

การติดตามวัตถุและการควบคุมตำแหน่งสำหรับระบบโมเดลรถไฟจำลองด้วยแมชชีนวิชัน Object Tracking and Position Control for a Model Train System Using Machine Vision

ฐกัต เบญจเลิศยานนท์^{1*}, ภูวดล โพธิ์แดง¹, วิชัย ศิวะโกศิษฐ์² และ วิฑิต ฉัตรรัตนกุลชัย¹

¹ ห้องปฏิบัติการควบคุมหุ่นยนต์และการขนส่งเทือน (CRVLAB) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

² ศูนย์วิศวกรรมระบบราง (KURAIL) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

*ติดต่อ: E-mail g5317500061@ku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0897287850

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมโมเดลรถไฟจำลองพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์ของผู้ขับรถไฟ รวมไปถึงการควบคุมระบบเดินรถ ซึ่งมีประโยชน์ในการศึกษาระบบอัตโนมัติสัญญาณโดยไม่ต้องขับรถไฟจริง งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาระบบควบคุมโมเดลรถไฟจำลอง เพื่อศึกษาการนำแมชชีนวิชันมาใช้ในการระบุตำแหน่งของรถไฟ ในระบบรถไฟจริง การวัดค่าตำแหน่งของรถไฟจะทำผ่านอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ติดอยู่ที่เพลาล้อและรางจากนั้นจะส่งค่าตำแหน่งและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกลับไปยังศูนย์ควบคุม อย่างไรก็ตาม ในโมเดลรถไฟที่มีขนาดเล็กนั้น การติดตั้งเซ็นเซอร์ดังกล่าวทำได้ยาก งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของรถไฟที่ได้จากการรับจากภาพดิบ โดยข้อมูลตำแหน่งที่ได้จะนำไปประมวลผลและส่งค่าสัญญาณไปยังรถไฟแบบดิจิทัลผ่านโปรแกรม NI LabVIEW ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า สามารถควบคุมตำแหน่งรถไฟตามตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำโดยไม่ต้องติดตั้งเซ็นเซอร์บนอุปกรณ์เพิ่มเติมทำให้สามารถนำไปออกแบบระบบอื่นๆ เพิ่มเติมได้ในอนาคต

คำหลัก: แมชชีนวิชัน, การติดตามวัตถุ, รถไฟจำลอง

Abstract

A development of model train control system offers the realistic train driver's experience along the railway and including with its control system. It is useful to study the signaling system without driving real train. In this research, a part of a development of model train control system, studies the using of machine vision to locate the train position. For real train, the train position was measured through the sensors attached to the axles and the tracks, then sent its and other relevant information back to the control center. However, it is difficult to install such sensors in the small model train. This research has developed algorithms to analyze the position of the train from received raw images. The location information will be processed and send to the digital train model system which simulated in NI LabVIEW. The computer simulation shows that the model train can tracks the desired position precisely without adding sensors on the train or the tracks. This makes it possible to design other systems in the future.

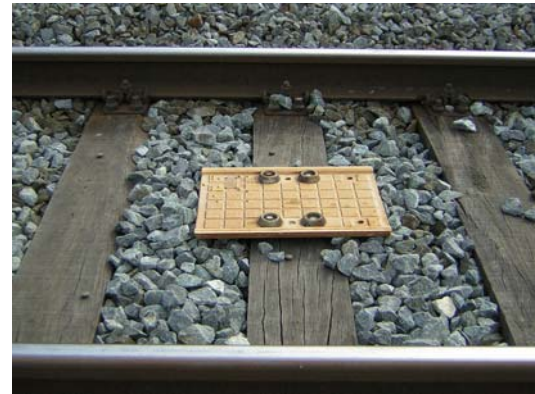
Keywords: machine vision, object tracking, model train

1. บทนำ

การทำงานของระบบควบคุมรถไฟประกอบด้วยส่วนต่างๆ หลายส่วนประกอบเข้าด้วยกัน ทั้งในส่วนของหัวรถจักร การควบคุมตัวรถของผู้ขับ การจัดการเดินรถโดยศูนย์ควบคุม ระบบอาณัติสัญญาณ เป็นต้น [1] เพื่อให้สามารถเดินรถได้อย่างราบรื่น ในการศึกษาการทำงานของระบบจึงต้องเข้าใจการทำงานแต่ละส่วนอย่างชัดเจน ในบทความนี้จึงได้ทำการเสนอการออกแบบและจัดทำระบบการควบคุมรถไฟจำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการศึกษาระบบการเดินรถของตัวรถไฟ โดยนำระบบโมเดลรถไฟจำลองแบบดิจิทัลมาพัฒนาพร้อมกับโปรแกรม NI LabVIEW ความยุ่งยากในการพัฒนาเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ไม่สามารถที่จะทราบค่าตำแหน่งของตัวรถไฟได้อย่างชัดเจน

การหาตำแหน่งของรถไฟในระบบจริงมีวิธีการที่หลากหลายกว่าเนื่องจากมีพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยอาจจะสามารถทราบได้จากเซนเซอร์จีพีเอส จากการคำนวณจากความเร็วที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพลาล้อ หรือจากอ่านค่าจากเบลีส (Balise) ที่ติดตั้งอยู่บนราง ข้อมูลจะถูกส่งข้อมูลผ่านสัญญาณไร้สายไปยังศูนย์ควบคุม อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถใช้งานได้ในระบบรถไฟจำลองที่ถูกกำหนดโดยข้อจำกัดเรื่องพื้นที่

บทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการรับค่าตำแหน่งของรถไฟจำลองด้วยการประมวลผลภาพที่ได้จากการรับภาพผ่านกล้องเว็บแคมซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพงและลดความยุ่งยากในการเดินสายสัญญาณ การประมวลผลจะถูกคำนวณภายใต้โปรแกรม NI-LabVIEW ร่วมกับกล่องเครื่องทางแมชชีนวิชัน [2,3] เมื่อได้ข้อมูลตำแหน่งจะทำการคำนวณและส่งสัญญาณควบคุมความเร็วให้กับหัวรถจักรผ่านอุปกรณ์ Z21 เพื่อควบคุมหัวรถจักรไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ทำให้สามารถกำหนดเส้นทางการเดินรถแบบอัตโนมัติ และไปพัฒนาอัลกอริทึมอื่นๆ เช่น ระบบ Automatic train protection (ATP) ระบบ Automatic train operation (ATO) เป็นต้น ได้อีกในอนาคต

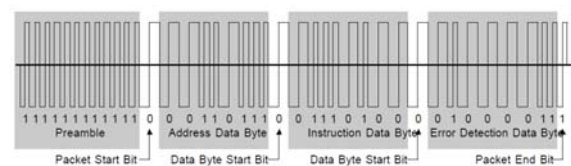


รูปที่ 1 Balise ในระบบรถไฟ (ที่มา Wikipedia)

2. ระบบโมเดลรถไฟจำลอง

โมเดลรถไฟจำลองมีการถูกใช้งานมาตั้งแต่อดีตและมีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องโดยมีความนิยมอยู่ในกลุ่มนักสะสมบางส่วน

มาตรฐานของโมเดลรถไฟจะถูกกำหนดโดย NMRA สำหรับในส่วนหนึ่งของระบบที่ใช้สัญญาณควบคุมแบบดิจิทัล การควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ จะถูกส่งผ่านโดยรูปแบบสัญญาณ DCC (Digital Command Control) [4] เช่น การควบคุมความเร็วของหัวรถจักร การควบคุมเสียง การควบคุมสวิตช์ เป็นต้น สัญญาณ DCC จะถูกส่งผ่านทางรางโดยมีแอดเดรสในการกำหนดอุปกรณ์ที่สั่งงาน อุปกรณ์แต่ละชิ้นที่จะถูกสั่งงานจะติดตั้งตัวถอดรหัส (DCC Decoder) ทำหน้าที่ในการแปลงรหัสให้เป็นคำสั่งที่ต้องการสั่งการ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ตัวอย่างสัญญาณ Digital Command Control (DCC) [4]

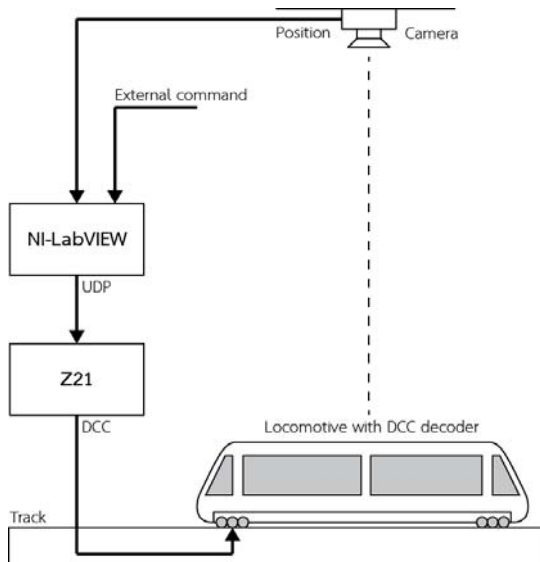
3. การติดตามตำแหน่ง

ในการติดตามตำแหน่งรถไฟจะแบ่งการนำเสนอออกเป็นสามส่วน คือ การวัดค่าตำแหน่งของรถไฟจากการใช้ระบบวิชัน การประมวลผลภาพเพื่อให้ภาพที่

รับมามีความเหมาะสมต่อการใช้งาน และ การส่งคำสั่ง เพื่อควบคุมตำแหน่งตัวรถ

3.1 การวัดตำแหน่งรถไฟ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย กล้องเว็บแคม Logitech รุ่น HD C615 ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมซึ่งติดตั้งโปรแกรม NI-LabVIEW ไดรเวอร์ที่เกี่ยวข้อง ชุดควบคุมรถไฟจำลองแบบดิจิทัล Z21 หัวรถจักร ส่วนประกอบของราง โดยอุปกรณ์ทั้งหมดใช้อัตราส่วนแบบ HO Scale (1:87) การเชื่อมต่อเพื่อการหาตำแหน่ง ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3



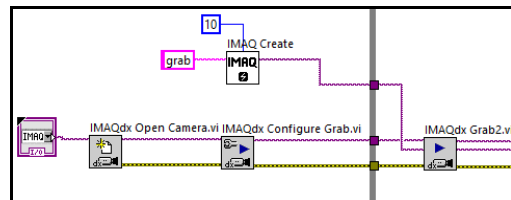
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการวัดตำแหน่งโมเดลรถไฟจำลอง

จากรูป ภาพที่ถูกถ่ายจากกล้องจะถูกส่งไปประมวลผลบนโปรแกรม LabVIEW เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของตัวรถไฟ หลังจากนั้นจึงทำการวางเพื่อส่งงานคำสั่งถัดไปให้แก่ตัวรถไฟ คำสั่งจะถูกส่งผ่านโปรโตคอล UDP ไปยัง Z21 คำสั่งจะถูกแปลค่าให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ DCC และส่งไปยังราง

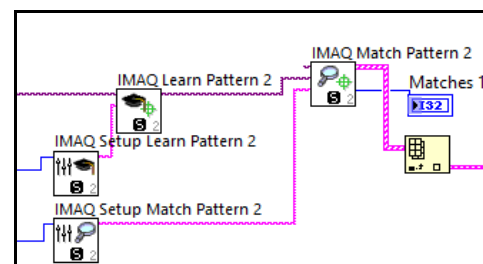
รูปที่ 6 แสดงคำสั่งบางส่วนที่ใช้ในการรับภาพจากกล้องเว็บแคม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล่องเครื่องมือ NI-IMAQdx ในรูปที่ 6 แสดงภาพได้จากการบันทึกผ่าน

กล้องเว็บแคมที่ติดตั้งอยู่เหนือรางซึ่งจะถูกใช้ในการหาตำแหน่งรถไฟ ภาพที่ได้มีความละเอียด 1920x960 พิกเซล บนตัวรถแต่ละคันจะมีการทำสัญลักษณ์ไว้สำหรับการระบุเลขของตัวรถไฟจากการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์จะทำให้สามารถระบุตำแหน่งของรถไฟแต่ละคันที่อยู่ในรูปของตำแหน่งบนพิกเซลของภาพ (รูปที่ 5 แสดง vi ที่ใช้ในการหาตำแหน่งรถไฟแต่ละคัน) ข้อมูลตำแหน่งที่ได้รับจะอยู่ในหน่วยพิกเซล (px) โดยค่า (x , y) = (0 px, 0 px) จะแสดงตำแหน่งบริเวณซ้ายบนของภาพ ในขณะที่มุมขวาล่างจะเป็นค่าตำแหน่ง (1920 px, 960 px)

เนื่องจากในรางรถไฟจริงจะมีการแบ่งออกเป็นช่วง ๆ สำหรับการใช้งาน ในที่นี้รางทั้งหมดจึงได้ถูกแบ่งออกเป็น T.1 ถึง T.26 แสดงได้ตามรูปที่ 7 โดยกำหนดให้ T.2, T.6 และ T.11 เป็นจุดมุ่งหมายของการเดินรถไฟจำลองซึ่งกำหนดให้เป็นสถานี คือ S.1, S.2, S.3 ตามลำดับ



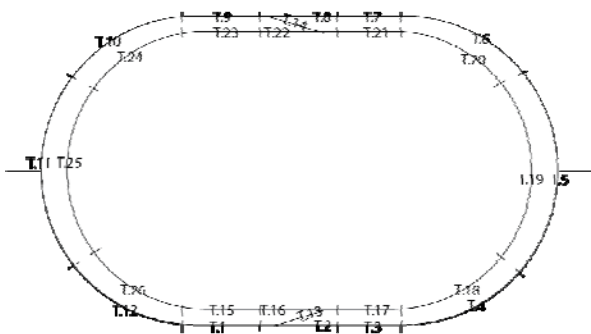
รูปที่ 4 vi ที่ใช้ในการรับภาพจากกล้อง



รูปที่ 5 vi ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของรถไฟแต่ละคัน



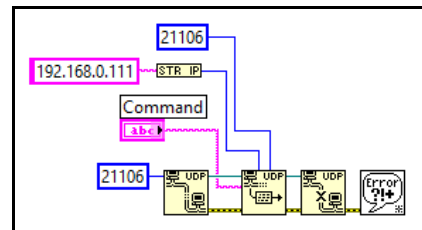
รูปที่ 6 ภาพที่ได้จากกล้อง



รูปที่ 7 การแบ่งรางออกเป็นช่วง

ขับเคลื่อน รูปที่ 8 จะแสดง vi ที่ใช้ส่งคำสั่ง UDP โดยต้องทำการกำหนดหมายเลขไอพีและพอร์ตของการเชื่อมต่อให้ถูกต้อง

ในการควบคุมตำแหน่งของตัวรถจะทำการส่งสัญญาณ UDP เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่อยู่บนตัวรถไฟจำลอง โดยกำหนดความเร็วสูงสุดค่าหนึ่งเมื่อมีการสั่งให้เคลื่อนที่ และให้ทำการลดความเร็วลงระดับหนึ่งเมื่อรถไฟเข้าใกล้เป้าหมายและส่งหยุดเมื่อถึงเป้าหมาย



