

Eine fluidisch angetriebene anthropomorphe Roboterhand

A Fluidic Driven Anthropomorphic Robotic Hand

Tino Werner, Artem Kargov, Immanuel Gaiser, Alexander Bierbaum, Julian Schill, Stefan Schulz, Georg Bretthauer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Zusammenfassung In diesem Artikel wird eine fluidisch angetriebene Roboterhand vorgestellt, deren flexible Aktuatoren adaptives Greifen sowie die weiche Handhabung von Gegenständen ermöglichen. Der mechanische Aufbau vereinigt die anthropomorphe Erscheinung mit einer präzisen DreiPunkt-Kinematik eines Greifers. Es werden Designmerkmale, das Antriebskonzept, die Steuerungskomponenten, technische Eigenschaften und ein Anwendungsbeispiel für die Service-Robotik beschrieben.

▶▶▶ Summary A fluidic driven robotic hand is presented in this article. Flexible fluidic actuators of high power-to-weight ratio are used for the actuation and allow for adaptive grasping, compliant handling and stable holding of objects during manipulation. The construction of the robotic hand combines a human-like appearance with a preciseness of a robotic gripper. This study represents a design concept, an actuation principle, set of components, technical characteristics of a fluidic hand and its application.

Schlagwörter Roboter Hand, anthropomorphe Roboter Hand, flexible fluidische Aktoren, adaptives Greifen ▶▶▶

Keywords Robotic hand, anthropomorphic robotic gripper, flexible fluidic actuators, adaptive grasping

1 Einleitung

Die Entwicklung künstlicher Maschinen, die in direkter Interaktion mit dem Menschen agieren sollen, wurde in den letzten Jahrzehnten sehr beliebt. Die Zahl der Szenarien für diese Interaktion im Alltag ist groß und wächst ständig [1–4]. Einer der bemerkenswertesten Teile dieser Interaktion ist die Manipulation von Objekten, die an die entsprechenden Endeffektoren sehr hohe Ansprüche stellen.

In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl an Robotern mit unterschiedlichen Antriebsprinzipien und mit faszinierenden Manipulationsfähigkeiten entwickelt [5–15; 22]. Diese Studien veranschaulichen die allgemeine Tendenz für die Entwicklung von Manipulatoren mit anthropomorphen Eigenschaften. Die Antriebe sind hierbei entweder direkt in den Händen, oder aber in den Unterarmen integriert. Im zweiten Fall sind die Gelenke zumeist über Seilzüge mit

den Antrieben verbunden. Um solche Manipulatoren nachgiebig zu gestalten, sind zumeist komplexe mechanische Systeme und/oder Steuerungseinheiten notwendig. Eine Möglichkeit Nachgiebigkeit zu gewährleisten ist es elastische Elemente seriell in den Antriebsstrang zu integrieren [12]. Eine weitere Möglichkeit ist es pneumatische Aktoren zu verwenden, deren Nachgiebigkeit durch die Kompressibilität der Luft hervorgerufen wird [9–15].

Die neue Roboterhand wurde entwickelt, um ein nachgiebiges, leichtgewichtiges und anthropomorphes System zu realisieren. Die Entwicklung von anthropomorphen Greifern am Karlsruher Institut für Technologie begann mit der Herstellung der flexiblen fluidischen Aktoren, zunächst für medizinische Anwendung [16]. Die Integration dieser Aktoren zum Aufbau von künstlichen Manipulatoren wurde erst später durch eine Optimierung der Geometrie und Größe der Aktoren möglich.



Die flexiblen fluidischen Antriebe wurden neu gestaltet, neu dimensioniert und konnten somit direkt in die künstliche Fingergelenke integriert werden. In den vergangenen acht Jahren wurde eine Vielzahl an Prototypen der Leichtbau-Manipulatoren mit flexiblen Fluidaktoren gebaut. (Bild 1) [16; 17].

Das Design-Konzept von allen bisherigen Prototypen beinhaltet eine mechanische Grundstruktur mit anthropomorphen Merkmalen. Neueste Prototypen bestehen aus einer als Rahmen geformten Handfläche mit angebauten künstlichen Fingern. Die künstlichen Finger sind modular konstruiert und bestehen aus einzelnen Phalangen, die miteinander durch die künstlichen Gelenke verbunden sind. Durch die modulare Konstruktion ist es möglich, die Anzahl der Gelenke in der Hand zu variieren. Somit kann die Anzahl der Bewegungsabläufe der künstlichen Hand je nach Aufbau neu definiert werden. Die Gestaltung des Daumens ermöglicht die Änderung seiner Platzierung und Positionierung gegenüber dem Zeige- und Mittelfinger. Alle künstlichen Gelenke werden durch flexible fluidische Antriebe betätigt und können unabhängig voneinander gesteuert werden. So können verschiedene Griffarten durchgeführt werden. Die zu dem System gehörigen Ventil- und Elektronikkomponenten wurden eigens entwickelt und direkt in die Konstruktion vieler Prototypen integriert. Für Prototypen, die hydrau-



Bild 1 Ein Auszug an Prototypen der fluidisch angetriebenen Roboterhand.

