# บทที่ 2
# ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน คือ ยานพาหนะจริงแบบจำลองที่สร้างภายใต้หลักการเปลี่ยนแปลงขนาด (Scaling law) โดยเมื่อขนาดเปลี่ยนไปยังคงคุณสมบัติทางพลศาสตร์เช่นเดิม ในส่วนของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนนั้นจะมีความสมมูลกับยานพาหนะจริงต้นแบบที่เลือกไว้ในการเปลี่ยนแปลงขนาด เพื่อศึกษาพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นแทนการทดสอบจากยานพาหนะจริงภายใต้เงื่อนไขในการทดสอบ ดังนั้นจะเห็นว่าแบบจำลองจริงนั้นได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากทั้งในแวดวงอุตสาหกรรมในทางด้านการผลิต การออกแบบ รวมไปถึงงานวิจัยในวงการศึกษาและงานวิจัยระดับสูง สาเหตุที่สำคัญที่ใช้แบบจำลองแทนอุปกรณ์จริง คือ ต้นทุนที่ต่ำในการลงทุน ระยะเวลาในการทดสอบ ความปลอดภัย รวมถึงการทดสอบซ้ำได้ สำหรับแบบจำลองจริงนั้นได้เริ่มมีการสร้างตั้งแต่ปี ค.ศ.1950 โดย G.I Taylor [1] ได้สร้างแบบจำลองจริงของระเบิดเพื่อศึกษาพัฒนาประสิทธิของระเบิด หลังจากนั้นได้มีการนำเอาแบบจำลองจริงไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ มากมาย อย่างที่เห็นกันอย่างแพรหลายในปัจจุบัน เช่น การสร้างอุโมงค์ลมสำหรับศึกษาพลศาสตร์ของปีกเครื่องบินเพื่อใช้ในการออกแบบ รวมถึงอุโมงค์ลมสำหรับยานยนต์จริงเพื่อใช้ในการออกแบบ แต่สำหรับการสร้างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนนั้นผู้ริเริ่มคนแรกคือ A. Alleyne [2] ในปี ค.ศ.1998 ซึ่งได้มีการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยจะอธิบายต่อไปในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

## 2.1 หลักการของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

ในการสร้างและออกแบบยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนนั้น จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลของยานพาหนะจริงที่เลือกไว้เป็นต้นแบบ เช่น ระยะห่างจากเพลาของล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะ ($a$) ระยะห่างจากเพลาของล้อหลังถึงจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะ ($b$) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อหน้ากระทำกับผิวถนน ($C_{\alpha f}$) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อหลังกระทำกับผิวถนน ($C_{\alpha r}$) โมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะรอบแกน z ($I_z$) และมวลของยานพาหนะทั้งคัน ($m$) เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะต้องผ่านการวิเคราะห์จากขบวนการทางคณิตศาสตร์ การจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless group) กฎความคล้าย (Similarity law) และหลักทฤษฎีของบังคิงแฮมพาย (The Buckingham PI's theorem) จนในท้ายสุดจะอยู่ในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ซึ่งข้อมูลกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้จะเป็นค่ากลุ่มข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบและสร้างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

## 2.2 ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนแบบต่าง ๆ

ตั้งแต่ปี ค.ศ.1998 เป็นต้นมาที่มีการสร้างและพัฒนายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนขึ้น โดยสามายานพาหนะแบ่งออกเป็นลักษณะใหญ่ 2 ประเภท ซึ่งแบ่งตามการทดสอบพลศาสตร์ คือ ประเภทแรกคือ ให้ยานพาหนะวิ่งอยู่บนถนนจำลอง (Treadmill) โดยถนนจำลองจะทำหน้าที่หมุนเคลื่อนที่แล้วส่งผลให้ล้อของยานพาหนะหมุนตามด้วยความเร็วที่ถนนจำลองหมุนเคลื่อนที่ [2,3] อีกประเภทคือให้ยานพาหนะวิ่งด้วยตัวมันเองภายใต้การทำงานของมอเตอร์ในการหมุนล้อ [2] ในส่วนของขนาดความยาว และความกว้างของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน โดยทั่วไปขึ้นกับอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งลงไป เนื่องจากว่าอุปกรณ์ตรวจวัดทุกตัวที่ติดตั้งลงไปที่ยานพาหนะจะมีผลต่อพลศาสตร์ของยานพาหนะ ดังนั้น อุปกรณ์แต่ละตัวที่จะติดตั้งมีผลต่อการเลือกขนาดของยานพาหนะ โดยหากใช้ขนาดของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน 1:10[3] จะเห็นว่าไม่สามายานพาหนะติดตั้งอุปกรณ์ลงไปได้หมด จึงใช้สายสัญญาณต่างๆต่อระหว่างยานพาหนะย่อส่วนและคอมพิวเตอร์ควบคุม ทำให้มีข้อจำกัดในการทดสอบ ในส่วนของขนาด 1:5[4] จะเห็นได้ว่าสามายานพาหนะที่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดข้อมูลลงไปได้หมด และลดปัญหาของสายสัญญาณต่างๆที่ต่อมาจากภายนอก แต่ข้อเสีย คือต้องใช้พื้นที่มากในการทดสอบ โดยรายละเอียดของงานวิจัยแต่ละแบบที่เกี่ยวข้องอธิบายดังต่อไปนี้

## 2.3 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน ในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนที่สำคัญๆ คือ โครงสร้างของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่ออกแบบภายใต้กลุ่มตัวแปรไร้มิติซึ่งอาศัยทฤษฎีของบังคิงแฮมพาย วิธีการทดสอบหาค่าข้อมูลจำเพาะของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน การทดสอบและการออกแบบระบบควบคุมตามการประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นดังนี้

### 2.3.1 Modeling and control issues associated with scaled vehicles, 1999 [2]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และออกแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน โดยการพัฒนาบนพื้นฐานของการลดขนาดยานพาหนะ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางพลศาสตร์กับยานพาหนะขนาดจริง งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ สร้างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและถนนจำลอง โดยยานพาหนะที่ใช้มีขนาด 1/10 บนตัวยานพาหนะทำการติดแขนเชื่อมต่อ 3 แขน แต่ละแขนติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าเพื่ออ่านตำแหน่งของตัวยานพาหนะ ทำการทดสอบแบบเวลาจริงผ่านซิมูลิงค์ (Simulink) บนโปรแกรมแมทแลป (Matlab) ในโปรแกรมจะได้ค่าสภาวะต่างของตัวยานพาหนะเช่น ความเร็ว และความเร่งในแต่ละแนวแกน โดยโปรแกรมทำงานที่ความถี่ 50-100Hz และข้อมูลที่รับมาจะใช้การกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวอร์ธอันดับ3 ใน

การทดสอบยานพาหนะจะให้วิ่งบนถนนจำลอง (Treadmill) ที่มีความกว้าง 4x8 ฟุต และความเร็วสูงสุดที่ทำได้ 15mph โดยการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1.สั่งให้ถนนจำลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แล้วส่งผลให้ยานพาหนะเคลื่อนที่

2.สั่งให้ถนนและยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

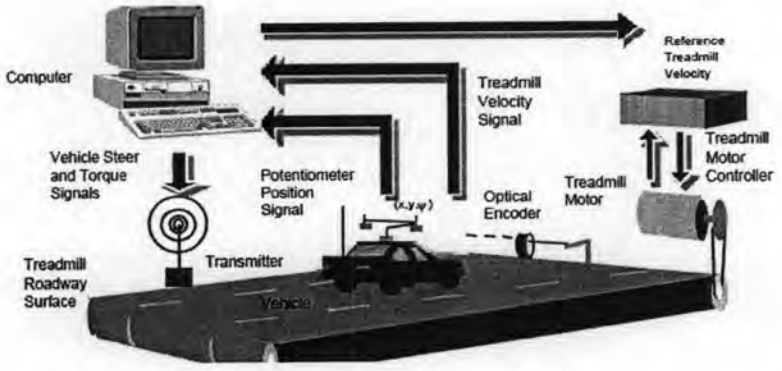
ในส่วนการปรับค่าลักษณะทางกายภาพของยานพาหนะให้สมมูลกับยานพาหนะจริงทำการปรับดังนี้

1.จุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะหาโดยวิธีการแขวน

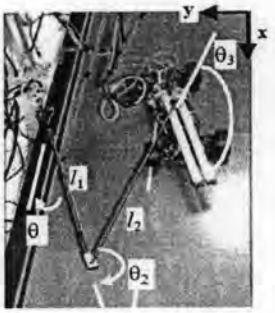
2.โมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะรอบแกน z นำไปแขวนบนสปริง วัดคาบที่เกิดขึ้นแล้วนำไปคำนวณตามสมการที่กำหนด

3.ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนหาโดยนำล้อที่ต้องหาวิ่งบนถนนจำลอง แล้ววัดแรงที่เกิดขึ้นต่อมุมบิดของล้อ

