ระบบการขับเคลื่อนรถอัจฉริยะด้วยกล้อง และระบบช่วยเหลือนำทางอื่นๆ

Motion Control of Intelligence Vehicle Using Camera and Other Systems

อลิสา คูณาภินันท์, อรนุช หล่อสกุล, ธีรพงษ์ สุขจิตร, สุรธนา จันทรจิตต์, วัชรวิทย์ แสนสุโพธิ์,
ฝนทิพย์ ศากรวิมล, Syed Saqib Hussian Shah, ชวพล ดิเรกวัฒนะ และ ผศ.ดร. จักรกฤษณ์ ศุทธากรณ์

สำนักงานเครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถ. พุทธมณฑล สาย 4 ศาลายา นครปฐม 73170

alisa@bartlab.org, auranuch@bartlab.org, tuck_p@hotmail.com, suratana@bartlab.org, watcharawit@bartlab.org, fontip@bartlab.org, saqib@bartlab.org, chawapol@bartlab.org, jackrit@bartlab.org

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติบนรถ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนยานพาหนะ ระบบที่คิดค้นขึ้นนี้ เป็นระบบที่อาศัยภาพจากกล้องในการหาขอบถนน พื้นถนน สัญญาณจราจร และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ กล้องด้านข้าง ตรวจจับว่ากำลังจะตกขอบถนนหรือไม่ รวมทั้งระบบเสริมอื่น ๆ ได้แก่ จีพีเอสในการตรวจสอบเส้นทาง ระบบตรวจวัดระยะทาง และเข็มทิศอิเล็กทรอนิคส์ ในการตรวจสอบหาระยะทางและทิศทางในการเคลื่อนที่ เมื่อนำระบบทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน ทำให้ยานพาหนะที่ติดตั้งระบบนี้สามารถขับเคลื่อนไปได้ตามเส้นทาง ขับเคลื่อนได้ถึงจุดหมายที่ต้องการ และสามารถปฏิบัติตามกฎได้อย่างถูกต้อง

1. บทนำ

ในการขับเคลื่อนยานพาหนะต่างๆ ส่วนใหญ่มักจะใช้การมองเห็นเป็นปัจจัยหลักในการตัดสินใจว่าควรจะกระทำอย่างไรกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งสถานการณ์เหล่านี้ อาจจะเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ค่อยซับซ้อน ได้แก่ เส้นทางถนนทั่วๆไป หรือ เหตุการณ์ที่ซับซ้อน ได้แก่ ป้ายจราจร หรือสิ่งกีดขวางต่างๆ เป็นต้น สายตาของมนุษย์นั้น สามารถมองเห็นภาพเป็นสามมิติได้ ตาทั้งสองข้าง เปรียบเสมือนทำหน้าที่เป็นกล้องสองตัว จึงเกิดความคิดว่า ถ้านำกล้องสองตัวมาประยุกต์ใช้ในการมองภาพ ก็จะสามารถหาความลึกของพื้นท้องถนน และสิ่งกีดขวางที่อยู่ตามพื้นถนนได้ รวมทั้งในแต่ละภาพ ก็จะสามารถหาสัญญาณจราจร ป้ายจราจรได้อีกด้วย สำหรับการตรวจสอบว่า ยานพาหนะที่กำลังขับเคลื่อนอยู่นั้น อยู่ที่ตำแหน่งใด เราจึงใช้ระบบตรวจสอบแบบอื่นๆ มาช่วยให้รถอัจฉริยะสามารถตัดสินใจได้ดีขึ้น อันได้แก่ ระบบตรวจสอบระยะทาง (Encoder) เข็มทิศอิเล็กทรอนิคส์ (Compass) และ ระบบตรวจสอบตำแหน่ง (GPS) ระบบกล้องข้างยานพาหนะเพื่อให้ยานพาหนะวิ่งอยู่ภายในถนน โดยไม่หลุดออกนอกถนน

2. การออกแบบและติดตั้งระบบของรถอัจฉริยะ

ยานพาหนะที่ทำการติดตั้งระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ ได้รับการดัดแปลงมาจากรถบังคับด้วยตัวเองขนาดเล็ก ซึ่งในตัวรถบังคับนี้ มีมอเตอร์และแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนตัวรถบังคับ และหลังจากดัดแปลงรถบังคับแล้ว ตัวระบบการขับเคลื่อนสามารถขับเคลื่อนได้ทั้งไปข้างหน้าและข้างหลัง ควบคุมการเลี้ยวของล้อได้ รวมถึงระบบเบรคอิเล็กทรอนิคส์ ที่สามารถใช้งานได้ทั้งในระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ และ

ระบบขับเคลื่อนโดยผู้ขับขี่ ซึ่งใช้ในกรณีที่ต้องการจะขับเคลื่อนด้วยตัวเอง

ตัวขับเคลื่อนทั้งหมด พร้อมทั้งระบบช่วยเหลือการนำทาง อันได้แก่ เข็มทิศอิเล็กทรอนิคส์ และจีพีเอส ซึ่งเป็นตัววัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม ระบบตรวจวัดระยะทาง ใช้ตรวจหาระยะทางการวิ่ง อุปกรณ์ทั้งหมด จะทำการติดต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่ถูกติดตั้งอยู่ในรถดัดแปลงนี้

สำหรับตัวคอมพิวเตอร์นั้น นอกจากจะติดต่อกับคอนโทรลเลอร์เพื่อรับค่าจากระบบช่วยเหลือการนำทางต่างๆ และ ส่งคำสั่งการขับเคลื่อนของตัวรถแล้ว ยังมีการเชื่อมต่อกับกล้องสี่ตัว ได้แก่

- กล้องด้านหน้า ซึ่งภายในเป็นกล้องสองตา รับภาพเป็นภาพขาวดำ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ ทำหน้าที่คล้ายตาของมนุษย์ทั้งสองข้าง สามารถจำลองภาพสองมิติสองภาพจากกล้องด้านซ้ายและด้านขวา ให้กลายเป็นภาพสามมิติได้ ทำหน้าที่ในการตรวจสอบขอบถนน ความลึกและระยะห่างระหว่างตัวรถและขอบถนน สิ่งกีดขวางต่างๆ รวมทั้ง ป้ายจราจร และสัญญาณจราจร
- กล้องด้านหน้าที่มองเห็นภาพสีได้ ทำหน้าที่ตรวจสอบไฟสัญญาณจราจรและป้ายจราจรเป็นหลัก แต่ก็สามารถตรวจสอบกรวยและขอบถนนได้อีกด้วย
- กล้องข้างสองตัว ซึ่งแต่ละตัวจะติดตั้งอยู่ที่ด้านข้างของรถแต่ละข้าง เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่า รถที่กำลังขับเคลื่อนอยู่นั้น กำลังจะอยู่นอกถนนหรือไม่