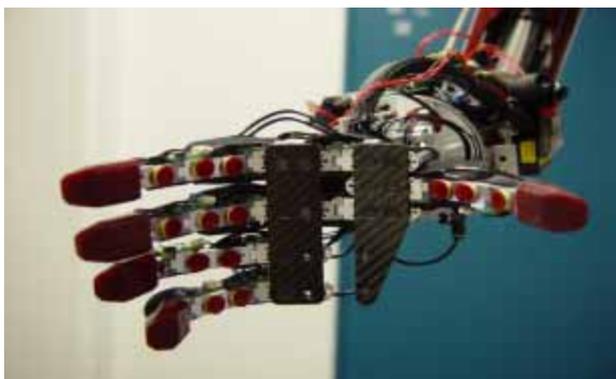


Bild 2 Die Roboterhand 2008.

lisch betrieben worden sind, wurde ein miniaturisiertes Hydrauliksystem entwickelt und für eine direkte Integration in die Hände ausgelegt [18].

Der jüngste Prototyp ist im Bild 2 dargestellt. Dieser unterscheidet sich von allen vorherigen Manipulatoren und wird in diesem Artikel detailliert beschrieben.

2 Kinematik

Die wichtigste Eigenschaft der Hand ist deren Hybrid-Konzept, das die Merkmale einer anthropomorphen Hand und die eines Roboter-Greifers vereint. Die Anordnung von künstlichen Gelenken und Knochen ist im Bild 3 dargestellt.

Der Rahmen des jüngsten Prototyps unterscheidet sich von früheren Prototypen, die mit einem starren Handrahmen aufgebaut worden waren. Die Handfläche der Hand besteht aus zwei Teilen, die miteinander durch zwei Gelenke verbunden sind, die so wie die anderen Gelenke auch mit Fluidaktoren angetrieben sind. Die gefüllten Kreise in Bild 3 markieren die Position dieser Gelenke, die eine wichtige Funktion erfüllen. Sie befinden sich im Bereich der Handfläche und sind für eine extreme Öffnung der Hand hauptverantwortlich. Mit entleerten Aktoren im Handflächenbereich weist die Hand eine Form ähnlich eines Robotergrifiers auf (Bild 3f). Mit gefüllten Handflächenaktoren nimmt die Hand das anthropomorphe Aussehen an, so wie es in Bild 4 zu sehen ist. Weiters wird die Zahl der möglichen Griffarten vergrößert. Durch die aktiv beweglichen Handflächenteile können Gegenstände unterschiedener Formen und Größe besser gegriffen und gehalten werden (Bild 3a–e). Zur Greifstabilität und Greifpräzision trägt eine permanente Anordnung des Daumens in direkter Opposition zum Index- und Mittelfinger bei. Durch einen symmetrischen Aufbau der Gliedmassen in den Fingern ist die Hand in der Lage, einen stabilen Drei-Punkt-Griff zu realisieren. Die Bilder 3a–e zeigen verschiedene Griffmuster zur vereinfachten Darstellung mit parallelen Zeige-, Mittel-, Ring- und Kleinfinger. Der Drei-Punkt-Griff ist im Bild 4 dargestellt. Das Hybrid-Konzept macht die neue Hand zu einem idealen Endeffektor für Anwendungen in der Servicerobotik.

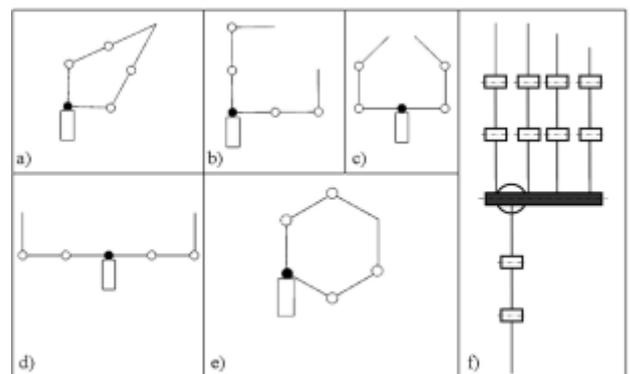


Bild 3 Mögliche Griffmuster.

