



Dem Menschen ähnlich?

Humanoide Roboter mit Künstlicher Intelligenz

Die humanoide Robotik ist ein aufstrebendes und herausforderndes Forschungsgebiet, welches in den letzten Jahren große Beachtung gefunden hat. Ohne Zweifel wird es auch in Zukunft eine zentrale Rolle in der Robotik und damit in einer Vielzahl von technischen Anwendungen des 21. Jahrhunderts spielen.



Foto: Honda



Eines der grundlegenden Probleme der humanoiden Robotik ist das Verständnis der menschenähnlichen Informationsverarbeitung. Trotz erstaunlicher Fortschritte im letzten Jahrzehnt bleiben die grundlegenden Mechanismen des menschlichen Gehirns im Umgang mit der realen Welt weiterhin eines der größten Rätsel der Wissenschaft.

Die künftige Robotik hat ehrgeizige Ziele. Von humanoiden Robotern, kurz Humanoiden, wird erwartet, dass sie den Menschen im täglichen Leben als Begleiter und Assistenten dienen. Ihre Aufgabe wird es u. a. sein, als Helfer bei Unglücksfällen und Naturkatastrophen Leben zu retten. Die DARPA (**D**efense **A**dvanced **R**esearch **P**rojects **A**gency, also der Forschungszweig des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums) kündigte vor einiger Zeit die nächste große Herausforderung in der Robotik an: Roboter, die sich wie Menschen in einer Welt für Menschen zurechtfinden.

In der Forschung wurden beträchtliche Fortschritte erzielt, die zu einer ganzen Reihe hoch entwickelter humanoider Roboter führte. Diese sind in der Lage, sich autonom zu bewegen und im Voraus geplante Aufgaben auszuführen. Im letzten Jahrzehnt hat sich ein vielversprechendes Spektrum in der Wissenschaft und Technologie herausgebildet, das zur Entwicklung hochkomplexer humanoid-mechatronischer Systeme führte.

Inzwischen steht eine Vielzahl von Systemen zu Verfügung, die über umfangreiche sensomotorische Fähigkeiten verfügen. Von großer Bedeutung für Fortschritte auf diesem Gebiet ist zweifellos die Verfügbarkeit universeller Hardware- und Softwareplattformen. Sowohl Universitäten und staatliche Forschungseinrichtungen als auch die verschiedensten Unternehmen kooperieren auf dem Gebiet der humanoiden Robotikforschung. Die Budgets erreichen zum Teil Milliardenbeträge. Selbst im Sport sind Robots auf dem Vormarsch. So soll im Jahr 2050 ein Team von humanoiden Roboterfußballspielern den Gewinner der letzten Weltmeisterschaft schlagen können.

Die Top Ten der Robotik

Welche enormen Fortschritte die humanoide Robotik in den letzten Jahren gemacht hat, lässt sich am besten an einem Who is who der aktuellen Roboter ablesen. Die folgende Übersicht listet die weltweit bekanntesten und revolutionärsten Beispiele auf:

- Der **Atlas-Roboter** wurde von Boston Dynamics (Massachusetts, USA) entwickelt. Es handelt sich um einen zweibeinigen Roboter, der in der Lage ist, unwegsames Gelände zu bewältigen und mit seinen Händen und Füßen ähnlich wie ein Mensch zu klettern. Besondere Bekanntheit erlangte der Roboter durch seine Fähigkeit, einen Rückwärtssalto von einem ca. einen Meter hohen Sockel stehend zu beenden.
- **ASIMO** (siehe Titelfeld) ist der erste von einer Reihe Laufroboter, die von Honda entwickelt wurden. Wie Atlas kann ASIMO gehen und laufen wie ein Mensch. Zudem kann er auch mit Menschen interagieren und typische menschliche Aufgabenstellungen erfolgreich ausführen. Bei einer Größe von ca. 1,30 m erreicht ASIMO eine Ganggeschwindigkeit von über 6 km/h.
- **iCub** (Bild 1) wurde entwickelt, um die kognitive Entwicklung eines Kindes nachzuvollziehen. Vom äußeren Erscheinungsbild her ist iCub einem etwa drei- bis vierjährigen Kleinkind nachempfunden. Der Roboter kann krabbeln und verfügt über eine elementare Bildverarbeitung mit Objekterkennung. Seine Aufgaben erledigt er ähnlich wie ein Kind im Vorschulalter.
- **NAO** ist ein humanoider Roboter, der geschaffen wurde, um sich zu bewegen, zu tanzen oder einfache Aufgaben zu übernehmen. Mit einer Größe von 58 cm eignet sich der Roboter beispielsweise als Spielkamerad für Kinder in Krankenhäusern. Zudem wird der Roboter häufig in der Ausbildung eingesetzt.
- **Geminoid F** ist äußerlich an eine Frau im Alter von ca. 20 Jahren angelehnt. Das System kann seinen Gesichtsausdruck verändern und



Bild 1: Humanoider Roboter iCub des RobotCub-Projekts
Foto: © The RobotCub Consortium, www.robotcub.org, picture by NL

besteht durch ein erstaunlich natürliches Lachen. Der Entwickler des Geminoid F ist Professor Ishiguro (Osaka-Universität, Japan), der bereits mit einer Roboterreplik seiner eigenen Person weltweit für Aufsehen gesorgt hat.

