

Vergleich von Motion-Cueing Algorithmen anhand von Ergebnissen aus Probandentestfahrten am LMR Robocoaster Motion Simulator

Röttgermann, Sebastian; Pham, Duc An; Geu Flores, Francisco; Kecskeméthy, Andrés

In: IFToMM D-A-CH Konferenz / Vierte IFToMM D-A-CH Konferenz 2018

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt.

Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: <https://doi.org/10.17185/duepublico/45332>

URN: <urn:nbn:de:hbz:464-20180214-113756-7>

Link: <https://duepublico.uni-duisburg-essen.de:443/servlets/DocumentServlet?id=45332>

Vergleich von Motion-Cueing Algorithmen anhand von Ergebnissen aus Probandentestfahrten am LMR Robocoaster Motion Simulator

Sebastian Röttgermann*, Duc An Pham*, Francisco Geu Flores*, Andrés Kecskeméthy*

* Lehrstuhl für Mechanik und Robotik, Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Deutschland

Kurzfassung

Bewegungssimulatoren werden immer beliebter als bezahlbare Systeme für Pilotentraining sowie die Untersuchung der menschlichen Bewegungswahrnehmung. In den vergangenen Jahren wurde eine neue Generation von Fahrsimulatoren basierend auf seriellen Robotern entwickelt, um zum einen die Systemkosten zu reduzieren und zum anderen die Qualität der Simulation zu optimieren. Serielle Roboter bieten entgegen herkömmlicher, auf Parallelplattformen basierenden Bewegungssimulatoren einen größeren Arbeitsraum, mit dem ein größeres Spektrum an Möglichkeiten zur Bewegungsdarstellung einhergeht. Ein entsprechendes Beispiel hierfür sind Simulationsvorgänge, die Überkopfbewegungen beinhalten. Nichtsdestotrotz können unter Benutzung von seriellen Robotern – ebenso wie bei Simulatoren basierend auf Parallelplattformen – die Zielbewegungen nicht immer exakt nachgestellt werden. In diesen Fällen werden sogenannten Motion Cueing Algorithmen (MCA) verwendet. Diese dienen dazu, Simulatorbewegungen zu generieren, die einerseits ein möglichst realitätsgetreues Empfinden der Beschleunigungen beim Passagier hervorrufen und andererseits innerhalb des Simulatorarbeitsraumes auf Positions-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsebene bleiben.

Das Ziel von MCA im Zusammenhang mit Bewegungssimulatoren ist es, Bewegungen zu generieren, die sich so realistisch wie möglich für den Passagier anfühlen. Jedoch führen ein fehlendes Verständnis des menschlichen Wahrnehmungssystems, die eingeschränkten Arbeitsräume der Simulatoren sowie die unterschiedlichen Wahrnehmungsschwellenwerte zu falschen Bewegungsreizen, welche Simulatorübelkeit hervorrufen können. Die falsche Bewegungswahrnehmung und das damit einhergehende Unwohlsein liegen in der Inkonsistenz zwischen Bewegung und visueller Information begründet. Aufgrund dessen stellt die Auswahl und Parametrisierung von geeigneten Motion Cueing Algorithmen eine Herausforderung dar.

Alle aktuellen Motion Cueing Algorithmen benutzen die sogenannte “Tilt-Coordination”-Technik, um den gleichbleibenden Beschleunigungsanteil der Bewegung zu simulieren. Weiterhin wird diese Technik ebenso dazu genutzt, um die translatorische Bewegung der hochfrequenten Beschleunigungsanteile darzustellen. Die “klassischen Washout Filter” bestehen sowohl aus einem linearen Hochpassfilter als auch einem Tiefpassfilter, welche offline mittels Trial-and-Error Verfahren eingestellt werden. In kommerziellen Simulatoren ist dieser aufgrund seiner einfachen Eigenschaften der am weitesten verbreitete MCA [1]. Der sogenannte “adaptive Washout Filter” [6–9] ist ein klassischer Washout Filter, dessen Parameter systematisch in Echtzeit mittels Minimierung einer Kostenfunktion unter Verwendung des Gradientenverfahren aktualisiert werden. Obwohl diese Methode die Anzahl der falschen Bewegungsreize minimiert, hängt die Stabilität des Algorithmus stark von den ausgewählten Parametern ab [5]. Der sogenannte “optimale MCA”, vorgestellt durch Sivan, et al. [10] und später verbessert durch Reid und Nahon sowie Wu und Telban [4], nutzt Washout-Filter-Modelle höherer Ordnung um die erzeugte Bewegungsvorgabe an die Zielbewegung mittels Methoden der optimalen Steuerung anzupassen. Ein weiterer “optimaler MCA” wurde von Romano und Zywiol [3] präsentiert und mit optimierten Filterparametern von Tändl und Kecskeméthy [2] genutzt. Dieser Algorithmus unterscheidet sich von dem durch Sivan, et al. [10] entwickelten darin, dass er sich lediglich darauf fokussiert, die Tracking-Problematik im Offline-Modus zu lösen, indem eine passende Kombination von linearer Beschleunigung und Neigungswinkel gefunden wird, um die Zielgröße der spezifischen Kraft so realistisch wie möglich abzubilden. Dies führt dazu, dass eine geringe Anzahl an Einstellparametern als bei den anderen, zuvor erwähnten Algorithmen benötigt wird. In letzter Zeit wurden Verfahren der modellprädiktiven Regelung (model predictive control, MPC) als MCA genutzt. Dies ermöglicht nicht nur die Arbeitsraumbegrenzungen des Simulators zu betrachten, sondern ebenfalls die Schwellenwerte der Bewegungswahrnehmung zu berücksichtigen.