รูปที่ 8 vi ที่ใช้ในการส่งคำสั่ง UDP

3.2 การประมวลผลภาพ

ภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมเป็นภาพแบบ RGB ความละเอียดสูงที่ยังไม่เหมาะต่อการคำนวณหาตำแหน่งตัวรถไฟด้วยความเร็วสูง ภาพที่ได้จะถูกนำไปทำให้เป็นภาพ Grayscale ก่อนด้วยคำสั่ง case image หลังจากนั้นจะใช้วิธีการมาสก์เพื่อกำจัดพื้นที่ที่ไม่สนใจออกจากรูปภาพด้วยคำสั่ง IMAQ mask เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการคำนวณจากการทดสอบพบว่าระบบมีความเร็วเพียงพอในการประมวลผล คำสั่ง match pattern ได้ถูกใช้ในการค้นหารูปแบบของวัตถุที่จะติดตามคำสั่งถูกกำหนดให้ติดตามรูปภาพที่ติดตั้งอยู่บริเวณหัวรถไฟ

3.3 การส่งสัญญาณคำสั่ง

คำสั่ง UDP ที่อยู่ในรูปของเลขฐาน 16 ถูกส่งผ่านคำสั่งภายใน Event loop คำสั่งต่าง ๆ ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตกล่องควบคุม z21 (ROCO) เมื่อเหตุการณ์ภายในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง คอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งผ่านระบบเครือข่ายไปยังกล่องควบคุม และกล่องควบคุมจะทำหน้าที่แปลงค่าเป็นสัญญาณ DCC ไปยังอุปกรณ์ที่กำหนดใน Address โดยมี Decoder ทำหน้าที่แปลงค่าเพื่อส่งไปยังมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่บนตัวรถไฟเพื่อทำการ



รูปที่ 9 การทดลองควบคุมรถไฟจำลอง

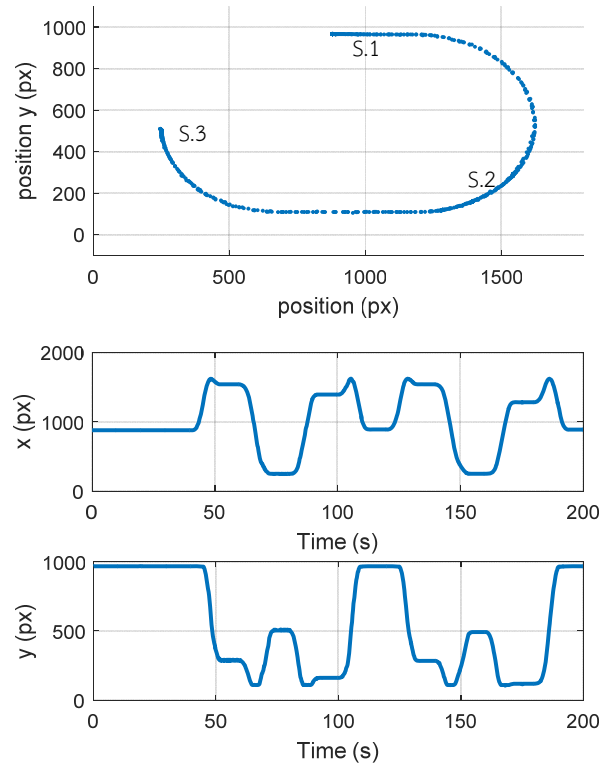
5. ผล

การทดสอบระบบควบคุมรถไฟจำลองจะทำการเสนอสถานะการตัวอย่างการเคลื่อนย้ายตัวรถจากตำแหน่งตั้งต้นไปยังตำแหน่งเป้าหมาย

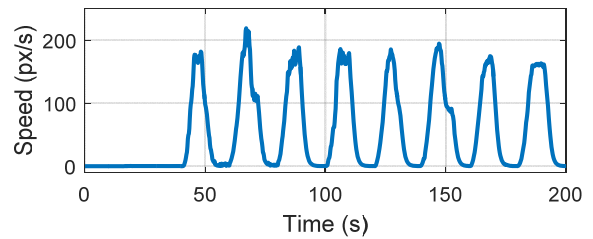
ในการควบคุมไปยังเป้าหมายจะทำการเคลื่อนตำแหน่งรถไฟจากสถานี S.1 (T.2) ไปจอดที่สถานี S.2 (T.6) และ S.3 (T.11) ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการควบคุมให้กลับมายัง S.2 และ S.1 รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการใช้กล้องในการระบุตำแหน่งของรถไฟ โดยรูปบนจะแสดงในรูปแบบของตำแหน่ง x-y โดย