รูปที่ 1 แสดงลักษณะของรถอัจฉริยะ

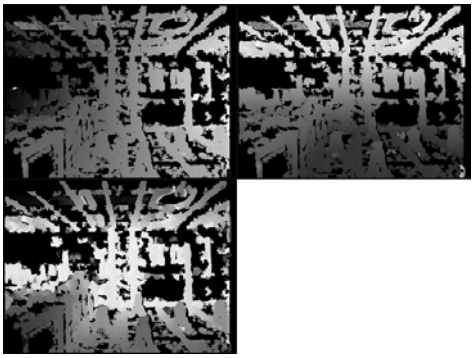
3. ระบบกล้องภายในรถอัจฉริยะ

ระบบกล้องภายในรถอัจฉริยะ แบ่งออกเป็นสามส่วน คือ

3.1. กล้องด้านหน้าที่มองเห็นภาพสามมิติ

กล้องด้านหน้าที่สามารถมองเห็นภาพสามมิติได้นั้น มีลักษณะเป็นกล้องสองตัวที่ตั้งวางไว้คู่ขนานกัน ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายตาสองข้างของมนุษย์ และถ่ายภาพสองภาพนั้น *(รูปที่ 2)* ซึ่งจะมีความแตกต่างระหว่างภาพสองภาพนั้นเล็กน้อย แล้วนำภาพทั้งสองภาพนี้ไปประมวลผลจนสามารถแบ่งภาพออกเป็นความลึกของถนน ความสูงของสิ่งกีดขวาง และระยะจากซ้ายไปขวาในสภาวะของสามมิติ *(รูปที่ 3)* โดยดูจากความแตกต่างของพิกเซลสี ยิ่งมีความลึก, ความสูงมากเท่าใด พิกเซลสียิ่งเข้มขึ้นเท่านั้น จากนั้นจึงนำภาพความสูงของสิ่งกีดขวาง มาหาว่า ส่วนใดของภาพมีความสูงผิดปกติ แล้วนำภาพของความลึกที่ช่วงสีต่างๆกัน แล้วตรวจสอบว่าบริเวณใดที่มีภาพที่ซ้อนทับกันบ้าง ก็จะสามารถทราบได้ว่า ที่ความลึกของภาพ ระยะหนึ่งๆ มีสิ่งกีดขวางใดอยู่ และสามารถหาระยะห่างจากเส้นกลางของกล้องได้โดยเทียบระดับสีของภาพระยะจากซ้ายไปขวาของวัตถุนั้น ก็จะทราบระยะ และความลึกของสิ่งกีดขวางนั้นได้ *(รูปที่ 4)*

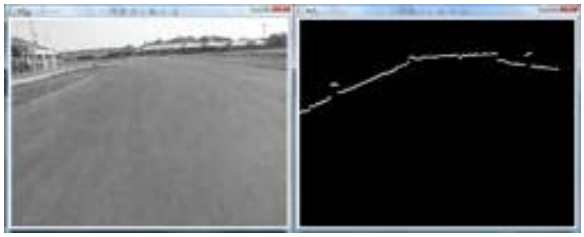
รูปที่ 2 แสดงภาพจากกล้องสองตาโดยเป็นภาพด้านซ้ายและด้านขวาของกล้อง



รูปที่ 3 แสดงภาพหลังจากประมวลผลได้ออกมาเป็นภาพระยะจากซ้ายไปขวา (ภาพซ้ายบน) ภาพมองความสูงจากพื้น (ภาพขวาบน) และภาพที่มองเห็นระยะความลึก (ภาพซ้ายล่าง)

รูปที่ 4 แสดงภาพหลังจากประมวลผล และผลลัพธ์ที่ได้ โดยหาวัตถุที่มีความสูงจากพื้นประมาณ 30-60 เซนติเมตร แล้วหาความลึกและระยะที่ได้ โดยประมวลผลออกมาเป็นตำแหน่งของภาพที่มองได้จากด้านบน

สำหรับเส้นขอบถนนนั้น กล้องด้านหน้าสามารถมองหาและตรวจสอบได้โดยการนำภาพมาตัดหาเส้นขอบและหาเส้นขอบถนน โดยการมองภาพจากด้านล่างขึ้นด้านบน ถ้าเจอจุดของเส้นขอบถนน ให้เก็บค่าตำแหน่งของภาพเอาไว้ และเมื่อตรวจสอบจนครบทั้งภาพ ก็จะได้เส้นขอบถนนออกมา และเมื่อนำตำแหน่งต่างๆ เหล่านี้ไปประมวลผลหาความลึก และระยะทางของสิ่งกีดขวางก็จะทำให้สามารถรู้ตำแหน่งของเส้นขอบถนนได้ *(รูปที่ 5)*



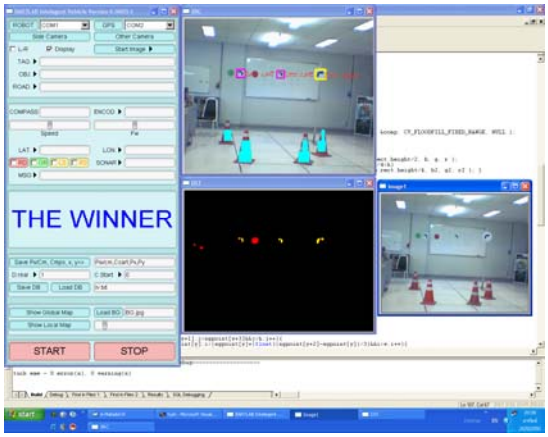
รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบหาเส้นขอบถนน

การตรวจสอบหาป้ายจราจรตรวจสอบได้โดยหาลักษณะของป้ายที่เป็นรูปทรงมาตรฐาน ในที่นี้คือวงกลม แล้วจึงแยกส่วนของภาพออกมาประมวลผล โดยตรวจสอบเฉพาะบริเวณที่มีความเป็นไปได้เท่านั้น ไม่ได้ตรวจสอบบริเวณอื่น จากนั้นนำลักษณะภายในของภาพมานับจำนวนของสัญลักษณ์ทีละแถว และตรวจสอบลักษณะของรูป แล้วจึงแบ่งตามลักษณะของสัญลักษณ์ออกมาเป็นสัญญาณป้ายจราจร การทดลองครั้งนี้ กระทำเพียงแค่ตรวจสอบลักษณะของป้ายจราจรที่ใช้เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาเท่านั้น โดยตรวจสอบนับจำนวนสีดำทีละพิกเซลของป้ายจราจร ถ้าสีดำด้านหนึ่งของภาพ มากกว่าอีกด้านหนึ่ง ก็แสดงว่า ป้ายนั้น สั่งให้เลี้ยวไปตามบริเวณที่สีดำน้อยกว่า

รูปที่ 3 แสดงการทดสอบการตรวจจับสัญญาณจราจร

3.2. กล้องด้านหน้าที่มองเห็นภาพสี

สำหรับกล้องด้านหน้าที่มองเห็นภาพสามมิติได้นั้น ไม่สามารถมองเห็นภาพสีได้ในขณะนี้ จึงได้นำกล้องด้านหน้าที่สามารถมองเห็นภาพสีได้มาเสริมอีกขั้นหนึ่ง เพื่อใช้ในการหาป้าย สัญญาณจราจร และกรวยได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากว่า สัญญาณจราจรส่วนใหญ่เป็นสีที่สามารถแยกความแตกต่างของถนนกับตัวสัญญาณได้อย่างชัดเจน ตัวกล้องสีนั้นจะดึงสีของกรวยออกมา และประมาณระยะทางอย่างคร่าว ๆ จากการขีดเส้นบอกระยะทางภายในโปรแกรม และสัญญาณจราจรเขียวแดงนั้น จะทำการหาบริเวณวงกลมที่มีสีต่าง ๆ กัน แล้วแยกสีออกมา เพื่อตรวจสอบว่า สัญญาณที่เห็นนั้นมีสีอะไร



รูปที่ 7 แสดงการตรวจสอบป้ายจราจร และกรวยโดยใช้กล้องสี

การตรวจสอบป้ายจราจรของภาพสี ทำการตรวจได้โดยการหาสีของสัญญาณจราจรที่มีสีเข้ม และรูปร่างที่มีลักษณะเหมือนสัญญาณจราจร นำไปตรวจสอบว่าสัญญาณจราจรที่พบ เป็นรูปร่างอย่างไร จากนั้นจึงแสดงผลการประมวลผลออกมา

3.3 กล้องด้านข้างสองข้างของตัวรถ

สำหรับกล้องด้านข้างทั้งสองข้างของตัวรถ มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบว่า รถกำลังวิ่งตกถนน หรือกำลังจะชนกรวยจราจรแล้วหรือไม่ โดยการนำภาพที่ได้รับมาเกลี่ยสี โดยใช้เทคนิค color image Segmentation โดยปรับให้พิกเซลที่มีสีที่ใกล้เคียงกันมีค่าสีเป็นค่าเดียว เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบ จากนั้นจึงแบ่งภาพออกเป็นช่องเล็กๆ 12*16 ช่อง โดยแต่ละช่องนั้น จะทำการหาค่าเฉลี่ยของสีออกมา เป็นค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จากนั้นนำภาพมาเปรียบเทียบสีที่ได้กับสีเทา ซึ่งปกติแล้วตามพื้นถนนนั้น มักจะเป็นสีเทา ถ้าหากว่าช่องนั้นไม่น่าจะใช่สีเทา ก็จะถือว่าช่องๆ นั้น ไม่ใช่ถนนไป และถ้าภาพนั้นเป็นสีเทา ก็จะตรวจสอบว่า สีของภาพนั้นใกล้เคียงกับสีของพื้นถนนที่อยู่ใกล้กับตัวรถหรือไม่ ถ้าใช่ ก็ถือว่าช่องนั้นคือถนน และทำการรวมจำนวนช่องที่เป็นถนนออกมา ถ้าจำนวนช่องที่เป็นถนน น้อยกว่าที่กำหนด แสดงว่าตัวรถกำลังจะตกถนน ให้รีบเลี้ยวรถก่อนที่จะตกถนนทันที

กล้องด้านข้างนี้ สามารถตรวจสอบหากรวยจราจรได้เช่นกัน โดยตรวจสอบจากความเข้มของสีแดงที่พบในแต่ละช่องมากกว่าความเข้มสีอื่นๆ ประมาณหนึ่งเท่า ก็จะให้นับช่องนั้นเป็นสีแดง และถ้าจำนวนช่องของสีแดงนั้น มากเพียงพอที่จะพิจารณาได้ว่า ภาพที่พบมีกรวยจราจรแน่นอน ก็จะแสดงผลออกมาว่า ได้พบกรวยจราจรแล้ว ให้เลี้ยวหนีออกจากกรวยนั้น

4. ระบบอื่นๆ ของรถอัจฉริยะ

ตัวระบบที่อยู่นอกเหนือจากกล้องนั้น มีตัวตรวจสอบระยะทาง (Encoder) เข็มทิศอิเล็กทรอนิคส์ (Compass) ซึ่งจะทำหน้าที่ร่วมกับ ระบบตรวจสอบตำแหน่งผ่านดาวเทียม (GPS) เพื่อบอกทิศทาง และระยะทางของรถว่าตัวรถอัจฉริยะนั้น อยู่ที่ตำแหน่งใดอย่างคร่าวๆ เพื่อให้รถอัจฉริยะตัดสินใจได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น และทำให้สามารถบอกได้ว่า ทิศทางที่รถวิ่งไปนั้น ถูกต้องหรือไม่

5. การรวมระบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจ

จากที่ระบบของรถอัจริยะในครั้งนี้ มีระบบที่หลากหลาย และแยกการทำงานออกจากกันอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงต้องมีระบบกลางซึ่งทำหน้าที่ในการรวมผลลัพธ์การทำงานในแต่ละระบบเข้าด้วยกัน และทำการตัดสินใจว่าควรจะสั่งให้รถวิ่งไปทางใด และเมื่อระบบต่างๆ ส่งข้อมูลมาให้ไม่ตรงกัน ควรจะเชื่อถือระบบใดมากที่สุด

การเน้นแยกระบบการทำงานของแต่ละส่วน มีข้อดีคือ แต่ละส่วนสามารถตัดสินใจโดยไม่ต้องพึ่งพาระบบอื่นได้ และถ้าหากระบบใดระบบหนึ่ง เกิดขัดข้อง ไม่สามารถทำงานต่อได้ ระบบหลักก็ยังสามารถทำงานได้โดยไม่เสียหายมากนัก เพียงแค่ประสิทธิภาพลดลงเท่านั้น

สำหรับข้อมูลการตัดสินใจของระบบกลางนั้น ให้ถ่วงน้ำหนักไปที่หน้าที่หลักของกล้องแต่ละตัว และนำระบบช่วยนำทางระบบอื่น ๆ เข้ามาช่วยเสริม โดยที่กล้องด้านข้างจะถ่วงน้ำหนักมากกว่า ตัวรถใกล้จะตกถนนแล้วหรือไม่ ซึ่งถือว่ากล้องสองตัวนี้มีความสำคัญ

มาก จะเน้นน้ำหนักมากที่สุด และเชื่อถือที่สุด แต่บางครั้ง กล้องสองตัวนี้วิ่งไปพบโค้งหักศอก ทำให้กล้องทั้งสองตรวจพบว่า ไม่ใช่ถนนทั้งคู่ ซึ่งในกรณีนี้ ถ้าไม่มีระบบอื่นมาช่วยเสริม ก็จะทำให้รถหยุดทันที จึงต้องนำระบบตรวจสอบวัดระยะทาง เข็มทิศอิเล็กทรอนิคส์ และแผนที่ดาวเทียม ทำการตรวจเช็คว่า ควรให้รถวิ่งไปอย่างไรต่อ โดยอิงจากแผนที่ช่วงขอบเขตคร่าว ๆ

กล้องด้านหน้าที่มองเห็นภาพสามมิติได้นั้น เน้นน้ำหนักไปที่วัตถุสิ่งกีดขวาง และกรวยจราจร ซึ่งกล้องภาพสามมิติ สามารถตรวจสอบระยะทาง ของกรวยจราจร และสิ่งกีดขวางได้ถูกต้องที่สุด เมื่อได้วัตถุสิ่งกีดขวางที่ระยะไกลแล้ว ระบบจะจดจำและตรวจเช็คว่า ตัวรถจะวิ่งไปถึงสิ่งกีดขวางที่เวลาใด และถ้าวิ่งไปถึงระยะแล้ว จะชนสิ่งกีดขวางหรือไม่ โดยดูจากระบบตรวจสอบระยะทาง ซึ่งจะทำให้ทราบความเร็วอย่างคร่าวๆ ได้ และทำให้สามารถหลบสิ่งกีดขวางนี้ได้ทันท่วง

กล้องด้านหน้าที่มองเห็นภาพสี เน้นน้ำหนักที่สัญญาณไฟจราจร และป้ายจราจร ซึ่งกล้องตัวนี้สามารถมองเห็นชัดเจนที่สุด โดยตรวจสอบว่าไฟสัญญาณจราจรที่พบนั้น มีสีอะไร แล้วนำไปเปรียบเทียบว่าโซนที่ตรวจสอบได้นั้น ควรจะมีสัญญาณไฟจราจรหรือไม่ ถ้าไม่มี ให้ถือว่าการตรวจสอบสัญญาณจราจรนั้นผิด อาจจะเป็นการตรวจพบสัญลักษณ์อื่นที่ไม่ใช่สัญญาณไฟจราจร แต่ถ้าหากว่าการตรวจพบนั้น อยู่ในโซนที่ควรจะมีป้ายจราจร ก็จะใช้ระบบตรวจสอบระยะทางของรถ ทำการตรวจสอบว่า ถ้าหากเป็นสีแดง ควรจะหยุดที่ตำแหน่งใด และถ้าหากเป็นไฟเขียว ก็จะวิ่งผ่านไป

การตรวจสอบป้ายจราจรของกล้องหน้าตัวนี้คล้ายคลึงกับการตรวจสอบหาสัญญาณไฟจราจร คือ อ้างอิงจากตำแหน่งของแผนที่ ว่าตำแหน่งนี้ควรมีป้ายจราจรหรือไม่ และเมื่อตรวจพบ และยืนยันว่า มีสัญญาณจราจรแล้ว ก็ให้ตรวจสอบระยะทาง เทียบกับความเร็วว่าควรปฏิบัติตามกฎจราจรของป้ายที่ระยะใดจึงจะเหมาะสม

ระบบกลางนี้ หลังจากคัดกรองความน่าเชื่อถือของแต่ละระบบได้แล้ว ก็จะนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน โดยจำลองการวาดภาพออกมาเป็นแผนที่ และวัดความเร็วของแผนที่นั้น โดยอ้างอิงจากระบบวัดระยะทาง เทียบกับเวลา พร้อมทั้งนำช่วงของแผนที่ที่น่าจะเป็นไปได้ มาเทียบ และส่งสัญญาณให้ระบบแต่ละระบบทำงาน หรือสั่งให้หยุดทำงาน เพื่อลดทอนการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ให้น้อยลงมากที่สุด ซึ่งจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบรถอัจฉริยะได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อทำการวาดแผนที่จำลองออกมาแล้ว ระบบกลางก็จะทำการขีดเส้นทางเดินของรถที่ควรจะวิ่งไป โดยเทียบกับสิ่งกีดขวาง และเส้นขอบถนนรอบๆ แล้วขีดเส้นทางเดินระหว่างกลางของเส้นขอบถนน และสิ่งกีดขวางนั้น เพื่อให้รถวิ่งไปได้บนเส้นทางมากที่สุด และมีโอกาสตกขอบถนนได้น้อยที่สุด

รูปที่ 8 แสดง Interface ของระบบประมวลผลกลาง

6. จากการสาธิตทดลอง

รถอัจฉริยะที่สร้างขึ้นนี้ สามารถวิ่งไปมาตามถนนโดยไม่ตกถนนได้เป็นอย่างดี สามารถมองเห็นสัญญาณไฟจราจรสีแดงได้ชัดเจน มองเห็นป้ายจราจรเลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาได้ถูกต้อง สามารถตรวจสอบหากรวยจราจรและสิ่งกีดขวาง โดยสามารถบอกความลึก และระยะของกรวยจราจร และสิ่งกีดขวาง ได้อย่างถูกต้อง สามารถเลี้ยวไปตามทางเลี้ยวของถนน และหลบเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้เป็นอย่างดี สามารถปฏิบัติตามกฎจราจรได้ถูกต้องส่วนหนึ่ง

7. ข้อเสนอแนะ

การใช้ระบบของกล้อง มีข้อเสียคือ แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลานั้น ทำให้ภาพที่ได้รับมีระดับความเข้มแสงในขณะที่ทดสอบไม่เท่ากัน บางครั้งแสงแดดจ้าหรือแสงแดดอ่อนมากเกินไป จนทำให้สีของภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่สามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจน

การตรวจสอบหาไฟจราจรสีเขียวนั้น หาได้ยาก เพราะว่าสีเขียวใกล้เคียงกับสีของภาพทิวทัศน์ต่างๆ ซึ่งสำหรับสีแดงนั้น เป็นสีที่มองเห็นได้ชัดเจนกว่า จึงไม่ยากต่อการตรวจสอบนัก

สำหรับระบบของรถอัจฉริยะในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แยกการทำงานกันอย่างชัดเจนมากเกินไป และไม่มีการรับผลการประมวลอื่นๆ เพื่อไปช่วยในการตัดสินใจที่ดีขึ้น บางครั้งผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าไม่ตรงกันเลย ทำให้ระบบกลางเกิดความสับสน ว่าควรจะเชื่อถือระบบใด ดังนั้น ในการพัฒนาต่อๆไป จะเพิ่มการรับข้อมูลจากระบบกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพิจารณาของแต่ละระบบให้ดียิ่งขึ้น

ระบบกล้องของรถอัจฉริยะมีจำนวนมากจนทำให้มีการรับภาพและประมวลผลที่ช้าเกินไป หลังจากรวมระบบแล้ว ซึ่งหากเป็นไปได้ ควรลดจำนวนของกล้องลง เพื่อทำให้การประมวลผลเร็วขึ้นกว่าเดิม

8. บรรณานุกรม

[1] Rafael C. Gonzalez, Richard E: Woods, *Digital Image Processing,* Prentice Hall Inc., 2001.

[2] Stuart Russell, Peter Norvig, *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Prentice Hall Inc, 2003.

[3] Intel Cooperation, *OpenCV Reference Manual*