

# ระบบช่วยการขับรถยนต์ในทางโค้งโดยการประมวลผลภาพ CURVE-DRIVING SUPPORT SYSTEM USING IMAGE PROCESSING

โกสินทร์ จำนงไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ

**KOSIN CHAMNONGTHAI**

*Faculty of Engineering*

*King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok*

## บทคัดย่อ

ในเวลาที่คนขับรถขับเข้าทางโค้ง ตาของคนขับรถจะรับภาพ 2 มิติเข้ามา แล้วทำการคำนวณหารูปร่างเชิง 3 มิติของถนน เพื่อคาดคะเนความเร็วที่เหมาะสมในการเข้าทางโค้ง แต่ถ้าความเร็วของรถยนต์นั้นเกินกว่าความเร็วสูงสุดที่ผู้ออกแบบถนนกำหนดไว้ รถยนต์อาจถูกแรงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงออกไปนอกทางโค้งได้ ซึ่งปัจจุบันอุบัติเหตุประเภทนี้เกิดขึ้นมาก ในบทความนี้ขอเสนอระบบช่วยการขับรถยนต์เข้าทางโค้งอย่างปลอดภัยโดยการประมวลผลภาพเส้นขาวบนถนนที่เห็นจากด้านหน้าของรถยนต์ เพื่อหารัศมีและมุมเอียงของทางโค้ง และใช้รัศมีและมุมเอียงของทางโค้งนี้ในการหาความเร็วสูงสุดที่สามารถวิ่งได้จากตารางซึ่งกำหนดขึ้นตามกฎหมายเกี่ยวกับการสร้างถนน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วขณะที่ยานกำลังวิ่ง ซึ่งถ้ายานวิ่งเร็วเกินกำหนดและอยู่ในสภาพอันตรายระบบจะเตือนให้ผู้ขับทราบ และจากการทดลองกับทางด่วนบางส่วนในกรุงเทพฯ ทำให้ทราบว่าระบบนี้สามารถเตือนในเวลาที่ยานวิ่งเกินความเร็วที่เหมาะสมได้

## ABSTRACT

The driver's eyes receive 2 dimensional image of the road and convert it into 3 dimensional shape during his drive. When the vehicle runs on curve, appropriate speed is estimated from curve's radius. But if the speed of vehicle is higher than maximum-speed which is determined by road's designer, the vehicle will be thrown outside by centrifugal force. And nowadays this kind of accident is often occurred. In this paper, Curve-Driving Support System Using Image Processing is presented. The system processes images of white line (or dash line) on the road for extracting its radius and bank. Then maximum-speed for running on the curve is determined by look-up table according to road-construction law. When the vehicle is in danger such as over maximum-speed running, alarm will be on. And experiments on a part of Bangkok's highway reveal that this approach outperforms detection of over maximum-speed running.

### 1. บทนำ

ในการขับรถบนถนน ผู้ขับรถจะใช้ตาในการรับภาพถนนและใช้สมองในการกำหนดความเร็ว ทิศทาง ฯลฯ ของรถยนต์ ซึ่งการทำงานของตาและสมองจะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ประสาทสัมผัสอื่น ๆ เช่น ที่บริเวณมือและเท้าจะทำหน้าที่บังคับพวงมาลัยและคันเร่งเสมอเพื่อบังคับเครื่องยนต์และรถยนต์ โดยคำสั่งจากสมอง จึงเห็นได้ว่าอวัยวะต่าง ๆ ถูกใช้อย่างหนักเพื่อการขับรถยนต์ ทำให้บางครั้งผู้ขับรถเกิดความเมื่อยล้า และก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

ในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เยอรมัน ญี่ปุ่น ฯลฯ ได้มีความพยายามที่จะลดอุบัติเหตุบนท้องถนนที่เกิดจากคนขับ โดยมีโครงการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างรถยนต์ซึ่งวิ่งได้เองตามลำพังโดยไม่ต้องมีคนขับ ยกตัวอย่างเช่น ในสหรัฐอเมริกา นักวิจัยจากหลายสถาบันพยายามวิจัยในโครงการเกี่ยวกับ ALV (Autonomous Land Vehicle)[1] ในญี่ปุ่นมีความพยายามที่จะคำนวณหาข้อมูล 3 มิติของถนนจากข้อมูลภาพ[2, 3, 4] ส่วนในเยอรมันมีนักวิจัยที่พยายามใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการขับรถยนต์ โดยมีการทดลองใช้รถยนต์วิ่งบนถนนจริงในหลาย ๆ สภาพ[5] ฯลฯ ซึ่งโครงการวิจัยเหล่านี้มีเป้าหมายในการสร้างระบบขับรถยนต์ให้วิ่งเองโดย

ลำพังเพื่อลดอุบัติเหตุ

ส่วนโครงการวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ที่จะลดอุบัติเหตุที่เกิดจากการขับรถโดยมนุษย์ในทางโค้งด้วยความเร็วสูงเกินกำหนด ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากการที่คนขับมองภาพทางโค้งแล้วคาดคะเนความเร็วที่เหมาะสมผิด โดยบทความนี้ขอเสนอระบบช่วยการขับรถยนต์เข้าทางโค้งอย่างปลอดภัยโดยการประมวลผลภาพเส้นขาวบนถนน เพื่อคำนวณหามุมเอียงและรัศมีของทางโค้ง แล้วหาความเร็วสูงสุดที่สามารถวิ่งได้ในทางโค้งนั้นจากตารางเทียบซึ่งถูกคำนวณและรวบรวมไว้ก่อนแล้วตามกฎหมายเกี่ยวกับการสร้างถนน เมื่อรถยนต์วิ่งบนทางโค้งด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วสูงสุดที่คำนวณไว้ ระบบจะทำการเตือนผู้ขับรถยนต์ และจากการทดลองกับภาพต่อเนื่องของทางโค้งบนทางด่วนบางส่วนของกรุงเทพฯ ทำให้ทราบว่าระบบนี้สามารถรู้จำทางตรงและทางโค้ง และสามารถคำนวณรัศมีของทางโค้ง และเตือนในเวลาที่ยานยนต์วิ่งเกินความเร็วที่เหมาะสมได้

### 2. แนวความคิดพื้นฐาน

เวลาที่ผู้ขับรถยนต์ขับรถเข้าทางโค้ง ผู้ขับจะกำหนดความเร็วและทิศทางของรถยนต์จากภาพถนนหรือภาพเส้นขาวบนถนน และทำการปรับค่าทั้ง 2

เสมอ ให้รถยนต์สามารถวิ่งไปในกรอบของทางได้ โดยมีได้มีการคำนวณเป็นตัวเลขที่แน่นอน แต่เนื่องจากถนน (โดยเฉพาะทางด่วน) ถูกออกแบบและสร้างตามมาตรฐานการก่อสร้างทางซึ่งหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องเป็นผู้กำหนดขึ้น เช่น ในญี่ปุ่น[7] สหรัฐอเมริกา[8] ฯลฯ มีการกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับถนนโดยผู้ก่อสร้างถนนจะต้องปฏิบัติตาม ดังนั้นถ้านำเอาความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานที่ถูกกำหนดเป็นแบบแผนในการออกแบบและสร้างถนนมาช่วยในการประมวลผลภาพถนนเพื่อคำนวณความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ของรถยนต์แล้ว เราจะสามารถทราบความเร็วสูงสุดเป็นตัวเลขที่แน่นอนของทางโค้งแต่ละทางโค้งได้ตั้งแต่รถยนต์เริ่มเข้าทางโค้ง และตลอดเวลาที่รถยนต์วิ่งอยู่บนทางโค้ง ซึ่งจะช่วยในการ

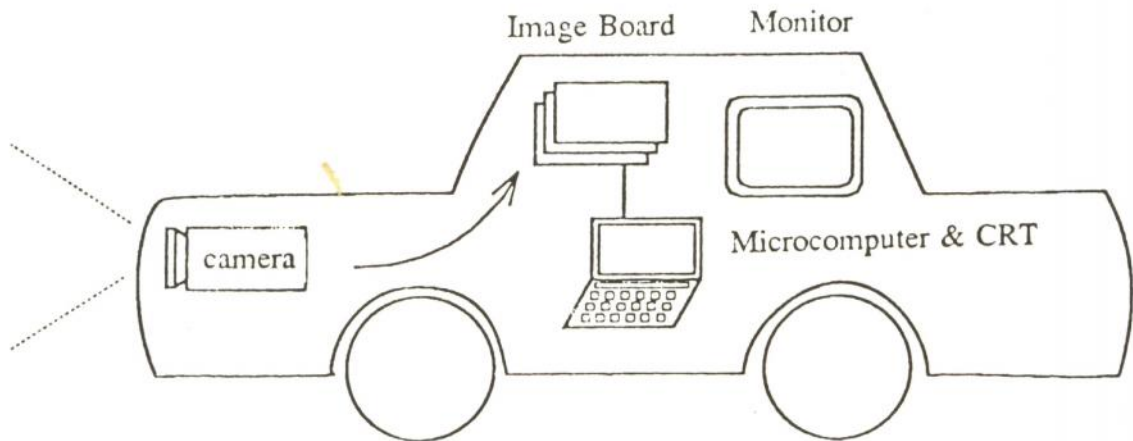
กำหนดความเร็วและทิศทางของรถยนต์ให้แก่ผู้ขับ โดยเฉพาะสำหรับนักขับรถยนต์มือใหม่ นักขับรถยนต์ที่ยังไม่ชินกับถนนนั้น ๆ เป็นต้น ในบทความนี้จึงขอเสนอการนำความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานของถนนมาเป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถสามารถวิ่งได้ในทางโค้ง

### 3. ระบบทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

ระบบช่วยขับรถยนต์ในทางโค้งประกอบด้วยอุปกรณ์และหน่วยต่าง ๆ โดยแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้เป็น ระบบทางฮาร์ดแวร์และทางซอฟต์แวร์ ดังนี้

#### 3.1 ฮาร์ดแวร์

ทางฮาร์ดแวร์มีโครงสร้างและส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ระบบทางฮาร์ดแวร์

3.1.1 กล้อง เป็นหน่วยป้อนข้อมูลภาพถนน โดยติดตั้งที่ด้านหน้าของรถยนต์

3.1.2 หน่วยความจำข้อมูลภาพ เป็นหน่วยที่รับสัญญาณภาพแบบอะนาล็อกมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และเก็บไว้ในหน่วยความจำภาพเฉพาะ เพื่อรอการประมวลผลจากซีพียู

3.1.3 ซีพียู เป็นหน่วยประมวลผลภาพซึ่งถูกเก็บที่ 3.1.2 และจะแสดงผลการประมวลผลที่จอภาพ (CRT) เช่น รัศมีของทางโค้ง ความเร็วสูงสุดที่รถยนต์สามารถวิ่งได้ ฯลฯ

