RMUTT 2-3-0-09 (EN-08)

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

การประยุกต์ใช้กระจกโค้งนูนเพื่อหาความเร็วของวัตถุ

The Spherical Mirror Application for Object Velocity Estimation

เดชรัชต์ ใจถวิล
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
E-mail: deachrut@hotmail.com

จักรี ศรีนนท์ฉัตร
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
E-mail: jakkree.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการวัดความเร็วของวัตถุ โดยใช้เทคนิคการจับภาพเฟรมต่อเฟรม (Image differencing) ด้วยกระจกโค้งนูนและกล้องวีดีโอซึ่งติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งสูงเหนือวัตถุ เพื่อตรวจจับวัดค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงกับจุดอ้างอิงที่กำหนดไว้ และทำการคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุบนถนนทดสอบ โดยใช้รถยนต์เป็นวัตถุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านพิกัดจุดอ้างอิง $(x_{0..w}, y_{0..h})$ *ที่ทุกระยะ 1 เมตร วัตถุจะถูกตรวจจับจำนวนครั้ง (n) ที่เวลา* t_{i-1} *และ* t_i *โดย* $t_i - t_{i-1} = 1$ *วินาที โดยทำการทดลองที่ค่าความเร็วของวัตถุแตกต่างกัน ตั้งแต่ 10 ถึง 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลภาพร่วมกับภาพที่ได้จากกระจกโค้งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 5% เมื่อเทียบกับค่าความเร็วจริงที่วัดได้*

Abstract

This research presents the velocity evaluation technique of an object by using convex omni-direction mirror with fix position single lens video camera place over an object as an image capturing device. The image differencing method was adopted to extract moving object from each video frame. To evaluate the velocity of a moving object, several set-points were setup as reference-points $(x_0..w, y_0..h)$ *on the target area with the distance of 1 meter apart. As the object moves pass the reference-point, the program was triggered to average a number of reference-points (n) that object passes through within 1 second* $(t_i - t_{i-1})$*. In this present study, a car with speed vary from 10 km/hr up to 70 km/hr was used as the moving object. The result shows that the proposed technique is applicable to evaluate the velocity of moving object using single camera with convex omni-direction mirror with small error as only 5%.*

คำสำคัญ

เทคนิคการมองเห็นแบบรอบตัว, กระจกโค้งนูน, การวัดความเร็ว, การเคลื่อนที่ของวัตถุ

1.บทนำ

การประยุกต์ใช้กล้องรอบทิศทางถูกใช้อย่างกว้างขวางในระบบมัลติมีเดียและระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ [1] นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีการศึกษาถึงภาพที่เกิดจากกระจกชนิดต่างๆ อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น กระจกทรงกรวย [1] กระจกทรงกลม [2] กระจกโค้งแบบไฮโปโบลิกและกระจกโค้งนูน [3]

ซึ่งพบว่าภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูนให้มุมมองของภาพรอบทิศทางในแนวนอนได้ 360 ° คุณสมบัติการให้ภาพในมุมกว้างทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเก็บภาพของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบได้ [4] จากการศึกษาพบว่าการนำกระจกโค้งนูนมาประยุกต์ใช้ในการหาความเร็วของวัตถุเคลื่อนที่ยังมีอยู่จำกัด

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้กระจกโค้งนูนเพื่อคำนวนหาความเร็วของการเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนนด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สร้างอุปกรณ์การตรวจจับความเร็วของรถยนต์บนท้องถนนที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

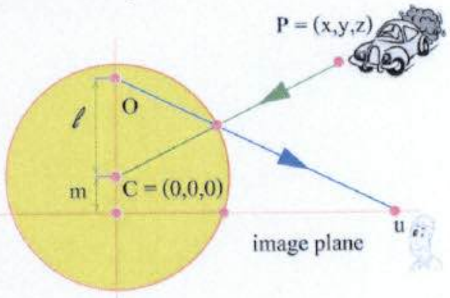
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพที่เกิดบนกระจกโค้งนูน

