

# Echtzeitfähiges verteiltes Steuerungssystem für Schreitroboter

M. Konyev, A. Melnikov, A. Rudskyy, V. Rusin, A. Telesh, Y. Zavgorodniy

Name des Referenten	M.Sc. Mykhaylo Konyev
Firma des Referenten	O.v.G. Universität Magdeburg
Abteilung	Institut für Elektrische Energiesysteme
Tel.	+49 – 391 – 6718134
Fax	+49 – 391 – 6712481
E-Mail	Mykhaylo.Konyev@gmx.de

## 1. Einführung

Der vorliegende Artikel widmet sich den in den letzten Jahren von Robotslab durchgeführten Arbeiten zum Thema „Entwicklung eines echtzeitfähigen verteilten Steuerungssystems für mobile Schreitroboter“. Robotslab entstand im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen der Abteilung Automatisierung heutzutage Abteilung Virtual Engineering im Fraunhofer IFF und dem Institut für Elektrische Energiesysteme der Universität Magdeburg. In Robotslab werden überwiegend die Aufgaben der Elektroantriebstechnik und der Robotertechnik untersucht wie Intelligente Regelung elektrischer Antrieben, Planung komplexer Roboteraufgaben und -bahnen, Echtzeit-Kommunikation, dezentralisierte Datenerfassung und -verarbeitung, Entwicklung von Werkzeugen zur hybriden Simulation, Konstruktion der Robotersystemen mit mehreren aktiven Freiheitsgraden, etc. Im Laufe der letzten 7 Jahren sind eine Reihe von mehrbeinigen Schreitrobotern (Bild 1) und dementsprechend Ihre Steuerungs- und Regelungssysteme sowie auch die Algorithmen zu Lokomotions- und Serviceaufgaben entwickelt bzw. weiter verbessert und erfolgreich implementiert.



Bild 1: Fortschritt in mehrbeiniger Schreitrobotik in Jahren 2003-2007 (v.l.n.r. SLAIR, SLAIR 2 und ANTON)

## 2. Hybride Simulationstechniken als Basis zur Entwicklung des Steuerungssystem

Viele komplexe technische Systeme beinhalten mehrere aktive Freiheitsgrade, die über ein eingebettetes System gesteuert werden. Dazu gehört auch unser aktuelles Untersuchungsobjekt, nämlich der Schreitroboter „ANTON“ (Bild 1). Das kennzeichnende Merkmal seiner Konstruktion ist die hohe Anzahl aktiver Freiheitsgrade und demzufolge hohe Manövrierfähigkeit, Anpassung an die Untergrundeigenschaften und demzufolge die Vielseitigkeit potentieller Anwendungen. Der Roboter besteht aus drei seriell gekoppelten Schultern. An jeder Schulter sind jeweils zwei Beine gekoppelt, die eine Kinematik mit drei aktiven rotatorischen Freiheitsgraden besitzen, die von DC-Motoren mit einer Nennleistung

von 2.58W in den Kniegelenken und von 8.68W in anderen Gelenken angetrieben werden. Das Getriebe hat die Untersetzung von 390 in den Kniegelenken und von 251 in anderen Gelenken. Das Sensorsystem besteht aus den Lagesensoren in jedem Gelenk, IGR in jedem Motor, aus 3-Komponenten-Kraftsensoren in jedem Bein und aus den 2-Komponenten-Neigungssensoren im Körper. Das Gesamtgewicht beträgt ca. 7 kg. Der modulare Aufbau des Roboters macht es möglich, die Anzahl der Schultern beliebig zu erweitern.

Entwicklung eines Steuerungssystems entsprechender Komplexität beinhaltet mehrere Schritte von Modellierung und Simulation der Regelstrecke über die hybride HiL/SiL-Simulation des Steuerungssystems bis zur Implementierung der Quellcode in die Hardware (Bild 2).

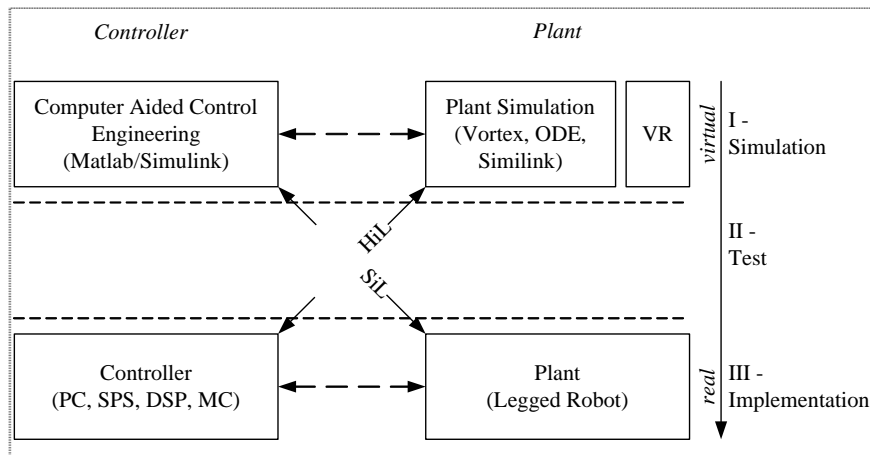


Bild 2: Entwicklungsschritte eines komplexen Steuerungssystems

Zu diesem Zweck wurde die so genannte Kommunikationsbrücke entwickelt, die die Signale zwischen dem Steuerungssystem und dem Roboter leitet. Die Kommunikationsbrücke hat die zwei oben genannten Bausteine des Projektes zugrunde und basiert dementsprechend auf netX mit der Möglichkeit visueller Programmierung des Ethernet-Kommunikation-Stacks.

Das Steuerungssystem ist hierarchisch und verteilt ausgelegt. Die Echtzeitkommunikation zwischen einzelnen Systemteilen bildet einen unabdingbaren Teil davon und ist im nächsten Kapitel beschrieben. Solcher Aufbau abstrahiert den virtuellen Teil des Roboters bzw. des Steuerungssystems vom realen Teil und macht die pure und hybride Simulation bzw. den realen Betrieb homogen für den Nutzer (Bild 3).

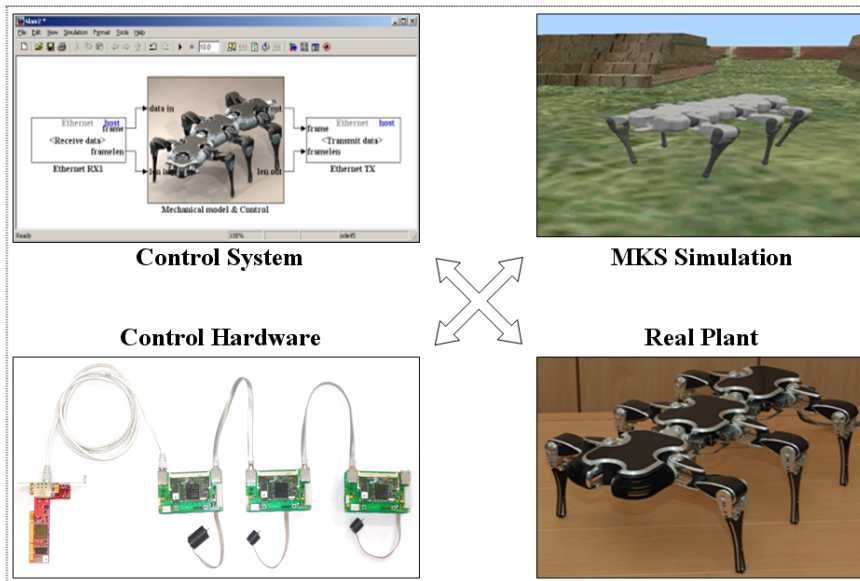


Bild 3: HiL/SiL Simulation des mobilen Schreitroboters

### 3. Echtzeitfähige verteilte Steuerungshardware

Steuerungssystem mit echtzeitfähiger dezentralisierter Datenerfassung und -verarbeitung bildet den Kern des Robotersystems und dient unter anderem zu Zwecken der Algorithmenentwicklung mit Hilfe von hybriden Simulationstechniken. Begonnen mit einfachem DSP-basierten System mit RS485-Kommunikation über WindowsPC/FPGA-basiertes System mit Ethernet-Kommunikation bis zum EchtzeitPC/FPGA-basiertes System mit industrieller Echtzeit-Kommunikation (EtherCAT) hat sich das Steuerungssystem ständig weiter entwickelt und inzwischen einen industrietauglichen Grad erreicht. Die Steuerungshardware steuert die 24 aktiven Freiheitsgrade des mobilen Schreitroboters mit der Zykluszeit unter 1ms an und ermöglicht den Echtzeit-Datenaustausch von 1kByte/Zyklus zwischen dem Host-Rechner und den drei Platinen mit 8 Freiheitsgraden pro Platine. Die entwickelte Hardware (Bild 4) basiert auf der Kombination von netX Kommunikationscontroller von Hilscher GmbH und FPGA. Dank re-konfigurierbare und zum Teil in C-programmierbare FPGA ist das Steuerungssystem in der Lage die Elektroantriebe unter harten Echtzeitbedingungen mit beliebigen Reglerstrukturen anzusteuern.

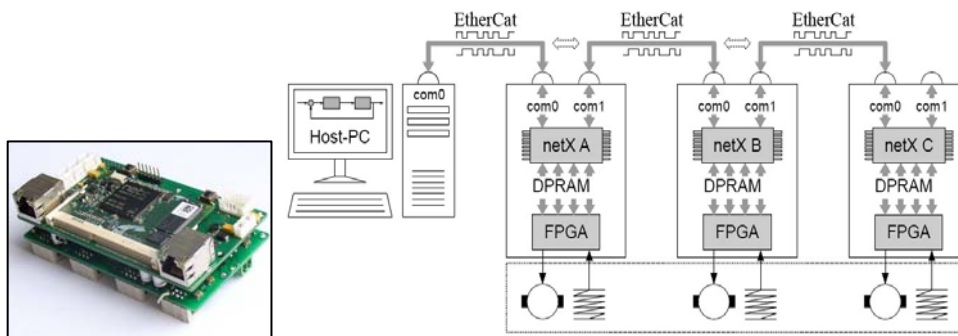


Bild 4: (links) Platine zur Ansteuerung von acht Elektroantriebe und (rechts) schematischer Aufbau des netX basierten Kommunikationssystems

#### 4. Lokomotorische hierarchische Steuerungsalgorithmen

Das Steuerungssystem des Schreitroboters „ANTON“ ist anhand der Untersuchungen zur biomechanischen Organisation von Menschen und Tieren hierarchisch und modular aufgebaut. Das Steuerungssystem besteht aus drei Ebenen (Bild 5 a/b/c):

- obere Ebene – *action level* – ist die Operator- und Überwachungsebene und erstellt die Parameter zur Roboterlokomotion (wie lineare und rotatorische Robotergeschwindigkeit, Gangart, Bodenfreiheit) und zu den Manipulationsaufgaben (wie Körperorientierung und Körperlage).
- mittlere Ebene – *primitive level* – berechnet anhand der gegebenen Sollwerte und der aktuellen Sensorinformation die Referenzbahn für jedes Robotergelenk. Diese Ebene sollte folgende Aufgaben erfüllen: Sicherstellung einer zielgerichteten Bewegung der Extremitäten, Einhaltung einer gegebenen Stabilitätsreserve, automatische Anpassung an einen unebenen Untergrund, Ausführung von Bewegungen bei unterschiedlicher Geschwindigkeit in eine vorgegebene Richtung, Auswahl einer geeigneten Gangart.
- untere Ebene – *servo level* – ist für die Regelung der vorgegebenen Referenzbahnen einzelner Gelenke verantwortlich.

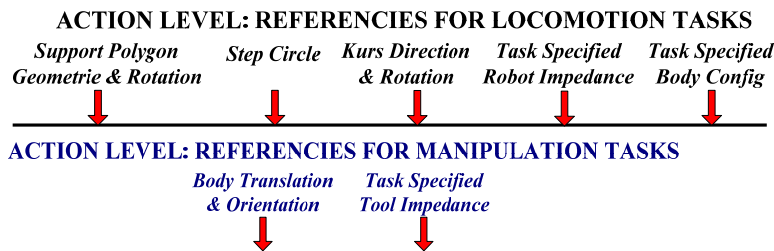


Bild 5 (a): Das hierarchische Steuerungssystem des Roboters: action level

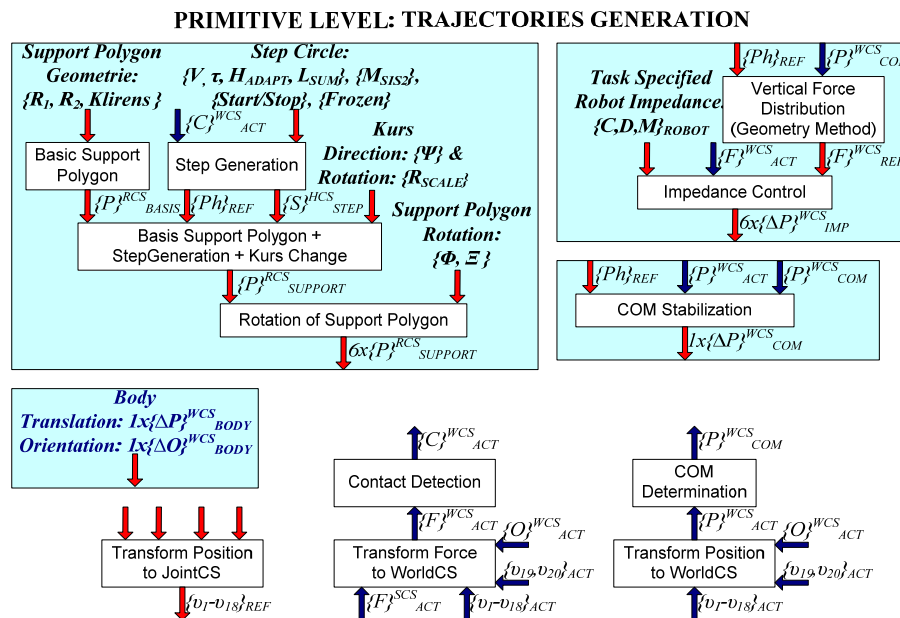


Bild 5 (b): Das hierarchische Steuerungssystem des Roboters: primitive level

## SERVO LEVEL: TRAJECTORIES CONTROL & MONITORING

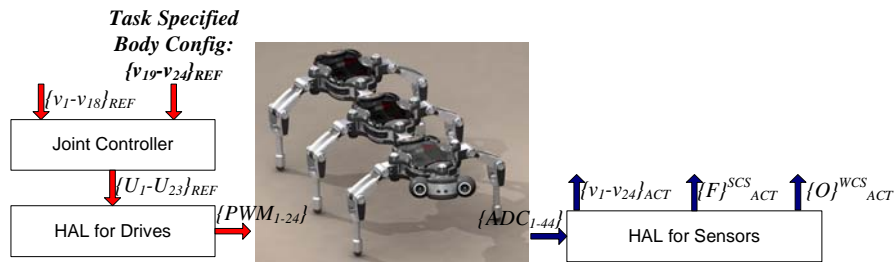


Bild 5 (c): Das hierarchische Steuerungssystem des Roboters: servo level

Derartiger Aufbau des Steuerungssystems ermöglicht Lösung der komplexen lokomotorischen Kontaktaufgaben, welche die Kenntnisse über den internen Roboterzustand (Konfiguration der Gelenke, Raumorientierung des Körpers, Antriebsstrom etc) sowie auch über die wirkenden Kontaktkräfte erfordert. Exemplarisch sind folgenden typischen lokomotorischen Kontaktaufgaben implementiert:

- Generierung reaktiver Gangarten (zeitliche Gestaltung eines Ganges);
- Organisation eines adaptiven Schrittzklus (räumliche Gestaltung eines Ganges);
- Stabilisierung des Roboter Massenmittelpunktes innerhalb des Stützpolygons ohne bzw. unter dem Einfluss von externen Störungen;
- Bewegung über ein komplexes Gelände mit variierenden mechanischen Eigenschaften des Untergrundes: die aktive Verteilung der Reaktionskräfte und die adaptive Nachgiebigkeitsregelung des „Schreitroboterbein-Untergrund“ Systems.

## 5. Literatur

- [RobL] <http://www.uni-magdeburg.de/ieat/robotslab>
- [Math] <http://www.mathworks.com/products/rtwembedded>
- [Hilsch] <http://www.hilscher.com> Hilscher GmbH, Hattersheim, Germany
- [Pal07] Palis, Dzhantimirov, Schmucker, Zavgorodniy, Telesh. HIL/SIL by development of six-legged robot SLAIR 2. 10th Int. Conference on CLAWAR, 16-18 July 2007, Singapore
- [Kan06] F. Kanehiro et.al. Distributed Control System of Humanoid Robots based on Real-time Ethernet. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, 9-15 October 2006, Beijing