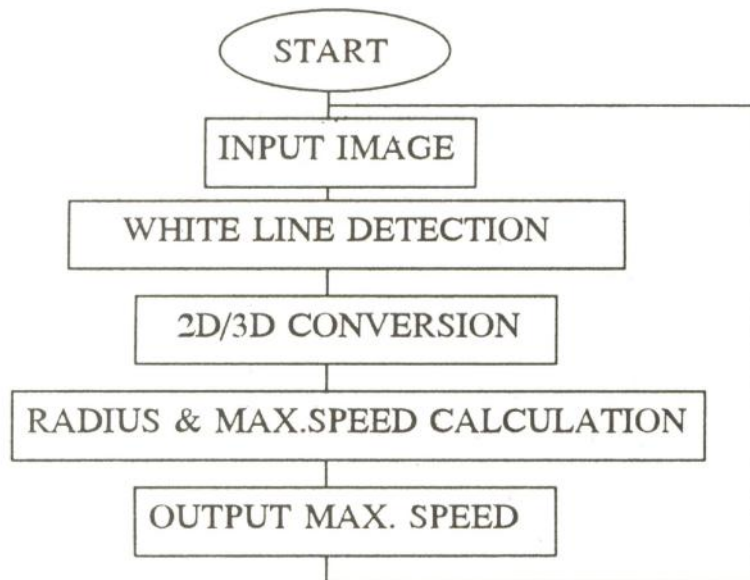
3.1.4 มอนิเตอร์ เป็นหน่วยแสดงภาพของข้อมูลภาพที่ถูกเก็บใน 3.1.2 เพื่อแสดงให้เห็นขบวนการประมวลผลภาพ

#### 3.2 ซอฟต์แวร์

มีโครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนี้

3.2.1 การป้อนข้อมูลภาพ เป็นการป้อนข้อมูลภาพของถนนซึ่งเป็นความสว่างแล้วแปลงให้เป็นสัญญาณอะนาล็อกโดยกล้องที่ติดตั้งหน้ารถยนต์

3.2.2 การดึงภาพเส้นขาวบนถนน เป็นขบวนการแยกภาพเส้นขาวออกจากภาพถนนและภาพอื่น ๆ



รูปที่ 2 ลำดับของขบวนการและโครงสร้างระบบทางซอฟต์แวร์

เพื่อหาตำแหน่งที่แท้จริงของเส้นขาว (รายละเอียดกล่าวใน 3.1)

3.2.3 การคำนวณหาตำแหน่งในเชิง 3 มิติ เป็นการแปลงตำแหน่งบนภาพซึ่งเป็นข้อมูลเชิง 2 มิติของเส้นขาว ให้เป็นตำแหน่งใน 3 มิติ (รายละเอียดกล่าวใน 3.2)

3.2.4 การคำนวณหารัศมีของทางโค้ง เป็นการคำนวณรัศมีจากตำแหน่งของเส้นขาวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงในเชิง 3 มิติ (รายละเอียดกล่าวใน 3.3)

3.2.5 การคำนวณหาความเร็วสูงสุด เป็นการคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถยนต์สามารถวิ่งได้โดยไม่ถูกแรงหนีศูนย์กลางดึงให้หลุดพ้นออกไปจากทางโค้ง โดยใช้รัศมีและกฎข้อบังคับในการออกแบบสร้างทางเป็นข้อมูลในการคำนวณ (รายละเอียดกล่าวใน 3.4)

3.2.6 การแสดงผลและการเตือน เป็นขบวนการแสดงความเร็วสูงสุดที่สามารถวิ่งได้ และระบบจะเตือนให้ผู้ขับรถยนต์ลดความเร็วลงในกรณีที่ความเร็วที่รถยนต์กำลังวิ่งเร็วกว่าความเร็วสูงสุดที่คำนวณได้ เช่น โดยการเปลี่ยนเสียงเตือน กระพริบไฟให้สว่างบนจอ เป็นต้น

## 4. วิธีการ

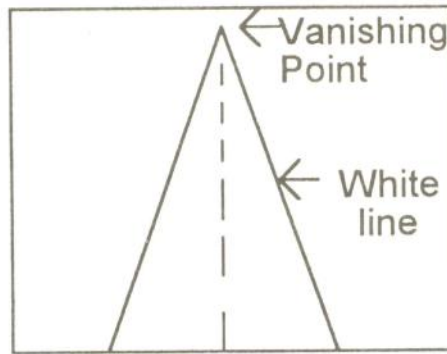
### 4.1 การดึงภาพเส้นขาว

ก่อนอื่นระบบจะทำการประมวลผลเบื้องต้น (Pre-process) กับภาพถนนที่ถูกป้อนเข้ามาและเก็บอยู่ในหน่วยความจำ กล่าวคือ ทำการแปลงให้เป็นภาพ 2 ค่า (Binarization)[6] เพื่อแยกเส้นขาวกับถนนและฉากด้านหลังออกอย่างสิ้นเชิง แล้วทำขบวนการทำเส้นให้บาง (Thinning)[6] โดยทำให้ความกว้างของเส้นขาวเป็น 1 พิกเซล เพื่อสะดวกในการกำหนดตำแหน่งของเส้นขาว