ภาพที่เกิดบนกระจกโค้งนูนเกิดขึ้นจากการสะท้อนของแสงบนกระจกโค้งนูน (Convex mirrors) ซึ่งจะมีผิวสะท้อนอยู่ด้านนอกของส่วนโค้งของวงกลม เมื่อแสงที่ขนานกันตกกระทบกับกระจกโค้งนูนจะทำให้เส้นแกนมุขสำคัญตกกระทบบนกระจกโค้งนูน และทำให้แสงเกิดการเบนออกตัดบนจุดโฟกัสเสมือน (f') และเนื่องจากวัตถุตั้งอยู่นอกกระจก ไม่ถึงระยะอินฟินิตี้ (∞) ทำให้ได้ภาพเสมือนมีขนาดเล็กกว่าวัตถุ อยู่ระหว่างกระจกและจุดโฟกัส

2.2 โมเดลภาพฉายแบบทรงกลม

ทฤษฎีโมเดลภาพฉายแบบทรงกลม ให้นิยามโดย C. Geyer และ K. Daniilidis [5] ระบบมองเห็นรอบทิศทางหรือภาพที่เกิดจากภาพฉายแบบทรงกลมซึ่งสามารถพิสูจน์ด้วยรูปทรงเรขาคณิต ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การอธิบายภาพฉายทรงกลมด้วยรูปทรงเรขาคณิต

$$\begin{bmatrix}u\\v\end{bmatrix} = \frac{l+m}{l\cdot r-z}\begin{bmatrix}x\\y\end{bmatrix} = p(x,y,z;l,m) \qquad (1)$$

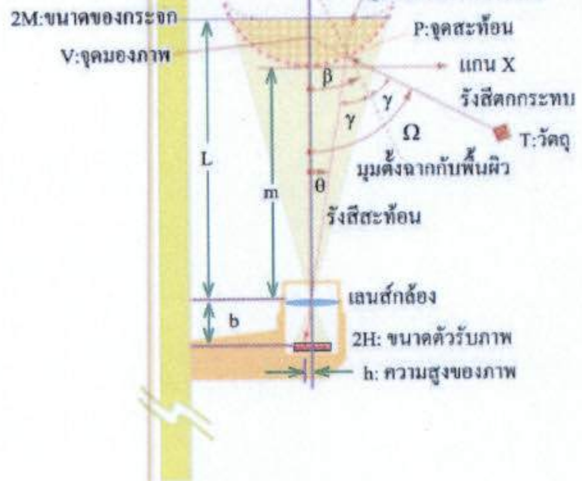
$$r = \sqrt{x^2+y^2+z^2} \qquad (2)$$

ตำแหน่งวัตถุ P เป็นฟังก์ชันกับ (x,y,z) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของระยะตกกระทบวัตถุ m กับ ระยะภาพ l ได้ดังสมการที่ 1 โดยความสัมพันธ์ของรัศมีของกระจกโค้งแสดงดังสมการที่ 2

2.3 การออกแบบระบบการจับเก็บภาพความเร็วของรถยนต์

ภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนั้นสามารถให้มุมมองของภาพรอบทิศทางในแนวนอนได้ 360° ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2 พื้นผิว 3 มิติของกระจกโค้งสามารถอธิบายได้ตามความสัมพันธ์ของ $z = f(x,y)$ แต่เนื่องจากว่าในงานวิจัยนี้ รถยนต์วิ่งในแนวแกน x เพียงอย่างเดียวทำให้สามารถพิจารณาได้ เป็น $z = f(x)$

วัตถุ T จะตกกระทบภาพที่จุด P บนกระจกโค้ง ที่พิกัดจุด (xp,zp) โดยทำองศากับกระจกโค้ง Ω ซึ่งจะเกิดภาพเสมือนในตำแหน่ง (0,-m) ภาพที่สะท้อนจากกระจกโค้งจะเป็นลักษณะวงกลมกลับมาปรากฏบนจอรับภาพที่บันทึกโดยกล้องวิดีโอ ซึ่งทำองศากับกระจกโค้งและวัตถุ T 2γ ในขณะที่มุมองศาของกล้องในแนวแกนตั้ง จะถูกจำกัดไว้ด้วยค่ามากที่สุดของมุมเงย และมุมกด ซึ่งค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวเลนส์ในการรับภาพ ในขณะที่ภาพเสมือนจะเกิดที่ตำแหน่ง Q เพราะฉะนั้นจุดตัดภาพที่ตำแหน่ง P จะได้องศาทำมุม β และองศาทำมุมของวัตถุกับกล้อง θ



รูปที่ 2 การออกแบบระบบสำหรับจัดเก็บภาพจากกระจกโค้งนูนด้วยการกล้องรอบทิศทาง

จากความสัมพันธ์ด้านบนสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Z_p = f(x_p) \qquad (3)$$

$$\tan\beta = \frac{dZ}{dx} \qquad (4)$$

$$\gamma = \beta + \theta \tag{5}$$

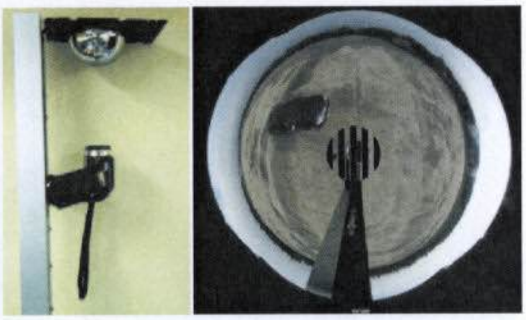
$$\Omega = 2\gamma - \theta = 2\beta + \theta \tag{6}$$

$$\tan\theta = \frac{x_p}{(m+Z_p)} \tag{7}$$

$$Z_v = Z_p + \frac{x_p}{\tan\theta} \tag{8}$$

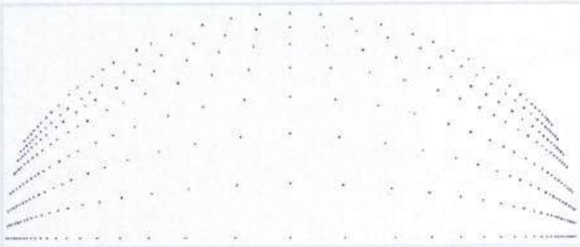
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

กระจกโค้งนูนครึ่งวงกลมรัศมี (r) 5 เซนติเมตรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสะท้อนภาพ [4] ให้กับกล้องวีดีโอ (ดังรูปที่ 3) ซึ่งมีความละเอียดของภาพ 1280 x 720 พิกเซล บันทึกภาพด้วยความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที ระยะสะท้อนภาพจากผิวโค้งของกระจกถึงเลนส์กล้องวิดีโอ 15 เซนติเมตร และ ระยะจากผิวโค้งของกระจกโค้งนูนถึงพื้นถนน 4 เมตร

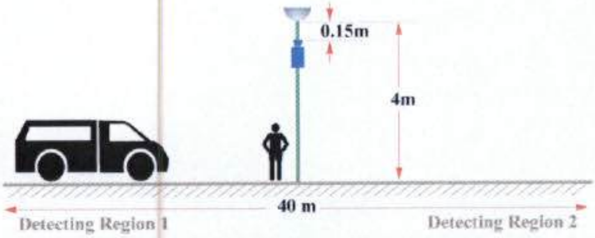


รูปที่ 3 เครื่องมือบันทึกและผลภาพจากกระจกโค้งนูน

การตั้งค่าพิกัดอ้างอิงเพื่อการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ จะใช้พิกัด x และ y ในแนวระนาบกับพื้นถนนโดยมีขนาด 40x7 ตารางเมตร ซึ่งจะได้จุดพิกัดของ x และ y ทั้งหมด 328 จุด ดังแสดงในรูปที่ 4

