



Bilder: Hirata

Bereits Mitte der Siebzigerjahre stellte Professor Makino in Japan fest, dass in der Regel 80 Prozent der Fügebewegungen gradlinig von oben erfolgen und, dass der benötigte Arbeitsraum in etwa der Reichweite eines menschlichen Arms entspricht, wenn das Produkt montagefreundlich gestaltet ist. Die damals auf dem Markt erhältlichen Roboter waren für diese Fügebewegungen zu gross, zu ungenau und zu teuer. Der Knickarmroboter mit seinen fünf bis sechs Achsen war beispielsweise speziell für Lackier- oder Schweissaufgaben entwickelt worden. Bei exakten geraden Bewegungen waren die Bahntreue und die Positioniergenauigkeit nicht besonders gut.

Verkanten ausgeschlossen

Gemäss den Untersuchungen von Makino genügten vier Achsen, um ein Teil im Raum zu jeder gewünschten Position zu bewegen und zu fügen. Dabei bildete er bei der Konstruktion der Roboterkinematik den menschlichen Arm in sehr vereinfachter Form nach. Für die Positionierung in der horizontalen Ebene verwendete er zwei durch Drehgelenke verbundene Hebel, die vom Aufbau her dem Schultergelenk und dem Oberarm sowie dem Ellenbogengelenk und dem Unterarm des Menschen entsprechen. Die dritte Achse führte er als Linearachse aus, und zwar in Form einer Pinole, die an der Spitze der Ellenbogenachse befestigt war und nach unten herausfahren konnte. Sie ist die Vertikal- oder Z-Achse, an deren unterem Ende der Greifer befestigt ist, der zum Fügen der Teile dient. Die vierte Achse, die W-(Wrist-) oder Handachse, dreht die Z-Achsenpinole um ihre Mittelachse, um so die Orientierung des Greifers zu bewerkstelligen.

Für das häufig beim Fügen von Teilen auftretende Problem des Verkantens der beiden zu fügenden Teile birgt diese Kinematik eine verblüffende Lösung. Nachdem der Roboter mit seinen Achsen die horizontale Position oberhalb des Zielpunktes angefahren hat, werden die Motoren der Schulter-, Ellenbogen- und Handachse stromlos geschaltet. Nur die Positionencodes bleiben unter Spannung und registrieren eine mögliche Veränderung der Achspositionen. Nun beginnt die Z-Achse ihre Fügebewegung nach unten auszuführen. Deren zwangsgeführte Linearbewegung ergibt eine optimale Fügebewegung, die sich

Robotereinsatz erfolgreich geplant

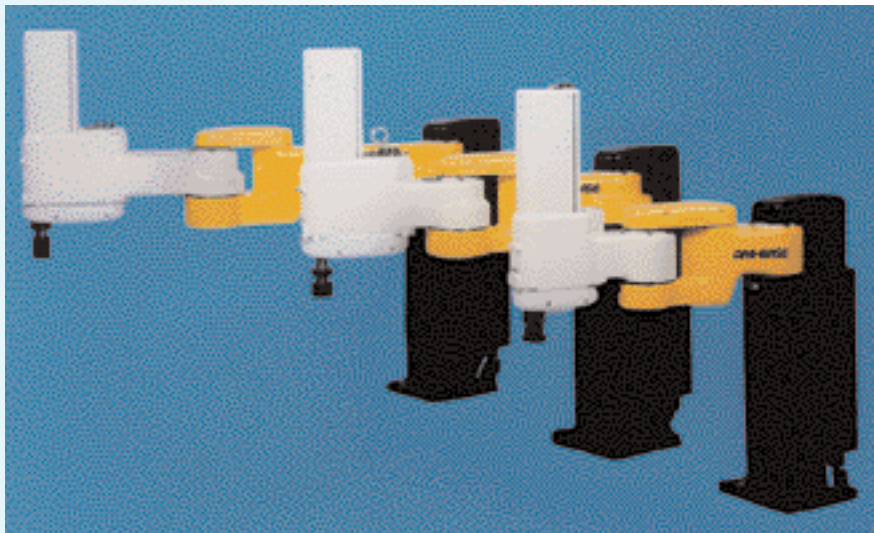
Oft wird gefragt, was denn die eigentlichen Vorteile eines Scara-Roboters sind und wie man ihn richtig in eine Anlage oder Maschine integriert. Dazu ist es notwendig, das Prinzip und die Fähigkeiten dieser Roboterkinematik zu kennen. Hier zeigt sich, welche Montage- oder Handhabungsaufgaben sich mit Scara-Robotern optimal lösen lassen.

positiv auswirkt. Aus Toleranzgründen kommt es jedoch oft vor, dass es einen kleinen Versatz in der X-Y-Ebene zwischen den beiden zu fügenden Teilen gibt. Sind nun an diesen Fügenschrägen angebracht, gleicht sich der Versatz passiv durch den Roboter aus, weil dessen Horizontalachsen nachgeben können.

Aus diesem Verhalten der Roboterachsen leitet sich nämlich auch der Name Scara-Roboter ab. Denn Scara steht für Selective Compliance Assembly Robot Arm und bedeutet soviel wie selektiv ausgleichender Montageroboter. Damit ist eben die Nachgiebigkeit der Horizontalachsen beim vertikalen Fügen zu verstehen.

Geringer Platzbedarf

Ein weiterer Vorteil des Scara-Roboters gegenüber anderen Kinematiken ist neben der im Verhältnis zu seinem Arbeitsraum kleinen Standfläche auch die hohe Steifigkeit des Roboterarmes in vertikaler



Verschiedene Scara-Roboter für die Montage und Handhabung.



Nachgefragt

Einsatz nicht zu empfehlen

Nicht einsetzen sollte man den Scara-Roboter zum Be- und Entladen von Pressen, Werkzeug- und Spritzgiessmaschinen sowie anderen Vorrichtungen, wenn der gesamte Arm geradlinig horizontal in Maschinenöffnungen hinein- und herausfahren muss und es dabei auf kurze Taktzeiten ankommt. Solche horizontalen Linearbewegungen führt er im Verhältnis zu seinen schnellen Punkt-zu-Punkt-Bewegungen verhältnismässig langsam aus. Ebenso sind lineare oder zirkulare Bahnbewegungen, wie sie zum Beispiel beim Auftragen von Klebstoffen nötig sind, am äusseren oder inneren Grenzbereich des Arbeitsraumes zu vermeiden. Denn hier haben die Arme eine sehr ungünstige Stellung zueinander, wodurch die Bahntreue sehr stark abnimmt beziehungsweise die Bahngeschwindigkeit inkonstant wird. –to-

Info

Hirata Robotics GmbH, D-55124 Mainz
Tel. 0049-6131-941 30
Fax 0049-6131-94 13 13
info@hirata.de
www.hirata.de

Richtung. Dadurch kann er je nach Modell Einpresskräfte bis 200 N aufnehmen, ohne dass er dauerhaft Schaden erleidet. Im Übrigen ist die Mechanik dieses Roboters wesentlich robuster gegenüber kleineren Kollisionen als die von Knickarmgeräten mit ihren empfindlichen Getrieben in der fünften und sechsten Achse. Weitere Merkmale sind die hohe Horizontalgeschwindigkeit und die dadurch kurzen Pick-and-Place-Zeiten sowie die grosse Wiederholgenauigkeit, die im Allgemeinen je nach Armlängen bei $\pm 0,02$ bis $\pm 0,05$ mm liegt.

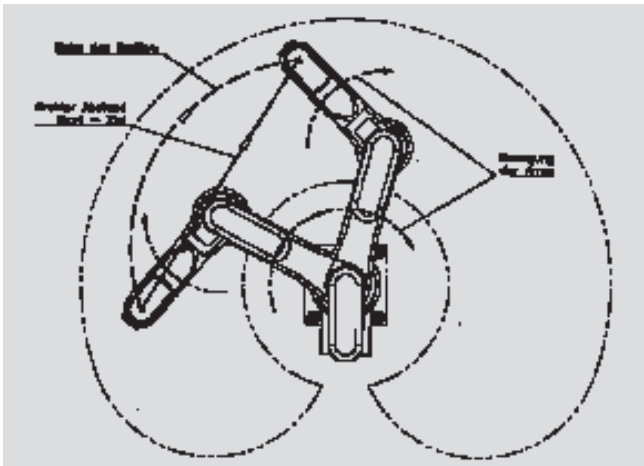
Durch den zentralen Standfuss und die Freischaltung der Achsen ergibt sich eine unkomplizierte, schnelle und gute Zugänglichkeit an die Peripherie für Wartungs- und Einrichtarbeiten. Die beiden Hauptachsen sind wartungsfrei, wenn die eingesetzten «Harmonic-Drive»-Getriebe eine Dauerfettfüllung haben. Nur die Z/W-Achse, die aus einer Kombination aus Keilschaftwelle mit eingeschliffrer Kugelumlaufspindel besteht, muss von Zeit zu Zeit gefettet werden. Darüber hinaus ist nur die Spannung der Zahnriemen, welche die Bewegungen der Motoren auf die Welle übertragen, regelmässig zu kontrollieren.

