

Beschleunigt die **Entwicklung** autonomer **Lebensretter**

Grafisches Embedded-System-Design. Jede lebensrettende Ausrüstung muss sicherstellen, dass die Rettungsaktion keine zusätzlichen Menschenleben gefährdet. Und es ist wichtig, weitere Unfälle, etwa in einsturzgefährdeten Gebäuden, abzuwenden. Mit diesem Ziel begann Nanyang Polytechnic in Singapur eine Neuentwicklung, die auf der Autonomie einzelner, aber auch dem Zusammenspiel mehrerer mobiler Roboter beruht. [📍 ME101755]



Kriechen ist eine der Bewegungsarten des Roboters. So gelangt er auch durch engste Spalten zu eingeschlossenen Opfern

KONTAKT

Nanyang Polytechnic,
Singapore 569830,
Tel. +65 64 51 51 15,
www.nyp.edu.sg

National Instruments
Germany GmbH,
81369 München,
Tel. 0 89 /7 41 31 30,
Fax 0 89 /7 14 60 35,
www.ni.com/germany

Analog Devices GmbH,
81373 München,
Tel. 0 89 /7 69 03 -0,
Fax 0 89 /7 69 03 -1 75,
www.analog.com

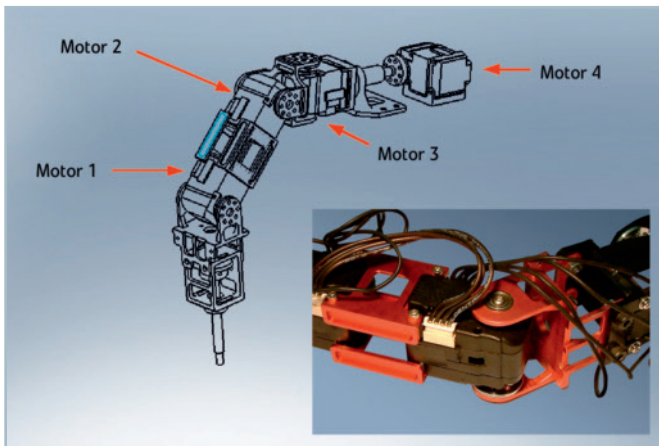
Schmid Engineering AG,
CH-9542 Münchwilen,
Tel. +41 (0) 71 /9 69 35 -90,
Fax +41 (0) 71 /9 69 35 -98,
www.schmid-engineering.ch

POM YUAN LAM,
MARCO SCHMID,
ANDERS NORLIN FREDERIKSEN

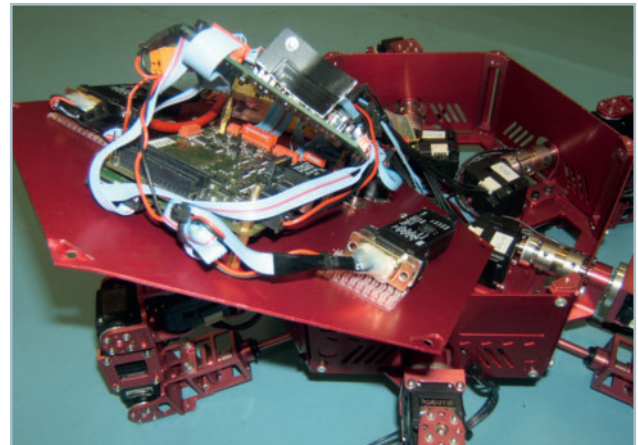
■ Entwickler des Forschungsinstituts Nanyang Polytechnic in Singapur haben einen Roboter entworfen, der lebensrettende Einsätze unterstützen soll. Der kleine und mobile Sechsheiner kann unterschiedlichste Hindernisse umgehen und so an schwer erreichbaren Orten nach eingeschlossenen Opfern suchen (**Titelbild**). Auch das Detektieren und Vernichten von

Landminen ist eine Aufgabe, die er dem Menschen abnehmen kann.

Da Mobilität eine der wichtigsten Eigenschaften eines solchen Roboters ist, wählten seine Schöpfer ein Laufprinzip mit sechs unabhängigen Beinen. So kann er sich selbst auf unwegsamstem Untergrund in alle Richtungen bewegen. Die hauptsächlichsten Bewegungsmuster ›Laufen‹ und ›Drehen‹ haben die Ingenieure von sechsheinigen Insekten abgeschaut. Drei bewegte und drei gehobene Beine ermöglichen eine geeignete Laufgeschwindigkeit



1 Vier intelligente Motoren mit eingebauten programmierbaren PD-Reglern sind über ein serielles RS485-Netzwerk angeschlossen und nahtlos in die Glieder integriert



2 Der Hexapod beinhaltet Funktionen wie Bildverarbeitung, Entfernungsmessung und drahtlose Kommunikation. Lithium-Polymer-Akkus versorgen ihn mit Energie

und stellen gleichzeitig das Gleichgewicht auf unebenem Untergrund sicher. Das »Kriechen« ist eine weitere Bewegung, die es dem Roboter ermöglicht, auch durch enge Öffnungen zu gelangen. Die Grundbewegungen jedes einzelnen Beins folgen einfachen, beispielsweise rechteckigen oder kreisförmigen Bahnen.

Ein multifunktionelles mechatronisches System ...

Der Beinmechanismus und die Bewegungssteuerung sind die Schlüsselfunktionen des

Roboters. Insgesamt 24 Gleichstrommotoren treiben die Beine nicht nur an, sondern fungieren auch als integrierte Gelenke (Bild 1 und BACKGROUND-Kasten). Dies führt zu einer stabilen und dennoch leichten Konstruktion, die den Energiebedarf reduziert und die Bewegungsdynamik verbessert.

Neben dem Bewegungsapparat beinhaltet der Hexapod für die Autonomie typische Subsysteme wie Bildverarbeitung, Entfernungsmessung und drahtlose Kommunikation (Bild 2). Eine intelligente Kamera im Auge des Roboters lokalisiert Objekte und vermisst diese mit leistungsfähigen Bildverar-

beitungsalgorithmen, etwa um den geometrischen Schwerpunkt in einem bestimmten Suchbereich zu ermitteln oder um Farben zu identifizieren. Künftige Versionen mit verbesserter Bild-, Muster- und Kantenerkennung sollen die Rechenleistung des hier eingesetzten Blackfin-Prozessors von Analog Devices weiter ausreizen.

... kommuniziert drahtlos über Bluetooth ...

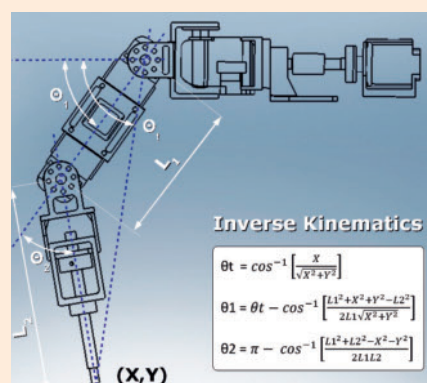
Um mit dem Roboter zu kommunizieren, wird eine Bluetooth-Verbindung per- ➤

BACKGROUND

Bewegung mit 24 Freiheitsgraden

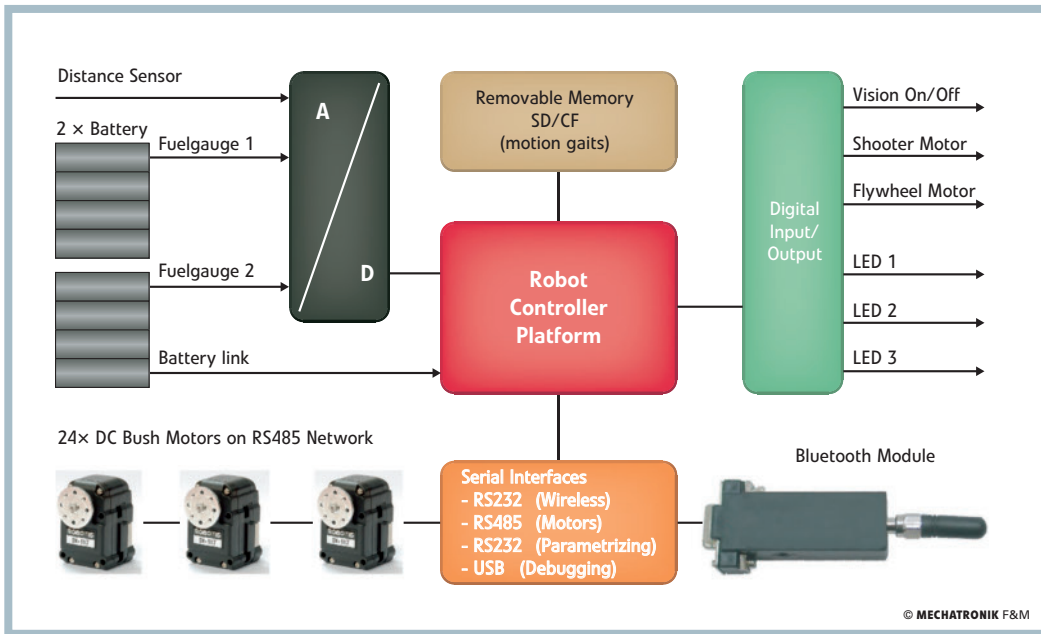
Die Grundbewegungen des Roboters beruhen auf komplexen mathematischen Modellen, die in Echtzeit umgesetzt werden. Dass sie flüssig verlaufen, ist der Rechenleistung eines »Blackfin«-Prozessors von Analog Devices und der deterministischen Echtzeit-Technologie des Boardherstellers zu verdanken. Standardisierte »Virtuelle Instrumente« (VIs) in »Labview« sowie handoptimierte mathematische Bibliotheken des Blackfin-Prozessors werden verwendet, um kontinuierlich einen inversen kinematischen Algorithmus auszuführen (Bild). Dieser berechnet die passenden Gelenkwinkel, um den Roboterfuß exakt entlang einer räumlichen Bahn zu bewegen. Abhängig von übergeordneten Gangarten erfolgt die Bewegung entlang von Linien, Rechtecken oder Kreisen. Die Gelenkwinkel aller sechs Beine werden parallel berechnet. Daraus resultieren 24 kontinuierlich ermittelte Stellwerte für alle Motoren, die eine dynamische Bewegung gewährleisten.

Diese Stellwerte werden über ein serielles RS485-Netz zu jedem Motor übertragen und mit dezentralen PD-Reglern umgesetzt. Positionen, Rückmeldungen und Temperaturwerte aller 24 Motoren werden über das gleiche Netz gesammelt. Die Bewegungsbahnen können auf drei Arten programmiert werden:



Gleichmäßige Bewegungen werden mithilfe inverser Kinematik erreicht. Diese baut auf trigonometrischen Funktionen und Matrizenoperationen auf

- manuelle Vorgabe (Teach-in) und Speicherung von neuen oder speziellen Bewegungsabläufen,
- 3D-CAD-Software erlaubt visuelles Überprüfen der simulierten Bewegungsbahnen. Die Modelle werden als »Virtual Reality«-Dateien exportiert und in »Labview Picture Controls« importiert. Bewegungen erhalten ihre Feinabstimmung über den Vergleich der virtuellen Modelle mit den realen,
- kontinuierliche Berechnungen der Bewegungsbahnen über die inverse Kinematik in Echtzeit.



3 Der Roboter wird von ZMobile gesteuert. Funktionsblöcke machen den Low-Level-Prozess-I/O der Labview-Embedded-Umgebung zugänglich

4 Grafische Out-of-Box-Embedded-System-Programmierung mit vorgefertigten Funktionsblöcken

› manent aufrechterhalten. Die folgenden Funktionen stehen über diese Verbindung zur Verfügung:

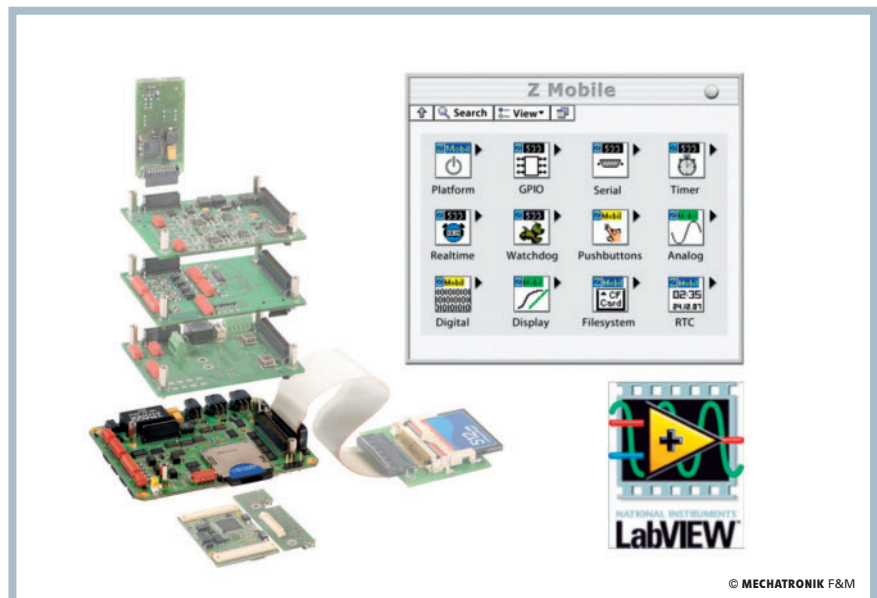
- Unterstützung des grafischen ›Fast Debug Mode‹ von ›ZBrain‹ während der Konzeptprüfungen, des Prototypings und abschließender Testläufe,
- Lesen kritischer Statusinformationen wie Motorstatus und Batteriekapazität für Diagnosezwecke,
- Austausch von Variablen, die für den Feinabgleich der Algorithmen wesentlich sind,
- Laden neuer Missionsdaten in den Roboter vor dem Einsatz.

Während eines Wettbewerbs waren zwei dieser Roboter über einen drahtlosen Kommunikationskanal miteinander verbunden, und ihre Bewegungen wurden für einen gemeinsamen Limbo-Tanz vollständig synchronisiert. Dies war der funktionelle Prototyp für eine ernsthaftere Aufgabe, bei der mehrere Roboter im Team noch komplexere Aufgaben bewältigen können.

... und ist sparsam im Verbrauch

Das Herzstück des Roboters ist ›ZMobile‹, ein Low-Power-, Mixed-Signal-Target, welches auf der ›ZBrain‹-Systemlösung des Schweizer Unternehmens Schmid Engineering beruht (Bild 3). Diese Labview-Blackfin-Plattform umfasst Sensoren, Stellglieder, die Bildverarbeitung, die 7,2-V-Lithium-Polymer-Akkus sowie die drahtlose Kommunikation. Nanyang Polytechnic wählte diese Plattform aus drei Gründen:

- Die Programmierung des Roboters mit Labview ermöglichte es den Systemin-



genieuren vom ersten Tag an, sich auf die wesentlichen Aufgaben des Vorhabens zu konzentrieren. Dank der hohen Produktivität der grafischen Programmierung konnten sie im vorgegebenen Zeitfenster mehr Funktionen implementieren, als ursprünglich vorgesehen waren.

- Das dynamische Energiemanagement von ZMobile senkte die Stromaufnahme deutlich und verlängert so die Betriebszeit des autonomen Roboters auf mehrere Stunden. Dank des Stromverbrauchs im Milliwattbereich stand die meiste Akkuenergie für die wichtigste Funktion, den Antrieb, zur Verfügung.
- Der skalierbare Prozess-I/O bietet jederzeit Raum, um weitere Sensoren und Stellglieder zu integrieren.

Grafische Embedded-Software löst Echtzeitaufgaben

Die Applikationssoftware für den Roboter wurde mithilfe des Labview-Embedded-Moduls von National Instruments für Blackfin-Prozessoren und der ZBrain-Systemlösung programmiert (Bild 3). Diese Kombination hat den Entwicklern hohe Systemabstraktion, grafisches Debuggen und grafisches Multitasking bei harter Echtzeitfähigkeit ermöglicht. Objektorientierte Entwurfsmuster haben zudem geholfen, die Komplexität auf der grafischen Ebene zu beherrschen (Bild 4). Wesentliche Objekte wie Motoren oder Sensoren waren durch funktionelle, globale Variablen als ›Klassen‹ in Labview repräsentiert.

5 Anders Norlin Frederiksen (links) und Marco Schmid (Mitte) bei der Preisverleihung mit NIs Präsident und CEO Dr. James Truchard



Das wesentliche Applikationsframework besteht aus mehreren Aufgaben:

- Die übergeordnete ›Maintask‹ plant die Aktionen, wird von einer klassischen State-Machine repräsentiert und stellt die Verbindung zu den anderen Schleifen mittels Software-Queues und Syn-

FAZIT

Demnächst auch im Schlangenkörper

Die Entwicklung des leistungsstarken sechsbeinigen Roboters konnte dank der grafischen Entwicklungsumgebung des Labview-Embedded-Moduls und dank der Prozessorleistung des Blackfin stark beschleunigt werden. Schmid Engineering's schneller Debug-Modus stellte sich während der Algorithmenentwicklung als wertvoller Beschleuniger heraus, denn die Entwicklungszeit der Embedded-Software hat sich insgesamt um den Faktor fünf verkürzt. ZMobile war für Nanyang das passende Off-the-Shelf-Produkt, welches die Systementwicklung stark vereinfacht und für alle Beteiligten transparent gemacht hat.

Verbesserungen in Bildverarbeitung, Energiemanagement, Sensorintegration, Fuzzy-Logik und GPS-Datenerfassung sind Komponenten, die dieser wiederverwendbaren Mechatronikplattform hinzugefügt werden können. Des Weiteren plant Nanyang, die modulare Hard- und Software in neuen Roboter-›Formfaktoren‹, etwa in schlangenähnlichen Geräten, wiederzuverwenden.

Auf der diesjährigen ›NIWeek‹ (siehe Seite 22) wurde die vorgestellte Arbeit mit dem ›Graphical Systems Design Achievement Award‹ in der Rubrik ›Embedded‹ sowie mit dem ›Editor's Choice Award‹ ausgezeichnet (Bild 5).

chronisationsmechanismen wie Sema-phoren her.

- Die ›Kommunikationstask‹ hält eine drahtlose Verbindung zur Außenwelt aufrecht.
- Die ›Visiontask‹ ist für die Bildverarbeitung und Entfernungsmessung verantwortlich.
- Die ›Motiontask‹ ist für die übergeordneten Bewegungsmuster und die untergeordnete Gelenksteuerung zuständig und beobachtet den jeweiligen Status und die Positionen der Motoren.
- Die ›Housekeepingtask‹ agiert als allgemeine Fehlerbehandlungsroutine. Ereignisse und Fehler werden erkannt und auf Speicherkarten oder USB-Sticks zum späteren Auswerten aufgezeichnet. ZMobile funktioniert auch als Watchdog, der das System neu booten oder abschalten kann. Programmgesteuertes Aufwachen stellt eine effektive Methode dar, das System von Neuem zu starten, sollten nicht alle Fehler abgefangen worden sein.

All diese Schleifen laufen simultan als Threads in einer Multitasking-Umgebung. Context-Switching in Millisekunden und Echtzeitsdienste in Mikrosekunden auf Treiberebene garantieren gleichmäßige und ruckfreie Bewegungen. Zu guter Letzt wurde die Forderung der Thread-Sicherheit – ein Muss bei Parallelverarbeitung – für jede einzelne Softwarekomponente und jeden einzelnen Gerätetreiber mithilfe des Board-Support-Pakets des Herstellers erfüllt. ■

Autoren

POM YUAN LAM ist Dozent am Nanyang Polytechnic in Singapur.

MARCO SCHMID ist Geschäftsführer von Schmid Engineering in Münchwilen/Schweiz.

ANDERS NORLIN FREDERIKSEN ist Worldwide Industrial Marketing Manager bei Analog Devices in Herlev/Dänemark.