



Regelung von Laufrobotern

Robert Riener*, ETH Zürich, CH,
Andre Seyfarth, TU Darmstadt

* Korrespondenzautor: riener@hest.ethz.ch

Schon Leonardo da Vinci träumte von der Realisierung von Laufrobotern nach Vorbild der Natur. Im letzten Jahrhundert wurde begonnen, diesen Traum Wirklichkeit werden zu lassen. In den Neunzigern ist es ersten Arbeitsgruppen und Firmen gelungen, Laufmaschinen mit einem menschenähnlichen, dynamischen Laufmuster zu präsentieren. Jedoch ist der Stand der Technik heute immer noch weit weg von zuverlässigen und schnellen Laufmaschinen, die sich autonom an verschiedene Terrain- und Lastbedingungen anpassen können.

Der menschliche Gang ist dem robotischen Gang weit überlegen. Der Mensch erzielt mit seiner verteilten Sensorik und vielkanaligen Aktorik bemerkenswerte Laufeigenschaften, mit Leistungen von nur wenigen 100 W, obwohl die zugrundeliegende Regelung relativ langsam und unscharf ist. Heutige Laufmaschinen besitzen zwar herausragende Rechenleistungen sowie hochauflösende Sensorik und Aktorik, jedoch kommen sie an die menschliche Performance bei weitem nicht heran.

Eine besondere Herausforderung liegt in der Regelung einer sicheren und schnellen Fortbewegung, einschließlich der Realisierung einer automatischen Adaption an unterschiedliche Umgebungsbedingungen. Jüngste Entwicklungen orientieren sich dabei immer häufiger an den Vorbildern der Natur und kopieren erfolgreich Regelungs- und Strukturkonzepte zur Erzeugung technischer Laufbewegungen. Andere Entwicklungen fokussieren auf rein technologiegetriebene Lösungsansätze. Die Anwendungen von Laufrobotern reichen von Dienstleistungsrobotern im Haushalt über Master-Slave Systeme zur Erkundung entfernter Umgebungen, z. B. in der Raumfahrt, bis hin zu Unterstützungs- und Therapiesystemen für amputierte oder gelähmte Patienten. In den letzten Jahren ist hier noch ein weiteres Anwendungsfeld hinzugekommen: die Nutzung von Robotern als Forschungswerkzeug.

Dieses Schwerpunktheft spannt den Bogen von Systemen, die vom Menschen inspiriert wurden, bis hin zu Systemen, die für den Menschen, z. B. als Therapiegerät, gemacht wurden. Die Arbeit von Seyfarth *et al.* zeigt, wie bioinspirierte Roboter helfen können, die motorischen

Fähigkeiten des Menschen besser zu verstehen. Ein besseres Verständnis hilft wiederum, die Laufeigenschaften der Roboter zu optimieren. Durch die Verwendung mathematischer Modelle kann diese Iteration weiter verbessert werden. Hierfür wird ein neuer konzeptioneller Ansatz, eine Testtrilogie als Verhaltensvergleich von Mensch, Modell und Roboter, vorgestellt und an einem Beispiel demonstriert. Auch die Arbeit von Bauer *et al.* beschäftigt sich mit bioinspirierten Robotern. Das Ziel ihrer Arbeit besteht darin, zweibeinige, unteraktuierte, und dadurch leichte und energieeffiziente Roboter auf der Basis von Standardkomponenten zu entwickeln. Dabei orientieren sich die Autoren an der Bewegung von beidseitig amputierten Prothesenträgern. Zudem basiert die Bewegungsgenerierung auf biologisch inspirierten zentralen Mustergeneratoren.

Die darauffolgenden beiden Arbeiten stellen zwei unterschiedliche Laufroboter und deren implementierte Laufregelung vor. Buschmann *et al.* beschreiben, mit welcher Reglerarchitektur und Bahnplanung eine stabile Laufbewegung ihrer zweibeinigen Laufmaschine „Lola“ erzielt wird. Ein hierarchisch angelegtes System erzeugt aus groben Vorgaben zum gewünschten Gang eine stabile Laufbewegung in Echtzeit und kompensiert dabei Modellfehler, externe Kräfte und Bodenunebenheiten. Remy *et al.* beschreiben und vergleichen zwei vierbeinige Laufroboter, die sich im Antriebskonzept deutlich hinsichtlich Steifigkeit unterscheiden.

