

Humanoide Roboter als das „Schweizer Taschenmesser“

Eine menschliche Bauform eröffnet vielseitige Einsatzmöglichkeiten. Damit sie diese ausschöpfen kann, müssen Antriebe, Steuerung und Sicherheit unterschiedliche Aufgaben gemeinsam beherrschen.



Für viele Prozesse in Produktion und Logistik gibt es längst leistungsfähige Roboterlösungen. Auch flexibel einsetzbare Systeme werden jedoch für konkrete Anwendungen eingerichtet und mit passender Peripherie ausgestattet. Bei einem Aufgabenwechsel müssen deshalb häufig Programmierung, Werkzeuge oder Arbeitsumgebung angepasst werden.

Humanoide Roboter verfolgen ein anderes Konzept, denn ihre Gestalt orientiert sich am Menschen und an vorhandenen Arbeitsumgebungen. Sie können dieselben Wege nutzen, an bestehenden Arbeitsplätzen agieren und für Menschen entwickelte Werkzeuge handhaben. Damit vereinen sie verschiedene Einsatzmöglichkeiten in einem System – wie ein Schweizer Taschenmesser.



Autor:
Simon Fischinger
Synapticon
www.synapticon.com

Diese Vielseitigkeit entsteht allerdings nicht allein durch künstliche Intelligenz, die Situationen bewertet, Aufgaben plant und passende Handlungen auswählt. Diese Handlungen führt ein mechanisches System aus, in dem mehrere Gelenke, Sensoren und Antriebe zuverlässig zusammenspielen.

Eine Körperform für menschliche Arbeitsräume

Der Vorteil der humanoiden Gestalt des Roboters liegt vor allem in ihrer Kompatibilität mit der gewachsenen Infrastruktur. Türen, Treppen, Regale oder Werkbänke bleiben nutzbar, ohne dass Unternehmen jeden Einsatzort vollständig umbauen müssen. In diesem Umfeld können Humanoide Material transportieren, Maschinen bedienen oder Beschäftigte bei Prüf- und Montagearbeiten unterstützen. Welche Tätigkeiten wirtschaftlich sinnvoll sind, muss dennoch für jeden Prozess gesondert bewertet werden.

Bei der technischen Auslegung sind entsprechend verschiedene Anforderungen zu berücksichtigen. Beim Gehen muss der Roboter sein Gleichgewicht dynamisch regeln, während Montageaufgaben präzise Armbewegungen und fein dosierte Kontaktkräfte verlangen. Die Anpassungsfähigkeit beruht somit auf spezialisierten Fähigkeiten, die koordiniert zusammenwirken.

Integrierte Aktoren als Schlüssel für Dynamik und Präzision

Die Anforderungen unterscheiden sich bereits innerhalb des Körpers erheblich: Hüfte, Knie und Fußgelenke tragen das Gewicht, stabilisieren den Gang und nehmen Stöße auf. Für Arme und Hände zählen dagegen Positioniergenauigkeit, feinfühliges Kraftregelung und geringes Getriebeispiel.

Für diese unterschiedlichen Anforderungen kommen verschiedene Aktorkonzepte infrage. Bei dynamisch beanspruchten Gelenken lassen sich Motor, Planetengetriebe und Servoantrieb in einer kompakten Einheit verbinden. Für präzise Bewegungen eignen sich Aktoren mit Präzisionsgetrieben, während verschiedene Baugrößen unterschiedliche Leistungsanforderungen abdecken.

Jede Bewegung beeinflusst dabei mehrere Körperteile, denn beim Anheben eines Gegenstands verschiebt sich der Schwerpunkt. Eine Armbewegung verändert Impuls und Stabilitätsreserve, während Beine und Rumpf die Last ausgleichen. Bei oft über 50 Freiheitsgraden hochkomplexer Systeme lassen sich die Achsen deshalb nicht getrennt betrachten. Die Bewegungssteuerung koordiniert den gesamten Körper auf Grundlage kinematischer Modelle.