Bewegungsablauf beachten

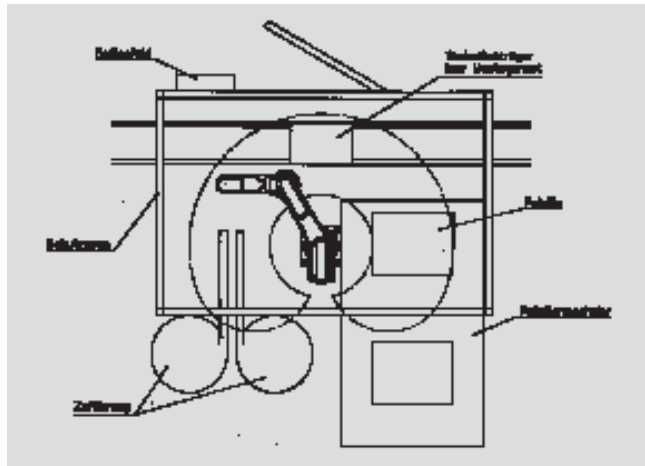
Der Scara-Roboter wurde entwickelt, um Werkstücke in einer möglichst kurzen Zeit von der Bereitstellungsposition zum Montageort zu bringen und sie geradlinig vertikal von oben zu fügen. Dies bedeutet aus der Sicht der Steuerungs-

technik, dass seine Achsen eine zeit- und wegoptimierte Bewegung ausführen müssen. Einen solchen Ablauf erhält man, wenn die Achsen eine Punkt-zu-Punkt-Bewegung ausführen. Dabei kann der Programmierer die Bahn zwischen Start- und Zielpunkt, auf der sich der Greifer bewegt, nicht beeinflussen. Um einen aus der Sicht der Dynamik eleganten und optimalen Bewegungsablauf zu erhalten, starten und stoppen die Schulter- und Ellenbogenachse gleichzeitig. Dadurch bewegt sich der Greifer auf radienförmigen oder elliptischen Bahnen zwischen Start- und Zielpunkt.

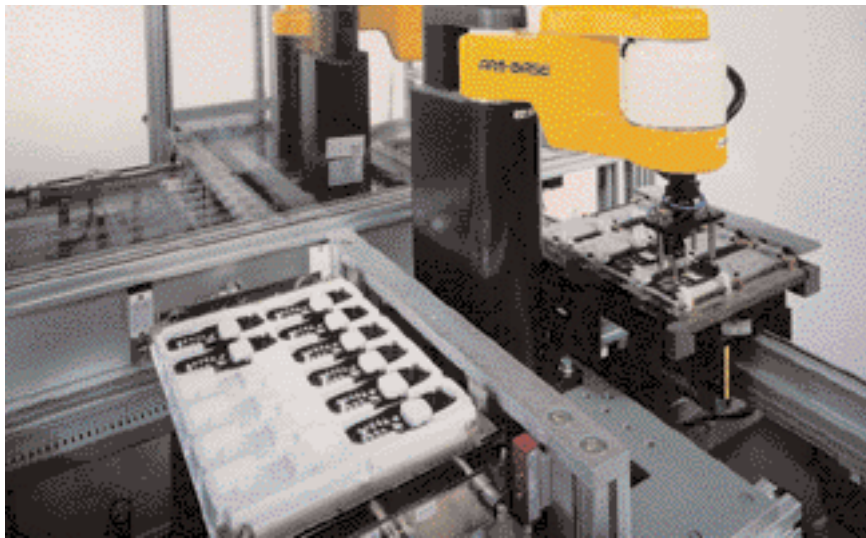
Und genau daraus ergibt sich der erste Brennpunkt, der zu beachten ist, damit der Roboter richtig eingesetzt wird. Er «übersteuert» quasi die gedachte Gerade zwischen Start- und Zielpunkt, je nachdem wo die Punkte im Arbeitsraum liegen. Durch Unkenntnis oder Missachtung dieser Tatsache werden oft Peripheriegeräte mit Störkanten im Schwenkbereich des Armes aufgebaut, welche die Bewegung des Roboters dann behindern. So kann es leicht zu Kollisionen kommen, und man muss Verschleifpositionen einprogrammieren, um das Hindernis zu umfahren. Dies wirkt sich natürlich äusserst negativ auf die Taktzeit aus. Daher gilt als oberste Prämisse: Bei hochgezogener Vertikalachse muss sich der Roboterarm völlig frei innerhalb seines möglichen Arbeitsbereiches bewegen können. Störkonturen von Peripheriegeräten oder der Schutzzumzäunung sind zu vermeiden oder in die hinteren beiden Schenkel des Arbeitsbereiches zu legen.



Typischer Bewegungsablauf im Arbeitsbereich eines Scara-Roboters.



Optimale Anordnung von Peripheriegeräten.



Scara-Roboter in einer Montageanlage für Handys.

Zudem sollte man bei der Anordnung und Festlegung der anzufahrenden Positionen beachten, dass die vertikale Roboterachse (Z-Achse) die langsamste ist. Sie muss bei einem Pick-and-Place-Zyklus den Weg viermal zurücklegen, während der horizontale Weg nur zweimal zurückgelegt wird. Daher sollte man versuchen, den Z-Hub klein zu halten. Weiterhin ist zu empfehlen, dass dabei die Achse nicht vollständig ausgefahren wird. Denn eine weit nach unten ausgefahrene Z-Achse reagiert auf Querkräfte am Greifer empfindlicher, und die erzielbare Genauigkeit ist schlechter.

Roboterperipherie und Greifersysteme

Bei der Gestaltung der Roboterperipherie sollte man versuchen, die Positionen in

der horizontalen Ebene so zu legen, dass Schulter- und Ellenbogenachse vom Start- zum Zielpunkt in die gleiche Richtung drehen. Dadurch ergibt sich eine Summierung der Winkelgeschwindigkeiten der einzelnen Achsen und eine kürzere Zykluszeit als bei gegenläufiger Bewegung bei gleichem Abstand. Diese Empfehlung ist jedoch in den meisten Fällen nicht realisierbar, da Peripheriegeräte konstruktive Merkmale und geometrische Gegebenheiten aufweisen, die sich nicht beeinflussen lassen.

Bei den meisten Anbietern von Scara-Robotern liegen die für die Bestimmung der Referenzzykluszeiten verwendeten Positionen optimalerweise im äusseren Bereich des Arbeitsbereiches. Will man sich jedoch bei der Planung des Roboter-einsatzes über die zu erwartende Taktzeit klar werden, sollte eine Taktzeitstudie

anhand eines konkreten Layouts durchgeführt werden. Auf keinen Fall sollten Zeiten aufgrund von Winkelgeschwindigkeiten und Drehwege berechnet werden. Selbst Simulationsprogramme weisen in der Regel einen Fehler von 10 bis 15 Prozent auf.

Bei der Gestaltung des Greifersystems und dessen Anbringung an der Z-Achse des Roboters sind zwei wichtige Aspekte zu beachten. Meistens betrachtet der Konstrukteur nur das Greifer- und Werkstückgewicht und vergleicht sie mit den angegebenen Spezifikationen. Das Handhabungsgewicht wirkt sich hauptsächlich auf das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten der Schulter- und Ellenbogenachse aus und hat einen wesentlichen Einfluss auf die Vertikalachse. Oft liegt jedoch das Greifergewicht immer unterhalb der Kapazität des Roboters.

Viel entscheidender ist das Massenträgheitsmoment des Greifers, das auf die Handachse des Roboters wirkt. Die Leistung des W-Achsenmotors ist meistens nicht besonders gross, da aus Gründen einer optimalen Dynamik das Gewicht und die Grösse des Motors klein gehalten wird. Bei der Drehung des Greifersystems um die W-Achse beeinflusst das Massenträgheitsmoment die Lageregelung. Solange das Greifersystem konzentrisch zum Mittelpunkt der W-Achse angebracht ist, hält es sich in vertäglichen Grenzen. Wird der Greifer jedoch asymmetrisch zum W-Achsendrehpunkt angebracht, nimmt es aufgrund des Steinerischen Satzes quadratisch mit dem Abstand zu. Werden noch zusätzliche steife Kabel und Pneumatikschläu-

Robotik

Im Blickpunkt SMM

che an das Greifersystem herangeführt, kann das erlaubte Trägheitsmoment schnell überschritten werden. Die Folge ist ein Überspringen oder Vibrieren der Achse, was wiederum zu Zykluszeitverlust führt.

Sinnvolle Anordnung der Peripherie

Geschweisste Untergestelle mit einer 20 bis 30 mm starken Stahlplatte und einem Gewicht von 300 bis 500 kg bieten in der Regel genügend Masse, um die dynamischen Kräfte, die bei den Horizontalbewegungen des Roboters entstehen, aufzunehmen. Bei Aluminiumprofil-Konstruktionen sollte man vertikale Profile mit einer Seitenlänge von mindestens 100 x 100 mm einsetzen. Zudem ist darauf zu achten, dass die verwendeten Profilverbinder die dynamischen Kräfte auf Dauer übertragen können, ohne sich zu lockern. Wird der Roboter auf eine Aluminiumplatte aufgeschraubt,

sollte diese eine Stärke von 30 mm aufweisen. Bei einem Al-Gestell empfiehlt es sich, dieses an mindestens zwei diagonal liegenden Punkten mit dem Boden zu verdübeln. Zu empfehlen sind zudem stabile und schwingungsdämpfende Maschinengestellfüsse.

Der Robotertisch sollte mit einer Maschinenwasserwaage (0,2 mm auf 500 mm) ausgerichtet werden. Peripheriegeräte, die nicht auf oder am Untergestell befestigt sind, sollten mit diesem massiv verbunden werden, wenn der Roboter dort Positionen anfahren muss. Damit wird einer möglichen Positionsdrift durch Erschütterungen, Stöße oder Temperatur vorgebeugt. Die Schwingantriebe der Rütteltöpfe und Linearstrecken sollte man jedoch nicht oder nur über Dämpfungsglieder mit dem Untergestell verbinden, da sich die Vibrationen negativ auf die Motorregelung des Roboters auswirken.

Oft wird der Arbeitsbereich des Roboters durch ungeschickt angeordnete Peri-

pheriegeräte schlecht zugänglich. Das Teachen von Positionen wird erschwert, und Wartungsarbeiten am Gerät und an der Peripherie sind nur mühsam durchführbar. Am besten platziert man die Zuführungen von Teilen wie Vibrationswendelförderer, Stangenmagazine oder Paletten jeweils in den beiden Schenkeln des Arbeitsbereiches. Die Position des Montagenestes oder Werkstückträgers legt man vorne in die Mitte des Arbeitsbereiches. Dadurch lassen sich auch mehrere Roboterstationen nebeneinander in Linie aufstellen, und der Bediener kann bequem alle Punkte im Arbeitsbereich erreichen. Um einen Maschinenstillstand beim Nachfüllen von Teilen zu vermeiden, sollte sich zum Beispiel der Nachfüllbunker oder Sortiertopf ausserhalb der Schutzumzäunung befinden.

MATTHIAS SCHNEIDER

Dipl.-Ing., Geschäftsführer der Hirata Robotics GmbH, D-55124 Mainz

HÖGG

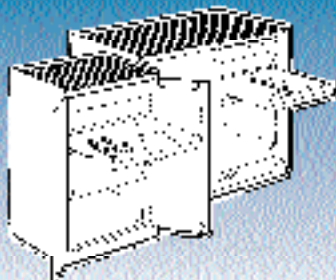
9620 Lichtensteig



Ihr Lieferant
für Systemkomponenten

www.hoegg.ch

MASCHINENSCHRÄNKE



Ordnung geht vor
Ordnung muss sein!

Ordnung macht sich bezahlt
Mit den zueinander orientierten
Lage- und Betriebs-
einrichtungen von LISTA



Unimetac hat das fortschrittliche,
moderne Einrichtersystem
Begriff gemacht: «Listasystem»
Listatisieren auch Sie Ihren Betrieb!

UNIMETAC AG

BETRIEBSEINRICHTUNGEN
UND LAGERTECHNIK
8954 GEROLD SWIL-ZÜRICH
TEL 01 748 44 24/FAX 01 748 38 65

LEISTER

LEISTER Process Technologies

LEISTER – Lufterhitzer und Gebläse

Die Broschüre stellt das Programm Lufterhitzer, Gebläse und Heissluftgebläse vor. Zahlreiche Photos zeigen Anwendungsbeispiele wie Trocken- und Aufheizprozesse, Schrumpfen, Schweißen, Löten, Sterilisieren, Aktivieren und Lösen von Schmelzklebern. Die Heizleistung der Heissluftgeräte beträgt 0,7–39 kW, die Temperatur ist von 20°C–900°C elektronisch stufenlos regelbar. Die Luftversorgung erfolgt mit passenden Leister-Gebläsen: Luftmenge bis 13500 l/min, Luftdruck bis 80 mbar.

Gebläse
Lufterhitzer
Heissluftgebläse

LEISTER Process Technologies

Riedstr., CH-6060 Sarnen
Tel. +41-41-662 74 74
fax +41-41-662 74 16
e-mail: leister@leister.com
<http://www.leister.com>