บทที่ 2

เครื่องจำลองการเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

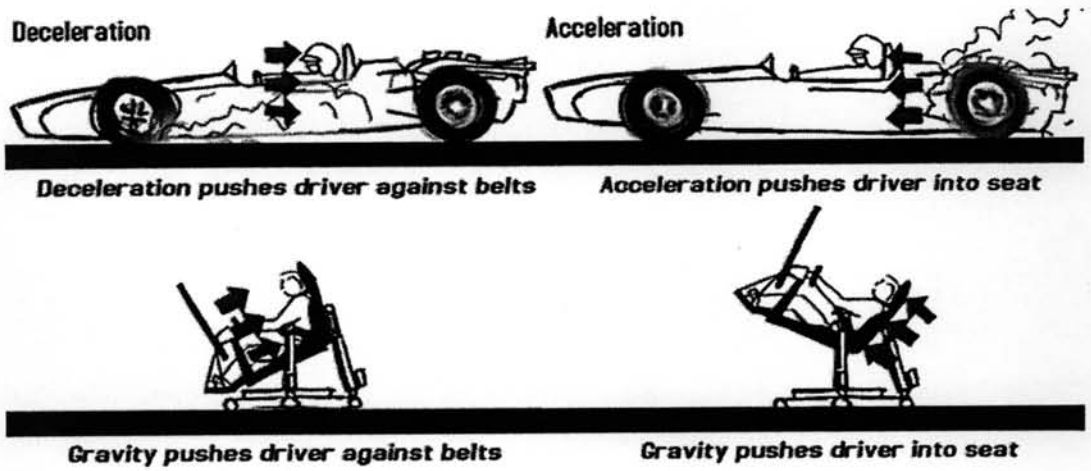
เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ คือ เครื่องมือที่ใช้จำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในสภาวะหนึ่ง โดยสภาวะดังกล่าวเกิดจากแสดงค่าพลศาสตร์การเคลื่อนที่ผ่านเครื่องจำลองการเคลื่อนที่โดยคำนวณค่าต่างๆเหล่านี้ด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ การนำไปใช้งานจะพิจารณาถึงกลไกของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ในแต่ละแบบว่ามีความอิสระของการเคลื่อนที่และขอบเขตของการเคลื่อนที่ พอเพียงที่จะจำลองสถานะของยานพาหนะหรือสถานการณ์นั้นๆอย่างไร ปัจจุบันเครื่องจำลองการเคลื่อนที่สร้างขึ้นจากกลไกหลายรูปแบบ เช่น กลไกแบบสจ๊วจ ซึ่งมีหกองศาอิสระ ซึ่งนิยมนำมาใช้จำลองสภาวะการเคลื่อนที่ของเครื่องบินและยานยนต์ อย่างไรก็ตามกลไกดังกล่าวยังมีราคาแพงและมีข้อจำกัดของขอบเขตการเคลื่อนที่ของกลไก ในบทนี้ศึกษากลไกลักษณะต่างๆที่ใช้ในการสร้างเครื่องจำลองที่มีอย่างน้อยสององศาอิสระโดยส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบขนาน โดยอธิบายถึงหลักการโดยทั่วไปของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งอธิบายถึงโครงสร้างและรูปแบบกลไกของเครื่องจำลองต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่

หลักการทำงานของเครื่องจำลองคือ การสร้างการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆเพื่อให้ระบบการการรับรู้ของมนุษย์ ได้รับรู้และตีความหมายให้เสมือนรู้สึกว่าได้รับความรู้สึกจากสถานการณ์จริง (รายละเอียดการรับรู้ของมนุษย์ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญได้ถูกศึกษาและอธิบายในบทที่สาม)

รูปที่ 2.1 แสดงหลักการพื้นฐานของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่จะอาศัยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลกเป็นตัวสร้างความเร่งเสมือนให้มนุษย์ได้รับรู้เสมือนว่าถูกเร่ง เช่น ถ้าต้องการจำลองความเร่งในทิศทางด้านหน้าของรถยนต์ เครื่องจำลองอาศัยการเอียงเบาะนั่งให้ทำมุมกับทิศของแรงโน้มถ่วง โดยมุมของการเอียงถูกคำนวณให้สอดคล้องกับของความเร่งที่มนุษย์ได้รับ

ในกรณีที่ต้องการจำลองความเร่งทางด้านข้าง จะใช้หลักการเอียงเช่นเดียวกับการจำลองความเร่งทางด้านหน้า แต่จะหมุนรอบแกนด้านหน้าของมนุษย์แทน อย่างไรก็ตาม เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ ไม่สามารถที่จะหมุนโดยอิสระเพราะจะต้องคำนึงถึงขอบเขตการรับรู้ของมนุษย์ ด้วยเพราะในขณะที่หมุน มนุษย์อาจรู้สึกถึงการหมุน ที่เกิดขึ้น หรือมนุษย์ อาจรู้สึกถึงความเร่งของแรงโน้มถ่วงที่หายไป ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่การออกแบบเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ต้องคำนึงประสาทการรับรู้การเคลื่อนที่ของมนุษย์ ว่าควรจะหมุนอย่างไรให้มนุษย์รู้สึกตัว หรือ มนุษย์จะรู้สึกตัวเมื่อความเร่งเชิงเส้นมากระทำเมื่อไร ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่สาม



รูปที่ 2.1 การเอียงเบาะนั่งเพื่อจำลองความเร่งด้านหน้าของมนุษย์ ที่มา: จาก [1]

2.2 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

กลไกของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ ที่พบโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ แบบอนุกรม และแบบขนาน ทั้งสองแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันยกตัวอย่างเช่น กลไกแบบขนาน จะมีความแข็งแรงและมีความสามารถในการกระจายโหลดได้ดีกว่าแบบอนุกรม แต่ข้อเสียคือมีความซับซ้อนทำให้การควบคุมทำได้ยากกว่าแบบอนุกรมและมีขอบเขตในการเคลื่อนที่จำกัดกว่า ตัวอย่างของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่มีดังนี้

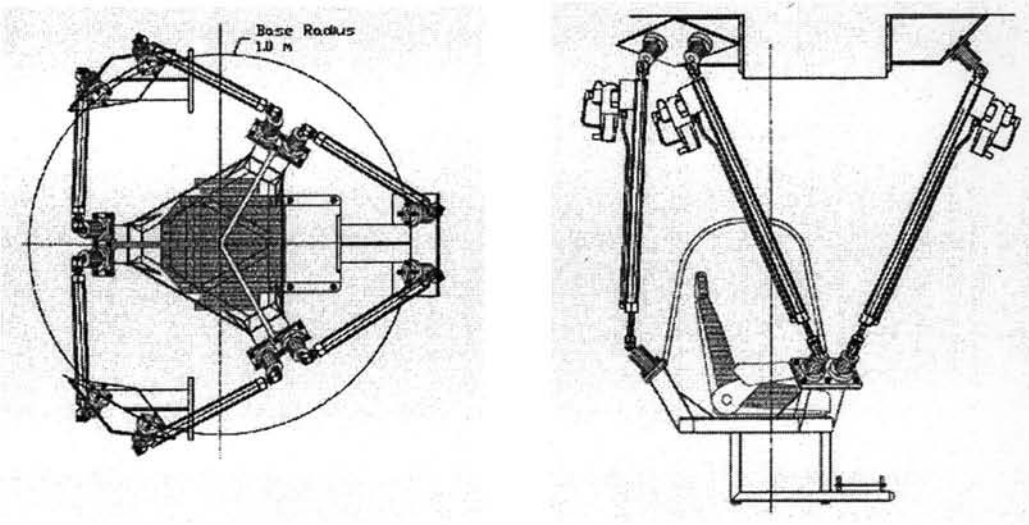
2.2.1 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 6 องศาอิสระแบบไฮดรอริก

พิจารณารูปที่ 2.2 เครื่องจำลองมีลักษณะเป็นโครงสร้างขนานแบบสจ๊วจ มี 6 องศาอิสระ ใช้ระบบขับแบบไฮดรอริก เป็นกลไกที่มีความสามารถในการสร้างภาระได้สูง ๆ มีการดอบสนองที่ดีแต่มีราคาสูง โดยออกแบบมาให้ติดตั้งกับฐานด้านบนโดยตำแหน่งเก้าอี้จะถูกยึดลักษณะแบบแขวนด้วยอุปกรณ์ขับจำนวนหกชุด ตำแหน่งเก้าอี้จะสามารถเคลื่อนที่เชิงเส้นได้ 2 เมตร และหมุนได้ 90 องศาทั้ง 3แกน สร้างความเร็วในเชิงเส้นกับเชิงมุมได้ 1เมตรต่อวินาที และ 30 องศาต่อวินาทีตามลำดับ ส่วนความเร่งเชิงเส้นกับเชิงมุม 9.8 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง และ 400 องศาต่อวินาทีกำลังสอง โดยตัวขับจะเป็นกระบอกไฮดรอริก มีระยะชัก 1.5 เมตร โดยต้องใช้ความดัน 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อให้แรง 4000 นิวตัน และความเร็ว 1.5 เมตรต่อวินาที

2.2.2 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 6 องศาอิสระแบบ PemRam

เครื่องจำลองการเคลื่อนที่นี้มีกลไกแบบสจ๊วจเช่นเดียวกัน โดยเครื่องจำลองการเคลื่อนที่จะมีตัวขับแบบ PemRam หลักการทำงานของตัวขับคือ เมื่อเริ่มทำงานจะเริ่มปั๊มลมมาเก็บที่ตัวกระบอกสูบของตัว PemRam จากนั้นก็ปิดวาล์วเข้าออก และหยุดจ่ายลมเข้า โดยต่อมาการเคลื่อนที่จะอาศัยกระแสไฟฟ้าจ่ายไปที่รอบกระบอกสูบเพื่อ

สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อดูดกับแม่เหล็กถาวรที่ติดอยู่กับกระบอกสูบ ข้อดีคือเราสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ให้เป็นเชิงเส้นได้โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดที่กระบอกสูบอย่างเดียว และตัวขับดังกล่าวมีการตอบสนองใกล้เคียงกับแบบไฮดรอริก จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ที่ใช้ตัวขับแบบ PemRam มีองศาอิสระเป็น 6 ยึดด้วย 6 ตัวขับที่ตำแหน่งปลายแขนจะสามารถเคลื่อนที่เชิงเส้นกับเชิงมุม ได้บวกลบ 0.2 เมตร และหมุนได้บวกลบ 25 องศาทั้ง 3แกน

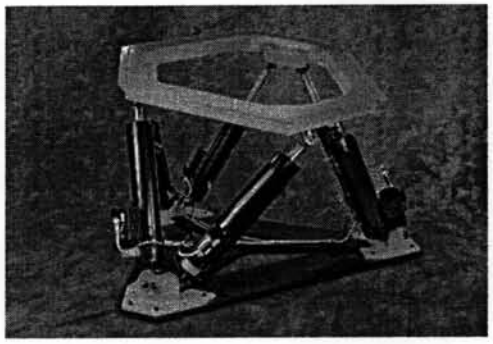


รูปที่ 2.2 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ของมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่มา: จาก [2]

รูปที่ 2.3 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ที่ขับด้วย PemRam ที่มา: จาก [3]

2.2.3 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 6 องศาอิสระแบบมอเตอร์เชิงเส้น

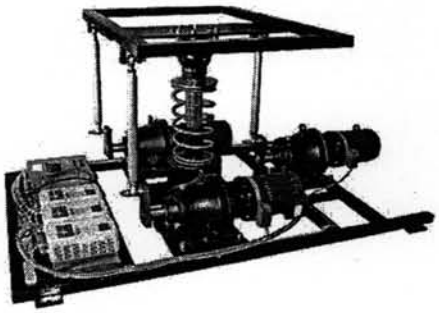
เป็นเครื่องที่พัฒนาจากข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ของไฮดรอริก มีข้อดีคือสะดวกในการติดตั้งและควบคุม โดยปกติตัวขับจะมีอยู่สองแบบคือ มอเตอร์เชิงมุม กับมอเตอร์เชิงเส้น จากรูปที่ 2.4 แสดงเครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบสจ๊วจ ที่ใช้มอเตอร์เชิงเส้นทำหน้าที่เป็นตัวขับเหมือนกระบอกสูบของแบบไฮดรอริก โดยมีระยะชักของมอเตอร์ 12 นิ้ว สามารถยกน้ำหนักได้สูดสุด 2500 กิโลกรัม ความเร่งเชิงมุมทำได้บวกลบ 250 องศาต่อวินาทีกำลังสอง ความเร่งเชิงเส้นได้บวกลบ 0.8 g



รูปที่ 2.4 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบมอเตอร์เชิงเส้น ที่มา: จาก [4]

2.2.4 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 3 องศาอิสระแบบเกียร์มอเตอร์

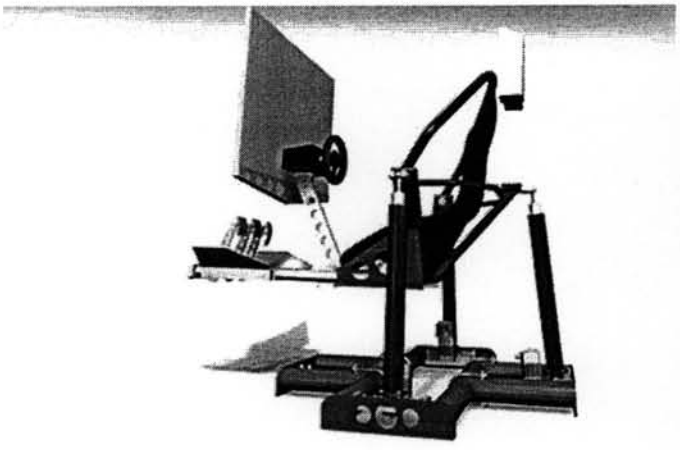
เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบสามองศาอิสระดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 มีกลไกเป็นแขนข้อต่อหมุนโดยแขนขยับขึ้นลงโดยใช้การหมุนของข้อต่อรอบแกนเพลาของมอเตอร์จำนวนสามชุด ซึ่งทำให้ฐานเคลื่อนที่ขึ้นลงได้และหมุนได้สามองศาอิสระ โดยในแต่ละแนวสามารถหมุนได้ถึงบวกลบ 30 องศา เคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ได้บวกลบ 7 นิ้ว สามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ 1130 กิโลกรัม ทำความเร็วในแนวแกน ได้ 13 นิ้วต่อวินาที และความเร่งสูงสุดได้ 0.8 g ซึ่งตัวขับที่ใช้จะเป็นเกียร์มอเตอร์ ซึ่งมีราคาถูกกว่ามอเตอร์ที่เคลื่อนที่เชิงเส้น แต่การเคลื่อนที่ในแต่ละแกนไม่สามารถแยกอิสระได้



รูปที่ 2.5 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ 3 องศาอิสระขับโดยเกียร์มอเตอร์ ที่มา: จาก [4]

2.2.5 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 3 องศาอิสระแบบมอเตอร์

เครื่องจำลองนี้ใช้กลไกแบบข้อต่อเลื่อนจำนวนสามชุดสามารถเคลื่อนที่ ได้ 3 องศาอิสระ คือ หมุนรอบแกนสองแนว และเคลื่อนที่ขึ้นลง โดยสามารถหมุนได้ถึงบวกลบ 30 องศาทั้งสองแกน เคลื่อนที่ในแนวขึ้นลงได้บวกลบ 9 นิ้ว ทำความเร็วในแนวแกน ได้ 24 นิ้วต่อวินาที และความเร็วเชิงมุม 80 องศาต่อวินาที ซึ่งตัวขับเป็นมอเตอร์และชุดเกียร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นของก้านส่งผ่านบอลกรู เครื่องจำลองนี้ออกแบบเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.6



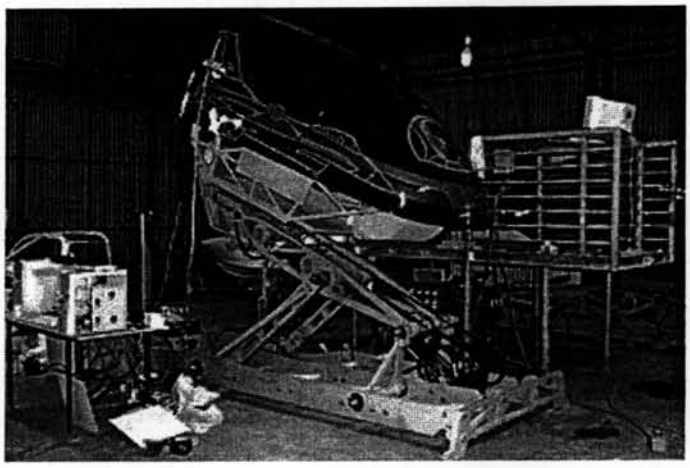
รูปที่ 2.6 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ 3 องศาอิสระขับโดยมอเตอร์ ที่มา: จาก [1]

2.2.6 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 3 องศาอิสระแบบไฮดรอริก

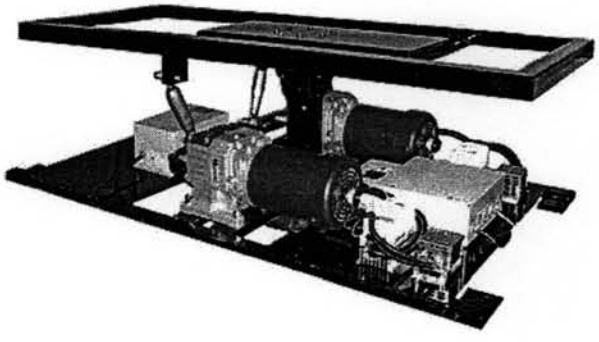
รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องบินที่สามารถรองรับภาระได้สองคน กลไกที่ใช้สามารถเคลื่อนที่ ได้ 3 องศาอิสระ คือ หมุนรอบแกน 2 แกน และเคลื่อนที่ขึ้นลง เนื่องจากมีภาระมากจึงใช้ตัวขับไฮดรอริก โดยมีจุดประสงค์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่อย่างง่ายของเครื่องบิน

2.2.7 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่แบบ 2 องศาอิสระแบบเกียร์มอเตอร์

กลไกที่ใช้สำหรับเครื่องจำลองนี้สามารถเคลื่อนที่ ได้ 2 องศาอิสระ คือ หมุนรอบแกน 2 แกน โดยสามารถหมุนได้บวกลบ 23 องศาทั้งสองแกน สามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ 2000 ปอนด์ ทำความเร่งสูงสุดได้ 0.8 g ซึ่งตัวขับที่ใช้จะเป็นเกียร์มอเตอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.8 เป็นเครื่องจำลองที่ลดรูปมาจากหัวข้อ 2.2.4



รูปที่ 2.7 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ 3 องศาอิสระขับโดยไฮดรอริก ที่มา: จาก [5]



รูปที่ 2.8 เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ 2 องศาอิสระขับโดยเกียร์มอเตอร์ ที่มา: จาก [4]