- **Junko Chihira** wurde von Toshiba entwickelt. Der dreisprachige Android verfügt über beeindruckende Interaktionsfähigkeiten. Insbesondere die sehr menschenähnliche Mimik zeichnet diesen Humanoiden aus. Der Roboter wird u. a. in einem Touristeninformationszentrum in Tokio eingesetzt. Dort begrüßt er bzw. „sie“ Besucher auf Japanisch, Englisch und Chinesisch.
- **FEDOR** (**F**inal **E**xperimental **D**emonstration **O**bject **R**esearch) wurde im Android-Technics-Labor für humanoide Maschinen in Magnitogorsk (Russland) entwickelt. Der Humanoid verfügt über vielfältige Fähigkeiten, u. a. kann er nach einem Sturz selbstständig aufstehen, sich autonom in Gebäuden bewegen, ein Fahrzeug lenken und mit verschiedenen Werkzeugen umgehen. Sein Haupteinsatzbereich soll im Weltraum liegen, wo er u. a. die Astronauten der ISS unterstützen soll. Besondere



Bild 2: Sophia beim AI for Good Global Summit der Internationalen Fernmeldeunion in Genf (2018)
Foto: ITU Pictures from Geneva, Switzerland, www.flickr.com/photos/itupictures/27254369347/



Bild 3: Care-O-bot 3 im Altenheim
Foto: Fraunhofer IPA, Jens Kilian (2011)

Aufmerksamkeit erreichte dieser Roboter durch die Fähigkeit, konventionelle Handfeuerwaffen ziel-sicher abzufeuern.

- **Gia Gia** ist ebenfalls ein menschenähnlicher, interaktiver Roboter. Gia Gia oder auch Jia Jia ist einer chinesischen Frau nachempfunden und in der Lage, mit Menschen zu sprechen und zu interagieren. Der Roboter wurde von der chinesischen Universität für Wissenschaft und Technik in Hefei

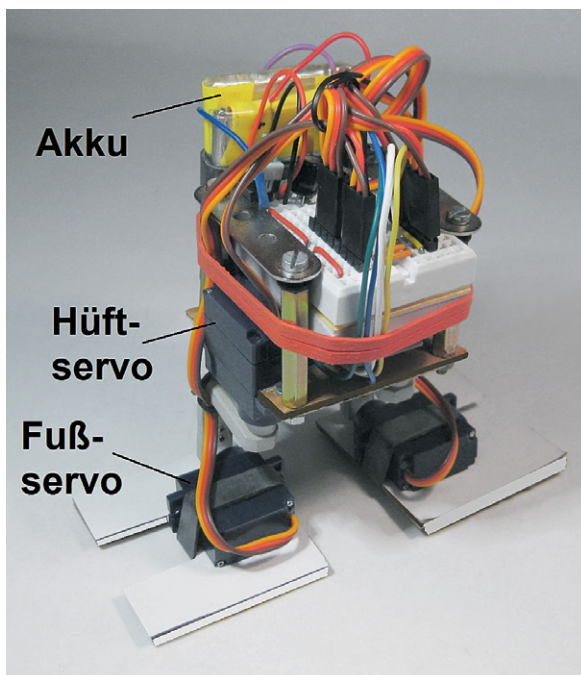


Bild 4: Innenleben des Walkbots

entwickelt. Bislang besticht Gia Gia vor allem durch ihre realistische Erscheinung, die Kommunikationsfähigkeiten dagegen sind eher noch unterdurchschnittlich. Die nächste Version von Jia Jia wird jedoch mit Deep-Learning-Algorithmen sowohl zur Spracherkennung als auch zur Synthese und zur Gesichts- und Objekterkennung ausgestattet.

- **Sophia** (Bild 2) wurde vom in Hongkong ansässigen Unternehmen Hanson Robotics entwickelt. Bekannt wurde Sophia vor allem durch ihr besonders menschliches Aussehen und Verhalten. Das System ist bereits mit Künstlicher Intelligenz ausgestattet. Gestik und Mimik wirken durch eine Vielzahl von Aktoren, u. a. hinter der Gesichtsmaske von Sophia, sehr realistisch. Sophia ist in der Lage, Fragen zu bestimmten Themenbereichen authentisch und korrekt zu beantworten.
- **Care-O-bot** (Bild 3) ist ein Roboterassistent mit humanoider Grundkonstruktion. Er wurde für die Unterstützung von Menschen im Haushalt oder im Pflegebereich entwickelt. Durch seinen modularen Aufbau ist das Care-O-bot-System vielseitig einsetzbar. So kann der Roboter wahlweise mit einem oder auch mit zwei Armen ausgestattet werden. Das System kann verschiedene Stimmungslagen über ein im Kopf integriertes Display ausdrücken. Entwickelt wurde der Robot unter der Federführung verschiedener Fraunhofer-Institute in Deutschland.

Die Auflistung zeigt, dass die humanoide Robotik in allen Teilen der Welt mit Hochdruck betrieben wird. Die Anwendungen überdecken weite Bereiche des menschlichen Lebens. Angefangen von einfachen Hilfstätigkeiten (Care-O-bot) über Servicedienstleistungen (Junko Chihira) bis hin zur Unterstützung im Weltraum (FEDOR), humanoide Robotersysteme sind überall auf dem Vormarsch.

