

Die Spur halten mit Sercos

eMotion-4000-8DOF von Bosch Rexroth ist die Basis für Europas größten Fahrsimulator. Lebensnahe Fahrzeugbewegungen ermöglichen realistisches Fahrverhalten.



Simulationssysteme sind meist sehr kostspielige Werkzeuge. Beispiele dafür sind auf Hochleistungsrechnern berechnete numerische Modelle zur Vorherbestimmung von Crash-Situationen, Flugsimulatoren in der Ausbildung des fliegenden Personals oder die Nachbildung von Ozeanwellen für hydrodynamische Forschungsarbeiten. Sie sind nicht Selbstzweck, sondern eine wirtschaftlich optimierte Methodik an Stelle von Versuchen an realen Objekten und in realen Umgebungen. Ebenso ist es bei der Erforschung und Optimierung der Fahrer/Fahrzeug-Interaktion in Fahrsimulatoren. Je realistischer die Simulation, desto besser sind die daraus abgeleiteten Ergebnisse.

Der größte Fahrsimulator Europas wurde im Sommer 2012 an der Universität Stuttgart in Betrieb genommen. Der Simulator wurde entwickelt, um die Energieeffizienz und die Sicherheit von Straßenfahrzeugen zu verbessern. Bosch Rexroth wurde ausgewählt, das fortgeschrittene Bewegungssystem zu liefern, in dessen Herz sich eMotion-4000-8DOF mit seinem Nervenstrang, dem Sercos-Ring, befindet.

Der Bosch Rexroth-Standort Boxtel (NL) hat bereits jahrzehntelange Erfahrung in der Entwicklung von Fahrzeugsimulationssystemen gesammelt. Das Unternehmen arbeitet seit 1986

mit Flugzeug- und Automobilherstellern zusammen, um Bewegungen so realistisch wie möglich zu simulieren. Seither wurde eine Vielzahl von Systemen gebaut, sowohl hydraulisch als auch elektrisch betrieben. Diese Systeme bieten 2 bis 8 Freiheitsgrade und sind für Lasten bis 14.000 kg (elektrische eMotion-Systeme).

Fahrsimulator für die Forschung

2009 trat die Universität Stuttgart im Rahmen der Entwicklung und des Aufbaus des größten Fahrsimulators in Europa an Bosch Rexroth heran. Es war beabsichtigt, diesen Fahrsimulator für die Automobilindustrie und andere Forschungsinstitute einzusetzen, um detaillierte Forschung zu betreiben ohne reale Versuchsreihen durchführen zu müssen. Beispielsweise sind Forschungsarbeiten zu Fahrcharakteristiken von neuen Fahrzeugtypen, oder der Einfluss von 'Assistenzsystemen' auf den Fahrstil zu nennen. Sie beinhalten Bremssteuerung und Kollisionsvermeidungsfunktionen, die zu reduziertem Kraftstoffverbrauch und erhöhter Sicherheit beitragen.

Ein wesentlicher Vorteil eines Fahrsimulators gegenüber realen Tests ist die Tatsache, dass Testfahrer immer unter identischen Bedingungen fahren. Sie sind z.B. nicht unterschiedlichen Wetter- und Verkehrsverhältnissen ausgesetzt.

Damit sind die erforderlichen Messungen genauer und zuverlässiger und erlauben bessere Vergleichsstudien. Zudem machen Simulatoren es möglich, dass Situationen nachgebildet werden können, die mit realen Personen und Fahrzeugen zu gefährlich wären.

Um reale Schlussfolgerungen aus den Testresultaten zu ziehen, ist es wichtig, dass die simulierte Welt, die die Testperson wahrnimmt, so realistisch wie möglich ist.

Im Falle von Fahrzeugversuchen geht es dabei um das komplexe Zusammenspiel von Visualisierung (was der Fahrer innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs sieht) und Bewegung (was der Fahrer während der Ausführung der Fahrhandlungen fühlt).



Europas größter Fahrsimulator ist an der Universität Stuttgart untergebracht und kann 4.000 kg Nutzlast tragen. Dies erlaubt Tests mit einem kompletten Fahrzeug.

Struktur

Um sowohl den visuellen Aspekt als auch die Fahrzeugbewegung so realistisch wie möglich umzusetzen, beinhaltet der Simulator einen Personenwagen, der in einer Kuppel platziert ist. Der Motorraum des Wagens ist mit Elektronik gefüllt. Die Innenausstattung ist identisch zu dem seines echten Pendant. LED-Projektoren projizieren ein 360°-Panorama des virtuellen Umfelds auf die Innenseite der Kuppel.



In der Kuppel. Die Projektoren sind über dem Fahrzeugmodell zu sehen.

Bewegungssystem

Um sicherzustellen, dass der Fahrer überzeugend Beschleunigung, Verzögerungen und andere Kräfte als Folge seiner Handlungen im Testfahrzeug spürt, ist ein eMotion-4000-8DOF-Bewegungssystem von Bosch Rexroth im Simulator installiert. Es handelt sich dabei um ein 8-Achs-System, das einen leistungsstarken Hexapoden und einen XY-Tisch umfasst, die mit einem hochentwickelten Steuerungssystem kombiniert sind. Die Konstruktion des vollständigen Systems setzt auf 3 parallelen Schienen (X-Richtung) auf, die in der Bodenplatte aus Beton verankert sind. Darauf wird ein Gantry-Aufbau gesetzt, der sich angetrieben durch vier AC-Synchron Motoren und einen Zahnstangentrieb entlang dieser Schienen bewegen kann. Oben auf werden zwei parallele Schienen (Y-Richtung) platziert, die damit einen XY-Tisch erzeugen. Um die Bewegung des XY-Tisches zu optimieren und eine geringe Geräuschkentwicklung sicherzustellen, werden Linearschienenführungen für die Bewegung entlang der Schienen verwendet. Die zum Einsatz kommenden synthetischen Wälzkörperkäfte tragen ebenfalls zur niedrigen Geräuschkentwicklung bei. Mechanische Endlagendämpfer sorgen dafür, dass der Gantry-Aufbau in den Schienen bleibt und im Notfall die Bewegungsenergie des Simulators aufgenommen wird.

Der eMotion-4000 Hexapode ist auf dem Gantry-System errichtet: Er bewegt sich über das Gantry-System in Y-Richtung, angetrieben durch zwei AC-Servomotoren (unter Verwendung eines ebensolchen Zahnstangentriebs). Der Hexapode besteht aus sechs elektrisch betriebenen Aktuatoren, auf die die Kuppel über sechs Kardangelenke montiert ist. Das gesamte elektrische System kommt damit auf letztendlich 8 Freiheitsgrade: Zwei aus dem XY-Tisch und die übrigen sechs durch den Hexapoden selbst. Das Gesamtsystem kann eine maximale Masse von 4.000 kg tragen - dies schließt Kuppel, Fahrzeug, Projektoren und Testfahrer ein. Innerhalb eines Bewegungsraums von 10 m x 7 m kann eine Maximalgeschwindigkeit von 3 m/s und eine maximale Beschleunigung von 5 m/s² erreicht werden.



AC Servomotoren bewegen die Hexapoden über das Gantry-System in Y-Richtung
(Bildrechte: Bosch Rexroth)

Wirklichkeitsnahe Simulation

Erst die Kombination aus XY-System und Hexapode macht es möglich, die oben beschriebenen Beschleunigungen und Kräfte zu simulieren. Weil alle sechs Freiheitsgrade des Hexapodens durch die sechs Elektromotoren unterstützt werden, können die Bewegungen besonders kraftvoll ausgeführt werden. Die Folge sind unmittelbare und starke Beschleunigungen, die der Fahrer als Kräfte mit Stärke und zeitlichem Verlauf wahrnimmt, die stark den gefühlten Kräften in einer realen Fahrsituation ähneln.

Ein Beschleunigungs- und ein Verzögerungsvorgang (Bremsen) wird simuliert, indem man zwei Bewegungen überlagert: Vorwärts-/Rückwärtsbewegung und Kippen. Das Kippen nutzt die Schwerkraft, um den Fahrer beim Beschleunigen in den Sitz zu drücken oder beim Bremsen aus dem Sitz zu heben. Würde der Hexapode alleine zur Darstellung dieser beiden Bewegungen verwendet, würde ein Einbruch der Beschleunigung entstehen, der potentiell die Illusion zerstören könnte. Dies wird durch die Übernahme der Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung des Hexapodens durch den XY-Tisch verhindert, bevor der Hexapode das Ende seines Hubes erreicht. Zur selben Zeit ist es wichtig, dass die Übernahme der Bewegungen sehr sorgfältig kontrolliert wird und der Testfahrer kein gleichzeitiges Kippen wahrnimmt.

Systemsteuerung

Das oben beschriebene System ist im Stande, jede notwendige Bewegung darzustellen, die zur Simulation einer realistischen Umgebung erforderlich ist. Der Trick dabei ist, alle Bewegungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Fahrzeugs in die Bewegung und Positionierung des Bewegungssystems umzusetzen. Zwei Steuerschränke werden verwendet: einer für den eMotion-4000 Hexapoden und einer für den XY-Tisch. Beide Steuerschränke erleichtern den Signalaustausch bei der Anbindung an kundenspezifische Systeme und natürlich an die Aktuatoren jedes Systems. Die Antriebsregelgeräte in den Steuerschränken sind über

Sercos® mit der Bewegungssteuerung verbunden, die eine spezielle, von Bosch Rexroth entwickelte Software ausführt. Diese bildet das Herz des Systems und stellt sicher, dass die Handlungen des Fahrers unmittelbar zu einer folgerichtigen Antwort des Bewegungssystems führen. Dessen Antwort ist definiert durch die applikationsspezifischen S-Parameter-Werte (standardisierte Sercos Parameter), die während Konfiguration oder Systemstart über den jeweiligen Servicekanal an die Antriebsregler gesandt werden. Diese Antwort wird durch die Einstellungen des Bewegungssystems geregelt, anderweitig auch als 'Motion cueing' (Bewegungsreiz erzeugen) bekannt. Dieses 'Motion cueing' setzt auf Modellen der NASA und der TU Delft auf, wurde

aber durch Bosch Rexroth erweitert, so dass Bewegungen erheblich realistischer erscheinen. Die Einrichtung der korrekten Einstellungen für das 'Motion cueing' ist eine besondere Aufgabe, die nur zusammen mit dem Kunden ausgeführt werden kann. Zusätzlich zum 'Motion cueing' umfasst die Software verschiedenartige Spezialeffekte, zum Beispiel um die Unebenheit einer Straßenoberfläche überzeugend zu simulieren.

Realismus und Komfort während des Betriebes von Hexapoden (eMotion-4000) und XY-Tisch hängt wesentlich von der Synchronizität der verteilten Antriebsregelgeräte ab. Der Sercos-Bus ist der einzige Automatisierungsbuss, der Synchronizität weit unter 1 µs garantiert. Dies wird durch eine harte Echtzeit-Terminierung der Sercos Telegramme erreicht. Der Bus wurde bereits in den 1980er Jahren erfunden und repräsentiert noch immer die effizienteste Methode der hochsynchronen Datenübertragung, unabhängig von der Gerätezahl im Sercos-Ring.

Um die Bewegungsgüte weiter zu verbessern, verwendet die Bosch Rexroth Steuerungssoftware nicht nur Sollpositionen während der Bewegungserzeugung, sondern wendet additive Momenten Sollwerte an, um spezifisch für jeden Teil des Bewegungsprofils die Reibung zu kompensieren.