2.3 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องจำลองการเคลื่อนที่หลักๆแบ่งเป็น 3 ส่วนที่สำคัญๆคือ โครงสร้างของเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ วิธีในการจำลองการเคลื่อนที่ และการนำเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นดังนี้

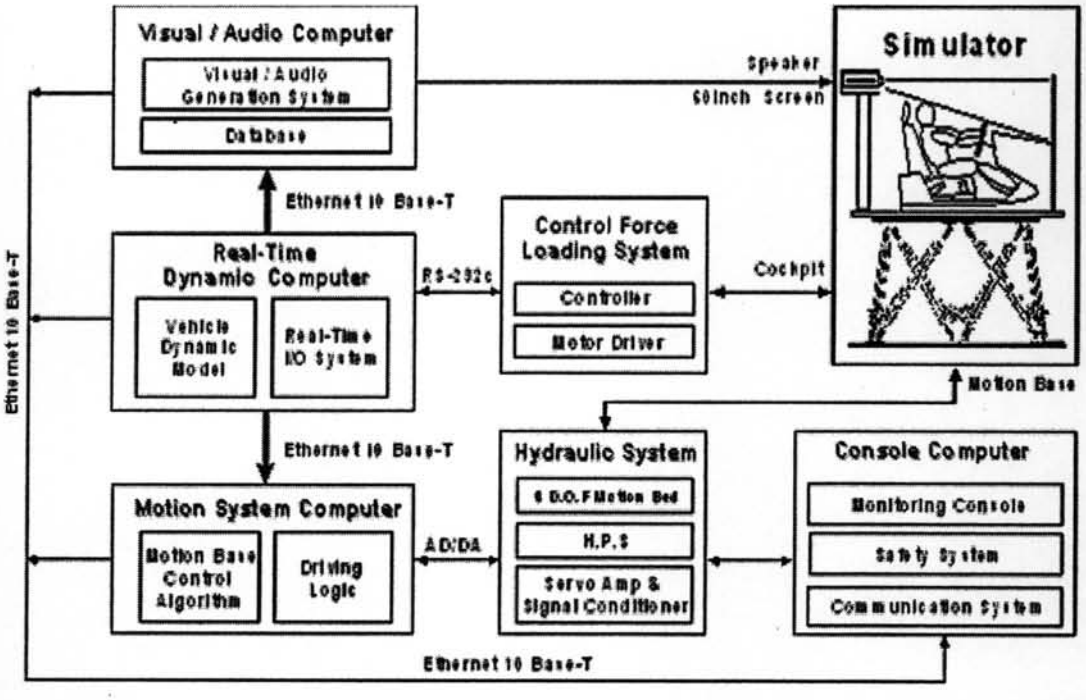
2.3.1 การพัฒนาวิธีการจำลองการเคลื่อนที่สำหรับตัวแบบจำลองการเคลื่อนที่ [6]

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาลำดับขั้นตอนในการจำลองการเคลื่อนที่ให้สอดคล้องกับประสาทการรับรู้ส่วนการทรงตัวของมนุษย์ ซึ่งหมายถึงการกำหนดค่าความเร็วเชิงมุมของแบบจำลองการเคลื่อนที่ให้เหมาะสม ในงานวิจัยนี้พบว่าถ้าเราควบคุมความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่จะเป็นผลดีต่อการจำลองการเคลื่อนที่มากกว่า

การควบคุมความเร่งเชิงมุม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ Transfer function ก่อนผ่านไปที่ตัวแบบจำลองการเคลื่อนที่เรียกว่า wash out filter ซึ่งมีลักษณะสมการเชิงเส้น มีหน้าที่เพื่อกรองคำสั่งก่อนส่งไปตัวแบบจำลองการเคลื่อนที่เพื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ให้สอดคล้องกับความรู้สึกของมนุษย์

2.3.2 การควบคุมการเคลื่อนที่จากระยะไกลกับเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ [7]