หลังจากที่ผ่านการประมวลผลเบื้องต้นแล้ว ระบบจะสแกนหาตำแหน่งของเส้นขาวทั้งด้านซ้ายและขวาโดยเริ่มจากด้านล่างของภาพขึ้นไปด้านบน เนื่องจากธรรมชาติของภาพเส้นขาวบนถนนจะทอดยาวออกจาก 2 ด้าน ของตัวรถยนต์ไปข้างหน้าและไปรวมที่จุดไกลจุดหนึ่ง (Vanishing Point) ดังในรูปที่ 3 แล้วเก็บตำแหน่งของเส้นตรงที่สแกนได้เหล่านี้เป็นข้อมูลภาพ (2มิติ) ของเส้นขาว

### 4.2 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อมูลเชิง 3 มิติ

### Vision of Road



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพถนน

การแปลงข้อมูลภาพ (2มิติ) ให้เป็นข้อมูลเชิง 3 มิติ กระทำได้ดังนี้

สมมุติให้แกนภาพเป็น  $(x, y)$  และแกนกล้อง เป็น  $(X, Y, Z)$  ดังในรูปที่ 4

โดยแกนทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$x = FX / (Z \cos\theta - Y \sin\theta) \quad 4.1$$

$$y = F (Y \cos\theta + Z \sin\theta) / (Z \cos\theta - Y \sin\theta) \quad 4.2$$

โดย F: ระยะโฟกัส  $\theta$ : มุมก้มของกล้อง แต่เนื่องจากกล้องที่ติดตั้งในระบบนี้มองตรง ขนานกับพื้นดิน ( $\theta = 0$ ) ดังนั้น

$$x = FX / Z \quad 4.3$$

$$y = FY / Z \quad 4.4$$

หรือ

$$X = xZ / F \quad 4.5$$

$$Z = FY / y \quad 4.6$$

4.3 การคำนวณหารัศมีของทางโค้ง

การคำนวณหารัศมีของทางโค้งกระทำได้โดย

การคำนวณทางตรีโกณมิติ โดยมีค่าที่ทราบก่อน ดังในรูปที่ 5 คือ  $(X_1, Z_1), (X_2, Z_2), (X_3, Z_3)$ , และ ตำแหน่งของ A, B, C

ดังนั้น เราสามารถคำนวณรัศมีได้ตามลำดับ ดังนี้

1: หาคความยาวด้าน AB, BC, AC จาก ตำแหน่งของจุด A, B, C

2: หามุม 1, 2 จากตำแหน่งของจุด A, B, C

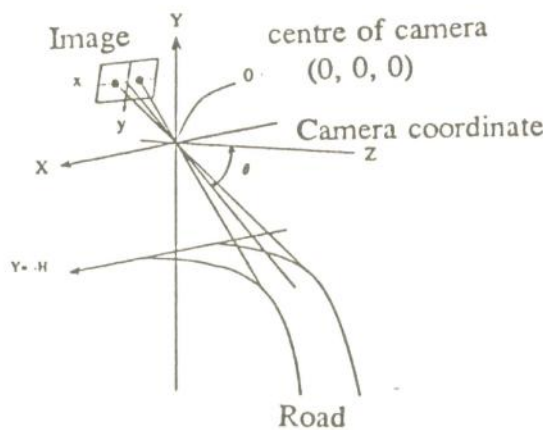
3: เนื่องจากเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก หามุม 3