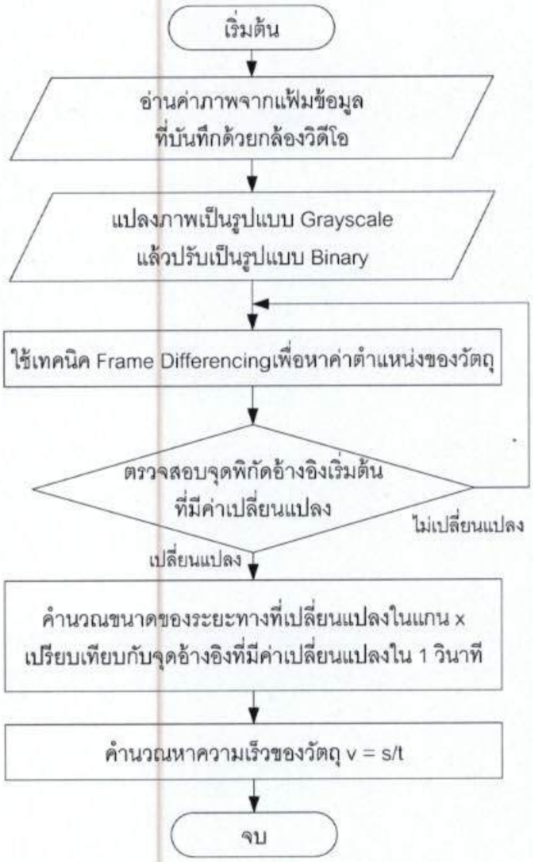


รูปที่ 4 พิกัดอ้างอิง ขนาด 40x7 ตารางเมตร


0.15m
4m
40 m
Detecting Region 1
Detecting Region 2

รูปที่ 5 ระยะที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ

การทดลองจะใช้รถยนต์เป็นวัตถุ เคลื่อนที่ในแนวแกน x เท่านั้น โดยรถยนต์สามารถวิ่งบนถนนที่มีความกว้าง 7 เมตร ซึ่งเมื่อรถยนต์วิ่งผ่านเข้ามาในบริเวณพิกัดที่อ้างอิงแล้วนั้น ระบบจะทำการนับจำนวนพิกัดที่รถยนต์วิ่งผ่านภายในเวลา 1 วินาที จากนั้นระบบจะประมวลผลความเร็วที่ได้ออกมา

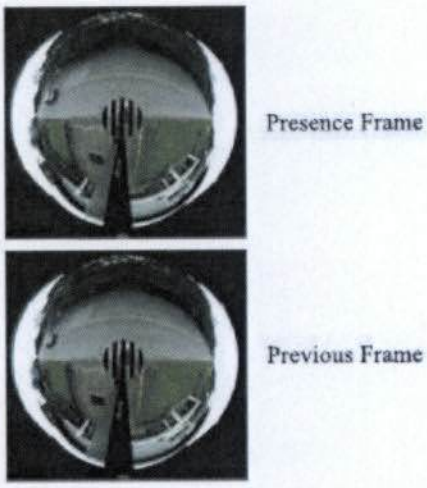

เริ่มต้น
อ่านค่าภาพจากแฟ้มข้อมูล ที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอ
แปลงภาพเป็นรูปแบบ Grayscale แล้วปรับเป็นรูปแบบ Binary
ใช้เทคนิค Frame Differencingเพื่อหาค่าตำแหน่งของวัตถุ
ตรวจสอบจุดพิกัดอ้างอิงเริ่มต้น ที่มีค่าเปลี่ยนแปลง
ไม่เปลี่ยนแปลง
เปลี่ยนแปลง
คำนวณขนาดของระยะทางที่เปลี่ยนแปลงในแกน x เปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงที่มีค่าเปลี่ยนแปลงใน 1 วินาที
คำนวณหาความเร็วของวัตถุ v = s/t
จบ

รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

4. เทคนิคการประมวลผลภาพ

จากทฤษฎีการจับภาพโดยเทคนิคเฟรมต่อเฟรม (Image differencing) ของวัตถุศึกษาในที่นี้คือรถยนต์ ซึ่งจะทำการ

ทดสอบโดยการให้วัตถุศึกษาวิ่งเป็นเส้นตรงบนถนนโดยทำการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ด้วยกล้องวีดีโอซึ่งอาศัยภาพการสะท้อนจากกระจกโค้งนูน ภาพที่ได้พบว่าผลของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ที่ระยะการตรวจจับจำนวน n ครั้งแสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การตรวจจับรถยนต์โดยหาค่าความแตกต่างของภาพ

รูปที่ 8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Image Differencing

จากรูปที่ 8 จะพบว่าหลังจากที่ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ความแตกต่างระหว่างเฟรม จะให้ภาพขาวดำ ซึ่งสีขาวที่เห็นในภาพแสดงถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคเฟรมต่อเฟรม สามารถใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ระยะ n ต่าง ๆ ได้

5. การคำนวณหาความเร็วของวัตถุ

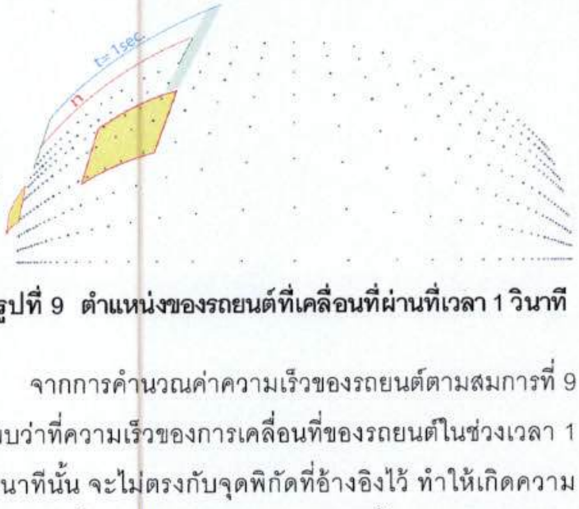
สมการที่ใช้ในการอธิบายความเร็วของรถยนต์ที่ได้จากภาพในกระจกโค้งนูน โดยการคำนวณภาพซึ่งได้จากการแปลงสัญญาณวีดีโอที่ได้จากกล้องวีดีโอระดับเทา (Grayscale) ด้วยการแทนค่าสี 255 และ 0 ใช้การกำหนดค่า Threshold [6] เพื่อใช้เป็นค่าในการปรับภาพ โดยวิธีการคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างเฟรม ณ ตำแหน่งจุดอ้างอิงเริ่มต้นที่กำหนดและตรวจจับจำนวนครั้ง n ที่ผ่านพิกัดจุดอ้างอิง ($x_{0..w}$, $y_{0..h}$) ที่เวลา t_{i-1} และ t_i โดย $t_i - t_{i-1} = 1$ วินาที ดังนั้นสามารถคำนวณความเร็วของรถยนต์ได้ตามสมการที่ 9

$$v_{(km/hr)} = 3.6n \times ref(x_{0..w},\ y_{0..h}) \qquad (9)$$

เมื่อ n = จำนวนจุดอ้างอิงต่อวินาที

ref ($x_{0..w}$, $y_{0..h}$) = ระยะทางอ้างอิงซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมตร

สำหรับภาพของรถยนต์ที่เคลื่อนที่บนถนนทดสอบ ซึ่งจะปรากฏเป็นภาพเสมือนขนาดเล็กกว่าวัตถุในกระจกโค้งนูน และระยะการตรวจจับพิกัดจุดอ้างอิง ($x_{0..w}$, $y_{0..h}$) จำนวนครั้ง n โดยทำการบันทึกความเร็วของวัตถุทดสอบตั้งแต่ 10 ถึง 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 9 ตำแหน่งของรถยนต์ที่เคลื่อนที่ผ่านที่เวลา 1 วินาที

จากการคำนวณค่าความเร็วของรถยนต์ตามสมการที่ 9 พบว่าที่ความเร็วของการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในช่วงเวลา 1 วินาทีนั้น จะไม่ตรงกับจุดพิกัดที่อ้างอิงไว้ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วมาก ดังนั้นจึงนำจุดพิกัดของระยะที่รถยนต์วิ่งผ่านที่เวลา 1 วินาทีมาคำนวนเพื่อหาค่าความเร็วที่ถูกต้องดังสมการที่ 12

$$x_t = x_{n+1} - x_n \qquad (10)$$

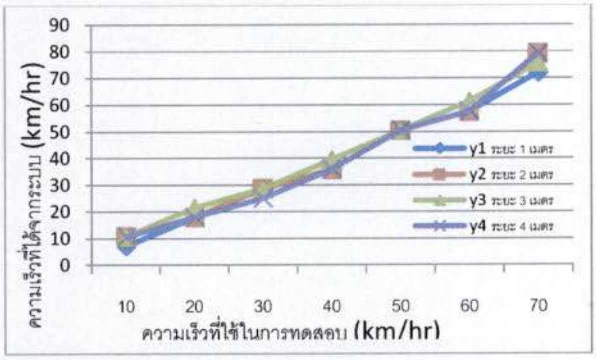
$$n_t = n + \frac{x_p - x_n}{x_t} \qquad (11)$$