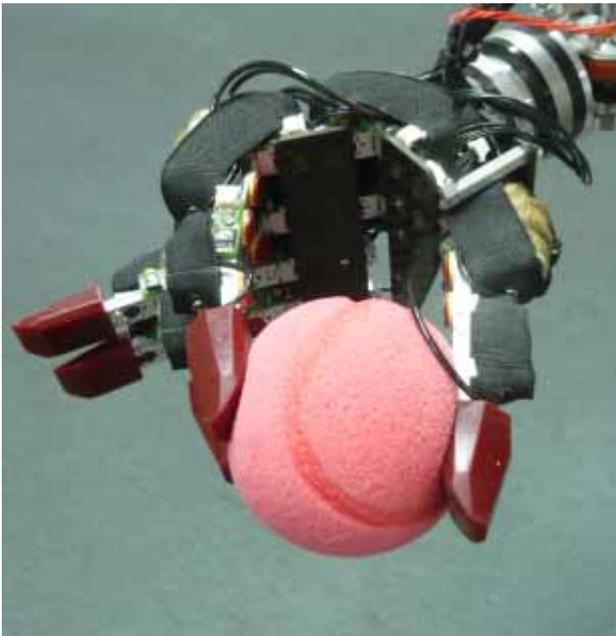


Bild 4 Der Dreipunktgriff.

Tabelle 1 Technische Spezifikation der Roboterhand.

Parameter	Masse
Gewicht	216 Gramm
Abmessungen	149 × 93 mm
Anzahl der Aktoren	12
Unabhängige Freiheitsgrade (DOF)	11
Maximale Greifgeschwindigkeit	180 Grad/Sek
Maximale Haltkraft	110 N
Mittlere Kontaktkraft bei 20 Messpunkten (stabiles Halten, zylindrischer Griff)	ca. 1 N
Max. Drehmoment für 12 mm Aktoren (6 bar)	0,7 Nm
Max. Drehmoment für 20 mm Aktoren (6 bar)	2,4 Nm
Energieversorgung Prototyp/Optional	8,5–14 VDC
Druckversorgung	Druckluft 6 bar
Interface extern/intern	CAN, I ² C, SPI, UART
Max. Schaltfrequenz für Ventile	200 Hz
Geräuschpegel (Ventile/1 Meter Abstand)	53 dB

3 Technische Eigenschaften

Die technische Spezifikation der Roboterhand ist in Tabelle 1 dargestellt. Mehrere Merkmale unterscheiden die Hand von anderen anthropomorphen Händen und Greifern. Die Hand hat elf unabhängige Freiheitsgrade (DOF), zwei in jedem Finger und einen Freiheitsgrad (doppelt-betätigt) in der Handfläche. Durch den modularen Aufbau der Hand kann die Anzahl der DOF erhöht, oder reduziert werden. Je nach Bedarf und je nach Anwendung kann auch die Anzahl der aktiven und passiven Gelenke verändert werden. Der wesentliche Unterschied zu den früher entwickelten Fluid-Händen FRH 1 [14; 15] besteht darin, dass alle Finger der neuen Hand parallel zu einander angeordnet sind, so dass eine exakte Positionierung erreicht werden kann.

Die Breite der Hand entspricht mit 93 mm einer großen Männerhand. Der Abstand zwischen zwei Gelenken beträgt 40 mm. Durch die Verwendung besonders leichter Materialien für die mechanischen Komponenten und die Aktoren beträgt das Gewicht der Hand nur 216 g.

Durch die Elastizität der flexiblen Fluidaktoren ist es möglich verschiedenste Objekte adaptiv zu greifen. Mit der Hand können unterschiedliche Griffarten realisiert werden, da alle Antriebe unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Das Ausstrecken des Zeigefingers ist einer der möglichen Griffarten, womit jede Art von Schaltern oder Tastern bedient werden kann. Die maximale Öffnungsweite der Hand beträgt 120 mm. Die mechanische Schnittstelle wurde speziell für eine einfache Montage der Hand auf verschiedenen Roboter-Plattformen konstruiert.

4 Aktoren

Die Roboterhand ist mit flexiblen Fluidaktoren ausgestattet, wie sie bereits in [19] beschrieben sind. Flexible Fluidaktoren sind verstärkte elastische Faltenbälge. Diese Antriebe können sowohl mit Luftdruck als auch mit Flüssigkeit betrieben werden. Unter Druck gesetzt weisen sie eine axiale Expansion sowie eine radiale Kontraktion auf. Dabei wird die elastische Energie direkt in den Antrieben

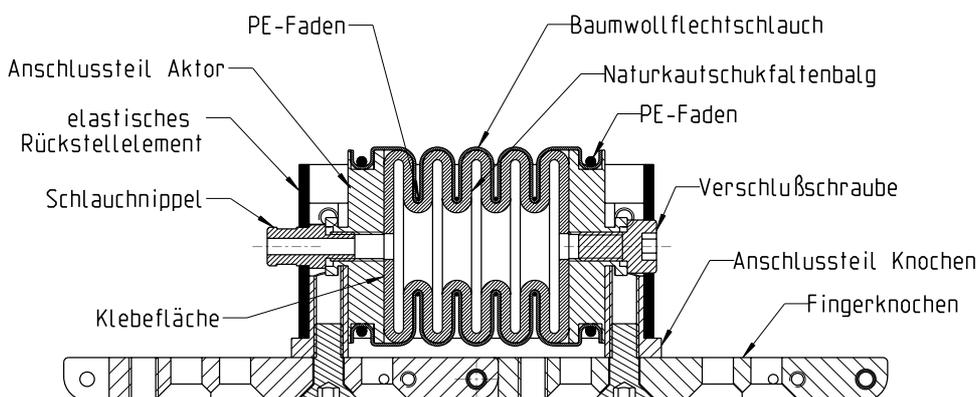


Bild 5 Aufbau eines fluidischen Aktors im Querschnitt.

gespeichert. Die geringe Größe der fluidischen Antriebe ermöglicht ihre Integration direkt in die Gelenke der künstlichen Hand. Dabei ist es möglich, jedes Gelenk mit einem separaten Aktor anzutreiben. Mit Druck beaufschlagte Aktoren erzeugen dabei Drehmomentkräfte.

Der Querschnitt eines künstlichen Gelenkes mit einem integrierten flexiblen Fluidaktor ist auf Bild 5 zu sehen. Die Anschlusssteile übermitteln die Expansionsenergie vom Aktor zum Gelenk. Der Faltenbalg wird aus Naturkautschuk hergestellt. Dessen Ummantelung mit Baumwollflechtschlauch verhindert eine radiale Ausdehnung. Die Umschnürung mit PE-Faden hingegen unterbindet das Ausbrechen weg von der Rotationsachse. Die Antriebe haben Durchmesser von 12 und 20 mm, ein Gewicht von 2,6 bzw. 10 Gramm und maximale Drehmomente von 0,7 bzw. 2,4 Nm (bei 6 bar).

5 Ventile

Zur Ansteuerung der Aktoren sind Ventile erforderlich, die eine Regelung der Gelenkpositionen ermöglichen.



Bild 6 Ventilbank.

Bei humanoiden Robotern sind aus Platzgründen jedoch keine Druckregelventile, wie sie für industrielle Anwendungen üblich sind, anwendbar. Aus diesem Grund werden digitale 3/2-Wegeventile „Micro 10“ der Firma ASCO verwendet, welche über ein pulsweitenmoduliertes Signal (PWM) mit einer Frequenz von 67 Hz angesteuert werden. Das entspricht einer Periodendauer von 15 ms. Die Pulsdauer kann in Schritten von einer Millisekunde variiert werden. Abzüglich der Ein- und Ausschaltverzögerung von je 3 ms bleiben somit 9 verschiedene Pulsweiten zur Regelung des Durchflusses. Wie in Bild 7 zu sehen ist, wird pro Aktor je ein Ein- und ein Auslassventil als 2/2 Wegeventil verwendet, um so ein unabhängiges Regeln der Gelenke zu gewährleisten. Die Ventile werden über den SPI-Bus vom Mikrocontroller angesteuert. Eine von zwei Ventilbänken mit je acht Ventilen ist in Bild 6 zu sehen.

6 Das Pneumatiksystem

Ein Pneumatikschaltplan für eine typische Anwendung mit 2 fluidischen Händen ist in Bild 7 zu sehen. Zur Versorgung mit Druckluft kann grundsätzlich eine handelsübliche Kompressor-Tank-Einheit mit einem konstanten Betriebsdruck zwischen 4 und 6 bar herangezogen werden. Für den humanoiden Roboter ARMAR des Sonderforschungsbereiches 588 wurde ein Pneumatiksystem bestehend aus Pumpe, Druckschalter, Drucktank und Druckregler auf die leistungsmäßigen und platztechnischen Anforderungen dieser Anwendung eigens angepasst. Dabei wurde ein Kompressor 405ADC38/24H der Firma Thomas mit einem Nenndruck von 7 bar und einem maximalen Durchsatz von 18,6 l/min in Kombination mit einem 2 Liter Drucktank gewählt. Der Druckregler sorgt für einen konstanten Betriebsdruck von 4 bar.

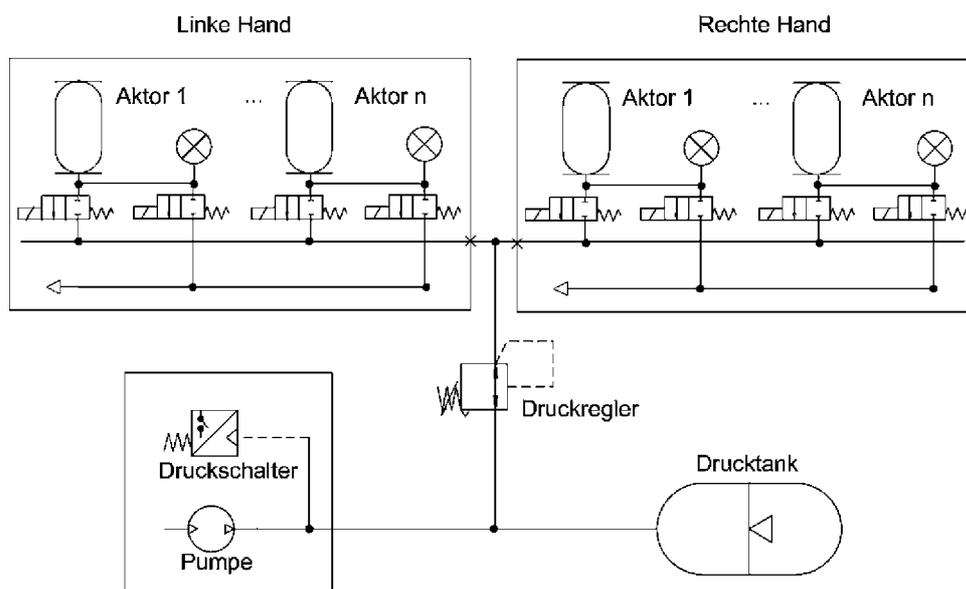


Bild 7 Übersichtsplan des Pneumatiksystems.

7 Sensoren

Um ausreichend Rückschlüsse auf den Zustand der Roboterhand ziehen zu können sind Winkelsensoren an allen Gelenken erforderlich. Die Winkelmessung wird durch programmierbare Hallensensoren des Typs AS5046 von der Firma Austriamicrosystems realisiert, die klein genug sind, um sie an den Fingergelenken zu integrieren. Sie messen berührungslos die Ausrichtung und die Intensität des Magnetfeldes eines an der Rotationsachse angebrachten Permanentmagneten. Bild 8 zeigt die Integration der Sensorplatine an einem der Gelenke, wobei der Magnet hinter dem Sensor in einer Bohrung der Platine sitzt. Die Sensoren verfügen über eine Auflösung von 12 Bit bzw. $0,088^\circ$ und sind über einen I²C Bus mit der Contollereinheit verbunden.

Um Aussagen über die Aktormomente treffen zu können sind weitere Sensoren von Nöten. Bei der pneumatischen Roboterhand kann die Greifkraft indirekt über den in den Aktoren befindlichen Luftdruck und den bekannten Aktorkennlinien berechnet werden. Des Weiteren ist damit eine einfache Überwachung auf Leckagen des Pneumatiksystems möglich. Ein zusätzlicher Drucksensor ist zur Überwachung des Versorgungsdrucks vorgesehen. Verwendet wird der Chip SM5822 der Firma Silicon Microstructures Inc. welcher temperaturkompensierte und linearisierte Messwerte mit einer Auflösung von 11 Bit bzw. 3 mbar liefert. Die Drucksensoren befinden sich auf einer separaten Platine, welche über einen



Bild 8 Ein Gelenk mit 12 mm Aktor und Winkelsensor.

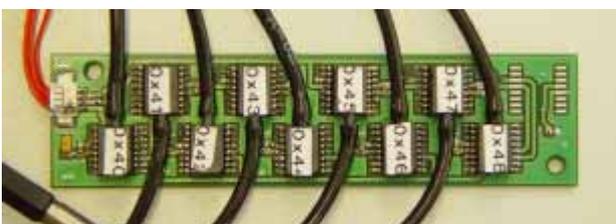


Bild 9 Drucksensoren auf der Trägerplatine.

I²C Bus mit dem Controller verbunden ist. Bild 9 zeigt die Sensorplatine mit 9 dieser Drucksensoren.

8 Regelung

Für die Kraft-Positionsregelung der Gelenke kommt ein kaskadierter Regler mit unterlagertem Druckregler zum Einsatz [21]. Der Positionsregler ist ein modellbasierter Regler, der anhand des Modells den Solldruck bestimmt und ihn als Regelgröße an den Druckregler weitergibt. Als Modell wird hierbei eine Näherungsfunktion verwendet, die das Verhältnis zwischen Gelenkwinkel und Aktuatordruck bei Nulllast annähert. Es wird davon ausgegangen, dass das Störmoment, das auf den Aktor wirkt, innerhalb der Regelzeit konstant bleibt. Das aktuelle Störmoment, das als Abweichung von der Näherungsfunktion gemessen wird, wird auf den Solldruck bei unbelastetem Aktor aufaddiert. Dadurch erhält man den Solldruck bei aktuellem Störmoment.

Für die Kraftregelung wird das Störmoment auf den Aktor auf einen Maximalwert beschränkt. Somit lässt sich die Steifigkeit des Gelenks einstellen und die Kraft, die auf ein gegriffenes Objekt wirkt, beschränken. Um das Moment eines Aktors zu begrenzen, muss der Druck im Aktor begrenzt werden. Der Maximaldruck ergibt sich direkt aus der Näherungsfunktion und dem begrenzenden Maximalmoment.

Messungen ergaben, dass der durchschnittliche Fehler beim Abfahren einer sinusförmigen Trajektorie bei $0,023 \text{ rad}$ (ca. $1,3^\circ$) liegt.

9 Elektronik

Zum Auslesen der Sensoren und dem Ansteuern der Ventile wird eine mittels Mikrocontroller gesteuerte Elektronik eingesetzt, die kompakt genug ist, um sie direkt bei den Ventilen und Drucksensoren unterzubringen, um den Verkabelungsaufwand so gering wie möglich zu halten. Der Controller muss in der Lage sein mehrere Schnittstellen parallel ohne Unterbrechung des Hauptprogrammes abzuarbeiten. Hierbei kam der Mikrocontroller PIC24H256 der Firma Microchip zum Einsatz. Er wird mit einer Taktfrequenz von 40 MHz betrieben und besitzt einen Flashspeicher von 128 kB. Er verfügt über eine CAN-Schnittstelle, zwei serielle Schnittstellen, zwei SPI-Schnittstellen (8 oder 16 Bit) und zwei I²C Busse (7 und 10 Bit Adressierung).

Die Elektronik ist mit einer ICSP-Schnittstelle (In-Circuit Serial Programming) ausgestattet. Diese macht es möglich Programme direkt auf den Mikrocontroller zu laden. Die Schnittstelle ermöglicht darüber hinaus eine komfortable Entwicklungsumgebung in Verbindung mit einem MPLAB In-Circuit Debugger.

Das Board beinhaltet 16 Ventilschaltausgänge die über Leistungstreiber via SPI angesteuert werden. Der I²C Bus wird über einen Multiplexer aufgespaltet um die Sensoren zu bedienen. Die Kommunikation zwischen dem Controller für die Steuerung der Hand und dem über-

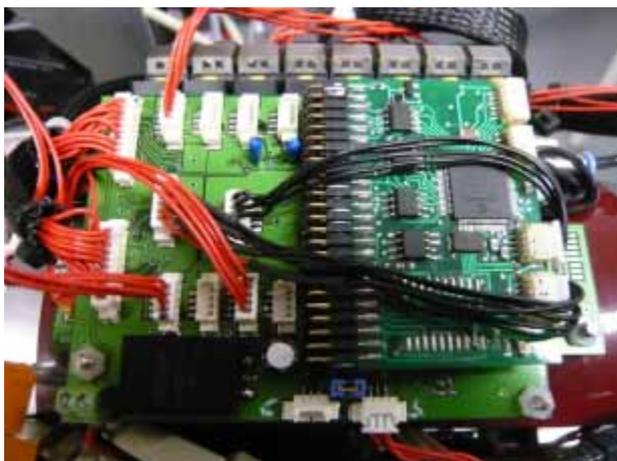


Bild 10 Die vollständige Steuereinheit.

geordnetem Controller erfolgt über den CAN-Bus. In Bild 10 ist die komplette Steuerelektronik zu sehen.

10 Anwendungen

Die Entwicklung eines mobilen Service-Roboters am Karlsruher Institut für Technologie ist das Ziel eines Projektes im Sonderforschungsbereich 588 „Humanoide Roboter – Lernende und kooperierende multimodale Roboter“ [13; 20]. Der neue Service-Roboter hat humanoides Design. Dieser ist mit zwei künstlichen Händen ausgestattet und wird in der Lage sein, zusammen mit dem Benutzer in einer Küchenumgebung zu arbeiten (Bild 11). Zu den wichtigsten Merkmalen dieses Roboter-Systems zählen eine menschenähnliche Bewegungsweise sowie ein intelligentes Steuerungssystem. Die zum heutigen Zeitpunkt durchgeführten Testversuche in einer Küche zeigen, dass die Hand in der Lage ist, unterschiedli-



Bild 11 Applikation am humanoiden Roboter.

che Gegenstände, wie Flaschen, Tassen, Schubladengriffe und Griffe eines Geschirrspülers in der Küche zu greifen bzw. stabil zu halten.

Literatur

- [1] United Nations Economic Commission for Europe. Press release ECE/STAT/05/P03, Geneva, 11 October 2005.
- [2] Specific targeted research or innovation project. „Physical Human-Robot Interaction: Dependability and Safety“. Information sheet. Available: <http://www.phriends.eu>.
- [3] IEEE and Robotics & Automation Society; Technical Committee on Service Robotics, <http://www.service-robots.org>, 2005.
- [4] R. D. Schraft, G. Schmierer: Service Robots – Products, Scenarios, Visions. PETERS, NATICK Verlag 2000. ISBN 1568811098.
- [5] G. Hirzinger: A New Robot Generation for Space, Service, and Surgery. *it – Information Technology*, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, Vol. 49, No. 04/2007, pp. 247–259.
- [6] N. Furihata, S. Hirose: Development of Mine Hands: Extended Prodder for Protected Demining Operation. *Autonomous Robot*, Springer Netherlands, Vol. 18, Number 3, May 2005, pp. 337–350.
- [7] T. Mouri, H. Kawasaki, K. Yoshikawa, J. Takai, S. Ito: Anthropomorphic Robot Hand: Gifu Hand III. *ICCAS (2002)*, Oct. 16–19, Muju Resort. Jeonbuk. Korea.
- [8] S. C. Jacobsen, E. K. Iversen, D. F. Knutti, R. T. Johnson, and K. B. Biggers: Design of the Utah/MIT Dextrous Hand. *ICRA (1986)*, pp. 1520–1532.
- [9] <http://www.shadowrobot.com>.
- [10] http://www.festo.com/INetDomino/coorp_sites/en/ffeed49f2394ea43c12572b9006f7032.htm.
- [11] C. Lovchik, M. Diffler: The Robonaut Hand: A Dexterous Robot Hand For Space. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Automation and Robotics, Detroit, Michigan, May 1999, pp. 907–912.
- [12] I. Yamano, T. Maeno: Five-fingered Robot Hand Using Ultrasonic Motors and Elastic Elements. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Automation and Robotics, Barcelona, Spain, April 2005, pp. 2684–2689.
- [13] R. Dillmann, T. Asfour: Collaborative Research Center on Humanoid Robots (SFB 588). *KI – Zeitschrift Künstliche Intelligenz*, 2008, Vol. 4, pp. 26–28.
- [14] S. Schulz, G. Bretthauer: A Fluidic Humanoid Robot Hand. Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2001.
- [15] S. Schulz, C. Pylatiuk, G. Bretthauer: A New Ultralight Anthropomorphic Hand. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Seoul, Korea, May 2001.
- [16] A. Kargov, C. Pylatiuk, S. Schulz: Study of fluidic actuators in prosthetic hands. 10th International Conference on New Actuators & 4th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems, June 14–16, 2006, Bremen, Germany.
- [17] A. Kargov, H. Breitwieser, H. Klosek, C. Pylatiuk, S. Schulz, G. Bretthauer: Design of a Modular Arm Robot System Based on Flexible Fluidic Drive Elements. 10th IEEE Conference on Rehabilitation Robotics, June 13–15, 2007, Netherlands.
- [18] A. Kargov, T. Werner, C. Pylatiuk, S. Schulz: Development of a Miniaturised Hydraulic Actuation System for Artificial Hands. *Sensors & Actuators A: Physical*, Vol. 141, Issue 2, pp. 548–557 A 2007.
- [19] A. Kargov, C. Pylatiuk, S. Schulz: Study of fluidic actuators in prosthetic hands. Proceedings of the 10th international conference on new actuators „Actuator 2006“, Bremen, Germany, 14–16 June 2006, pp. 312–315.
- [20] T. Asfour, K. Regenstein, P. Azad, J. Schröder, R. Dillmann: ARMAR-III: A Humanoid Platform for Perception-Action Integration. 2nd International Workshop on Human-Centered Robotic Systems (HCERS), 2006, Munich, Germany.

- [21] A. Bierbaum, J. Schill, T. Asfour, R. Dillmann: Force Position Control for a Pneumatic Anthropomorphic Hand. 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Dec. 7–9, 2009, Paris.
- [22] H. Liu, K. Wu, P. Meusel, N. Seitz, G. Hirzinger, M. H. Jin, Y. W. Liu, S. W. Fan, T. Lan, Z. P. Chen: Multisensory Five-Finger Dexterous Hand: The DLR/HIT Hand II. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nice, France, Sept. 22–26, 2008.

Manuskripteingang: 29. Juni 2010

Dipl.-Ing. Tino Werner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAI des KIT und ist derzeit im Sonderforschungsprojekt 588 für die Roboterhände verantwortlich. Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung von miniaturisierten mechatronischen Pneumatik- und Hydrauliksystemen und deren Regelung.

Adresse: Institut für angewandte Informatik (IAI) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Tel.: 07247-82-5707, Fax: 07247-82-5786, E-Mail: tino.werner@kit.edu

Dr. Artem Kargov ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAI des KIT und ist derzeit im Sonderforschungsprojekt 588 für die Roboterhände verantwortlich. Arbeitsschwerpunkte sind Konstruktion von Roboter-greifern und messtechnische Analyse der entwickelten Komponenten.

Adresse: IAI am KIT, Tel.: 07247-82-5707, Fax: 07247-82-5786, E-Mail: artem.kargov@kit.edu

Dipl.-Ing. Immanuel Gaiser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am AIA des KIT und ist im BMBF-Verbundprojekt PORTASOR tätig. Arbeitsschwerpunkt ist die Entwicklung von flexiblen fluidischen Antrieben für eine neue Generation von portablen Soft-Roboterarmen mit „sanften“ Greifern.

Adresse: Institut für angewandte Informatik/Automatisierungstechnik (AIA) am KIT, Tel.: 07247-82-5757, Fax: 07247-82-5786, E-Mail: immanuel.gaiser@kit.edu

Dipl.-Ing. Alexander Bierbaum ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Anthropomatik des KIT. In seiner Forschungstätigkeit beschäftigt er sich mit haptischer Sensorik für Roboter, geschickter Manipulation und haptischer Exploration mit anthropomorphen Roboterhänden.

Adresse: Institut für Anthropomatik (IAIM) am KIT, Adenauerring 2, 76131 Karlsruhe, Tel.: 0721-608-8322, Fax: 0721-608-8270, E-Mail: alexander.bierbaum@kit.edu

Dipl.-Inform. Julian Schill ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Anthropomatik des KIT. In seiner Forschungstätigkeit beschäftigt er sich mit Elektronikentwicklung und Rechnerarchitekturen für humanoide Roboter.

Adresse: IAIM am KIT, Adenauerring 2, 76131 Karlsruhe, Tel.: 0721-608-5335, Fax: 0721-608-8270, E-Mail: schill@kit.edu

Dr. Stefan Schulz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAI des KIT und Leiter der Forschungsgruppen Fluidrobotik und Biorobotik, Arbeitsschwerpunkte sind fluidische Antriebslösungen in bionisch inspirierten Robotersystemen in den Bereichen Medizintechnik und Servicerobotik.

Adresse: IAI am KIT, Tel.: 07247-82-5760, Fax: 07247-82-5786, E-Mail: stefan.schulz@kit.edu

Prof. Dr. Ing. habil. Georg Bretthauer ist Institutsleiter des IAI und des AIA am KIT. Hauptarbeitsgebiete: Computational Intelligence, Wissensbasierte Systeme, Automatisierungstechnik.

Adresse: IAI am KIT, Tel.: 07247-82-5700, Fax: 07247-82-5702, E-Mail: georg.bretthauer@kit.edu