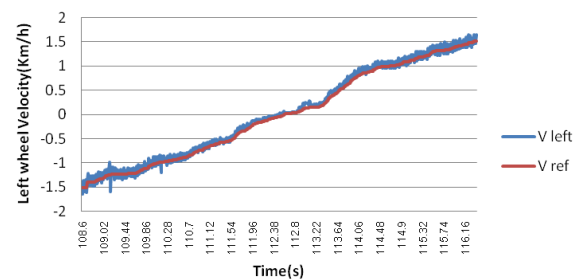
(ก)

Right wheel Velocity



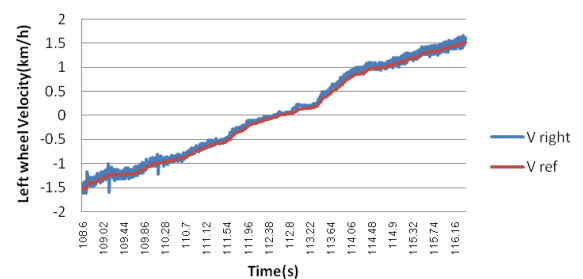
(ข)

Left wheel Velocity



(ค)

Right wheel Velocity



(ง)

รูปที่ 14 (ก) ความเร็วของล้อซ้าย ณ 0.7 km/h
(ข) ความเร็วของล้อขวา ณ 0.7 km/h
(ค) ความเร็วของล้อซ้าย

(ง) ความเร็วของล้อซ้าย

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลของระบบกลจักรวิทัศน์

จากการดำเนินงานวิจัยระบบกลจักรวิทัศน์จนสำเร็จ โปรแกรมสามารถที่จะทำได้ตามจุดประสงค์กล่าวคือ โปรแกรมสามารถที่จะตรวจจับวัตถุด้วยความแตกต่างของสี ระบุตำแหน่งพิกัดอ้างอิงของวัตถุ และสามารถที่จะหาระยะลึกของวัตถุได้โดยทำการเลือกกระยะโฟกัสจากหัวข้อ 4.1 แต่ในโปรแกรมส่วนการตรวจจับวัตถุด้วยความแตกต่างของสีนั้นยังมีความคลาดเคลื่อนมากโดยเห็นได้ว่าเมื่อความยาวโฟกัสเปลี่ยนไปค่าความแม่นยำของระยะทางจะเปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากจุดที่ตัดกันของ Scene Object Point ดังรูปที่ 3 และอาจเป็นการตั้งองศากล้อง หากผิดเพี้ยนไปเพียงนิด จะทำให้ตำแหน่งพิกัดเปลี่ยนไปมาก และประการถัดมาจากการที่แสงไม่สามารถควบคุมให้มีความคงที่ได้ ทุกครั้งที่กล้องจับภาพ แสงจะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ดังนั้น ทำให้โปรแกรมส่วนการตรวจจับวัตถุเห็นสีผิดเพี้ยนไป จึงส่งผลให้โปรแกรมส่วนการระบุพิกัดของวัตถุผิดพลาด และจะส่งผลต่อไปถึงโปรแกรมส่วนการวัดระยะลึกอีกด้วย

5.2 สรุปผลของระบบการเลี้ยว

เห็นได้ว่าเป็นการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์โดยใช้ตัวควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งได้มุมมองที่ต้องการเพื่อทำพวงมาลัยหมุน และบังคับให้ล้อด้านหน้าทั้งสองที่เป็นระบบของการเลี้ยวแบบแอสเคอร์แมนหมุนไปยังองศาที่ต้องการโดยที่การเลี้ยวของพวงมาลัยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการเลี้ยวซ้ายและการเลี้ยวขวา 3.632% และ 0.149% ตามลำดับ เพื่อที่จะหลบหลีกวัตถุที่ระยะปลอดภัยได้ในระยะ 4 เมตร รวมถึงการออกแบบพฤติกรรมของรถอัจฉริยะทำหน้าที่ว่าสั่งให้รถวิ่งหลบไปทิศทางใด

5.3 สรุปผลของระบบการขับเคลื่อน

โดยการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงนี้ระบบสามารถเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

แต่ระบบยังมีความคลาดเคลื่อนเช่นการแกว่งของการตอบสนองของระบบจากที่ต้องการไปบ้างแต่อยู่ใน steady state ไม่เกิน ± 0.1 km/h ในจากรูปที่ 14 ซึ่งเราสามารถกรองสัญญาณจะทำให้ค่าที่ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท National Instruments ที่ช่วยการอบรมโปรแกรม LabVIEW และโปรแกรม Machine Vision ให้แก่ผู้เขียน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Felipe Jiméze , José Eugenio Naranjo (2553). Improving the obstacle detection and identification algorithms of a laserscanner-based collision avoidance system. Transportation Research Part C November 2010
- [2] นายกฤษดา โชคสินอนันต์ (2543). การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวิทัศน์ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] นายวีรพล สุขสมบูรณ์ และ ธเนศ เคารพพงศ์ (2552) การค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนนโดยหลักการมองภาพสองตาในรถอัจฉริยะ REAL, ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [4] What is Machine Vision? URL:http://cdn.researchers.in.th/assets/media/files/000/000/236/original_chapter01.pdf?1285216004
- [5] สมาคมวิชาการหุ่นยนต์ไทย.โครงการพัฒนารถอัจฉริยะ, กรุงเทพฯ.
- [6] เจริญ เพชรมุณี.2547.เรียนลัด LabVIEW, ซีเอ็ดยุคทัศน์, กรุงเทพฯ.
- [7] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์(2528). กลศาสตร์ยานยนต์, วศ.บ. (จุฬา)
- [8] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ(2548).การควบคุมระบบพลศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่ 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร