

Physical AI: Wenn Schweißroboter auf Abweichungen reagieren



Der neue UR AI Trainer, entwickelt von Universal Robots und Scale AI, ist eine durchgängige Lösung für das Training von KI-Modellen, die den direkten Transfer vom Labor in die industrielle Praxis ermöglicht. © Universal Robots

Industrieroboter arbeiten traditionell mit fest programmierten Bahnen. Das ist ein bewährtes Konzept für stabile Produktionsbedingungen, das bei hoher Prozessvarianz jedoch an Grenzen stößt. Gleichzeitig erhöhen Fachkräftemangel, steigende Produktivitäts- und Qualitätsanforderungen sowie häufigere Produktwechsel den Druck auf die Fertigung. Automatisierung muss daher flexibler auf wechselnde Bauteilpositionen und Prozessbedingungen reagieren können. Genau hier setzt Physical AI an.

Was bedeutet Physical AI konkret für industrielle Anwendungen?

Vereinfacht gesagt geht es nicht um „denkende Roboter“, sondern um Robotersysteme, die mit Abweichungen und Veränderungen umgehen können, ohne dass die gesamte Produktionsumgebung exakt auf sie zugeschnitten werden muss. Damit könnten sich beispielsweise der Aufwand für Vorrichtungen und Fixierungen sowie manuelle Korrekturen reduzieren.

Amit Goel, Director of Product Management for Autonomous Machines bei NVIDIA, sieht Physical AI als nächste Entwicklungsstufe nach generativer und agentischer KI. „Hier nutzt KI Daten aus der realen Welt, um Vorgänge in der physischen Welt zu steuern und zu koordinieren“, erklärt Goel. „Robotik steht im Zentrum dieser Entwicklung der KI.“

Physical AI bedeutet allerdings nicht, bestehende digitale KI einfach auf einen Roboter zu übertragen. Ein Industrieroboter muss

Daten aus Kameras und Kraft-, Drehmoment-, Berührungs-, Positions-, Geschwindigkeits- und weiteren Sensoren interpretieren. Anschließend muss er daraus mit möglichst geringer Latenz vorhersehbare Aktionen ableiten. Der entscheidende Unterschied zu rein digitaler KI: Die Ausgabe des Systems besteht aus einer physischen Bewegung. Fehler können damit unmittelbare Auswirkungen auf Menschen, Maschinen, Werkstücke und Produktqualität haben.

Reale Daten sind entscheidend

Physical AI muss sich deshalb in realen industriellen Prozessen bewähren. Simulationen, synthetische Daten und Videomaterial können beim Training von KI-Modellen unterstützen. Physikalische Effekte wie Kontakt, Reibung, Nachgiebigkeit und Verschleiß oder die spezifische Kraftausübung eines Roboters lassen sich damit jedoch nicht vollständig erfassen. Gerade bei kontaktintensiven Aufgaben können bereits kleine Abweichungen bei Timing, Drehmoment oder Bauteilposition darüber entscheiden, ob ein Prozess erfolgreich ausgeführt wird.

Daher werden Daten des realen Roboterarms benötigt, um die Lücke zur tatsächlichen Produktionsumgebung zu schließen. „Die Roboter der Zukunft werden datengetrieben sein“, sagt Goel. „Wir werden sie nicht mehr im klassischen Sinne programmieren, denn sie werden aus Daten lernen.“

Vier Fähigkeiten

Physical AI lässt sich im industriellen Umfeld im Wesentlichen durch vier Fähigkeiten charakterisieren: Wahrnehmung und Umgebungserfassung, Planung und Entscheidungsfindung, adaptive Ausführung sowie Lernen und robuste Fehlerbehandlung. In der Produktion bedeutet dies beispielsweise, Bauteile und ihre Lage zu erkennen,

Bewegungsbahnen neu zu planen, Kraft oder Geschwindigkeit anzupassen und kleinere Abweichungen selbstständig auszugleichen.

Schweißen unter realen Bedingungen

Gerade beim automatisierten Schweißen sind solche Fähigkeiten essentiell. Der Prozess reagiert empfindlich auf Abweichungen bei Bauteilpassung, Nahtposition, Brennerwinkel, Vorschubgeschwindigkeit und Werkstücklage. Eine fest programmierte Roboterbahn kann bei einem exakt positionierten und fixierten Werkstück sehr zuverlässig funktionieren. In der Produktionspraxis entsprechen Bauteile und deren Positionierung jedoch nicht immer exakt dem programmierten Sollzustand. Physical AI kann dazu beitragen, diese Differenz zu reduzieren. Der Roboter kann Sensorinformationen auswerten, Bewegungen anpassen und die Prozessausführung innerhalb definierter Toleranzen halten. Das Ziel besteht dabei nicht darin, eine zuverlässige Prozessplanung oder Werkstückfixierung überflüssig zu machen. Vielmehr soll das Robotersystem toleranter gegenüber jenen Abweichungen werden, die sich im industriellen Alltag nicht vollständig vermeiden lassen.

Sensorik liefert die Basis

Eine wichtige Voraussetzung dafür ist leistungsfähige Sensorik. Dominik Birkenmaier, Global Industry Manager bei SICK, verweist beispielsweise auf KI-gestützte Roboterführungssysteme, die Bild- und Tiefeninformationen mit vortrainierten neuronalen Netzen kombinieren. Bei Anwendungen mit hoher Varianz, etwa beim Depalettieren oder beim Griff in die Kiste, kann dies den Einrichtungsaufwand reduzieren. Je nach Anwendung können solche Systeme ohne individuelles Training, CAD-Daten oder umfangreiche manuelle Einrichtung auskommen.

Autor:

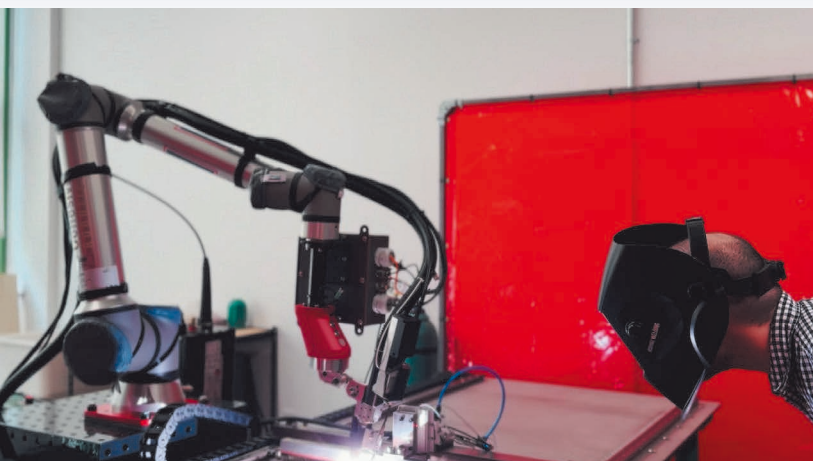
Anders Billesø Beck

Vice President

AI Robotics Products

Universal Robots

www.universal-robots.com/de/



Das KI-gestützte Schweißsystem zeigt, wie Physical AI in der Schweißfertigung eingesetzt werden kann. Es werden mittels Kamera Millionen von Datenpunkten erfasst und anschließend analysiert, um automatisch ein passendes Programm für die jeweilige Schweißaufgabe zu erstellen.
© Cohesive Robotics

Virtuelle Sensoren

Auch virtuelle Sensoren können eine Rolle spielen. Jan Jarvis, Senior Manager Visualization bei SICK, sieht darin eine Möglichkeit, Systeme bereits in frühen Entwicklungsphasen zu testen und selten auftretende Szenarien gefahrlos zu untersuchen. Für industrielle Anwendungen bleibt jedoch die Robustheit entscheidend. KI kann leistungsfähig sein, ein industrielles System muss im realen Betrieb dennoch zuverlässig und insbesondere unter Sicherheitsaspekten vorhersehbar funktionieren.

Trajektorien in Echtzeit korrigieren

Dasselbe Prinzip gilt für die Bewegungsplanung. Inbolt setzt beispielsweise eine am Roboterarm montierte Kamera ein, um die Pose eines Bauteils in Echtzeit zu bestimmen und die Bewegungsbahn während der Ausführung anzupassen. Rudy Cohen von Inbolt bringt die Herausforderung auf den Punkt: Viele Roboter in Fabriken seien im Wesentlichen noch „blind“. Sie führen hochgenaue Trajektorien in einer Produktionsumgebung aus, die selbst nicht immer hochgenau ist.

Ein typisches Beispiel sind Bauteile, die in Gestellen bereitgestellt werden. Bediener, Transportvorgänge oder Gabelstapler können kleine Positionsänderungen verursachen. Bei klassisch programmierten Robotersystemen kann dies zu Fehlausrichtungen oder Prozessstopps führen. Erkennt das System dagegen die tatsächliche Lage des Werkstücks, kann es die Trajektorie

entsprechend korrigieren und unter Umständen weiterarbeiten, obwohl das Bauteil leicht verschoben oder verdreht ist.

Weniger abhängig von perfekten Bauteilen

Eine vergleichbare Herausforderung besteht beim Roboterschweißen von variantenreichen Bauteilen und großen Schweißkonstruktionen. Schon vorgelagerte Fertigungsschritte wie Schneiden, Umformen, Heften und Spannen erzeugen Abweichungen, bevor der Roboter überhaupt mit dem Schweißen beginnt.

Physical AI ersetzt weder eine geeignete Werkstückfixierung noch eine zuverlässige Prozessführung. Sie kann jedoch die Abhängigkeit von einer vollkommen exakten Bauteilbereitstellung verringern. Dazu könnte das Robotersystem beispielsweise die geplante Schweißbahn mit der tatsächlich erkannten Nahtposition vergleichen und die Bewegung entsprechend korrigieren.

Vorteile

Für produzierende Unternehmen ergeben sich daraus mehrere potenzielle Vorteile: kürzere Inbetriebnahmezeiten, weniger aufwendige Vorrichtungen, ein geringerer Bedarf an erneutem Einlernen von Roboterbahnen und weniger Stillstände. Weitere Einsatzfelder liegen in der Qualitätsprüfung, der adaptiven Materialhandhabung, der dynamischen Bahnplanung und bei kraftsensitiven Aufgaben.

Besonders interessant ist Physical AI überall dort, wo

Prozessvarianz bislang hohe Kosten verursacht. Beim Schweißen betrifft dies unter anderem eine hohe Variantenvielfalt, große Schweißbaugruppen, schwankende Passungen und Nahtpositionen sowie Roboterzellen, bei denen häufiges Nach-Teaching oder aufwendige Vorrichtungen die Wirtschaftlichkeit der Automatisierung begrenzen.

Schrittweise in die Produktion

Physical AI hat allerdings auch noch einige Grenzen. Vollständig KI-gesteuerte End-to-End-Systeme über lange Zeiträume zuverlässig abzusichern, bleibt anspruchsvoll. Anwendungen mit extrem hohen Genauigkeitsanforderungen oder besonders komplexen physikalischen Bedingungen sind ebenfalls weiterhin Gegenstand intensiver Entwicklung.

Für Unternehmen bietet sich deshalb ein schrittweiser Einstieg an. Geeignet sind zunächst klar abgegrenzte Anwendungen, bei denen KI innerhalb eines kontrollierten Sicherheitsrahmens gezielt einzelne Funktionen verbessert – beispielsweise Wahrnehmung, Lokalisierung, Inspektion, Roboterführung oder das Verhalten bei physischem Kontakt.

Der Vorteil eines solchen Ansatzes: Bewährte Automatisierungs- und Sicherheitskonzepte können erhalten bleiben, während KI gezielt dort

eingesetzt wird, wo klassische, fest programmierte Systeme an Grenzen stoßen.

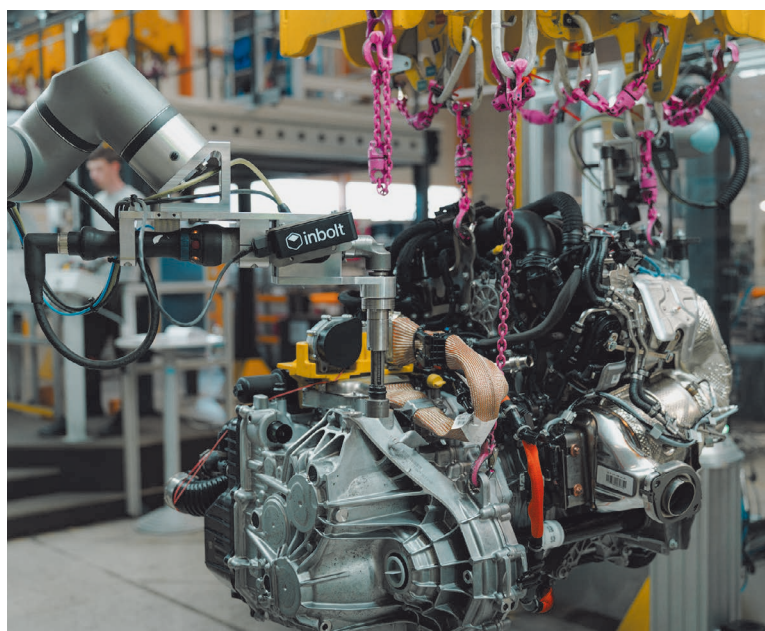
Robotik wird anpassungsfähiger

Physical AI findet zunehmend den Weg aus Forschung und Entwicklung in industrielle Anwendungen. Sie ersetzt klassische Industrierobotik dabei nicht, sondern erweitert deren Möglichkeiten. Auch ein KI-gestützter Schweißroboter benötigt eine zuverlässige Prozessführung, funktionale Sicherheit, Wiederholgenauigkeit und eine solide Applikationsauslegung.

Der entscheidende Unterschied liegt vielmehr darin, dass Robotersysteme künftig einen größeren Teil jener Abweichungen erkennen und kompensieren können, die eine Automatisierung bislang erschweren. Physical AI macht Industrieroboter damit nicht zu universellen Problemlösern. Sie kann aber dazu beitragen, dass automatisierte Schweißprozesse besser mit den realen – und eben nicht immer perfekten – Bedingungen industrieller Fertigung umgehen können.

On-demand Webinar

Weitere Infos im On-demand Webinar „Discover How Physical AI is Transforming Industrial Automation“: urrobots.com/physicalAI-webinar ◀



Mit der KI-gestützten, kamerabasierten Roboterprogrammierung kann ein Roboterarm die tatsächliche Position eines Bauteils während der Bewegung erfassen und seine Bewegungsbahn entsprechend anpassen. © Inbolt