Besonders interessant ist die Tatsache, dass sich neben martialisch wirkenden, eher maskulinen Robots (Atlas, FEDOR) zunehmend auch feminin gestaltete Humanoiden etablieren. Sogar Robots, die in ihrer äußeren Form eher an Kinder und Jugendliche angelehnt sind (ASIMO, NAO und iCub), bilden durchaus keine Ausnahmen mehr. Wie sich diese Technologie weiterentwickeln wird, steht sicher noch in den Sternen. Allerdings gibt es erste Anzeichen, welche Richtung die Robotik in Zukunft nehmen könnte.

Humanoiden, Androiden und Cyborgs

Die drei häufig genannten Begriffe „humanoider Roboter“, „Androide“ und „Cyborg“ deuten auf unterschiedliche Entwicklungsrichtungen hin. Die Bezeichnungen werden oftmals nicht scharf getrennt, sie grenzen sich jedoch klar voneinander ab.

Ein Roboter ist allgemein eine weitgehend autonome Maschine, die dafür konstruiert wurde, diverse Aufgaben anstelle eines Menschen auszuführen. Dafür ist es nicht unbedingt erforderlich, dass diese Automaten die menschliche Körperform vollständig nachbilden. So spricht man beispielsweise von Industrie-„Robotern“, wenn diese lediglich über einzelne armähnliche mechanische Einrichtungen verfügen. Eine solche Maschine kann über eine eingebettete Intelligenz verfügen, muss aber nicht notwendigerweise das gesamte geistige Potenzial eines Menschen abdecken.

Androiden dagegen sind spezielle Roboter, die den Menschen vor allem im äußerlichen Körperbau nachempfunden sind. Eines der am weitesten fortgeschrittenen Systeme in dieser Richtung ist Sophia (s. o.). Der Begriff Androide leitet sich vom griechischen „andro“ ab und bedeutet „Mann“. Prinzipiell ist ein Androide also ein Roboter, der auf dem Körperbau eines Mannes basiert. Das Gegenstück wäre ein Gynoid, der weiblichen Körperformen ähnelt. Allerdings hat sich der letztere Begriff kaum durchgesetzt, sodass inzwischen die Bezeichnung „Androide“ für beide Geschlechter verwendet wird.

Eine weitere Sonderform stellt der Cyborg dar. Diese Bezeichnung leitet sich von „Cybernetic Organism“, also einem kybernetischen Organis-

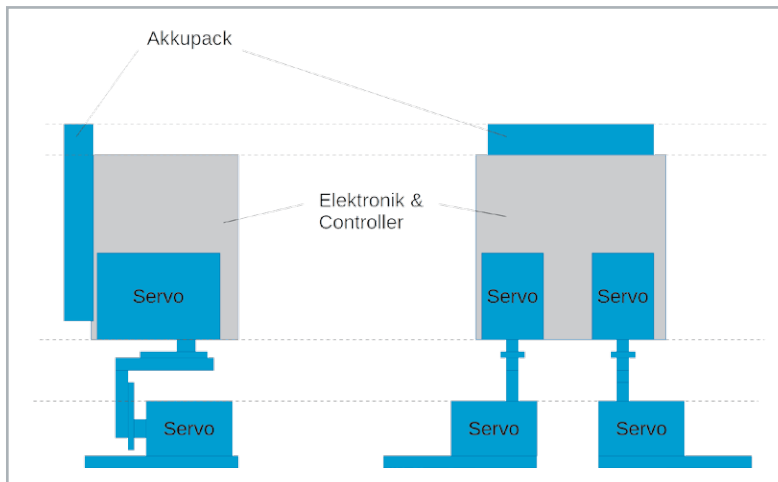


Bild 5: Walkbot-Mechanik

mus, ab. Der klassische Cyborg ist eine Mischform aus Mensch und Maschine. Daraus ergibt sich ein äußerst weit gefasstes Forschungsgebiet, das auch ethische und philosophische Fragestellungen miteinbezieht. So gab es bereits Vorschläge, für Raumfahrtprojekte Menschen mit hoch spezialisierten, künstlichen Sinnesorganen zu versehen. Zudem sollten innere Organe wie das Herz durch stärker belastbare, künstliche Körperteile ersetzt werden. Führt man diesen Gedanken fort, so kommt man schließlich zu einem Wesen, das über einen vollkommen künstlichen Körper, eine sogenannte Vollprothese, verfügt und nur noch das Gehirn menschlichen Ursprungs ist. Die Grenze zwischen lebenden und nicht lebenden „Systemen“ wird hier also zunehmend unscharf.

Davon ist der heutige Stand der Technik sicherlich noch weit entfernt. Allerdings ist es bereits möglich, einzelne Körperfunktionen durch künstliche Sensoren und Aktoren zu ersetzen. Ein in diesem Zusammenhang häufig genanntes Beispiel ist das Cochlea-Implantat. Dieses ermöglicht Gehörlosen, deren Hörnerv noch funktionsfähig ist, wieder Schallsignale wahrzunehmen. Die Implantate bestehen aus einem Mikrofon und einem hoch entwickelten digitalen Signalprozessor. Im

Unterschied zum konventionellen Hörgerät werden hier nicht nur Schallsignale verstärkt, sondern der Hörnerv direkt über geeignete Elektroden stimuliert.

Im visuellen Bereich kommen dagegen sogenannte Retina-Implantate zum Einsatz. Damit ist es möglich, vollständig erblindeten Menschen ein gewisses Sehvermögen zurückzugeben. Die Implantate sind auch als Netzhautchips bekannt und stellen eine Art Sehprothese dar. Sind die lichtempfindlichen Photorezeptoren der Netzhaut dauerhaft geschädigt, können die Implantate auch bei vollständig erblindeten Menschen einen Seheindruck erzeugen. Die Netzhautchips wandeln optische Reize in elektrische Impulse um. Diese werden dann direkt in den Sehnerv eingespeist. Vor allem bei erblich bedingten Netzhauterkrankungen können die Systeme zumindest ein rudimentäres Sehen ermöglichen. Der rasche Fortschritt auf diesem Gebiet wird sicher dazu führen, dass in Zukunft auch das nahezu vollständige Sehvermögen wiederhergestellt werden kann.

Gehen auf zwei Beinen: Walkbot

Maschinen, die sich auf zwei Beinen bewegen, sind das Musterbeispiel für humanoide Systeme. In Science-Fiction-Filmen stellen sie die bekannteste Art von Robotern dar. Die Klassiker wie C-3PO haben weit über die eingefleischte Science-Fiction-Gemeinde hinaus einen großen Bekanntheitsgrad erlangt. Der humanoide Protokoll- und Übersetzungsroboter aus der bekannten „Star Wars“-Reihe wurde im Film allerdings noch durch einen menschlichen Schauspieler verkörpert. Die technischen Möglichkeiten für einen echten und realistisch wirkenden Humanoiden sind bis heute nicht ausreichend für eine überzeugende Darstellung.

Ein einfaches zweibeiniges Robotermodell kann dagegen bereits aus

- vier Servomotoren
- einem Akkupack
- einem Arduino NANO
- zwei kleinen Breadboards und
- mechanischen Kleinteilen

hergestellt werden. Mit geeigneter Software kann der Roboter gehen, nach einem Ball treten und sogar „tanzen“.

Darüber hinaus können an den Arduino problemlos weitere Sensoren (siehe Bild 4) oder andere Körperteile wie Arme hinzugefügt werden. Der hier vorgestellte Walkbot kann daher als Einsteigerplattform für weiterführende Projekte betrachtet werden. Zudem eignet er sich bestens, um auch Kinder und Jugendliche an des Thema Robotik heranzuführen. Bild 4 zeigt das Innenleben des Walkbots. Der mechanische Aufbau erfolgt gemäß der Skizze in Bild 5, den elektrischen Aufbau dazu zeigt Bild 6.

Prinzipiell könnten die Servos auch über die 5-V-Versorgung des Arduino NANO betrieben werden. Allerdings führt dies bei nicht mehr ganz vollen Akkus häufig zu Störungen durch Spannungseinbrüche aufgrund der vergleichsweise hohen Servostrome. Die Versorgungsspannung der Servos wurde daher über einen eigenen 7805-Konstantspannungsregler zur Verfügung gestellt. Damit ist ein sicherer Betrieb auch bei bereits schwächeren Akkus möglich.

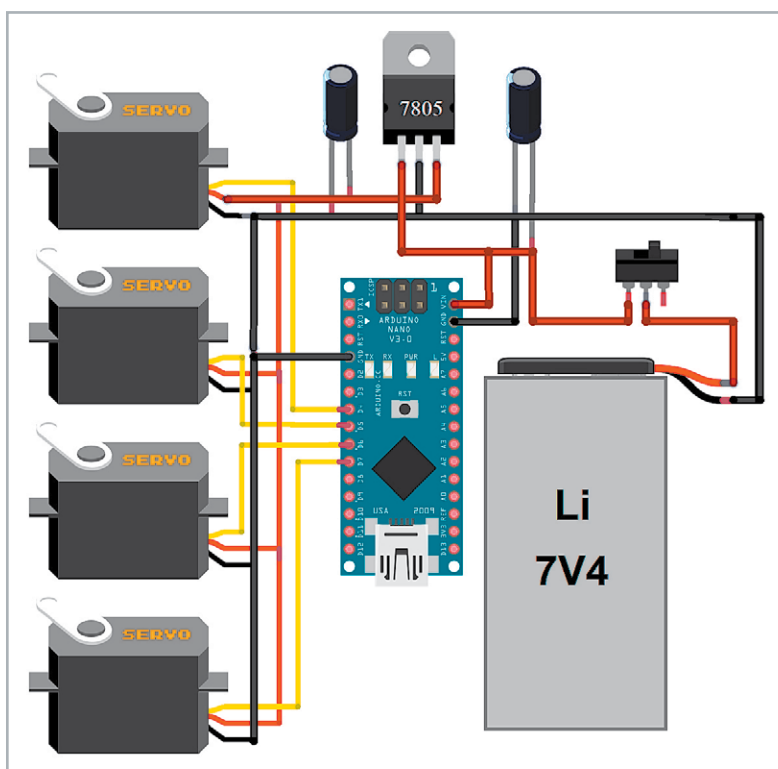


Bild 6: Schaltplan des Walkbots



Die Software für den einfachen Gang auf zwei Beinen ist bereits relativ komplex:

```
// WalkBot_forward.ino
// NANO @ IDE 1.8.5

#include <Servo.h>
Servo footL; Servo hipL;
Servo footR; Servo hipR; ❶

#define footLpin 5
#define hipLpin 4
#define footRpin 6 ❷
#define hipRpin 7

#define footLC 80 // left foot servo calibration to center position
#define hipLC 85 // left hip servo calibration to center position
#define footRC 95 // right foot servo calibration to center position ❸
#define hipRC 95 // right hip servo calibration to center position

const int tiltAngle = 25; // movement angle for joints ❹

// Left foot - down - up
const int footLD = footLC-tiltAngle, footLU = footLC+tiltAngle;

// Left hip - out - in
const int hipLOut = hipLC+tiltAngle, hipLIn = hipLC-tiltAngle;

// Right foot - down - up
const int footRD = footRC+tiltAngle, footRU = footRC-tiltAngle;

// Right hip - out - in
const int hipROut = hipRC-tiltAngle, hipRIn = hipRC+tiltAngle;

// Servo target positions
float footLPos, hipLPos, footRPos, hipRPos; ❺

// Servo postions written to the servos
float footLSend = footLC, hipLSend = hipLC, footRSend = footRC, hipRSend = hipRC;

// Move servos in mikrosteps
float footLStep, hipLStep, footRStep, hipRStep;

const int mikroSteps = 30; // No of mikrosteps
byte steptime = 40, mikroStep = 1, stepCount = 1; // time between steps, mikrostep control ❻
unsigned long Tend, MilS, timer; // internal timer variables

void setup()
{ footL.write(footLC); footL.attach(footLpin);
  hipL.write(hipLC); hipL.attach(hipLpin); ❷
  footR.write(footRC); footR.attach(footRpin);
  hipR.write(hipRC); hipR.attach(hipRpin);

  delay(1000);
}

void loop() ❸
{ MilS = millis();
  if (MilS >= timer)
  { timer = timer + steptime;
    stepCount = stepCount + 1;
    if (stepCount == mikroSteps + 1) stepCount = 1;
    if (stepCount == 1)
    { footLStep = (footLPos - footLSend) / mikroSteps;
      hipLStep = (hipLPos - hipLSend) / mikroSteps;
      footRStep = (footRPos - footRSend) / mikroSteps;
      hipRStep = (hipRPos - hipRSend) / mikroSteps;
    }
    footLSend = footLSend + footLStep;
    hipLSend = hipLSend + hipLStep;
    footRSend = footRSend + footRStep;
    hipRSend = hipRSend + hipRStep;
  }

  if (MilS >= Tend)
  { Tend = Tend + (mikroSteps*steptime);
    mikroStep = mikroStep + 1;
    if (mikroStep == 7) mikroStep = 1;
  }

  switch (mikroStep)
  { case 1: {footLPos = footLU; footRPos = footRD; break;}
    case 2: {hipLPos = hipLOut; hipRPos = hipRIn; break;}
    case 3: {footLPos = footLC; footRPos = footRC; break;} ❹
    case 4: {footLPos = footLD; footRPos = footRU; break;}
    case 5: {hipLPos = hipLIn; hipRPos = hipROut; break;}
    case 6: {footLPos = footLC; footRPos = footRC; break;}
    break;
  }

  footL.write(footLSend); hipL.write(hipLSend);
  footR.write(footRSend); hipR.write(hipRSend);
}
```

Das vollständige Programm findet sich im Download-Paket zu diesem Artikel.



Zunächst wird hier die Servo-Bibliothek **1** eingebunden. Anschließend werden vier Servo-Instanzen erzeugt:

- Linker Fuß-Servo
- Linker Hüft-Servo
- Rechter Fuß-Servo **2**
- Rechter Hüft-Servo

Über *define*-Anweisungen werden den Servos die entsprechenden Arduino-Pins zugewiesen. **3**

Da Servos stets gewisse Fertigungstoleranzen aufweisen, wird die 90°-Position für alle Motoren einzeln festgelegt. Hier können auch kleinere Abweichungen im Aufbau des Roboters kompensiert werden. Die Größe „TiltAngle“ **4** bestimmt, wie weit die einzelnen Servos bewegt werden. Damit wird dann die Endposition der einzelnen Robotergelenke festgelegt.

Um einen möglichst flüssigen Bewegungsablauf zu erreichen, werden die Servos mit sehr kleinen Schritten angesteuert. Die Variablen

```
footLPos, hipLPos, footRPos, hipRPos 5
```

nehmen dabei die jeweiligen Zielpositionen auf. Diese werden dann sequenziell an die Servos gesendet.

Die Steuerung der Mikroschritte erfolgt über den Millisekunden-Timer des Arduino NANO. Die Variablen

```
const int mikroSteps = 30
```

```
byte steptime = 40
```

legen dabei die Anzahl der Schritte und die Zeit zwischen den Schritten fest. Eine hohe Schrittzahl und eine lange Schrittzeit führen dementsprechend zu einer langsamen Bewegung des Roboters. Kleine Schrittzahlen und kurze -zeiten beschleunigen den Ablauf. Allerdings wird die Bewegung dadurch rasch instabil. Die Variablen *Tend*, *milS* und *timer* steuern die Zeitsequenz.

Im Setup **7** werden alle Servos zunächst auf Normalposition gestellt, und die Pin-Zuordnung wird aktiviert. Im Hauptprogramm **8** erfolgt dann der timergesteuerte Bewegungsablauf (Bild 7). Dieser wurde in sechs Einzelschritte unterteilt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Robot in keiner Bewegungsphase das Gleichgewicht verliert. Der Schwerpunkt des Roboters muss dazu immer innerhalb der Fußfläche bleiben.

Daraus ergibt sich die folgende Anweisungssequenz:

1. Anheben des linken Fußes – Absenken des rechten:
footLPos = footLU; footRPos = footRD;
2. Linke Hüfte ausdrehen – rechte Hüfte eindrehen:
hipLPos = hipLOut; hipRPos = hipRIn;
3. Füße in Nullposition zurückstellen:
footLPos = footLC; footRPos = footRC;
4. Absenken des linken Fußes – Anheben des rechten: **9**
footLPos = footLD; footRPos = footRU
5. Linke Hüfte eindrehen – rechte Hüfte ausdrehen:
hipLPos = hipLIn; hipRPos = hipROut;
6. Füße in Nullposition zurückstellen:
footLPos = footLC; footRPos = footRC

Man erkennt, dass bereits das einfache Vorwärtsgehen mit erheblichem Aufwand verbunden ist. In analoger Weise können dann auch noch Drehungen nach links oder rechts bzw. gehen nach hinten umgesetzt werden.

Obwohl der aufrechte Gang hier nur mit praktisch minimal möglichem Aufwand simuliert wird, ist bereits ein recht komplexes Programm erforderlich. Selbst damit ist dann nur eine einfache Fortbewegung in einer Richtung und auf ebenem und flachem Untergrund möglich. Die Erweiterung auf unwegsames Gelände oder geneigtes Terrain führt schnell an die Grenzen des technisch Möglichen. Mit einfacher deterministischer Programmierung können hier kaum mehr zufriedenstellende Ergebnisse erreicht werden. Insbesondere wenn weitere Freiheitsgrade ins Spiel kommen, wird das Problem mit klassischen Methoden nicht mehr beherrschbar. Setzt man mehrere Servos, etwa für Fuß-, Knie- und Hüftgelenke ein, wird sehr schnell ein Komplexitätsgrad erreicht, der nicht mehr handhabbar ist.

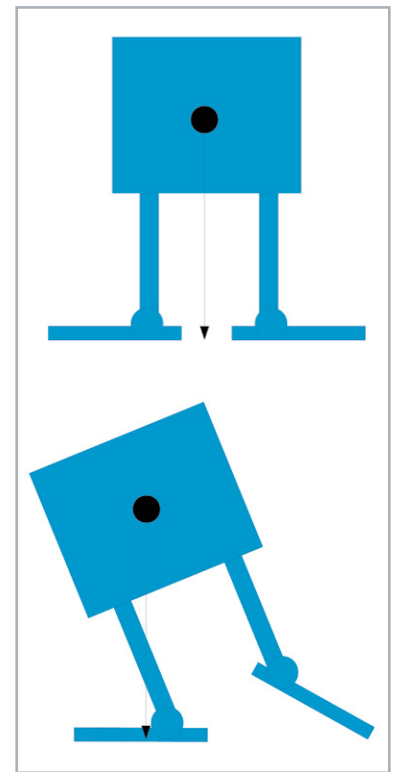


Bild 7: Bewegungsablauf beim Walkbot

Bild 8 zeigt den kompletten Walkbot inklusive eines zusätzlichen, auf einem weiteren Servo montierten IR-Abstandssensors.

Auch in einem scheinbar so einfachen Bereich wie dem aufrechten Gang muss man daher sehr schnell auf selbstlernende Systeme zurückgreifen. Die ersten durchgreifenden Erfolge wurden auch hier erst mit neuronalen Netzstrukturen erreicht. Die DARPA Robotics Challenge zeigte immer wieder, wie aufwendig Fortschritte in diesem Bereich sind.



Bild 8: Walkbot mit zusätzlichem IR-Abstandssensor

Zukunft der humanoiden Robotik

Künstliche Intelligenz, Robotik, Digitalisierung und Automatisierung haben in vielen Bereichen bereits für umwälzende Veränderungen gesorgt. Man spricht hier auch von „disruptiven Technologiesprüngen“. Zweifelsohne wird sich diese Entwicklung auch in Zukunft fortsetzen. Sowohl die erste industrielle Revolution, also die Einführung der Dampfkraft, als auch die zweite (Anwendung elektrischer Maschinen) und die dritte (Computersteuerungen und IT) haben zu großen sozialen Umwälzungen geführt. Das Wesen der Arbeit wurde jeweils grundlegend verändert. Viele klassische Arbeitsaufgaben verschwanden praktisch vollständig, während neue entstanden.

Insbesondere wurden auch Aufgaben, die lange als geistig anspruchsvoll galten, inzwischen auf intelligente Systeme übertragen. Es entstanden komplexe interaktive Netzwerke, die in der Lage sind, ganze Produktionsstätten vollautomatisch zu steuern. Die vierte Revolution, die sogenannte Industrie 4.0 führt zu einer umfassenden Digitalisierung der gesamten industriellen Produktion. Sie soll mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik eng und nahtlos verzahnt werden. Die Vernetzung ermöglicht es, ganze Wertschöpfungsketten zu optimieren. Nicht mehr einzelne Industrieroboter, sondern vernetzte und flexible robotische Fertigungssysteme dominieren nun Produktionshallen und Logistikzentren.

Zudem werden Roboter nicht auf Industriehallen beschränkt bleiben. Ernst zu nehmende Prognosen gehen davon aus, dass in den nächsten Jahren in jedem Haushalt ein Roboter zu finden sein wird wie heute Wasch- und Spülmaschinen, Fernsehgeräte, Computer oder Internetzugänge. Aber nicht nur die Unterstützung bei Haus- und Gartenarbeiten steht im Fokus. Zwar sind viele potenzielle Anwender der Meinung, dass ein Heimroboter täglich bis zu zwei Stunden Hausarbeit übernehmen könnte, darüber hinaus spielt aber offensichtlich auch die Kameradschaft zum Robot eine wichtige Rolle. Viele Menschen wünschen sich einen Heimroboter, der ihnen auch Gesellschaft leistet. Einige Forscher gehen sogar davon aus, dass Kontakte zu Freunden und Familie verbessert werden, wenn hilfsbereite Robotkameraden zur Verfügung stehen.

Die Einführung solcher Roboter könnte sehr viel schneller erfolgen, als allgemein angenommen wird. Erste Bots mit eigener „Persönlichkeit“ sind bereits verfügbar. Andere Systeme operieren schon vollständig autonom in Zimmern und Gebäuden. Sie sind permanent über WLAN mit einer Cloud verbunden und ständig betriebsbereit. Die Roboterrevolution ist also bereits voll im Gange. Die Staubsauger- und Rasenmäherroboter sind lediglich die Vorläufer. Das Beispiel der Mobiltelefone macht klar, wie schnell und durchgreifend technische Entwicklungen den Alltag revolutionieren. Was erste Reinigungsroboter wie Roomba vorgemacht haben, wird bald allgegenwärtig sein.

Der Fortschritt sorgt naturgemäß auch für weniger optimistische Er-



Bild 9: Care-O-bot 3 unterstützt Menschen zu Hause. Foto: Fraunhofer IPA, Jens Kilian (2012)

wartungen. Etwa ein Drittel der künftigen Anwender befürchten, dass ihre neuen Begleiter „gehackt“ werden könnten. Die daraus resultierenden Gefahren sind deutlich umfangreicher als die Probleme mit „gehackten“ PCs oder Smartphones. Prinzipiell könnte ein „gehackter“ Roboter seinem Besitzer auch physischen Schaden bis hin zum Tötungsdelikt zufügen. Ein weiteres Drittel der Bevölkerung befürchtet, dass Roboter ihren Job übernehmen. Schließlich steht auch noch die Befürchtung im Raum, dass Roboter sich irgendwann gegen die gesamte Menschheit auflehnen und die Macht übernehmen könnten. Dies muss nicht unbedingt allein von den Robotern selbst ausgehen. Ein mächtiges Regime in irgendeinem Teil der Welt könnte beispielsweise versuchen, die künftigen, allgegenwärtigen Roboter für ihre Zwecke einzusetzen bzw. zu missbrauchen. Die permanente Vernetzung und die nahezu verzögerungsfreie Datenübertragung könnte sich hierbei als katastrophale Einrichtung erweisen.

Kaum eine andere Entwicklung der Menschheit erzeugt eine ähnliche Mischung aus Ehrfurcht und Bewunderung einerseits und Unbehagen oder Angst andererseits. Roboter sollen das Leben einfacher und sicherer machen. Die Kehrseiten sind aber die nicht zu unterschätzenden Gefahren. Humanoide Roboter werden nach dem Ebenbild des Menschen erschaffen, daher bleibt stets die Befürchtung, dass sie uns auch vollständig ersetzen könnten. Die folgenden Punkte zeigen, in welchen Bereichen dies bereits geschehen ist oder in nächster Zukunft geschehen wird:

Öffentliche Sicherheit

Die Aufklärung oder sogar Vorhersage von Verbrechen wird durch den Einsatz von vollautomatisierten Drohnen immer besser. Die automatische Erkennung verdächtiger Aktivitäten mittels kamerabasierter Sicherheitssysteme wird ohnehin bereits in erheblichem Umfang eingesetzt. Der „Robo-Cop“ wird nicht mehr lange Zukunftsmusik bleiben.

Ausbildung

Computergestütztes Lernen verändert bereits heutzutage die Klassenzimmer. Noch wurden die Lehrer nicht vollständig ersetzt. Der bekannte humanoide NAO ist jedoch bereits bei Schülern und Studenten in aller Welt bekannt und beliebt. Seine neuartigen Lehrmethoden fördern die natürliche Interaktion einschließlich Bewegung, Zuhören und Sprache.

Heimbereich

Vernetzte Heimroboter gehören bereits zu vielen Haushalten. Zwar zählen Staubsauger- oder Rasenmäherroboter noch nicht zu den humanoiden Bauformen, jedoch werden sich in Zukunft zweifellos auch Universalsysteme wie etwa der Care-O-bot immer mehr durchsetzen.