Steuerung verbindet die Fähigkeiten

Zwischen einer geplanten Aufgabe und ihrer physischen Ausführung liegen mehrere technische Ebenen. Die Anwendungs-KI verarbeitet Aufträge und Sensordaten und leitet daraus eine Greifbewegung oder einen Laufweg ab. Anschließend übersetzt die Bewegungssteuerung diese Absicht in Sollwerte. Servoantriebe regeln Position, Geschwindigkeit und Drehmoment am jeweiligen Aktor. Digitale Modelle sowie offene Datenschnittstellen erleichtern die Entwicklung neuer Funktionen.

Bei der Entwicklung humanoider Plattformen für industrielle Umgebungen müssen diese technischen Ebenen gemeinsam ausgelegt werden.



In den Gelenken übernehmen integrierte Aktoren die physische Ausführung der Bewegungsbefehle. Anwendungsspezifische Antriebseinheiten können Motor, Servoantrieb, Encoder, Firmware und Sicherheitsfunktionen in einem System zusammenfassen. Ihre Auslegung richtet sich nach den mechanischen, thermischen und regelungstechnischen Anforderungen der jeweiligen Plattform.

Jede Aufgabe verändert das Risiko

Ob eine Bewegung sicher ist, hängt von der Aufgabe und der Umgebung ab. Eine schnelle Armbewegung kann zum Werkstück führen oder eine Person gefährden. Lasten und Werkzeuge verändern außerdem Kräfte, Reichweite und Gleichgewicht des Roboters.

Klassische Safe-Motion-Funktionen überwachen Position, Geschwindigkeit und Drehmoment. Sie erfassen jedoch nicht, welchem Zweck eine Bewegung dient. Die Sicherheitsarchitektur muss deshalb auch Personen, Hindernisse und die geplante Handlung berücksichtigen. KI-basierte Steuerungen leiten Bewegungen situationsabhängig aus Sensordaten und Arbeitsaufträgen ab. Selbst ähnliche Aufgaben können dadurch zu unterschiedlichen Bewegungsabläufen führen. Eine unabhängige Instanz muss daher prüfen, ob die geplante Handlung unter den aktuellen Bedingungen zulässig ist.

Der Kontext bestimmt die Schutzreaktion

Eine mögliche Sicherheitsarchitektur trennt Aufgabenplanung und sicherheitsgerichtete Überwachung. Die Anwendungssoftware bestimmt die Handlung. Eine davon unabhängige Sicherheitsebene bewertet deren Zulässigkeit anhand von Bewegungszustand, Umfeld und geplantem Ablauf.



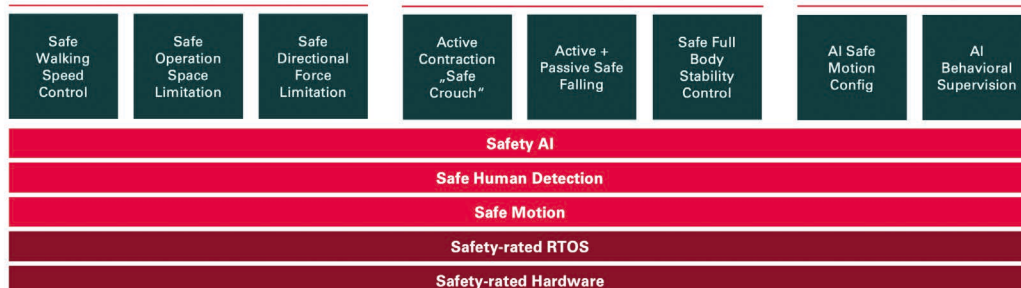
Motion



Instability



Autonomy



Auf der Antriebsebene überwachen Safe-Motion-Funktionen Position, Geschwindigkeit und Drehmoment. Kinematische Berechnungen beziehen dabei das gekoppelte Verhalten des gesamten Körpers ein. Kameras und Tiefensensoren erfassen Personen und Hindernisse dreidimensional. Ein separates multimodales KI-Modell kann zusätzlich prüfen, ob die geplante Handlung zur erfassten Situation passt. Auf dieser Grundlage kann eine deterministische Sicherheitssteuerung Geschwindigkeit, Kraft oder Bewegungsraum nach festgelegten Regeln begrenzen.