Auch die Gangstabilisierung auf der Basis verschiedener Gleichgewichtsbetrachtungen im Fuss-Boden-Kontakt wird in zwei Arbeiten näher behandelt. Die Arbeit von Engelsberger und Ott beschreibt einen Ansatz zur durchgängigen Ausnutzung der so genannten „Capture Point“ Dynamik (extrapolierter „Center of Mass“) für die Regelung von zweibeinigen Laufmaschinen. Sie zeigen, dass eine Erweiterung der Capture Point Betrachtung das Laufen mit veränderlicher Schwerpunktöhe und über Untergrund mit veränderlichem Höhenprofil erlaubt. Die Arbeit von Hu und Lee begnügt sich dagegen auf die klassische Anwendung der Zero-Moment-Point Hypothese. Sie stellen in ihrer Arbeit einen Maschinenlernalgorithmus vor, der es



erlaubt – unter Zugrundelegung der Zero-Moment-Bedingung – menschliche Bewegungen auf die Bewegung eines humanoiden Roboters in Echtzeit zu übertragen.

Mit der letzten Arbeit dieses Schwerpunktheftes schliesst sich der Bogen von den eingangs erwähnten mensch-inspirierten Anwendungen zu Anwendungen für den Menschen. *Vallery et al.* stellen eine Regelstrategie vor, die es erlaubt mittels eines exoskelett-basierten Laufroboters Stand- und Gangstabilität beim menschlichen Gehen zu erzielen und zu trainieren. Das Ziel ist es, nach einer längeren Therapie mit einem solchen System, das Sturzrisiko beim Stehen und Gehen von älteren oder gehbehinderten Menschen zu verringern.

Wir hoffen, dass die hier präsentierten Arbeiten und Ergebnisse einen Einblick in den aktuellen Stand der Entwicklung von Laufrobotern geben. Den Autoren und Gutachtern sowie dem Chefredakteur der *at* danken wir an dieser Stelle für eine hervorragende Zusammenarbeit.

Robert Riener

Andre Seyfarth



Prof. Dr.-Ing. Robert Riener ist Ordinarius für Sensomotorische Systeme, am Departement für Gesundheitswissenschaften und Technologie der ETH Zürich. Zudem ist er als Professor für Medizin auch an der Uniklinik Balgrist, Universität Zürich, tätig. Seine Forschungsinteressen liegen in den Bereichen der menschlichen Bewegungssynthese, Biomechanik, Virtuellen Realität, Mensch-Maschine Interaktion und Rehabilitationsrobotik.

Adresse: ETH Zurich, Department of Health Sciences and Technologies, Institute of Robotics and Intelligent Systems, TAN E 4, Tannenstrasse 1, CH-8092 Zürich,
E-Mail: riener@hest.ethz.ch,
<http://www.sms.hest.ethz.ch>



Prof. Dr.-Phil. Andre Seyfarth ist Professor für Sportbiomechanik am Institut für Sportwissenschaft der TU Darmstadt. Nach seiner Promotion (2000) im Bereich der Biomechanik der unteren Extremität und nach Forschungsaufenthalten am MIT LegLab (2001/2002) sowie am Unispital Balgrist in Zürich (2002/2003) hat er seit 2003 im Rahmen des Emmy-Noether Programms der DFG die Arbeitsgruppe Lauflabor an der Uni Jena aufgebaut. Schwerpunkte der Forschung sind die Biomechanik sportlicher Bewegungen, die Lokomotion bei Mensch und Tier sowie die Übertragung von biologisch inspirierten Bewegungsmodellen und -konzepten in die Robotik.

Adresse: TU Darmstadt, Fachbereich Humanwissenschaften, Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsgruppe Lauflabor, Magdalenenstraße 27, D-64289 Darmstadt,
E-Mail: seyfarth@sport.tu-darmstadt.de,
<http://lauflabor.ifs-tud.de>