

Ausarbeitung über

„HRP-2“

Im Rahmen des Seminars

„Humanoide Roboter“

im WS04/05

von

Orhan Engin  
(oengin@techfak.uni-bielefeld.de)

## Der Humanoide Roboter HRP-2

Das Humanoid Robotics Project (HRP) ist ein Entwicklungsprojekt des japanischen Unternehmens *Kawada Industries*, das vom Wirtschafts - und Forschungsministerium (METI) Japans finanziert wurde.

Das Projekt verlief von 1998 – 2002 und wurde durch zwei Entwicklungsphasen bestimmt. Während in der ersten Phase von 1998 -1999 ein spezielles Software-Programm, dem OpenHRP, entwickelt wurde, konzentrierte sich in der zweiten Phase von 2000-2002 der Schwerpunkt der Forschung und der Entwicklung auf Anwendungsbereiche mit Menschen. Das Ziel des Projekts ist es *nützliche* Roboter herzustellen, die mit ihrer Umwelt interagieren können. Der Einsatzbereich des Roboters sollte sich nicht mehr nur auf die Unterhaltungsbranche beschränken, sondern sollte ebenfalls in den sozialen und industriellen Sektor einbezogen werden. Besonders viel Wert wurde auf die Ausstattung des Roboters mit Software für die Zusammenarbeit mit Menschen gelegt.

Im sozialen Sektor soll der Roboter für die Altenpflege eingesetzt werden. Der Grund hierfür liegt darin begründet, dass Japan vor dem Problem einer erhöhten Veralterung der Bevölkerung und einem Mangel an Fachpersonal für die Altenpflege gegenübersteht. Im industriellen Sektor ist ihr Einsatz für Wartungsarbeiten an Maschinen vorgesehen. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind in Krankenhäusern, in Büros, in Haushalten oder auf Baustellen geplant.

Das Design – Konzept des HRP-2 zielte auf die Entwicklung eines möglichst leichten und kompakten Roboters ab. Dieses Konzept berücksichtigend konnten die Ausmaße des Roboters für die Körpergröße auf 153,9 cm, für die Breite auf 62,1 cm und für die Tiefe auf 35,5 cm reduziert werden.

Der HRP-2 erreicht ein Gewicht von 58 kg inklusive Batterien.

Um seine Redundanz zu erhöhen, wurde er mit 30 D.O.F. (Freiheitsgrade) ausgestattet.

Die Aufteilung der Freiheitsgrade wurde folgendermaßen vorgenommen:

Das Kopf – Modul ist mit zwei, die beiden Arme mit je sechs, die beiden Hände mit je einem, der Torso mit zwei und die beiden Beine mit je sechs Freiheitsgraden versehen. Hierbei sind besonders zwei auffallende Konstruktionen, das Hüftgelenk und das Torso – Gelenk, hervorzuheben, die den Roboter zu ungewöhnlichen Aktionen befähigen.

Angetrieben wird der HRP-2 durch Ni-MH Batterien, deren Gesamtgewicht 11.4 [kg] betragen. Die Batterien beliefern dessen 30 Servomotoren ca. 60 Minuten bei 48 V Spannung mit 18Ah Strom.

Um die jeweiligen für eine Bewegung notwendigen Servomotoren mit Strom beliefern zu können, wurde dafür eigens ein DC Motor Treiber Modul für zwei Achsen entwickelt, der zwei DC Motoren unabhängig voneinander kontrollieren kann.

Die Rechner-Architektur des Roboters besteht aus zwei CPUs. Die eine CPU verarbeitet Informationen des Echtzeit-Controllers, die die Bewegung des Körpers steuert. Um die für die Körperbewegung notwendigen Daten in Echtzeit berechnen zu können, wird auf das ART-Linux (Advanced Real-Time) – Betriebssystem zurückgegriffen. Die auszuwertenden Daten werden von den Beschleunigungs-, Kräfte- und Gyro – Sensoren, die in den Armen und Beinen des Roboters integriert sind, entnommen.

Die andere CPU wertet die Daten aus dem Nichtechtzeit-Controller für die Objekterkennung und die Soundverarbeitung aus. Beide CPUs benützen einen Pentium III Prozessor, der mit 750 MHz getaktet ist. Die interne Übertragung der Daten an die beiden CPUs erfolgt durch PCI – Busse.

## Beine

Während der zweiten Phase (2000-2002) des Projekts wurde zudem das Bein – Modul HRP-2L (siehe Bild 1) entwickelt, das beim HRP-2 zum Einsatz kommt.

Da der Roboter aufgrund der geringen Tragfläche der Füße nämlich leicht dazu tendiert, sein Gleichgewicht zu verlieren, entschieden sich die Entwickler, auf den schon zuvor bei den Honda-Robotern bewährten ZMP (Zero Moment Point) zurückzugreifen. Die Fortbewegung mit dem ZMP erfolgt durch Berechnung der Aufsetzpunkte für den Schwerpunkt des Roboters. Liegt der berechnete Aufsetzpunkt für den Fuß innerhalb eines berechneten Polygons, wird der Roboter den nächsten Schritt setzen können, ohne das Gleichgewicht zu verlieren. Liegt der Aufsetzpunkt jedoch außerhalb des Polygons, droht dem Roboter der Verlust des Gleichgewichts.

Die Berechnung des ZMPs lässt sich sowohl für ebenes als auch für unebenes Gelände abstimmen. Um die Daten für den ZMP berechnen zu können, wurden an jeder Fußsohle digitale Kraftsensoren installiert, die komplizierte Berechnungen für 6 Achsen durchführen können. Die im HRP-2L untergebrachten Beschleunigungs – und Geschwindigkeitssensoren stabilisieren zusätzlich die Bewegung des Roboters.

Einen stabilen Gang erreicht der HRP-2, indem der Abstand der Aufsetzpunkte genug Abstand voneinander haben. Jedoch kann ein zu großer Abstand beider Füße den Oberkörper ins Schwanken bringen. Um dem Problem des Schwankens entgegenzuwirken, wird die Berechnung einer *glatten* Trajektorie des Schwerpunkts angestrebt. Dies wird dadurch erreicht, indem die Aufsetzpunkte beider Füße geringen Abstand voneinander haben.

Das Hüftgelenk des HRP-2 ist mit einem *Cantilever Type Structure* konstruiert. Dieses Design ermöglicht es dem Roboter über einen schmalen Gang durch Überschlagen beider Beine (cross legs) zu gehen oder sich auf einer Stelle drehen zu können. Aufgrund der Freiheitsgrade des Fußgelenks ist es ihm darüber hinaus möglich, Unebenheiten von 40 mm und Neigungswinkel von 5% zu bewältigen.

Die Integration von in den Beingelenken wurde vorgenommen, um die Zuverlässigkeit der Systeme aufgrund der zu hohen Temperatur innerhalb des Gehäuses zu gewährleisten. Die Temperaturen können mit Kühlsystemen von 120° auf nunmehr 80° reduzieren.

Nach Konstruktion des Bein-Moduls, dem HRP-2L, wurden Untersuchungen zu Bewegungsabläufen durchgeführt und Daten zur Auswertung hinsichtlich des Stromverbrauchs gesammelt. Die Daten selbst wurden von Sensoren in den Beingelenken entnommen. Die untersuchten Bewegungsabläufe beschränkten sich dabei auf Vorwärts gehen und Hocken. Beim Vorwärtsgehen wurde das Bein-Modul bei den Tests mit einer Geschwindigkeit von 1 ½ Schritten pro Sekunde angetrieben. Die Analyse der Daten zeigte, dass der Stromverbrauch dann anstieg, wenn der Roboter sein Gewicht beim Gehen auf einen Standfuß setzte. Bei der Analyse des zweiten Bewegungsablaufs konnten Diskontinuitäten beobachtet werden. Diese traten in der Phase des Hockens beim Aufstehen auf, da der Motor im Kniegelenk besonders viel Leistung verbrauchte,

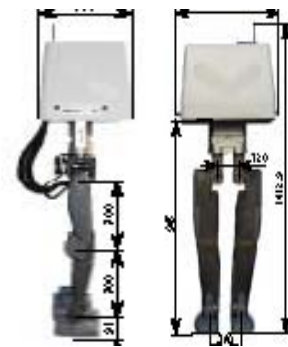


Bild 1

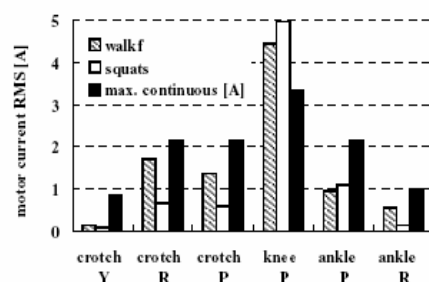


Bild 2

um die Bewegung ausführen zu können. Aus den weiteren Ergebnissen der Analyse kann geschlossen werden, dass alle Motoren außer der Motor für das Kniegelenk innerhalb ihrer maximalen Leistungsfähigkeit arbeiten (siehe Bild 2). Die bei den Tests entnommenen Daten stimmten mit denen aus dem Simulationsprogramm gewonnenen Daten *fast* überein.

### ***Torso-Gelenk***

Das Torso-Gelenk befindet sich im Rumpf des Roboters und weist zwei Freiheitsgrade auf. Die Konstruktion mit dem Torso – Gelenk stellt insofern eine Besonderheit dar, weil es dem Roboter das selbständige Aufstehen und Hinlegen erlaubt und ihm einen schnelleren Gang ermöglicht. Dies wird dadurch realisiert, dass die in der Yaw -Achse erzeugten Kräfte Momente vom Torso-Gelenk unterdrückt und die entstehenden Kräfte von den Hüftgelenken zu einem schnelleren Gang kompensiert werden. Das Torso-Gelenk erhöht darüber hinaus die Redundanz der Armbewegungen, da die erhöhte Gelenkigkeit des Oberkörpers sich positiv auf die Beweglichkeit auswirkt.

### ***Kopf-Modul***

Die Größe des Kopf-Moduls beträgt ein Achtel der gesamten Körpergröße des Roboters. Der Kopf ist mit zwei Freiheitsgraden ausgestattet, die es ihm erlauben, seinen Kopf in seitliche und horizontale Richtung zu drehen. Das Kopf-Modul ist mit drei CCD - Kameras bestückt. Die beiden an den Wangen horizontal zueinander liegenden Kameras haben einen Abstand von 144 mm voneinander. Die Position der dritten Kamera befindet sich im Kopf, 70 mm senkrecht zur Mitte der Horizontalen der ersten beiden Kameras.

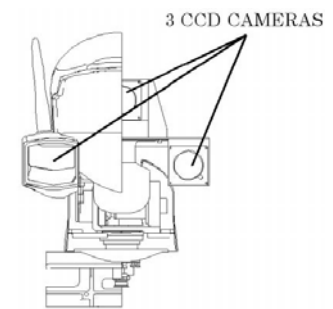


Bild 3

Die Anzahl der CCD – Kameras ergibt sich aufgrund der besseren Feststellung von horizontalen Linien des Stereo Vision Systems. Die Distanz der Kameras zueinander ermöglicht zudem eine präzisere Auflösung des visuellen Systems.

### ***Simulation***

Aus den erhaltenen Bildinformationen wird eine 3D Local Map von der aktuellen Umgebung generiert, in der die Aktionen des Roboters zuerst mittels eines *View-Simulators*, das Teil des OpenHRP ist, simuliert werden. So lassen sich Aktionen wie das Treppensteigen, Greifen von Objekten oder die Vermeidung von Hindernissen zuerst simulieren, bevor sie in der realen Umgebung ausgeführt werden können.

Die Feststellung über Erfolg oder Misserfolg der gewünschten Aktion ist noch vor der Ausführung der Aktion in der realen Umgebung möglich. Gelingt die Aktion in der Simulation, so kann sie auch in der aktuellen Umgebung ausgeführt werden, andernfalls wird die Ausführung der Aktion in der realen Welt erst gar nicht vorgenommen.

Eignen sich mehrere Bewegungsabläufe zum Erreichen eines Ziels in der Simulation, wird die best mögliche nach vorgegebenen Kriterien, z.B. Bewegungsgeschwindigkeit oder das Umschalten von einer Bewegungsart zu einer anderen, bestimmt.

Die dem HRP-2 zur Verfügung stehenden Bewegungsarten sind kriechen, hocken, seitwärts gehen, sich drehen und normal gehen.

In der Simulation (Bild 4) soll der Roboter 6 Gates unterschiedlicher Höhe und Breite durchschreiten, die jeweils 5 m voneinander auf einer Linie entfernt sind.



Bild 4 - Simulation

Die untere Tabelle (Bild 5) zeigt die Abmessungen der Gates an und die zum Durchschreiten möglichen Gangarten an.

Die anfängliche Gangart beginnt mit Normal und befindet sich 3 m vor dem ersten Gate. Der Roboter wechselt dann die Gangart, wenn er erkennt, dass die aktuelle Gangart nicht zum Durchschreiten des Gates ausreicht.

So erkennt der Roboter beispielsweise bei Gate 4, dass von den fünf möglichen Bewegungsarten nur *Kriechen* in Frage kommt, da er ansonsten mit den anderen Gangarten mit dem Hindernis zusammenstößt.

THE SIZE OF OPENINGS AND AVAILABLE LOCOMOTION METHODS(UNIT: [M])

Gate	Width	Height	
0	1.0	1.6	All
1	0.8	1.6	Twist, Side and Crawl
2	0.6	1.6	Side
3	1.0	1.2	Squat and Crawl
4	0.8	0.7	Crawl
5	0	0	None

Bild 5

Alle in der Simulationen durchgeführten Versuche zu den unterschiedlichen Bewegungsabläufen konnten in Experimenten vom HRP-2 ausgeführt werden.

### ***Arm-Gelenk***

Beide Arme haben je sechs Freiheitsgrade, die sich in drei für das Schultergelenk, zwei für das Ellenbogengelenk und einen für das Handgelenk aufteilen.

An dem Handgelenk setzt der Manipulator an, der lediglich mit nur einem Freiheitsgrad ausgestattet ist. Dadurch kann der Roboter *nur* die Hand öffnen und schließen, deren maximale Traglast 2 kg beträgt.

Die Fähigkeit des Menschen, sein Gleichgewicht beim Gehen mit dem Oberkörper- durch Bewegung der Arme und der Schultern – auszubalancieren, wurde nicht auf den Roboter übertragen, da die Arme für die Interaktion mit der Umwelt verwendet werden sollen. Daher wurde die Berechnung des ZMPs und die damit verbundene Kontrolle des Gleichgewichts dem Unterkörper – den Beinen und den Füßen- überlassen, so dass der Oberkörper genügend Bewegungsfreiheit zur Interaktion hat.

## **Zukunft/Perspektive**

Die Entwicklung eines humanoiden Roboters, dem HRP-3, wird geplant. Der HRP-3 soll sich im Wesentlichen auf den Fortschritten des HRP-2 stützen. Verbesserungen hinsichtlich des visuellen Erfassungssystems und die Steigerung der Intelligenz sind ebenso vorgesehen wie die zusätzliche Erweiterung der Software für die Interaktion mit Menschen. Schließlich sind weitere Geh -Versuche auf unebenem Gelände vorgesehen, um die Entwicklung zur Stabilisierung des Gleichgewichts weiter voranzutreiben.

## Literaturliste

1. Kenji Kaneko, Fumio Kanehiro, Shuuji Kajita, Hirohisa Hirukawa, Toshikazu Kawasaki, Masaru Hirata, Kazuhiko Akachi and Takakatsu Isozumi, „Humanoid Robot HRP-2,” Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, S. 1083- 1090, April 2004.
2. Noriyuki Kanehira, Toshikazu Kawasaki, Shigehiko Ohta, Takakatsu , Isozumi, Tadahiro Kawada, Fumio Kanehiro, Shuuji Kajita and Kenji Kaneko, „ Design and Experimants of Advanced Leg Module(HRP-2L) for Humanoid Robot (HRP-2) Development,“ Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, S.2455-2460, October 2002.
3. Fumio Kanehiro, Hirohisa Hirukawa, Kenji Kaneko, Shuuji Kajita, Kiyoshi Fujiwara, Kensuke Harada, Kazuhito Yokoi, “Locomotion Planning of Humanoid Robots to Pass through Narrow Spaces”, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, April 2004