Diese Trennung von Aufgabenplanung und sicherheitsgerichteter Überwachung schafft Spielraum für neue Modelle oder Fähigkeiten, ohne automatisch die definierten Schutzreaktionen zu verändern. Wird der Roboter für eine andere Tätigkeit eingesetzt, bleibt die Sicherheitsebene für deren Grenzen zuständig. Im übertragenen Sinn prüft ein separates KI-Modell die von der Anwendungs-KI geplante Handlung. Über die Schutzreaktion entscheidet jedoch eine deterministische Sicherheitssteuerung anhand festgelegter Regeln und mit definierten Reaktionszeiten.

Sicheren Zustand erreichen

Auch der sichere Zustand hängt von der Situation ab, denn das sicher abgeschaltete Moment (Safe Torque Off oder kurz STO) kann bei einem ortsfesten Roboter eine gefährliche Bewegung beenden. Ein Humanoider verliert durch die abrupte Drehmomentabschaltung möglicherweise das Gleichgewicht und wird beim Sturz selbst zur Gefahr. Je nach Lage muss er Bewegungen

begrenzen, aktiv dämpfen oder kontrolliert zu Boden gehen.

Für die Antriebsebene bestehen bereits normierte Sicherheitsfunktionen und etablierte Bewertungsverfahren. Dazu zählen Safe Torque Off, die sicher begrenzte Geschwindigkeit und die sichere Bremsenansteuerung. Ihre konkrete Umsetzung kann nach IEC 61800-5-2 und den einschlägigen Sicherheitsnormen bis SIL 3 beziehungsweise PL e ausgelegt und zertifiziert werden. Für die darüberliegende Systemebene entsteht der normative Rahmen dagegen erst. Der Entwurf ISO/CD 25785-1 behandelt die Sicherheit dynamisch stabiler industrieller mobiler Roboter. Dazu gehören auch zweibeinige Systeme, die ihr Gleichgewicht aktiv regeln müssen. Der erste Teil betrifft den Roboter selbst; ein weiterer Teil soll Anforderungen an seine Integration in Anwendungen festlegen. Da der Standard noch nicht veröffentlicht ist, ist eine Zertifizierung danach derzeit nicht möglich. Entwicklungsprojekte können den aktuellen Stand der Normungsarbeit bereits berücksichtigen, müssen jedoch mit weiteren Änderungen rechnen.

Vom Prototyp zur Serienfertigung

Ein vielseitiger Roboter muss sich wirtschaftlich fertigen, warten und auf weitere Modelle übertragen lassen. Da humanoide Systeme zahlreiche Aktoren enthalten, erhöhen viele Einzelkomponenten und Schnittstellen den Integrationsaufwand erheblich.

Integrierte Gelenkeinheiten fassen Motor, Getriebe, Sensorik, Servoantrieb und Sicherheitsfunktionen zusammen, reduzieren externe

Bauteile und schaffen wiederkehrende Strukturen. Ein modularer Aufbau ermöglicht Aktoren für mehrere Leistungsklassen innerhalb derselben Systemarchitektur.

Für die Serienfertigung sind Aktoren in verschiedenen Baugrößen erforderlich. Gemeinsame Schnittstellen und Fertigungsprinzipien erleichtern ihren Einsatz in unterschiedlichen Gelenken. Neben der Technik rücken damit Fertigungsqualität, Wartung und Serientauglichkeit in den Mittelpunkt.

Fazit

Das Schweizer Taschenmesser steht für viele Funktionen in einem kompakten System. Beim Humanoiden bedeutet das, unterschiedliche Bewegungen auszuführen, Werkzeuge zu handhaben und unter wechselnden Einsatzbedingungen zu arbeiten. Die Vielseitigkeit entsteht aus dem kontrollierten Zusammenspiel spezialisierter Bausteine. Erst ihre zuverlässige Abstimmung ermöglicht den dauerhaften Einsatz humanoider Roboter in industriellen Prozessen. ◀

