

Hybrid-Hexapoden für anspruchsvolle Fertigungsaufgaben

HÖHERE ANFORDERUNGEN AN GENAUIGKEIT UND ROBUSTHEIT ERFORDERN SPEZIELL BEIM EINSATZ VON HEXAPODEN EIN REVOLUTIONÄRES DESIGN

Durch den klaren Trend zu immer stärkerer Miniaturisierung der Produkte steigen die Anforderungen an die Fertigungs- und Messtechnik in der Produktion. Bei der Automation hochgenauer Bestückungsaufgaben werden Hexapoden mit sechs Freiheitsgraden zur Positionierung eingesetzt. Mit dem klassischen Design der Hexapoden wird die erreichbare Genauigkeit jedoch auf einige Mikrometer limitiert. Sogenannte Hybrid-Hexapoden versprechen Genauigkeiten bis in den Nanometerbereich.

NATHAN BROWN

Hexapoden besitzen sechs voneinander unabhängig gesteuerte Achsen, die miteinander verbunden sind und so eine gemeinsame Plattform bewegen. Die Positionsfehler dieser Plattformen sind ein Resultat der Funktionsfehler aller Achsen und Gelenke. Hexapoden sind für eine gute Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Durchführung von z-Bewegungen bekannt, da sich alle Achsen im gleichen Verbindungswinkel bewegen. Wenn aber andere Bewegungen, wie beispielsweise x-, y-, