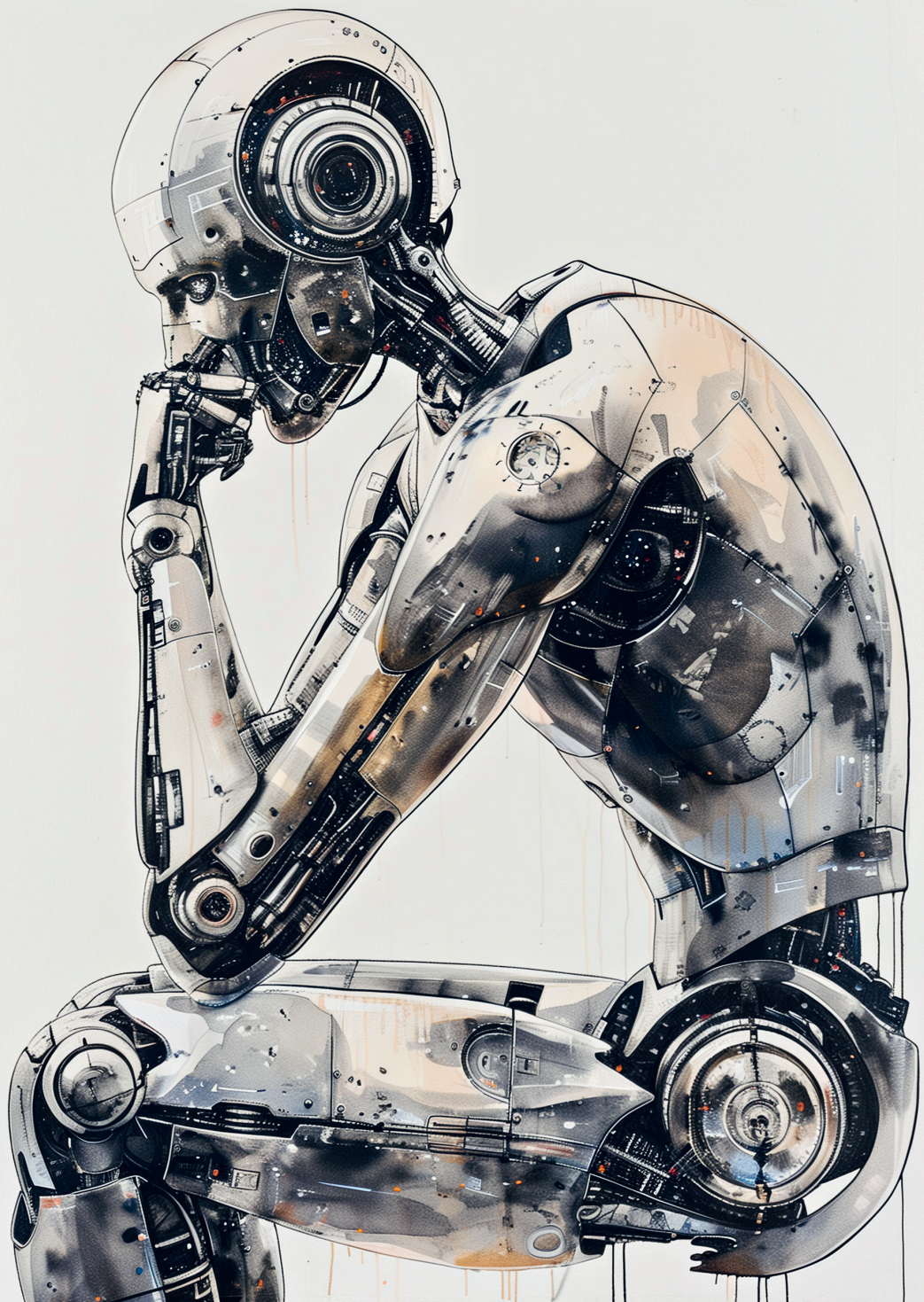




maxon Whitepaper

Warum das Planetengetriebe der Schlüssel zur skalierbaren Robotik ist

Mario Maurer, Global Business Development Manager Robotics, maxon

maxon

Neue Steuerungstechnologien verändern die Anforderungen an Aktuatoren in der mobilen Robotik grundlegend. Statt maximaler Präzision zählen heute Effizienz, Robustheit und Skalierbarkeit. Planetengetriebe – oft belächelt als simple Klassiker – erleben dadurch ein bemerkenswertes Comeback.

Lange galt in der Robotik ein ehernes Gesetz: Je steifer und präziser ein Aktuator, desto besser. Diese Philosophie prägte Generationen industrieller Roboter, deren Leistung auf präzisen Encodern, spielfreien Getrieben und massiven Strukturen beruhte. Doch der Kontext hat sich verschoben – wortwörtlich. Roboter bewegen sich zunehmend in unstrukturierten Umgebungen, agieren auf Baustellen, in Lagerhallen oder im öffentlichen Raum und interagieren dort mit Menschen, Maschinen und Materialien. Damit ändern sich auch die Anforderungen an ihre Aktuatoren.

Heute steht nicht mehr nur Präzision im Vordergrund, sondern Anpassungsfähigkeit, Energieeffizienz und Skalierbarkeit. Möglich wird dieser Wandel durch moderne Steuerungsansätze, die klassische Regeln der Regelungstechnik auf den Kopf stellen. Statt auf modellbasierte, lineare Systeme zu setzen, arbeiten viele Entwickler mit lernfähigen Algorithmen, die auf Simulationen und realen Sensordaten basieren. Methoden wie Deep Reinforcement Learning erlauben es Robotern, trotz Rauschen, Spiel oder dynamischer Umgebungen stabil zu agieren.

Weniger Perfektion, mehr Intelligenz

Ein auffälliger Trend ist die Verlagerung der Komplexität von der Hardware in die Software. Während frühere Systeme auf maximale Messgenauigkeit und mechanische Präzision angewiesen waren, akzeptieren moderne Steuerungen gewisse Unschärfen. Sensorwerte dürfen verrauscht sein, Spiel wird toleriert, ja sogar als Puffer in dynamischen Situationen genutzt. Das bedeutet: Die Aktuatorhardware kann einfacher – und damit kostengünstiger und robuster – konstruiert werden, ohne Einbußen bei der Systemleistung.

Das erfordert allerdings ein grundsätzlich neues Denken. Statt starrer Ketten und maximaler Steifigkeit tritt nun ein Bedürfnis nach Compliance: also der Fähigkeit, auf äussere Kräfte nachgiebig zu reagieren. Besonders wichtig ist das für Sicherheit und Interaktion. Wenn Roboter mit Menschen arbeiten oder sich autonom im Raum bewegen, muss der Aktuator bei einem Stoss nicht Widerstand leisten, sondern kontrolliert nachgeben können.

Aktuatoren im Wandel

Diese neue Rollenbeschreibung stellt bisher etablierte Getriebekonzepte in der Robotik infrage. Strain-Wave-Getriebe, beliebt wegen ihrer Präzision und Spielfreiheit, stossen an Grenzen. Sie sind schlecht rücktreibbar, thermisch limitiert und weisen ein eher ungünstiges Verhältnis von Masse zu Drehmoment auf. Auch Zykloidgetriebe, die mit hoher Steifigkeit und Belastbarkeit punkten, bringen Nachteile mit: Sie sind schwer, teuer in der Herstellung und bei hohen Eingangsdrehzahlen anfällig für Vibrationen.

Planetengetriebe, einst als solide Allzwecklösung gesehen, rücken nun in den Mittelpunkt. Ihre hohe Energieeffizienz, gute Rücktreibbarkeit und robuste Konstruktion machen sie zu einer idealen Basis für moderne Aktuatoren. Besonders relevant: Die einfache Skalierbarkeit dank etablierter Fertigungstechnologien. In Zeiten, in denen Roboterplattformen in Serie produziert werden, ist das ein echter Vorteil.

Natürlich ist auch das Planetengetriebe nicht perfekt. Es weist in der Regel Spiel auf und erlaubt keine Hohlwellenarchitektur. Doch moderne Firmware-Kompensation, Dual-Loop-Regelungen und intelligentes mechanisches Design machen diese Schwächen zunehmend irrelevant.



maxon High Efficiency Joint Module HEJ 90

- 140 Nm in der Spitze bei 2 kg
- Bis zu 13 rad/s
- Wirkungsgrade von bis zu 86%
- Integrierte Elektronik und Abtriebslagerung
- IP67
- EtherCAT

Auch im Bereich der Sensorik ändert sich vieles. Statt teurer Drehmomentsensoren setzen viele Hersteller auf eine softwaregestützte Ermittlung des Ausgangsdrehmoments über den Motorstrom. Diese Methode ist bei rücktreibbaren Getrieben wie dem Planetengetriebe besonders effektiv und genügt für viele Anwendungen völlig. Der Gewinn: reduzierte Bauteilzahl, geringere Kosten und höhere Zuverlässigkeit.

Praxisbeispiel: High Efficiency Joints

Ein Beispiel für diese neue Generation von Aktuatoren liefert maxon mit der High Efficiency Joint-Serie (HEJ). Die kompakten Einheiten integrieren Elektromotor, Planetengetriebe, Sensorik, Steuerungselektronik und Gehäuse in einem einzigen, hochgradig schutzklassifizierten Modul (IP67). Die Bandbreite reicht von kleinen Modellen für mobile Manipulatoren bis hin zu leistungsstarken Varianten für Lauf- oder Transportroboter.

Die technischen Daten zeigen, was moderne Aktuatoren heute leisten: Stossdrehmomente bis 320 Nm, Rücktreibbarkeit unter 1 Nm, Ansprechzeiten unter 8 ms, Gesamtwirkungsgrade von über 75 Prozent – bei gleichzeitig minimaler reflektierter Trägheit. Die Spielkompensation erfolgt softwareseitig, zusätzliche Sensorik ist nur bei besonders anspruchsvollen Anwendungen nötig.

Zudem erlaubt die robuste Konstruktion die direkte Integration in tragende Strukturen, was Platz spart und das mechanische Design vereinfacht. Die Kombination aus hoher Leistungsdichte, einfacher Integration und indus-

trieller Fertigbarkeit macht die HEJ-Serie zu einem Musterbeispiel für den neuen Aktuatorstandard.

Skalierbarkeit als Zukunftsfrage

Einer der entscheidenden Vorteile dieser Aktuatoren liegt nicht nur in ihrer technischen Leistungsfähigkeit, sondern in ihrer wirtschaftlichen Skalierbarkeit. Während ein einzelner kollaborativer Roboter in der Fertigung aufwändig konfiguriert und kalibriert wird, müssen moderne mobile Systeme in Serie produziert werden – in Stückzahlen von Tausenden oder gar Hunderttausenden. Das gelingt nur, wenn die Antriebstechnik modular, robust und kostenoptimiert ist.

Genau hier zeigt sich die Stärke des Planetengetriebes. Es ist technologisch ausgereift, industriell breit verfügbar und in zahlreichen Varianten optimierbar – ob für hohe Belastbarkeit, minimale Baugröße oder maximale Effizienz. Kombiniert mit moderner Software entsteht daraus ein Aktuator, der sowohl ökonomisch als auch technisch überzeugt.

Fazit: Eine Renaissance der Einfachheit

Die Zukunft der Robotik ist nicht länger von Perfektion in der Mechanik geprägt, sondern von klugem Systemdesign. Weniger kann mehr sein – wenn die Software stark genug ist, um Unschärfen zu kompensieren und aus Einfachheit Intelligenz zu machen. In dieser neuen Welt haben Planetengetriebe einen festen Platz: Als tragfähige, kosteneffiziente Basis für Aktuatoren, die den Herausforderungen mobiler, interaktiver Robotik gerecht werden. Der Klassiker ist zurück – besser als je zuvor.

