

**6. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
24.-25. März 2006 in Rostock-  
Warnemünde**



**„Visuell geführter humanoider Laufroboter - Ein System mit  
maschinellen kognitiven Funktionalitäten“**

Günther Schmidt  
Interactive Systems and Control Group, TU München, München, Deutschland  
E-Mail: [gs@tum.de](mailto:gs@tum.de)

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006  
Editors: T. Ellerbrock  
ISBN: 3-86009-296-0  
Pages: 3-4

# Visuell geführter humanoider Laufroboter

## Ein System mit maschinellen kognitiven Funktionalitäten

Günther Schmidt

 Interactive Systems and Control Group  
 Technische Universität München

gs@tum.de

### EINLEITUNG

Die Einbeziehung kognitiver Funktionalitäten in die Arbeitsweise von in Realzeit und im closed-loop Betrieb operierenden Systemen ist zwar ein schon lange verfolgtes Ziel der Automatisierungstechnik. Dessen partielle Realisierung rückt jedoch erst durch Fortschritte in Elektronik, Rechner- und Informationstechnik in greifbarere Nähe.

Orientiert an biologischen Vorbildern unterscheidet man im engeren Sinne *perzeptive* (Sehen, Hören, Fühlen etc.), *mentale* (Planen, Analysieren, Lernen etc.) und *exekutive* (Plan ausführen, sich Fortbewegen etc.) kognitive Funktionalitäten.

In direktem Zusammenhang mit der Kognition stehen die Begriffe Intelligenz und Autonomie. *Intelligenz* bezeichnet ein Gruppe von Fähigkeiten, die sich auf der Basis kognitiver Funktionalitäten in der Herstellung anschaulicher oder abstrakter Beziehungen äußert. Hierdurch wird die Bewältigung neuartiger Situationen durch problemlösendes Verhalten ermöglicht, was Versuch-und-Irrtum-Verhalten oder Lernen entbehrlich gemacht. *Autonomie* ist ein in der Technik nicht einheitlich gebrauchter Begriff. Am biologischen Vorbild orientiert kann jedoch autonomes Systemverhalten verstanden werden als ein Verhalten, das nicht willkürlich von „außen“ beeinflussbar sondern primär durch „innere“ Ursachen - insbesondere durch Elemente von Kognition und Intelligenz - bestimmt ist. So besitzt ein teleoperierter Laufroboter keine Autonomie. Dagegen zeigt ein mit einem künstlichen Augenpaar und einem gewissen Maß an maschineller Intelligenz ausgestatteter humanoider Zweibeiner einen gewissen Grad an (Bewegungs-)Autonomie.

Wie jüngste Initiativen, z.B. [SFB2006], zeigen, dürften bei der Konzipierung zukünftiger technischer Systeme - und somit auch automatisierter medizintechnischer Systeme - Elemente und Funktionalitäten der maschinellen Kognition, Intelligenz und Autonomie eine wachsende Bedeutung erlangen. Ziel dieses Beitrags ist es deshalb am Beispiel eines humanoiden Laufroboters zu zeigen, wie dessen Autonomie auf der Grundlage kognitiver Funktionalitäten bei der Ausführung nicht-trivialer Lokomotionsaufgaben gesteigert werden kann. Die

Ausführungen beziehen sich auf das Projekt *Intelligenter JOHNNIE*, das unsere Arbeitsgruppe über mehrere Jahre hinweg im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Autonomes Laufen“ [Pfeiffer2005] zusammen mit Prof. F. Pfeiffer, Angewandte Mechanik, TU München bearbeitet hat. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse unserer Forschungsarbeiten findet sich in [Schmidt2005].

### GRUNDSÄTZLICHE AUFGABENSTELLUNG

Ausgangspunkt unserer Arbeiten war die Feststellung, dass in den letzten Jahrzehnten bei der Entwicklung humanoider Zweibeiner zwar eindrucksvolle Fortschritte im Hinblick auf den mechatronischen Entwurf, die Stabilisierung des Gehens in unterschiedlichen Umgebungssituationen sowie bezüglich Komplexität und Eleganz der Bewegung gemacht wurden. Der Entwicklung einer Fähigkeit zum autonomen Gehen und zur zielorientierten Bewegung in typischen Alltagsszenarien wurde dagegen kaum Beachtung geschenkt. Deshalb stellten wir uns vor einigen Jahren die Aufgabe, einen vorhandenen Zweibeiner mit einem visuellen Sensorsystem und einer gewissen maschinellen Intelligenz auszurüsten, um ihm eine flüssige und sichere autonome sowie zielorientierte Fortbewegung in einer strukturierten Alltagsumgebung zu ermöglichen. Ein typisches Bewegungsszenario, das wir unseren theoretischen und experimentellen Untersuchungen zugrunde legten zeigt Abb. 1.

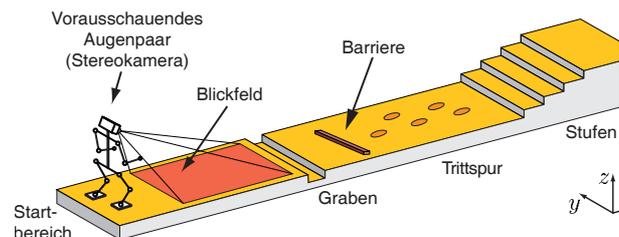


Abb. 1: Humanoider Zweibeiner in Gehenszenario mit prototypischen Hindernissituationen.

## ARCHITEKTUR DES FÜHRUNGSSYSTEMS

Abb. 2 zeigt in vereinfachter Darstellung die Architektur des zur Bewältigung der beschriebenen Bewegungsaufgaben entwickelten visuellen Führungssystems, und verdeutlicht das Zusammenspiel der in diesem (Regelungs-)System vereinigten Hauptmodule.

Flüssiges Gehen in einer unbekanntem 3D-Umgebung mit Hindernissen etc. erfordert eine prädiktive Klassifikation sowie Lage- und Dimensions-schätzung von Hindernissen auf dem Bewegungspfad. Zur Erhöhung der Präzision der visuellen Perzeptions-ergebnisse bei Annäherung ist ferner die Fähigkeit zu einer schritt-haltenden Objektverfolgung von Bedeutung. Hierzu liefert das Stereokamera-System des Zweibeiners einen Bildstrom, den das Modul *Bildverarbeitung für Gehen* zyklisch mit den Zielrichtungen „Szenenanalyse“ (langsamer Takt) und „Objekt-verfolgung“ (schneller Takt) auswertet. Die Ergebnisse der beider Analysen werden in einer *Umgebungskarte* zusammengeführt und stehen damit dem Pfad- und Schrittmusterplaner sowie der Blickwinkelsteuerung zur Verfügung.

Vergleichbar dem biologischen Sehverhalten wird der Blickwinkel des visuellen Sensorsystems durch eine intelligente *Blickwinkelsteuerung* jeweils so aktiv angepasst, dass der Fokus auf aktuell relevante Objekte (Hindernisse, Landmarken) gerichtet ist. Damit gelingt es den Informationsgehalt bei der Bildauswertung situations- und aufgabenorientiert zu maximieren bzw. Unsicherheiten zu minimieren. Zu berücksichtigende übergeordnete Aufgaben sind dabei die Kollisions-vermeidung beim Gehen und die Selbstlokalisierung in der Arbeitsumgebung zum Zwecke der Navigation.

Die in der Karte abgelegte Umgebungsinformation wird schließlich vom *Schrittsequenzgenerator* genutzt, um entsprechend der momentanen Situation auf dem Bewegungspfad angepasste Schrittfolgen zu erzeugen und die zugehörigen Referenztrajektorien für die Ausführung der Schritte durch den Bewegungsapparat der Laufmaschine bereitzustellen. Zur Schrittsequenz-planung bedient man sich sowohl formaler (Verkettung off-line erzeugter Schrittprimitive) als auch biologisch inspirierter Ansätze (3-Schritt-Voraus-Strategie). Wie Abb. 2 zeigt, schließt sich damit über die Laufmaschine mit ihren unterlagerten Stabilisierungs- und Bewegungsregelungen ein für ein System mit kognitiven Funktionalitäten typische Perzeptions-Aktions-Kreislauf, dort als *Führungsregelkreis* bezeichnet.

Ausführliche Literaturhinweise zu den von uns für diese Zwecke entwickelten Methoden finden sich in [Schmidt2005].

## DISKUSSION

Die Auswirkungen der Einbindung maschineller kognitiver Funktionalitäten im Hinblick auf sichere und flüssige autonome und zielorientierte Lokomotion in einer strukturierten 3D-Umgebung werden beispielhaft durch den unter

[http://www.lsr.ei.tum.de/movies/hanmesse\\_lsr.mpg](http://www.lsr.ei.tum.de/movies/hanmesse_lsr.mpg) abrufbaren Film belegt. Die Fortbewegung des Laufroboters erfolgt dabei nicht vorprogrammiert oder wie häufig teleoperiert. Sie stützt sich vielmehr auf den Einsatz maschineller perceptiver (künstliche Augen und Bildauswertung, Sensorik für Roboterhaltung), mentaler (Hindernisklassifikation, aktive Blickwinkelsteuerung, Schrittsequenzplanung) und exekutiver (Trajektorienberechnung, Körperstabilisierung) kognitiver Funktionalitäten im Zusammenwirken mit intelligenten Auswerte-, Analyse-, Fusions- und Entscheidungstechniken.

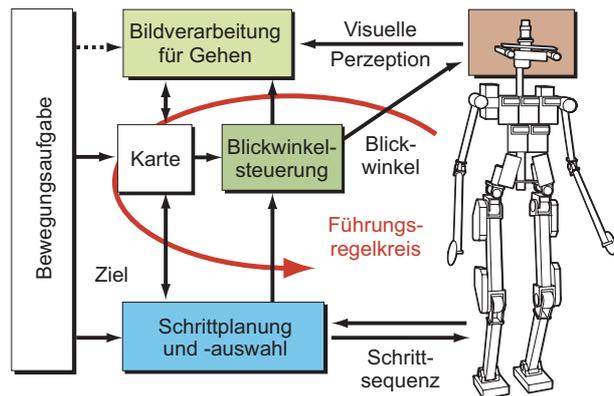


Abb. 2: Architektur des Perzeptions-Aktions-Kreislaufs im visuellen Führungssystem.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Vergleichbare kognitive Ansätze, wie sie hier im Kontext der Steigerung des Autonomiegrades eines humanoiden Zweibeiners beschrieben wurden, werden auch in der Fahrzeug- oder Militärtechnik verfolgt. Dabei erweist sich eine Orientierung an biologischen Vorbildern häufig als Schlüssel zur Erzielung eines qualitativen Fortschrittes über den Stand der Technik hinaus. Sicher wird es nur eine Frage der Zeit sein, bis kognitive Elemente und Funktionalitäten auch in andere automatisierte Systeme eindringen und dort ebenfalls zur Steigerung von Leistungsfähigkeit und Autonomie beitragen.

## LITERATURHINWEISE

- [SFB2006] Antrag des Sonderforschungsbereichs/Transregio 28 „Kognitive Automobile“, Uni. Karlsruhe, FhG-IITB Karlsruhe, TU München, Uni Bundeswehr München 2005
- [Pfeiffer2005] F. Pfeiffer, H. Cruse., Hrsg. „Autonomes Laufen“, Springer Verlag, Heidelberg 2005
- [Schmidt2005] G. Schmidt, „Perzeptionsbasiertes humanoides Gehen“ in F. Pfeiffer, H. Cruse, Hrsg. „Autonomes Laufen“, Springer Verlag, Heidelberg 2005