เมื่อได้ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่มีความสมมูลกับยานพาหนะขนาดจริงแล้ว ทำการทดสอบวิ่งบนถนนจำลอง โดยทำการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ให้ แล้วนำข้อมูลทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ สำหรับจุดประสงค์ต้องการควบคุมการเลี้ยวของยานพาหนะ ให้เป็นไปตามเส้นทางที่กำหนด ระบบใช้การควบคุมแบบปิด โดยติดตั้งมอเตอร์ควบคุมไปยังแต่ละล้อ เพื่อสามายานพาหนะควบคุมการเลี้ยวได้อย่างอิสระ



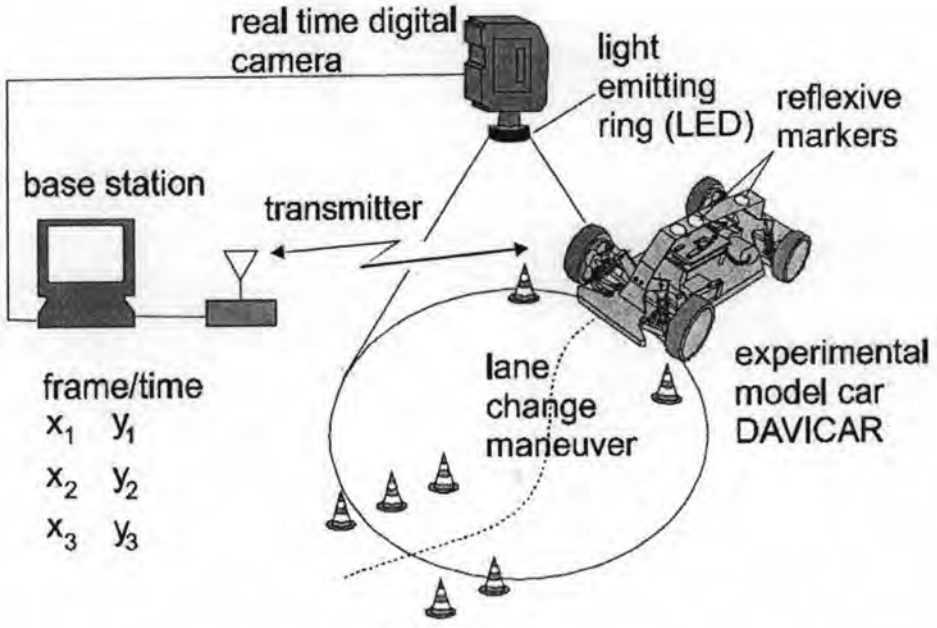

รูปที่ 2.1 ระบบการทำงานทั้งหมด [2]




รูปที่ 2.2 แขนข้อต่อสำหรับวัดตำแหน่ง [2]

2.3.2 Design of an automated vehicle integrated control instrument, 2000 [4]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และออกแบบพัฒนาการเคลื่อนที่ ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนขนาด 1/5 โดยติดตั้งอุปกรณ์ประมวลผลพีซี104 และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งเชิงเส้น ความเร่งเชิงมุม ระบบการค้นหาตำแหน่งและนำทางด้วยดาว (GPS) จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการให้ยานพาหนะสามายานพาหนะควบคุมการเคลื่อนที่เองได้อย่างอัตโนมัติตามเส้นทางที่กำหนด



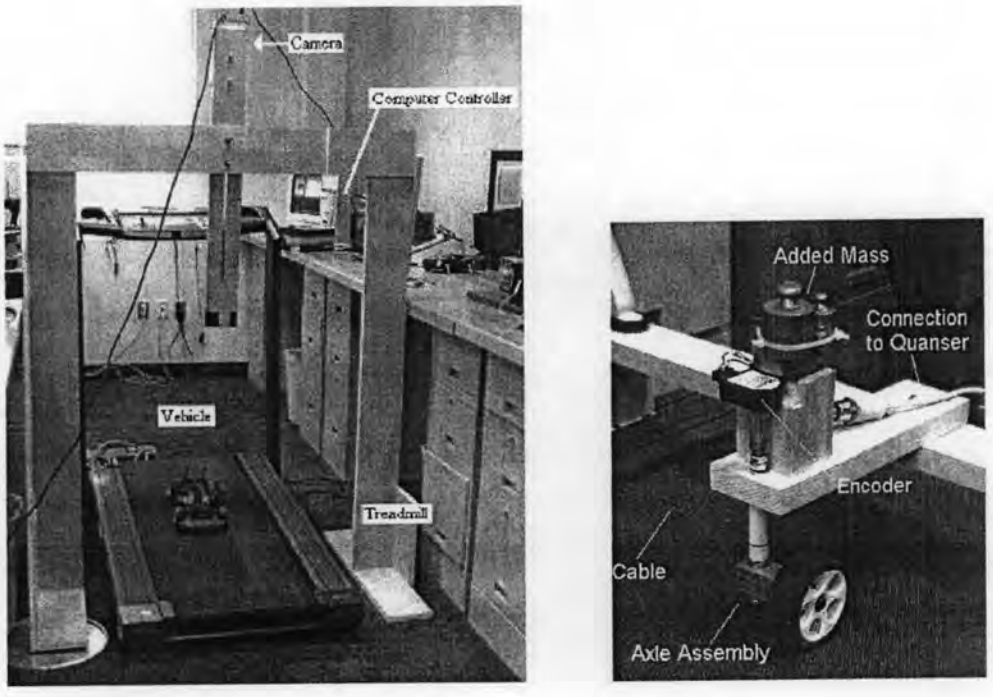

รูปที่ 2.3 ระบบการทำงานของ Davici [4]

ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยเครื่องยนต์ 2 จังหวะ มีเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัวในการควบคุม โดยตัวหนึ่งสำหรับการเลี้ยว อีกตัวสำหรับปิด-เปิดลิ้นควบคุมน้ำมันในเครื่องยนต์ และควบคุมการเบรกภายนอกติดตั้งกล้อง (Adimex MX12P) ด้านบนเหนือยานพาหนะเพื่อวัดตำแหน่งของยานพาหนะทำงานที่ความถี่ 15Hz ความละเอียด 1024x1024 พิกเซล ยานพาหนะสามายานพาหนะควบคุมได้ในระยะ100 เมตร ในส่วนการปรับค่าลักษณะทางกายภาพของยานพาหนะให้สมมูลกับยานพาหนะจริง โดย ปรับโมเมนต์ความเฉื่อยจากการประมาณค่าจากสมการ สำหรับในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์แรงด้านข้างของล้อหาได้จากการนำล้อที่ต้องการวัดวิ่งบนวงล้อหมุน (Drum) แล้ววัดแรงที่เกิดขึ้นต่อมุมบิดของล้อ ในการทดสอบเริ่มจาการจำลองค่าโปรแกรมแมทแลปโดยจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่เกิดขึ้นจริงบนตัวยานพาหนะ เมื่อยานพาหนะมีความสมมูลกับขนาดจริงแล้ว จึงทำการเขียนโปรแกรมให้ยานพาหนะสามายานพาหนะเคลื่อนที่ได้เอง โดยอาศัยกล้องช่วยในการคำนวณการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่

2.3.3 Scale-model vehicle analysis for the design of a steering controller, 2003 [3]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และออกแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนเพื่อนำไปใช้ช่วยในการควบคุมการเลี้ยวของยานพาหนะ สำหรับงานวิจัยนี้คล้ายกับงานวิจัยของSean N.Brennan [2] คือการสร้างยานพาหนะให้ทดสอบบนถนนจำลอง (Treadmill) แล้วศึกษาพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในแนวแรงด้านข้างของยานพาหนะ แล้วนำข้อมูลไปออกแบบการควบคุมการเลี้ยว งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งกล้อง (DVT Series600) เพื่อตรวจจับตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ ไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมทางการสื่อสารของมูลแบบพอร์ทอนุกรม โดยส่งข้อมูลทุกๆ 180ms สำหรับการควบคุมยานพาหนะ ควบคุมผ่านโปรแกรมแมทแลปทางการ์ดของ Pontech รุ่น SV203 ตัวการ์ดเมื่อรับคำสั่งควบคุมมาจะจ่ายสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นไปยังเซอร์โวมอเตอร์บนตัวยานพาหนะ

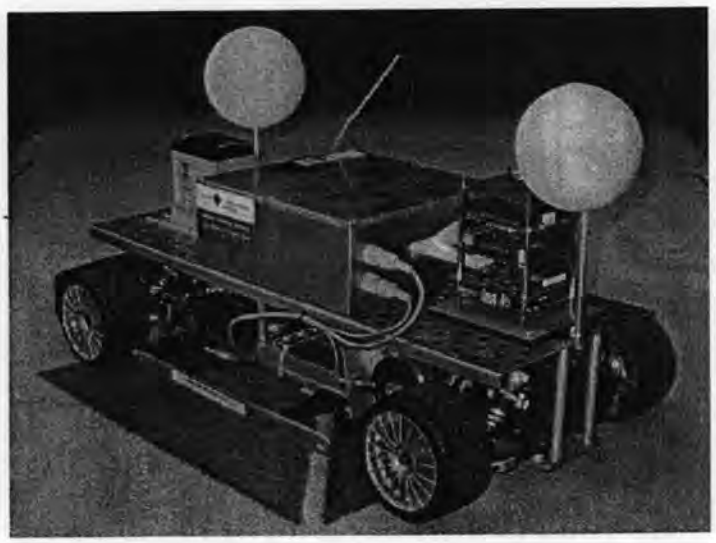
สำหรับในส่วนของการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยเริ่มจากจุดศูนย์ถ่วงยานพาหนะทำการย้ายมวลไปไว้ด้านหน้า เนื่องจากว่ายานพาหนะขนาดจริงทั่วไปน้ำหนักจะอยู่ทางด้านหน้ามากกว่า แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลยานพาหนะจริง โมเมนต์ความเฉื่อยใช้การประมาณค่าโดยสมการ ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้านข้างของล้อหาโดยนำล้อที่ต้องการวัดวิ่งบนถนนจำลอง แล้ววัดแรงด้านข้างล้อที่เกิดขึ้น ในส่วนของการปรับค่าของล้อทำโดยนำยางล้อแต่ละแบบ แต่ละยี่ห้อมาทดสอบ เพื่อหาล้อที่สมมูลกับยานพาหนะจริงไปใช้ในการทดลอง




รูปที่ 2.4 ระบบการทำงานของ Hoblet, Philip [3]

2.3.4 Real-time video-based monitoring of vehicle position and orientation within an automated vehicle framework, 2004 [5]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และออกแบบพัฒนาการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนขนาด1/6 เพื่อทำการศึกษาลักษณะทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นบนยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนเปรียบเทียบกับยานพาหนะขนาดจริง เช่น การวิ่งเปลี่ยนเลนส์ หรือ การวิ่งเป็นวงกลม ในส่วนของยานพาหนะติดตั้งตัวประมวลผลแบบพีซี104 รุ่น SmartCore P5 266 MHz อุปกรณ์ตรวจวัดมีดังนี้ อุปกรณ์วัดความเร็วเชิงมุมรอบแกน z อุปกรณ์วัดความเร่งในแนวด้านหน้า-ด้านข้าง อุปกรณ์วัดมุมเลี้ยวและความเร็วของยานพาหนะ การทำงานระบบบนตัวยานพาหนะทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายมายังคอมพิวเตอร์ควบคุม สำหรับการบอกตำแหน่งของตัวยานพาหนะได้ทำการติดตั้งกล้องภายนอกตัวยานพาหนะเพื่อตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยความละเอียดภาพขนาด 640x480 พิกเซล ความเร็วของยานพาหนะในการทดสอบอยู่ในช่วง 2-6 m/s การควบคุมสามายานพาหนะที่จะกำหนดเส้นทางให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด หรือสามายานพาหนะเคลื่อนที่ได้เองโดยอาศัยวิธีการควบคุมทางคอมพิวเตอร์จากกล้อง (Intelligent driver)

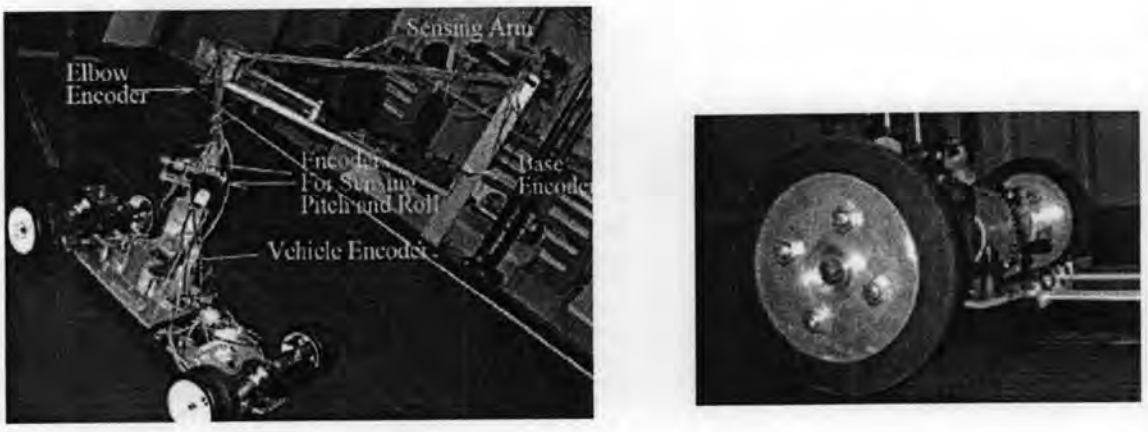


รูปที่ 2.5 ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนของ Lejo Buning [5]

2.3.5 Scale tire modeling and experimentation on a rolling roadway simulator, 2006 [6]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และออกแบบพัฒนาการควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน ขนาด 1/5 การควบคุมของยานพาหนะที่มีผลจากการโคลงตัว (Roll axis) ทำการทดสอบบนถนนจำลอง (Treadmill) ถนนสามายานพาหนะปรับให้โคลงตัวของผิวถนนได้ 25 องศา แล้วทำการศึกษาผลที่เกิดขึ้น การออกแบบล้ออาศัยหลักการของเมจิกไทร์โมเดล (The magic tire

model) เมื่อออกแบบ และสร้างล้อขึ้นมาแล้วนำไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้านข้างของล้อ ในสถานการณ์ที่มีผลจากการโคลงตัว จากการทดสอบล้อแบบต่างๆที่สร้างขึ้นทำให้ได้ล้อที่เหมาะสมสำหรับการนำยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนไปควบคุมในสภาวะเกิดการโคลงตัวในแนวตามยาวของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

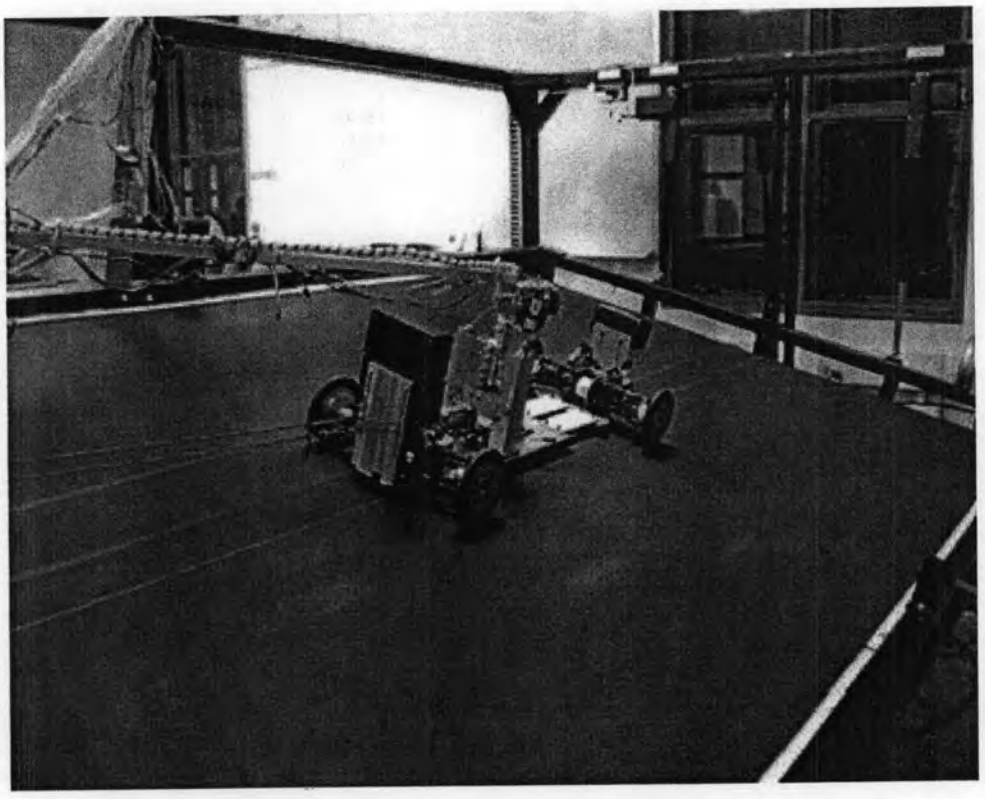



รูปที่ 2.6 ล้อของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนของ Andrew T.Glumac [6]

2.3.6 Vehicle similitude modeling and validation of the Pennsylvania State University rolling roadway simulator, 2007 [7]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และออกแบบพัฒนาควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนขนาด 1/5 เพื่อศึกษาการควบคุมเสถียรภาพของยานพาหนะเมื่อเกิดการโคลงตัวขึ้น ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนนี้เริ่มจากการเลือกยานพาหนะขนาดจริงเป็นต้นแบบในการปรับพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน โดยเริ่มจากจุดศูนย์ถ่วงยานพาหนะทำการวัดโดยนำยานพาหนะไปวางไว้บนคานแล้วทำการเลื่อนตัวยานพาหนะเพื่อหาจุดศูนย์ถ่วง สำหรับโมเมนต์ความเฉื่อยสร้างอุปกรณ์แขวนจากทฤษฎีของ Shigley J.E. [8] ที่มีชื่อว่า Three-string tensional pendulum ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์แรงด้านข้างของล้อนำค่าข้อมูลจากงานวิจัยของ Andrew T. Glumac [6] เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง บนตัวยานพาหนะติดตั้งแขนข้อต่อเพื่อวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาสถานะทางพลศาสตร์ของยานพาหนะ ในส่วนของการใช้ถนนแบบจำลอง (Treadmill) ได้ออกแบบให้สามายานพาหนะเคลื่อนที่ในแนวพิทช์ (Pitch) ±6° และ โรล (Roll) ±25° มีความกว้าง 12'x7' ความเร็วสูงสุดทำได้ 6m/s

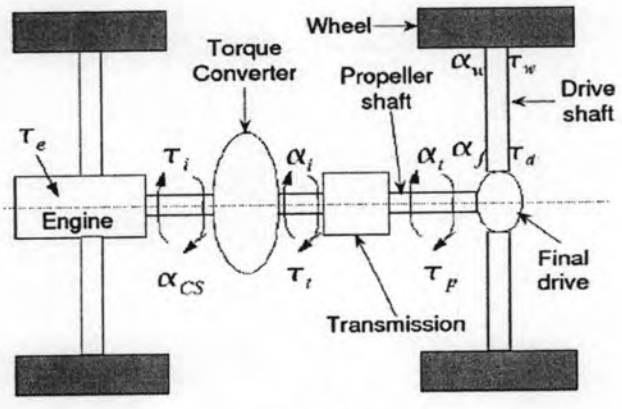
ในการทดลองทำการจำลองค่าที่เกิดขึ้นจากโปรแกรมแมทแลปผ่านซิมูลิงค์ แล้วนำค่าที่เกิดขึ้นบนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองผ่านคอมพิวเตอร์ ผลจากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้นำเอาไปออกแบบระบบควบคุมให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในการควบคุมยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่มีผลจากการโคลงตัว



รูปที่ 2.7 การทดลองยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนของ Sittikorn Lapapong [7]

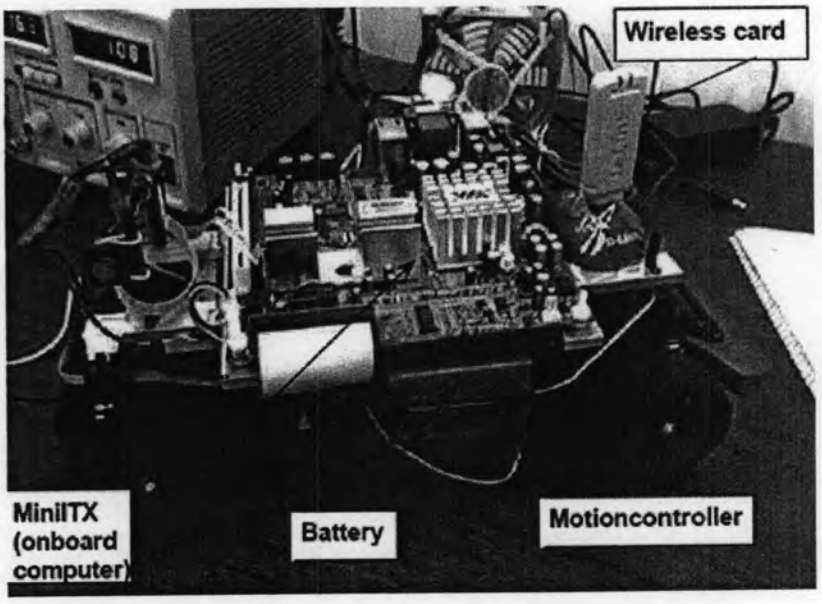
2.3.7 Development of a scaled vehicle with longitudinal dynamics of a HMMWV for ITS testbed, 2007 [9]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนขนาด 1/10 โดยออกแบบระบบควบคุมพลศาสตร์ทางด้านหน้าของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนให้มีความสมมูลกับยานพาหนะขนาดจริง การออกแบบในกลุ่มตัวแปรไร้มิติของงานวิจัยนี้ได้นำเอาลักษณะพฤติกรรมของเครื่องยนต์ของยานพาหนะจริงมาวิเคราะห์หากลุ่มตัวแปรริมิติ




รูปที่ 2.8 ระบบของยานพาหนะจริงที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบระบบควบคุม [9]

จากลุ่มตัวแปรไร้มิติที่ได้ บงบอกถึงลักษณะพฤติกรรมของเครื่องยนต์เช่น อัตรากำลังในแต่ละเกียร์ เมื่อได้ลักษณะพฤติกรรมแล้วไปเขียนโปรแกรมระบบควบคุมยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมไว้บนตัวยานพาหนะ โดยอุปกรณ์จะจ่ายสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นไปควบคุมมอเตอร์ให้มีลักษณะตามกลุ่มตัวแปรไร้มิติ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน และค่าที่ได้จากการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์