จาก 1 และหามุม 4 จาก 2

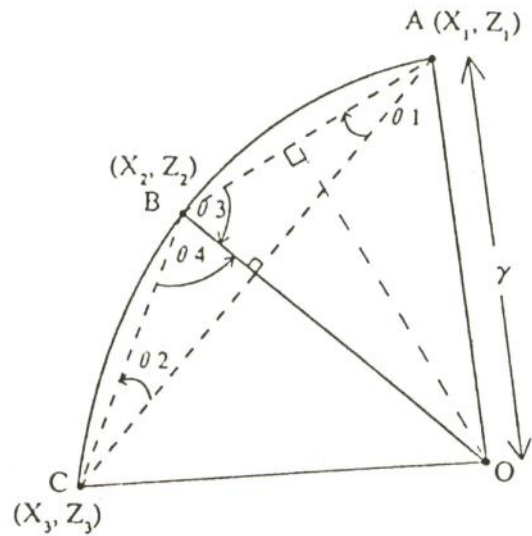
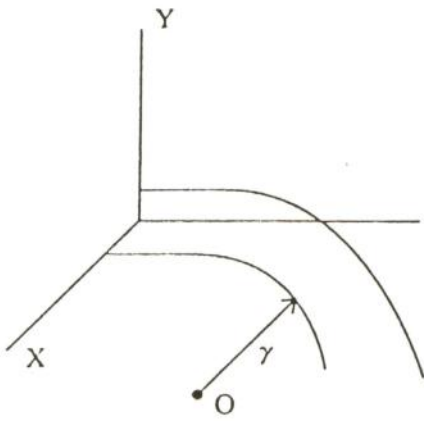
4: หาระยะ หรือด้าน AO จากมุม 3 กับด้าน AB

4.4 การคำนวณหาความเร็วสูงสุดของรถยนต์

บนทางโค้ง



รูปที่ 4 แกนภาพและแกนกล้อง



รูปที่ 5 การคำนวณรัศมีของทางโค้ง

ความเร็วสูงสุดของรถยนต์บนทางโค้งกำหนดได้ดังนี้

สมมติให้ Z: แรงหนีศูนย์กลาง (kg)

v: ความเร็วของรถยนต์ (m/s)

g: ความเร่งของแรงดึงดูดโลก  
( $\approx 9.8 \text{ m/s}^2$ )

G: น้ำหนักทั้งหมดของรถยนต์(kg)

f: พารามิเตอร์ของแรงเสียดทานระหว่างยางรถยนต์กับพื้นถนนที่มีต่อการลื่นในแนวขวาง

i: ความชันของถนน ( $= \tan \alpha$ )

R: รัศมีของทางโค้ง (m)

แรงหนีศูนย์กลางสามารถคำนวณดังในรูปที่ 6 ได้ดังนี้ [7]

$$Z = Gv^2 / gR \quad 4.7$$

น้ำหนักทั้งหมดของรถยนต์ G และแรง Z จะกระทำต่อจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ ดังนั้น เงื่อนไขที่ไม่ทำให้รถยนต์ลื่น

$$Z \cos \alpha - G \sin \alpha \leq f (Z \sin \alpha + G \cos \alpha) \quad 4.8$$

ถ้าหารด้วย  $\cos \alpha$  และแทนค่า  $Z = (Gv^2) / (gR)$  และ  $\tan \alpha = i$  แล้ว

