Vorwärtsdynamische Simulation der menschlichen Sit-To-Stand Bewegung mittels eines Regelungsansatzes in Zielkoordinaten

Bettina Weber, Francisco Geu Flores, Andrés Kecskeméthy

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

Kurzfassung

Die menschliche Sit-To-Stand (STS)-Bewegung (s. Bild 1) wird als die mechanisch anspruchsvollste Aktivität des täglichen Lebens und als eine Voraussetzung zur Durchführung vieler alltagsrelevanter Bewegungen angesehen [6]. Physiologisch betrachtet beschreibt die STS-Aktivität ein komplexes Systemverhalten mit bisher ungeklärten neuronalen Vorgängen, die der Bewegungsausführung zugrunde liegen. Aus biomechanischer Sicht hält sich die Komplexität der STS-Bewegung im Vergleich zu anderen Vorgängen in Grenzen, da hier, anders als beispielsweise beim menschlichen Gang, u. a. keine Stoßvorgänge zu berücksichtigen sind. Dennoch sind Forschungsarbeiten in Bezug auf die vorwärtsdynamischen Simulationen der STS-Bewegung selten.

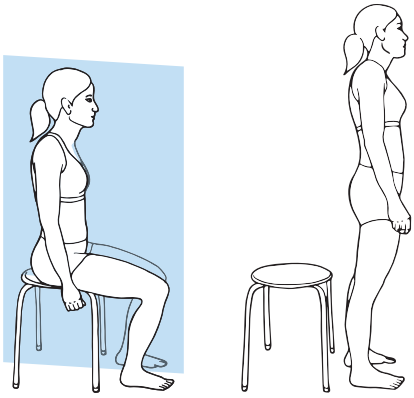

Bild 1 Sit-To-Stand Bewegung innerhalb der Sagittalebene (blau dargestellt)

Bestehende STS Simulationen basieren meist auf Methoden der Optimalen Steuerung, bei denen es eine bestimmte Zielfunktion, wie z. B. die Ausführzeit oder eine Maßzahl aus den auftretenden Maximalkräften und/oder Gelenkmomenten, unter Einhaltung von Nebenbedingungen zu minimieren gilt [2, 7, 8]. Neben der dynamischen Optimierung werden auch andere Regelungsverfahren wie Fuzzy PID Regelung [4] oder die Kombination aus PD und Optimaler Steuerung eingesetzt [3]. Allen Ansätzen ist eine Formulierung in Gelenkkoordinaten, d.h. im Konfigurationsraum, gemeinsam.

Im vorliegenden Beitrag wird die Vorwärtsdynamik einer STS-Bewegung über die Lösung eines Regelungproblems in Zielkoordinaten, d.h. im Zielraum (engl. Operational Space Control (OSC), [10]), berechnet. Der Beitrag untersucht die Vermutung, dass der Mensch nicht aktiv seine Gelenkmomente ansteuert, sondern stattdessen versucht, seinen Oberkörper in eine gewünschte Pose zu bringen. Die STS-Bewegung ergibt sich aus der Regelung des Oberkörpers entlang einer vorgegebenen Trajektorie (vgl. Bild 2 (b)). Hierfür wird der menschliche Körper als ebener 3R-Mechanismus (vgl. Bild 2 (a)) modelliert. Das skelettale Modell umfasst drei gelenkig verbundene Starrkörper, welche jeweils beide Unterschenkel, beide Oberschenkel sowie den Rumpf samt Armen und Kopf ersetzen, wobei der Oberkörper den End-Effektor darstellt (Koordinatensystem $\mathscr{K}_E$ im Bild 2 (b)). Es wird angenommen, dass während der zu betrachtenden Bewegung die Füße im ständigen Kontakt mit dem Boden sind. Werden alle drei Freiheitsgrade des Oberkörpers vorgegeben, ist das Modell ein nicht-redundanter Mechanismus und seine Regelung erfolgt über einen einfachen PD-Ansatz in Zielkoordinaten. Werden weniger Freiheitsgrade vorgegeben, müssen Kriterien formuliert werden [10], die die entsprechende Redundanz lösen. Der vorliegende Beitrag präsentiert diese Ergebnisse sowie deren Vergleich mit gemessenen Daten, sodass Einblicke in die menschliche Regelungsstrategie möglich sind.

Eine Validierung der Ergebnisse findet durch einen Vergleich mit STS-Messungen statt, die mithilfe eines markerbasierten Vicon Motion Capture Systems bestehend aus sieben Kameras vom Typ MX13 NIR und zwei Kraftmessplatten vom Typ AMTI OR6-7-2000 an einer gesunden Probandin durchgeführt wurden. Dabei wurden zwei Bewegungsvarianten in einer für die Probandin natürlichen Geschwindigkeit vorgenommen. Einerseits fand die STS-Bewegung mit locker hängenden und andererseits mit über der Brust gekreuzten Armen statt. Ebenfalls werden die Ergebnisse bestehenden Methoden aus der Literatur (z. B. [11]) gegenübergestellt.

