

การออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลีสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ

Model Design of Position Control System for Electric Current Collecting Arm of Trolleybus Using Stereo Photography

ประสาน ประจักษ์ และเทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปราการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนของรถโทลีส การควบคุมจะอาศัยภาพถ่ายจากกล้องเว็บแคมในการระบุตำแหน่งชุดแขนรับทั้งในระนาบที่ขนานและตั้งฉากกับพื้นดิน การควบคุมจะอาศัยเทคโนโลยีการประมวลผลด้วยภาพในการปรับแต่งและคัดแยกวัตถุเป้าหมาย ข้อมูลที่ได้จะใช้ในการหาค่ามุมในระนาบระหว่างชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งด้วยเทคนิค Machine Vision นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังใช้ในการระบุตำแหน่งความสูงของปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยเทคนิค Stereo Vision การขับเคลื่อนชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าจะอาศัยสเต็ปมอเตอร์ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่นจะอาศัยการจับคู่ของจุดของภาพสองภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้ายและจากการสอบเทียบพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 0.65 เปอร์เซ็นต์จากการทดลองพบว่าความสูงของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า รถโทลีส machine vision, stereo vision

Abstract

The aim of the study was to feature the designed model of position control system for electric current collecting arms with overhead wire of Trolleybus. The web cam's photos were used to identify the collecting arm positions both in horizontal and vertical plans. The positions of the collecting arms were identified by using image processing technology in order to refine and isolate the target objects. These data were used to determine an angle in the horizontal plane between the collecting arms and the overhead wire by using Machine Vision technique. These data were also used to determine the height of the collecting arms by using stereo vision technique. Stepping motors were used to move the collecting arms. A performance test of the stereo vision system was based on a pair of two images points with a similar

triangle technique, and the calibration was found to deviate to 0.65 percents. The experimental results showed that the height of the collecting arms was found to deviate from the target approximately 1.3 percents.

Keywords : electric current collecting arms, trolley bus, machine vision, stereo vision.

1. บทนำ

ปัจจุบันรถโดยสารในระบบขนส่งมวลชนจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซ NGV เป็นหลักซึ่งจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการหันมาพิจารณาการใช้รถโดยสารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจึงถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในต่างประเทศได้มีการใช้รถโดยสารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนในการขับเคลื่อนตัวรถด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อเรียกว่า โตลลี่บัส (Trolley Bus) ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 (British Trolleybus, 2004)



รูปภาพที่ 1 รถ โตลลี่บัส (Trolley bus)

ถ้าหากต้องการนำรถโตลลี่บัสมาใช้ในประเทศไทยเราจำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีทั้งหมด โดยคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนารถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่งที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน โดยใช้คนชักโยงแขนรับไฟฟ้าไปแต่ละที่สายส่ง ซึ่งมีลักษณะการใช้งานแบบ

เดียวกันกับรถโตลลี่บัส (เทอดเกียรติ และ ประสาน, 2554) ซึ่งเป็นการควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพและอาจจะเกิดอันตรายได้ในสภาพอากาศที่มีความชื้นหรือฝนตก โดยผู้วิจัยได้คำนึงถึงปัญหาในจุดนี้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนโดยใช้ภาพถ่ายสเตอริโอขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้คนชักโยงแขนรับกระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิดอันตรายดังที่กล่าวในข้างต้น



รูปภาพที่ 2 แสดงการใช้คนชักโยงแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งของรถโตลลี่บัส

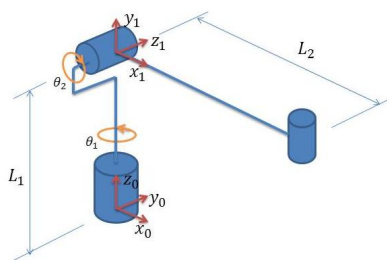
จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการวางกล้องแบบขนานกันและใช้วิธีจับคู่จุดด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular) ของทั้งสองภาพ จะได้ความแม่นยำยิ่งขึ้น จากการปรับระยะห่างการวางกล้องทั้งสองตัว (อานนท์, 2551)

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบจำลองระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน โดยใช้ภาพถ่ายสเตอริโอ.

2. เพื่อสอบเทียบประสิทธิภาพของระบบสเตอริโอวิชั่น โดยใช้การจับคู่จุดของภาพสองภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular).