งานวิจัยนี้ได้นำ แบบจำลองการเคลื่อนที่มาใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถขนาดเล็กจากระยะไกลให้มีความปลอดภัย โดยที่รถจะมีตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางสองแบบคือ แบบเลเซอร์ และแบบอุลตร้าโซนิค โดยเลเซอร์จะตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ข้างหน้า ส่วนอุลตร้าโซนิคจะตรวจสอบระยะห่างกับเส้นแบ่งเลน นอกจากนี้ยังมีกล้องติดตั้งที่หน้ารถเพื่อส่งสัญญาณภาพมาที่ห้องควบคุม สิ่งคนควบคุมจากระยะไกลคือ ควบคุมความเร็ว ควบคุมการเบรค และควบคุมการเลี้ยว ข้อมูลที่ได้จากรถจะถูกส่งมาที่แบบจำลองการเคลื่อนที่เพื่อให้คนที่ควบคุมรู้สึกได้ แบบจำลองการเคลื่อนที่จะมีโครงสร้างเป็นแบบ สจ๊วจ (Stewart) ขับเคลื่อนด้วย มอเตอร์กระแสสลับ (AC servo motor) การควบคุมจะเป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง ที่มา: จาก [7]

2.3.3 การตรวจสอบความสามารถในการรับรู้ความเร็วในการหมุนแนวดิ่งของมนุษย์ [8]

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าความเร็วเชิงมุมของการหมุนในแนวดิ่งเพื่อตรวจวัดหาความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ต่ำสุดที่มนุษย์จะรับรู้ได้ เพื่อจะนำข้อมูลดังกล่าวใช้ในการออกแบบการเคลื่อนที่ของตัว flight simulator ในการทดลองนี้จะนำคนอายุประมาณ 24-29 ปีมาทดลองกับแบบจำลองการเคลื่อนที่ แบบ 6 องศาอิสระและมีโครงสร้างแบบ สจ๊วจ ผลการทดลองข้อมูลจะมีอยู่ 3 กลุ่มคือกลุ่มที่มีความเร็วในการรับรู้จะจับได้ที่ความเร็ว 0.73 องศาต่อวินาทีในตอนหมุนไป และตอนหมุนกลับจะรู้สึกที่ 0.48 องศาต่อวินาที กลุ่มที่สองจะรู้สึกที่ 1.1 องศาต่อวินาทีในตอนหมุนไป และตอนหมุนกลับจะรู้สึกที่ 1.76 องศาต่อวินาที กลุ่มสุดท้าย จะรู้สึกตอนไป 1.1 องศาต่อวินาที ตอนกลับจะรู้สึก 1.25 องศาต่อวินาที

2.3.4 การพัฒนา Washout out filter สำหรับจำลองการเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์ [9]

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหา Transfer-function ที่เหมาะกับการควบคุมการเคลื่อนที่ของแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ 6 องศาอิสระ เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์ โดยงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการสร้าง สมการการเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์ จากนั้นมนุษย์จะส่งข้อมูล การเร่ง การหน่วงที่เกิดจากการควบคุมคันเร่งและเบรก ในระบบควบคุมซึ่งนำข้อมูลเหล่านี้คำนวณในสมการการเคลื่อนที่สร้างไว้จากนั้นส่งค่าความ เร่ง ความเร็ว ที่คำนวณได้ มาที่ตัว Washout filter เพื่อทำการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ให้ เครื่องจำลองการเคลื่อนที่ เคลื่อนที่สอดคล้องกับค่าความเร่งจริงที่ได้จากสมการ และในขณะเดียวกันก็สามารถสร้างความรู้สึกเสมือนจริงให้มนุษย์รู้สึกคล้อยตามด้วย ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบระหว่าง ความเร่งที่ได้จากสมการ กับความเร่งที่ได้จากแบบจำลองการเคลื่อนที่ด้วย