$$v^2 / (gR) - i \leq f ((v^2 i) / gR + 1)$$

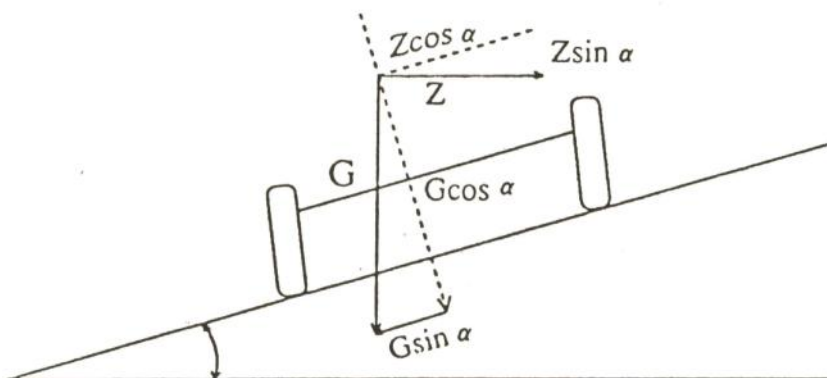
$$v^2 \leq gR (f + i) / (1 - fi) \text{ หรือ}$$

$$R \geq (v^2 / g) ((1 - fi) / (f + i))$$

และ เนื่องจาก ค่าของ  $fi$  เล็กมากเมื่อเทียบกับ 1 ดังนั้น สามารถกล่าวได้ดังนี้

$$v^2 \leq gR (f + i) \text{ หรือ}$$

$$R \geq v^2 / (g (f + i)) \quad 4.9$$



รูปที่ 6 แรงที่กระทำต่อรถยนต์ในระหว่างวิ่งบนถนน

ถ้าแสดงความเร็ว(v)ในการออกแบบด้วย  
 km/h แล้ว เนื่องจาก  $v^2 / (v^2 / g)$   
 $= 3.6^2 \times 9.81 \approx 127$  สามารถกล่าวได้ว่า  
 $v^2 \leq 127 R (f + i)$  หรือ  
 $R \geq v^2 / 127(f + i)$  4.10  
 ดังนั้น ความเร็วสูงสุด  $v = \sqrt{127R(f + i)}$

## 5. การทดลองและผลการทดลอง

เพื่อเป็นการพิสูจน์ความน่าจะเป็นไปได้ในการ  
 ใช้งานของวิธีการและแนวความคิดที่เสนอในบทความ  
 นี้ ได้มีการทดลองกับภาพทางด่วนช่วงถนนเพชรบุรี  
 ถึงดาวคะนอง โดยมีเงื่อนไขดังแสดงในตาราง 1  
 ดังนี้

ตาราง 1 เงื่อนไขในการทดลอง

กล้อง	ความสูง	1.3 เมตร
	มุมก้ม	0 องศา
	ความยาวโฟกัส	100 เมตร
ภาพ	ขนาดภาพ 1 เฟรม	512 × 512 พิกเซล
	ระดับความสว่างต่อ 1 พิกเซล	256
รถยนต์	ความเร็ว	60-120 กม.ต่อ ชม.

จากการบันทึกภาพบนทางด่วนในวันหยุดที่มี  
 รถยนต์วิ่งน้อยและอากาศสดใส แล้วนำมาทดลอง  
 ประมวลผลภาพอย่างต่อเนื่อง ปรากฏว่าระบบสำหรับ  
 ทดลองที่สร้างขึ้นตามวิธีดังกล่าวสามารถทำการ  
 ประมวลผลภาพของถนนและดึงเอาตำแหน่งของเส้น  
 ขาว และแปลงเป็นข้อมูล 3 มิติได้ รัศมีที่ได้จากการ  
 คำนวณถูกนำไปเทียบเพื่อหาความเร็วสูงสุดที่สามารถ  
 วิ่งได้บนทางโค้ง ดังตัวอย่างในรูปที่ 7a เป็นตัวอย่าง  
 ภาพถนนซึ่งมีความโค้งไม่มากนัก เมื่อผ่านขบวนการ  
 ดึงเฉพาะเส้นขาวออกมา ภาพที่ได้จะเปลี่ยนไปดัง  
 รูปที่ 7b หลังจากนั้นเมื่อผ่านการทำให้บาง ภาพจะ  
 เปลี่ยนไปดังรูป 7c และเมื่อสแกนหาตำแหน่งของเส้น  
 ขาวบนภาพ ตำแหน่งที่ได้ถูกแสดงบนจอภาพของ  
 คอมพิวเตอร์ (CRT) ในท้ายที่สุด เมื่อผ่านขบวนการ  
 แปลงเป็นข้อมูลเชิง 3 มิติ และคำนวณหารัศมีของทาง  
 โค้ง รัศมีที่ได้ของตัวอย่างภาพนี้คือ 1577.77 เมตร  
 และความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้คือ 88.85 กม. ต่อ ชม.