3. อุปกรณ์และวิธีการ



รูปภาพที่ 3 การตั้งแกนของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า



รูปภาพที่ 4 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

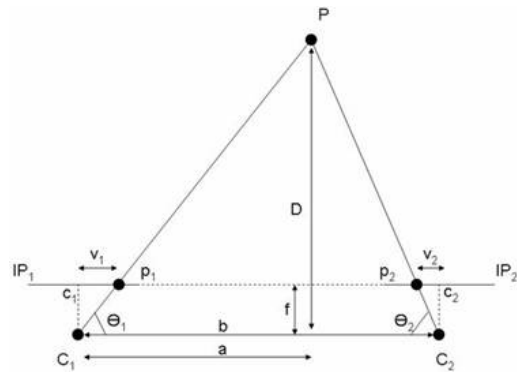
จากการออกแบบจำลองแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลิบัส กำหนดให้ $L_1=50$ mm, $L_2=350$ mm, θ_1 หมุนรอบแกน Z_0 , θ_2 หมุนรอบแกน Z_1 แสดงรูปภาพที่ 3 และแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าได้จัดวางกล้องเป็นแบบขนานกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกล้อง 50 mm และติดตั้งกล้องไว้ที่ด้านหลังแบบจำลอง

รถโทลิบัส ดังแสดงรูปภาพที่ 4 และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผลภาพและควบคุมการทำงานของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า และใช้ NI DAQ-6008 ในการควบคุมอุปกรณ์แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การควบคุมแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยระบบสเตอริโอวิชั่น (Stereo Vision) และระบบแมชชีนวิชั่น (Machine Vision)

จากภาพถ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะเห็นเฉพาะสายส่งกระแสไฟฟ้า แสดงรูปภาพที่ 7 จึงไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคการจับคู่จุดระหว่างภาพต่างมุมมองสองภาพ (Stereo Matching) ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีการจับคู่จุดของภาพสองภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular) มาหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุได้ดังแสดงในรูปภาพที่ 5 (National Instruments, 2008) จากสมการที่ 1



รูปภาพที่ 5 แนวคิดของภาพสเตอริโอ ด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular)

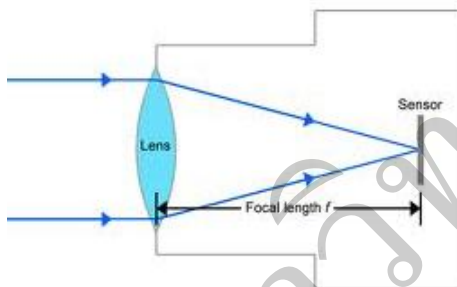
จากแนวคิดของภาพสเตอริโอ ด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้ายจะมีตัวแปรดังนี้ f = ความยาวโฟกัสของกล้อง, b = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของภาพที่อยู่บนระนาบภาพ C_1 และ C_2 , C_1 =กล้องตัวที่ 1 C_2 =กล้องตัวที่ 2 d = ความแตกต่าง

ระหว่าง V_1 และ V_2 V_1 =ความยาวจาก c_1 ถึง p_1 V_2 =ความยาวจาก c_2 ถึง p_2 D = ระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ จะถูกคำนวณเป็นสมการที่ 1

$$D = b * f / d \quad (1)$$

3.1.2 การหาความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal length)

ความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal length) คือ ความยาวระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์ ดังแสดงในรูปภาพที่ 6 (Wikipedia, 2004) โดยทางผู้วิจัยได้เลือกใช้กล้องเว็บแคม (Webcam) เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ความละเอียดของภาพมาก แต่กล้องเว็บแคมไม่มีค่าความยาวโฟกัสของกล้องให้มา จากสมการ 4 เป็นสมการที่ใช้ในการหาความยาวโฟกัสของกล้อง