รูปที่ 2.9 ยานพาหะจริงแบบย่อส่วนของ Rajeev Verma [9]

ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่ผ่านมา

| อ้างอิง | ชื่อย่อ | สมการที่ใช้ในกลุ่มไร้มิติ | ขนาดรถ | ระบบขับเคลื่อน | การควบคุมการเลี้ยว | อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนตัวรถ | อุปกรณ์ที่ติดตั้งนอกตัวรถ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [2] | IRS | Bicycle Model | 1\10 | DC Motor | 2ชุด เลี้ยวหน้า/เลี้ยวหลัง | Encoder วัดความเร็วล้อ | Poten วัดตำแหน่งรถ(3 Arms) |
| [4] | DAVICI | Bicycle Model | 1\5 | Engine | เลี้ยวหน้า | lateral acceleration<br>Yaw rate<br>GPS | กล้อง(for coordinate&speed) |
| [3] | RC-Steering control | Bicycle Model | 1\10 | DC Motor | เลี้ยวหน้า | Accelerometers(x,y) | กล้อง(for coordinate&speed) |
| [5] | Real-time video-based | Bicycle Model | 1\6 | Engine | เลี้ยวหน้า | Yaw rate<br>Accelerometers(x,y)<br>Steering angle<br>Vehicle speed<br>GPS | กล้อง(for coordinate) |
| [6,7] | PURRS | Bicycle Model<br>(2D+Roll) | 1\5 | เอาออก | เลี้ยวหน้า | Encoder วัดมุมเลี้ยว | Quadrature encoder<br>(5 Arms) |

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่ผ่านมา (ต่อ)

| อ้างอิง | ข้อมูลยานพาหนะจริง | การปรับพารามิเตอร์ | การทดสอบรถ | สัญญาณเข้า | สัญญาณออก | ระบบควบคุม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [2] | ค่ากลุ่มยานพาหนะ | 1.แขวน<br>2.สปริง<br>3.เปลี่ยนล้อ | Treadmill(2D) | 1.มุมเลี้ยว<br>2.ความเร็ว | 1.Lateral position(Sensor)<br>2.Lateral velocity(คำนวณ)<br>3.Yaw(คำนวณ)<br>4.Yaw rate(คำนวณ) | Lateral Control<br>Robust Control |
| [4] | เลือกยานพาหนะต้นแบบ | ทดสอบล้ออย่างเดียว | วิ่งบนถนน | 1.มุมเลี้ยว<br>2.ความเร็ว | 1.Position(Camera)<br>2.Orientation(sensor)<br>3.Velocity(Camera)<br>4.Yaw rate(Sensor) | Longitudinal Control<br>Lateral Control |
| [3] | ทดสอบแล้วเลือกที่สมมูล | 1.คานหาจุดสมดุล<br>2.คำนวณจากการประมาณ<br>3.เปลี่ยนล้อ | Treadmill(2D) | 1.มุมเลี้ยว<br>2.ความเร็ว | 1.Lateral Acceleration(คำนวณ)<br>2.Yaw rate(คำนวณ) | Longitudinal Control<br>Lateral Control |
| [5] | non | non | พื้นปรกติ | 1.มุมเลี้ยว<br>2.ความเร็ว | Positions<br>Yaw angle, Yaw rate<br>Lateral acceleration | Automatic control |
| [6,7] | เลือกยานพาหนะต้นแบบ | 1.คานหาจุดสมดุล<br>2.แกว่งหาคาบ<br>3.นำล้อจากงานวิจัยอื่น | Treadmill(3D) | 1.มุมเลี้ยว<br>2.ความเร็ว | Lateral position y<br>Lateral velocity $\dot{y}$,<br>Yaw angle, Yaw rate<br>Roll angle, Roll rate | Lateral Control |

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่ผ่านมา (ต่อ)

| อ้างอิง | การทดสอบความสมมูล | เงื่อนไขทดสอบ | การทดสอบ Scaled vehicle | การทดสอบยานพาหนะจริง |
|---|---|---|---|---|
| [2] | Simulation Model<br>Frequency domain<br>Time domain | Lane change maneuver with path planning | Path trajectory Optimization | None |
| [4] | Matlab/Simulink<br>Time domain | Lane change maneuver with path planning | Path trajectory Optimization | None |
| [3] | Simulation Model<br>Frequency domain<br>Time domain | Lane change maneuver | Path tracking | None |
| [5] | None | Lane keeping<br>Curve speed control<br>Adaptive cruise control<br>Intelligent driver | Circular tests<br>Lane change | None |
| [6,7] | Simulation Model<br>Frequency domain<br>Time domain | Sinusoidal lane-change 0.2 Hz to 2.0 Hz. | Step lane-change maneuver | None |