$$v_{(km/hr)} = 3.6n_t \times ref(x_{0..w},\ y_{0..h}) \qquad (12)$$

เมื่อ x_t = ช่วงพิกัดสุดท้ายที่รถยนต์วิ่งผ่านเวลา 1 วินาที

x_p = พิกัดสุดท้ายที่รถยนต์วิ่งผ่านเวลา 1 วินาที

หลังจากคำนวนค่าจากสมการที่ 12 ทำให้ได้ค่าความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วจริงของรถยนต์มากคลาดเคลื่อนน้อยลงจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วมากเนื่องมาจากระยะความโค้งส่วนปลายของกระจกโค้งนูนจะให้ภาพของระยะ n ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก ทำให้การระบุพิกัดจุด ($x_{0..w}$, $y_{0..h}$) มีความคลาดเคลื่อนสูง ในทางกลับกันที่ความเร็วของวัตถุที่เพิ่มขึ้นจะลดความคลาดเคลื่อนของความเร็วได้ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าที่ค่าความเร็วมากกว่า 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การเคลื่อนที่ของวัตถุจะไม่สามารถตรวจจับจำนวนครั้ง n ได้ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่วัดได้สูง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการทดลองเพียงแค่ ความเร็วไม่เกิน 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 10 ความเร็วจากระบบของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคและกระบวนการ การวัดความเร็วของวัตถุ จากภาพฉายของวัตถุบนกระจกโค้งนูนที่บันทึกภาพด้วยกล้องวีดีโอ จากนั้นทำการประมวลผลหาความเร็วของวัตถุจากภาพที่ได้บันทึกด้วยกระบวนการที่นำเสนอโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งรถยนต์เป็นวัตถุที่ใช้ในการทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าความเร็วของรถยนต์ที่เคลื่อนที่ผ่านกระจกโค้งด้วยความเร็วต่างๆ มีค่าความถูกต้องสูงสุดที่ 99% ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และผลการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 16% ที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 5%

ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเกิดขึ้นเนื่องจากการทดลองที่ความเร็วต่ำสุด(10km/hr) และเป็นตำแหน่งที่มีความกระชั้นชิดของจุดพิกัดอ้างอิงมาก ทำให้การอ้างตำแหน่งพิกัดเพื่อใช้ในการคำนวณ มีความผิดพลาดมากขึ้นด้วย

ผลจากการทดลองพบว่าการประมาณค่าความเร็วจากระบบที่นำเสนอ มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วจริงของวัตถุที่ใช้ในการทดลอง การใช้กระจกโค้งและกล้องวีดีโอบันทึกภาพทำให้ระบบมีต้นทุนต่ำและมีเสถียรภาพในการใช้งานสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

6.1 แนวทางการพัฒนาต่อ

ระบบนี้สามารถตรวจจับความเร็วของวัตถุได้ในระดับหนึ่งและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากขึ้น กล่าวคือได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งสามารถพัฒนาได้ในความเร็วที่สูงกว่า 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้โดยการเพิ่มความละเอียดของภาพจากกล้องและลดความบกพร่องของการตรวจจับความเร็วในช่วงความเร็วต่ำและความเร็วสูงโดยปรับอัลกอริธึมให้มีการนับช่วงเวลาใดๆ มากกว่า 1 วินาทีเพื่อใช้ในการคำนวณค่าความถูกต้องของความเร็วจริงให้มากที่สุด

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Joao Carlos Aparicio Fernandes, Jose Alberto B. Campos Neves, "Using Conical and Spherical Mirrors with Conventonal Camera for 360° Panorama Views in a single Image" ICM 2006·IEEE 3rd International Conference on Mechatronics, pp. 157 – 160.

[2] Yannick Francken, Chris Hermans, Philippe Bekaert, "Screen-Camera Calibration using a Spherical Mirror, "Fourth Canadian Conference on Computer and Robot Vision(CRV'07)

[3] Akira Ohte, Osamu Tsuzuki and Koji Mori,"A Practical Mirror Omnidirectional Camera,"IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments Ottawa, pp. 8-13.

[4] D. Jaithavil and J. Srinonchat," Applied Image Processing Technique to Estimate the Velocity of Objects by Spherical Mirror Omnidirectional Camera, " The 33rd Electrical Engineering Conference, 1-3 December 2010,pp. 1289-1292.

[5] Christopher Geyer and Kostas Daniilidis,"A Unifying Theory fir Central Panoramic Systems and Practical Implications,"ECCV 2000, LNCS 1843, pp. 445-461, 2000.

[6] Shahbe Mat Desa and Qussay A. Salih, "Image Subtraction for Real Time Moving Object Extraction," Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV'04), 2004.