รูปภาพที่ 6 แสดงความยาวเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์

f = ความยาวโฟกัส (Focal length), D = ระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ, W = ความกว้างที่ต้องการของพื้นที่ที่สามารถมองเห็นได้ในระยะทางที่ไปยังวัตถุ, w = ความกว้างของระนาบถ่ายภาพ (CCD Size)

$$(W / 2) / D = (w / 2) / f \quad (2)$$

$$f = (w / 2) / ((W / 2) / D) \quad (3)$$

$$f = w * D / W \quad (4)$$

3.2 ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการออกแบบ

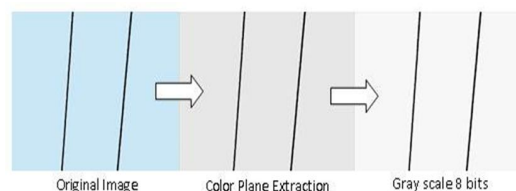
3.2.1 ก่อนที่ระบบควบคุมเริ่มทำงาน แบบจำลองรถโทลบีตจะต้องหยุดอยู่กับที่และอยู่ในช่องจราจรของแบบจำลองรถโทลบีต

3.2.2 ก่อนที่ระบบควบคุมเริ่มทำงาน แชนรับกระแสไฟฟ้าจะต้องอยู่ที่ตำแหน่ง Home คือตำแหน่งที่แชนรับกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ตำแหน่ง $(\theta_1, \theta_2 = 0)$

3.3 การออกแบบระบบควบคุมชุดแชนรับกระแสไฟฟ้า

3.3.1 การปรับแต่งและคัดแยกวัตถุออกจากภาพโดยใช้กระบวนการทางภาพ

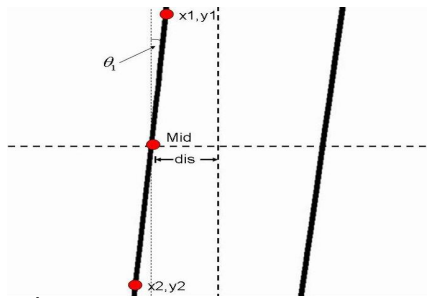
เริ่มต้นโดยการแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง โดยการเลือกใช้ฟังก์ชัน Color Plane Extraction ซึ่งเป็นการแสดงวัตถุเท่านั้น โดยการกำหนดภาพที่ได้จากการปรับแต่งภาพตามค่าที่กำหนด (Setting value) นี้ จะมีพื้นหลังเป็นสีเทาอ่อนและวัตถุจะมีสีเทาเข้มหลังจากนั้นจึงทำการแปลงภาพนี้จาก Color Image 24 bits เป็นภาพแบบ Gray scale 8 bits ซึ่งภาพที่ได้จะเปลี่ยนสีของวัตถุสีเทาเข้มเป็นสีดำและมีพื้นหลังเป็นสีขาว หลังจากนั้นจึงทำการค้นหาตำแหน่ง สายส่งกระแสไฟฟ้าต่อไป ดังแสดงในรูปภาพที่ 7



รูปภาพที่ 7 การปรับแต่งภาพเพื่อแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง

3.3.2 การคำนวณหาค่ามุมจากตำแหน่งของ สายส่ง

กระแสไฟฟ้ากับแชนรับกระแสไฟฟ้าบนระนาบ X_0, Y_0 ด้วยเทคนิค Machine Vision

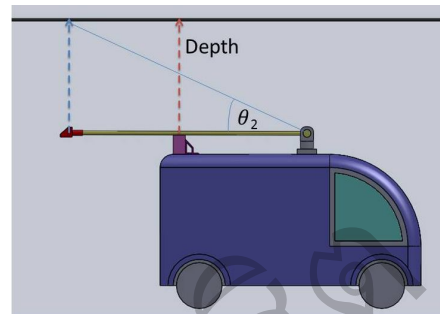


รูปภาพที่ 8 การคำนวณหามุมจากตำแหน่งของสายส่งกระแสไฟฟ้า

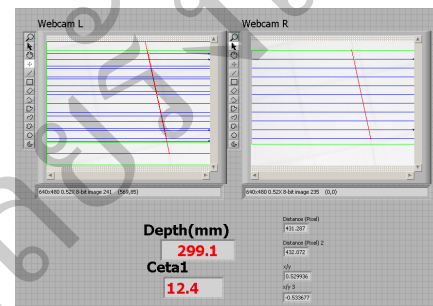
ใช้ตรีโกณมิติในการหาค่ามุมดังนี้
มุมที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมระหว่าง
สายส่งกระแสไฟฟ้ากับแนวดิ่ง

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \text{มุมที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า} \\ &= 90^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \text{ เมื่อ } x_2 > x_1 + \theta_1 \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) - 90^\circ \text{ เมื่อ } x_1 > x_2 - \theta_1\end{aligned}$$