Die gesamten Daten, die zu einem spezifischen Fahrzeug gehören, können über die Host-Software des Kunden (auf einem separaten Rechner laufend) eingegeben werden, so dass das Bewegungssystem weiß, wie es auf die Handlungen des Testfahrers antworten muss. Diese Software ist zudem für die Projektion der korrekten Bilder auf der Innenseite der Kuppel verantwortlich.

Endergebnis

Der letztendlich entstandene Fahrsimulator ist ein hochentwickeltes System, das erlaubt, eine Vielfalt von Forschungen auszuführen. Die Kombination der lebensnahen Simulation von Fahrzeugbewegung und der 360° Panoramablick aus der Position des Fahrers hinter dem Lenkrad rufen ein realisti-

sches Verhalten beim Fahrer hervor. Damit können ernstzunehmende Forschungsarbeiten zu speziellen Aspekten wie Sicherheit und energieeffizientes Fahren durchgeführt werden. Für die Zukunft arbeitet Bosch Rexroth an der Erreichung von noch höheren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, um das System noch dynamischer zu machen.

Die Zuverlässigkeit des eMotion-4000 wird zukünftig erhöht durch die Ringredundanz-Funktion des Sercos-III-Netzwerkes.

Das System eMotion-4000 profitiert von der Erweiterung um den Automationsbus Sercos. Auf Grund der hohen nutzbaren Bandbreite können alle übrigen Peripheriegeräte, wie schnelle E/A für Beschleunigungssensoren oder Sicherheitssteuerungen über den Sercos-Ring betrieben werden. Über die nativen Sercos-Antriebsprofilfunktionen und die von Sercos Energy abstrakt für alle Geräte definierten Energiespar- und Überwachungsfunktionen kann das Gesamtsystem sehr energieeffizient betrieben werden.

i Die zukünftige eMotion-4000 Automationssystemstruktur auf der Basis von Sercos III

Ethernet-Kommunikations-Protokoll

- Ethernet-basiert
- 100-Hz-Kommunikation

Hypcos (RT-Linux-basiertes Steuerungs-Protokoll)

- Zukunftssichere Motion Control
- Motion Cueing (Bewegungsreiz erzeugen)
- Test-Funktionen
- Fehlerbehebung und Störungsbeseitigung
- Schnittstelle zwischen Anwender und Motion Control

Sercos III

- Ethernet-basiert
- 1-kHz-Kommunikation

Schaltschrank

- IndraDrive
- Relais und E/A-Kommunikation
- EMV-Sicherheit
- Energieeffizientes Design (Rexroth 4EE)
- Zertifizierte Sicherheitstechnik (Safety on Board)

Motoren

- MSK-Motor
- Multiturn-Geber
- Bremse

Von 1.000 bis 4.000 kg

Bosch Rexroth verfügt über eine interessante Historie, wenn es um die Entwicklung von wirtschaftlichen Alternativen für XY/Hexapoden-Bewegungssysteme, wie sie in der Vergangenheit genutzt wurden, geht. Das erste 1.000 kg System wurde 2003 bei Renault installiert und war dort Teil des 'Ultimate Simulator'. Ein 2.500 kg-System folgte 2005 an der Universität von Leeds, ein 1.000 kg System bei PSA (Peugeot



Citroën) und ein 2.500 kg-System bei VTI in Schweden. Ein weiteres wurde an der Universität von Tongji (China) errichtet. Das oben beschriebene System an der Universität Stuttgart ist das erste 4.000 kg schwere XY/Hexapoden-System das jemals von Bosch Rexroth aufgebaut wurde. Ein weiteres System mit noch höhere Leistungen und ein 6.000 kg Hexapoden wird noch in 2018 in Korea aufgebaut.