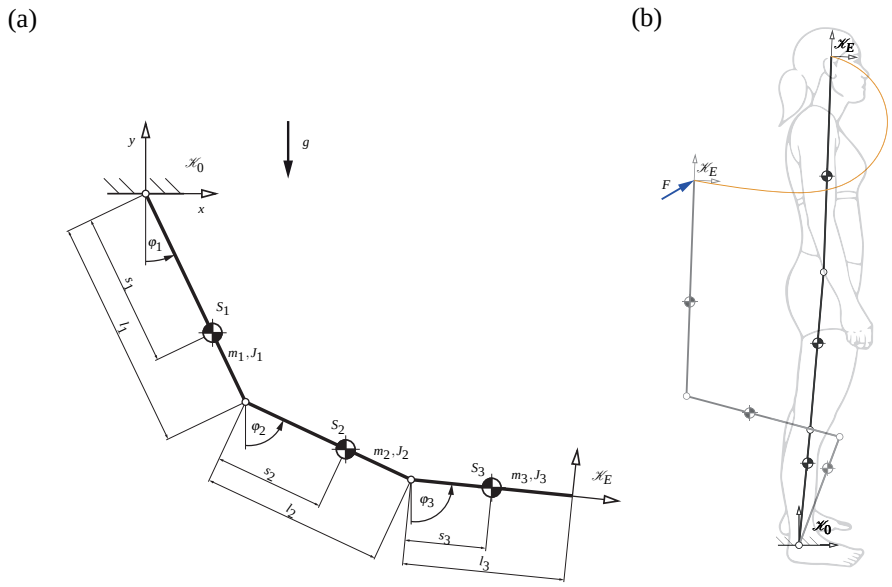

Bild 2 Modellbeschreibung: (a) Dreifachpendel, (b) Modellierung der STS-Bewegung in der Sagittalebene mit beispielhafter Oberkörpertrajektorie (orange, angelehnt an [9]) im Sinne einer Regelung der End-Effektor Bewegung in Zielkoordinaten

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projekts „RehaBoard“ aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert (Förderkennzeichen: 08009-48, 49, 62, 63, 90, 91).

EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Literatur

[1] Norman-Gerum, V. *Predictive Dynamic Simulation of Healthy Sit-to-Stand Movement*. (2019).

[2] Norman-Gerum, V.; McPhee, J. *Constrained dynamic optimization of sit-to-stand motion driven by Bézier curves*. Journal of biomechanical engineering, (2018), 140. Jg., Nr. 12, S. 121011

[3] Madhushri, P.; Jovanov, E.; Milenkovic, A.; Shtessel, Y. *A model based analysis of optimality of sit-to-stand transition*. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), (2017), 2017 39th Annual International Conference of the IEEE(S. 2398-2401). IEEE.

[4] Liu, K.; Li, C.; Pengfei, Y.; Ye, M. *TFuzzy PID control strategy based on piecewise biomechanical model for sit-to-stand movement*. In: Mechatronics and Automation (ICMA), (2016), 2016 IEEE International Conference (S. 1466-1471). IEEE.

[5] Barthélemy, S.; Salaun, C.; Bidaud, P. *Dynamic simulation and control of sit-to-stand motion*. In: Proceedings of the 9th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR), (2006), volume 350.

[6] Aissaoui, R.; Dansereau, J. *Biomechanical analysis and modelling of sit to stand task: a literature review*. In: IEEE SMC’99 Conference Proceedings (1999), IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 99CH37028). IEEE, 1999. S. 141-146.

[7] Daigle, K. E. *The effect of muscle strength on the coordination of rising from a chair in minimum time: predictions of an optimal control model*. (1994). MScEng. thesis, The University of Texas at Austin, Austin, Texas.

[8] Garner, B. *A dynamic musculoskeletal computer model for rising from a squatting or sitting position*. (1992). MScEng. thesis, The University of Texas at Austin, Austin, Texas.

[9] Nuzik, S.; Lamb, R.; VanSant, A.; Hirt, S. *Sit-to-stand movement pattern: a kinematic study*. (1986). Physical Therapy, 66(11), S. 1708-1713.

[10] Khatib, O. *The operational space formulation in robot manipulator control*. In: Proc. of the 15th International Symp. on Industrial Robots. 1985. S. 165-172.

[11] Hemami, H.; Jaswa, V. C. *On a three-link model of the dynamics of standing up and sitting down*. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, (1978), 8(2), S. 115-120.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts bibliothek

In: **Sechste IFToMM D-A-CH Konferenz 2020**

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: 10.17185/duepublico/71209
URN: urn:nbn:de:hbz:464-20200221-110610-9

Alle Rechte vorbehalten.