3.3.3 การคำนวณหาความสูงระยะปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า ด้วยเทคนิค Stereo Vision
จากการออกแบบ ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะติดตั้งกล้องไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ โดยกำหนดให้ความสูงจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับความสูงจากปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าถึงสายส่งกระแสไฟฟ้า ดังรูปภาพที่ 9 เส้นสีแดงแสดงความสูงจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าและเส้นสีน้ำเงินแสดงความสูงจากปลายแขนรับถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าเส้นสีน้ำเงิน



รูปภาพที่ 9 การติดตั้งกล้อง webcam



รูปภาพที่ 10 แสดงการจับภาพของทั้ง 2 กล้องเพื่อทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าและแสดงค่าการคำนวณของโปรแกรม

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ได้ทำการทดลองใน 2 ส่วนคือ

- การสอบเทียบระบบสเตอริโอวิชั่น
- การทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

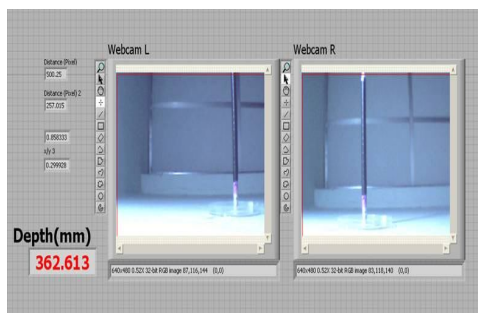
3.4.1 การสอบเทียบของระบบสเตอริโอวิชั่น

การสอบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบสเตอริโอวิชั่น โดยขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

- ใช้แท่นดินสอด้ามสีดำเพื่อใช้แทนสายส่งกระแสไฟฟ้า และตั้งไว้ระยะหนึ่ง

- ตั้งกล้องทั้ง 2 ตัวให้มีระยะห่าง 100mm ได้
ค่า Focal length เท่ากับ 4.2 (โดยค่า Focal length ได้จากการทดลอง)

- รันโปรแกรมสตรีโอวิชชั่นที่ออกแบบขึ้นมา
โดยโปรแกรมจะใช้เวลาในการจับภาพและประมวลผล
ประมาณ 3-4 วินาที

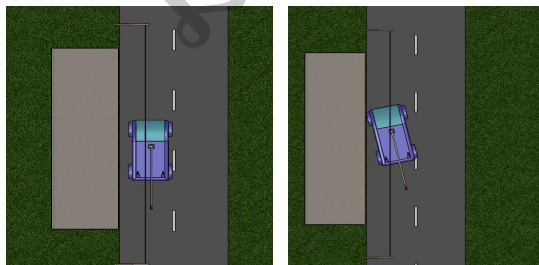


รูปภาพที่ 11 แสดงการจับภาพของทั้ง 2 กล้อง เพื่อสอบเทียบของระบบสตรีโอวิชชั่น

3.4.2 การทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุด
แขนรับกระแสไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี

- กรณีที่ 1 ตัวรถขนานกับสายส่งกระแสไฟฟ้า
แสดงในรูปภาพที่ 12

- กรณีที่ 2 ตัวรถทำมุมเอียงไม่เกิน 30 องศา
กับสายส่งกระแสไฟฟ้า แสดงในรูปภาพที่ 13



รูปภาพที่ 12 การทดลองกรณีที่ 1 รูปภาพที่ 13 การทดลองกรณีที่ 2

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลการสอบเทียบของระบบสตรีโอวิชชั่น

ตารางที่ 1 การสอบเทียบของระบบสตรีโอวิชชั่น

ครั้งที่	การคำนวณของโปรแกรม	ค่าที่วัดได้จริง	ค่าความผิดพลาด
1	228 mm	228 mm	0 %
2	256 mm	257 mm	0.38 %
3	288 mm	289 mm	0.34 %
4	334 mm	335 mm	0.29 %
5	362 mm	361 mm	0.27 %
6	419.5 mm	421 mm	0.35 %
7	461 mm	458 mm	0.65 %

4.2 ผลการทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุด
แขนรับกระแสไฟฟ้า โดยใช้ภาพถ่ายสตรีโอ

4.2.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 ตัวรถขนานกับสายส่ง
กระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองกรณีที่ 1