Kollege Roboter

Roboter werden auch Arbeitsplätze nachhaltig beeinflussen. Sie werden die Fabrikhallen verlassen und in den Büros Einzug halten. Die Grenzen zwischen dem klassischen PC und dem Robotermitarbeiter werden



immer mehr verschwinden. So ist etwa der Kassengestellte in den Banken bereits so gut wie vollkommen verschwunden und durch Bankomaten ersetzt. Arbeitsplätze in Büroverwaltung, Logistik und Transport werden folgen. Durch neue Märkte werden jedoch auch Arbeitsplätze geschaffen. Inwieweit diese die alten Jobs ersetzen können, bleibt jedoch unklar. Mit Sicherheit werden aber auch humanoide Kollegen nicht mehr allzu lange auf sich warten lassen. In Japan sind beispielsweise Roboterdamen im Empfangsbereich großer Hotels längst keine Sensation mehr.

Gesundheitswesen

Auch im Gesundheitswesen sind die Roboter auf dem Vormarsch. Die Diagnose von Röntgenbildern oder Computertomogrammen wird von KI-Systemen bereits besser und effizienter erledigt als von ausgebildeten Ärzten. In den Praxen übernehmen erste KI-Einheiten die Terminabsprache mit den Patienten. Operationssysteme wie der Da-Vinci-OP-Roboter werden künftig immer menschenähnlicher werden. Der vollständige Roboterarzt läuft zwar noch nicht durch die Kliniken, aber entsprechende Entwicklungen in der Pflege und Patientenbetreuung (Bild 9) sind unübersehbar.

Das Vordringen der Roboter scheint unaufhaltsam. Es bleibt also nur zu hoffen, dass die neue Robotikwelt der Menschheit letztendlich zum Nutzen und nicht zum Schaden gereicht.

Ausblick

Mit diesem Artikel findet die Reihe zum Themenbereich Künstliche Intelligenz und Robotik ihren Abschluss.

Es wurde aufgezeigt, welche umfassende Präsenz das Thema bereits heute in Industrie und Alltag erreicht hat. Die Entwicklung moderner Sensoren und Aktoren führte zu Möglichkeiten, die man noch vor wenigen Jahren für vollkommen ausgeschlossen hielt.

Moderne Softwaretechnologien eröffnen erstmals den Weg zu echten intelligenten Anwendungen. Die erstaunlichen Fortschritte in der Sprach- und Bilderkennung oder der automatisierten Übersetzung von zahlreichen Sprachen wurde erst durch den Einsatz von neuronalen Netzen möglich.

Inzwischen ist klar, dass das autonome Fahren in dichtem Stadtverkehr nicht mit rein regelbasierten Algorithmen möglich sein wird. Auch in diesem Bereich wird der Einsatz neuronaler Technologien unumgänglich sein.

Neben der Revolution im Softwarebereich zieht in den letzten Jahren auch die Hardware nach. Auch hier werden hirnhähnliche Strukturen in Mikrochips integriert. Neuromorphe Chips führten zu einem weiteren Technologiesprung, da sie über das Potenzial verfügen, die bislang in Software umgesetzten neuronalen Topologien tausendfach zu beschleunigen.

Computer und Roboter sind dem Menschen inzwischen in vielen Bereichen klar überlegen. Gegen die Maschinenkraft eines Atlas-Roboters hätte ein Mensch nicht die geringste Chance. Aber auch in rein intellektuellem Kräftemessen ist der Mensch längst unterlegen. Spiele wie Schach oder Go zeigen dies nur allzu deutlich.

Eine allgemeine Künstliche Intelligenz, welche die geistigen Leistungen des Menschen vollständig ersetzt, ist zwar noch Zukunftsmusik. Bei der aktuellen Entwicklungsgeschwindigkeit ist das Erreichen einer allgemeinen KI jedoch in der Mitte dieses Jahrhunderts durchaus realistisch. **ELV**

Empfohlenes Produkt

Bestell-Nr.

Preis

JOY-iT-Arduino-NANO-Board	25 00 05	€ 6,99*
JOY-iT-PWM-Servomotor	14 51 68	€ 18,94*
AREXX-Roboterbausatz Skywalker	08 10 95	€ 12,25*

*Preisstellung Juni 2019 – aktuelle Preise im ELV Shop

Download-Paket zum Artikel:

Das Beispielprogramm zu diesem Artikel kann kostenlos heruntergeladen werden unter:
www.elv.de: Webcode #10272

Ihr Feedback zählt!

Das ELVjournal steht seit 40 Jahren für selbst entwickelte, qualitativ hochwertige Bausätze und Hintergrundartikel zu verschiedenen Technik-Themen. Aus den Elektronik-Entwicklungen des ELVjournals sind auch viele Geräte aus dem Smart Home Bereich hervorgegangen.

Wir möchten uns für Sie, liebe Leser, ständig weiterentwickeln und benötigen daher Ihre Rückmeldung: Was gefällt Ihnen besonders gut am ELVjournal, welche Themen lesen Sie gerne, welche Wünsche bezüglich Bausätzen und Technik-Wissen haben Sie, und was können wir in Zukunft besser machen?

Senden Sie Ihr Feedback per E-Mail an:

redaktion@elvjournal.de

oder per Post an:

ELV Elektronik AG, Redaktion ELVjournal
Maiburger Str. 29–36, 26789 Leer, Deutschland

Vorab schon einmal vielen Dank vom Team des ELVjournals