In einer vorhergehenden Arbeit [11], wurden anhand einer Beispielbewegungsvorgabe für ein Achterbahnteilstück in Form einer S-förmige Kurve alle aktuell existierenden Motion Cueing Algorithmen (klassisch, adaptiv, optimal und modellprädiktive Regelung, alle gut abgestimmt) im Hinblick auf objektive Kriterien numerisch miteinander verglichen. In diesem Beitrag wird eine objektive numerische Bewertung des Bewegungsempfindens mit den Ergebnissen einer Probandenstudie mit einer Stichprobengröße von 50 Personen, die zufällig ausgewählte Bewegungsvorgaben bewertet haben, verglichen. Durch den Vergleich wird aufgezeigt, welche objektiven Qualitätskriterien sich in der subjektiven Bewertung wiederfinden und welche nicht, und woraus Rückkopplungen über signifikante Einflüsse in der Beurteilung von Bewegungen gewonnen werden, die sich für zukünftige Verbesserungen von Bewegungssimulationen verwenden lassen.

Literatur

- [1] Giordano, P. R. and Masone, C. and Tesch, J. and Breidt, M. and Pollini, L. and Bülthoff, H.H.: *A novel framework for closed-loop robotic motion simulation Part II: Motion cueing design and experimental validation*. Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on, pages 3896–3903, 2010
- [2] Kecskeméthy, A. und Tändl, M., *Physiologisch optimierte Interfaces für die hochdynamische Bewegungsgenerierung in physikalischen Simulatorsystemen*, Lab of Mechanics und Robotics, University of Duisburg Essen, Technical report, 2009
- [3] Zywiol, H. J. and Romano, R.: *Motion Drive Algorithms and Simulator Design to Study Motion Effects On Infantry Soldiers*, Driving Simulation Conference, North America 2003 (DSC-NA 2003), 2003
- [4] Telban, R. J. and Cardullo, F. M.: *Motion Cueing Algorithm Development: Human-Centered Linear and Nonlinear Approaches*, NASA/CR-2005-213747, 2005
- [5] Nahon, M. A. and Reid, L. D.: *Simulator motion-drive algorithms—A designer’s perspective*, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 13, No. 2, pages 356–362, 1990
- [6] Nehaoua, L. and Mohellebi, H. and Amouri, A. and Arioui, H. and Espié, S. and Kheddar, A.: *Design and control of a small-clearance driving simulator*, Vehicular Technology, IEEE Transactions, Vol. 57, No. 2, 736–746, 2008
- [7] Parrish, R. V. and Dieudonne, J. E. and Martin Jr, D. J.: *Coordinated adaptive washout for motion simulators*, Journal of Aircraft, Vol. 12, No. 1, pages 44–50, 1975
- [8] Reid, LD and Nahon, MA, *Flight Simulation Motion-base Drive Algorithms: Part 1 Developing and Testing the Equations*, Institute for Aerospace Studies, Toronto University, 1985
- [9] Schweig, S. and Kammers, H.: *Bewegungssteuerung eines RoboCoaster Kuka Roboters zur Ride Simulation mit Hilfe von Washout Filtern*, University of Duisburg Essen, Project Report, Duisburg, Germany, 2011
- [10] Sivan, R. and Ish-Shalom, J. and Huang, J.: *An optimal control approach to the design of moving flight simulators*, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, Vol. 12, No. 6, pages 818–827, IEEE 1982
- [11] Pham, D. A. and Roettgermann, S. and Kecskeméthy, A.: *Optimal Motion Cueing Algorithm Selection and Parameter Tuning for Sickness-Free Robocoaster Ride Simulations*, Proceedings of the Third MeTrApp Mechanisms, Transmissions and Applications Conference 2015, 06.-08. Mai 2015, Aachen, 2015