ครั้งที่	การคำนวณโปรแกรม θ_1	ค่าที่วัดจริง θ_1	การคำนวณโปรแกรม (Depth)	ค่าที่วัดได้จริง (Depth)	ค่าความผิดพลาด %
1	3	3	297 mm	300 mm	1
2	3	3	298.5 mm	300 mm	0.5
3	3	3	297 mm	300 mm	0.1
4	3	3	298.0 mm	300 mm	0.6
5	3	3	299.5 mm	300 mm	0.16
6	3	3	300.5 mm	300 mm	0.16
7	3	3	301 mm	300 mm	0.33

4.2.2 ผลการทดลองกรณีที่ 2 ตัวรถทำมุมเอียงไม่เกิน 30
องศา กับสายส่งกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองกรณีที่ 2

ครั้งที่	การคำนวณโปรแกรม θ_1	ค่าที่วัดจริง θ_1	การคำนวณของโปรแกรม (Depth)	ค่าที่วัดได้จริง (Depth)	ค่าความผิดพลาด %
1	12.4	12.5	296 mm	300 mm	1.3
2	12.4	12.5	297 mm	300 mm	1
3	12.4	12.5	299 mm	300 mm	0.3
4	12.4	12.5	297.5 mm	300 mm	0.83
5	12.4	12.5	297.5 mm	300 mm	0.83
6	12.4	12.5	301 mm	300 mm	0.33
7	12.4	12.5	298 mm	300 mm	0.67

4.3 สรุปการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการสอบเทียบระบบสเตรียโอวิชชั่น พบว่าการคำนวณของโปรแกรมเทียบกับค่าที่วัดได้จริงมีความคลาดเคลื่อน 0.65 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยภาพถ่ายสเตอริโอทั้งในกรณีที่ 1 และ 2 จากการทดลองพบว่าความสูงของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่ามีความแม่นยำเป็นที่ยอมรับได้และผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มการทดสอบกรณีที่ 3 โดยตัวรถอยู่นอกช่องจราจรที่มีสายส่งกระแสไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่าเกิดค่าความผิดพลาดในระบบควบคุมและไม่สามารถนำมาใช้งานได้เนื่องจาก กล้องไม่สามารถจับภาพที่เห็นสายส่งกระแสไฟฟ้าได้ชัดเจน ซึ่งทำให้ระบบประมวลผลภาพไม่สามารถคำนวณค่าที่แม่นยำได้.

5. บทสรุป

5.1 สรุปงานวิจัย

จากการออกแบบระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสาย

ส่งจากด้านบน โดยใช้ภาพถ่ายสเตอริโอ พบว่าการใช้กล้องมาเป็นอุปกรณ์ควบคุมแขนรับกระแสไฟฟ้าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำ แต่การที่จะนำระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าโดยใช้ภาพถ่ายสเตอริโอมาใช้งานได้จริงนั้น จำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเพิ่มเติมและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

ติดตั้งอุปกรณ์ Hall effect ไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งช่วยให้แขนรับกระแสไฟฟ้าเข้าไปแตะสายส่งกระแสไฟฟ้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ “สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ” ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณแก่คณะผู้วิจัยในโครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาแบบจำลองและต้นแบบรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง: ต้นแบบตัวรถและระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน” นอกจากนี้ยังขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- British Trolleybus. (2004). *Trolleybus history - current collector design*. (Online).
<http://www.trolleybus.co.uk/history1.htm>,
 21 Sep, 2011.
 เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรการ และ ประสาน ปรงเจริญ. (2554). *การออกแบบชุดแขนรับไฟฟ้าสำหรับ*

- รถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟด้วยสายส่งจาก
ด้านบน. การประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25
กระบี่ ประเทศไทย 19 -21 ตุลาคม 2554.
- อานนท์ ชันทรศรี. (2551). โปรแกรมหาพิกัดสามมิติจาก
แบบจำลองเพื่อการทดลองวิทยาศาสตร์จาก
กล้องสองกล้องภาคสอง. โครงการแข่งขัน
พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- National Instruments. (2008). *Robotics Fundamentals*
Series - Stereo Vision. (Online).
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8176>
17 July, 2011.
- Wikipedia. (2004). *Focal length*. (Online).
http://en.wikipedia.org/wiki/Focal_length.htm
28 July, 2011.