## 6. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า  
 ระบบสามารถประมวลผลภาพถนน เพื่อรู้จำว่าเป็น  
 ทางตรงหรือทางโค้ง และคำนวณหาความเร็วสูงสุด  
 ที่รถยนต์สามารถวิ่งได้บนทางโค้ง แต่ค่าความผิดพลาด  
 ยังมีได้มีการประเมินเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลที่  
 แน่นนอนเกี่ยวกับรัศมีของทางโค้งบนทางด่วน ซึ่งต้อง  
 อาศัยความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ส่วนงาน  
 วิจัยที่สมควรจะกระทำในอนาคตมีดังนี้

6.1 ประเมินค่าความผิดพลาดของรัศมีของ  
 ทางโค้งที่คำนวณได้กับรัศมีจริง

6.2 ทำการทดลองในสภาพอากาศที่ไม่ดีหรือ  
 สภาพแสงสว่างที่ไม่ดี เช่น เวลาฝนตก เวลาที่แสงแดด  
 อ่อน เป็นต้น

## 7. สรุป

บทความนี้เสนอระบบช่วยการขับรถยนต์ใน  
 ทางโค้งโดยการประมวลผลภาพเส้นขาวบนถนน



รูปที่ 7a ตัวอย่างของภาพถนน



รูปที่ 7b ภาพถนนหลังผ่านขบวนการแยกเส้นขาว



รูปที่ 7c ภาพถนนหลังผ่านขบวนการทำให้เป็นเส้นบาง

แล้วคำนวณหาตำแหน่งในเชิง 3 มิติของถนน รัศมีของทางโค้ง และความเร็วสูงสุดที่รถยนต์สามารถวิ่งได้บนทางโค้งนั้น ๆ และจากผลการทดลองกับภาพทางด้านบางส่วนของกรุงเทพฯ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง

### เอกสารอ้างอิง

- 1 Thorpe C., Hebert M. H., Kanade T. and Shafer S. A., *Vision and Navigation for The Carnegie-Melon Nablal*, IEEE. Trans. Pattern Anal. and Machine Intell., PAMI -10.3, pp.362-373 (May 1988)
- 2 Tetsuya Kobayashi, Masataka Chiba, Nobuyuki Tanba, Shinji Ozawa, *On-line Estimation of Road parameters from Road Images*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol. J 75 D-II, No.1 pp 67-75, Jan. 1992 (Japanese)
- 3 Kazunori Nohsoh and Shinji Ozawa, *A Simultaneous Estimation of Vehicle Location and Camera Motion Deduced from Road configuration and Continuous Road Images*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol. J 77 D-II, No.4 pp 764-773, Apr.1994 (Japanese)
- 4 Shinji Negishi, Masataka Chiba, Shinji Ozawa, *Automatic Tracking of Highway road Edge Based on Vehicle Dynamics*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol. J 77 D-II, No.5 pp 931-939, May.1994 (Japanese)
- 5 Graefe, V., *Vision for Intelligent Road Vehicles*, Proceedings, IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, Tokyo, pp.135-140
- 6 ชัยชาญ มัคคั่น และ โกสินทร์ จ่านงไทย, *วิธีการรู้จำลายนิ้วมือโดยใช้ตำแหน่งจุดแยก*, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พย. 2536, หน้า 641-645
- 7 *Explanation and Usage of Road Structure Law*, Japanese Association of Road, Feb. 1983
- 8 *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1965