จุดจะถูกเขียนลงทุกๆ 0.2 วินาที ภาพกลางและล่างแสดงตำแหน่งในแนวแกน y และ x ตามลำดับ และรูปที่ 11 แสดงความเร็วของตัวรถที่ได้จากการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งต่อเวลาในแนวการเคลื่อนที่ของตัวรถไฟ จากรูปพบว่ารถไฟจำลองสามารถเคลื่อนที่จากแทริกเริ่มต้นด้วยความเร็วค่าหนึ่ง และชะลอความเร็วลงและหยุดเมื่อตัวรถถึงแทริกเป้าหมายได้ถูกต้อง ค่าตำแหน่งที่วัดได้จากกล้องมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการรบกวนของสภาพของแสง แต่ก็ไม่มากจนทำให้แทริกที่รถไฟกำลังทำงานอยู่คลาดเคลื่อนไป อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปหาค่าความเร็วพบว่าการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทำให้ความเร็วที่คำนวณได้มีการแปรปรวนค่อนข้างมาก ในรูปจึงได้นำสัญญาณไปผ่าน low-pass filter เพื่อให้อ่านค่าได้ง่ายขึ้น ข้อจำกัดของการทดสอบพบว่า

นอกจากนี้ จากการทดสอบพบว่าคุณภาพของกล้องและสภาพแวดล้อมโดยรอบมีส่วนสำคัญในการระบุตำแหน่ง เนื่องจากกล้องได้ถูกจำกัดอัตรา Frame Rate ความสามารถในการชดเชยแสง ความสามารถในการโฟกัสภาพ ที่อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะเมื่อรถไฟถูกสั่งให้วิ่งด้วยความเร็วสูง ในการทดสอบนี้จึงได้จำกัดความเร็วไว้ที่ความเร็วประมาณ 200 px/s เพื่อให้ยังคงวัดตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 10 ผลการควบคุมตำแหน่งรถไฟจำลองจากตำแหน่ง S.1 ไปยัง S.2 และ S.2 ไปยัง S.3 และเคลื่อนที่กลับ



รูปที่ 11 ความเร็วของตัวรถจากการควบคุม

6. สรุป

การวัดตำแหน่งด้วยการอาศัยหลักการของแมชชีนวิชันและการประมวลผลภาพมาช่วยในการหาตำแหน่งและควบคุมรถไฟจำลอง ทำให้สามารถควบคุมตัวรถให้สามารถไปยังตำแหน่งที่ต้องการที่อยู่ภายในขอบเขตการทำงานของกล้อง ทำให้สามารถลดการพึ่งพาอุปกรณ์จำพวกเซนเซอร์ในการหาตำแหน่งรถไฟได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้สามารถนำไปพัฒนาขั้นตอนวิธี เพื่อพัฒนาให้ระบบทั้งหมดมีความใกล้เคียงกับระบบรถไฟจริงมากยิ่งขึ้นในอนาคต

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Overview of Signaling and Train Control Systems (2006). Electric Traction Systems, 2006. The 9th Institution of Engineering and Technology Professional Development Course on. Manchester p.336-350.
- [2] Kwon, K.S. and Ready, S. (2015). Practical Guide to Machine Vision Software An Introduction with LabVIEW, Wiley-VCH, Germany.
- [3] ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์ (2559). การประยุกต์ อัลกอริทึมแมชชีนวิชันโดยใช้ NI Vision, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] National Model Railroad Association, Inc. (2004). DCC Communications Standard, URL: <http://www.nmra.org/index-nmra-standards-and-recommended-practices>, access on 15/02/2016.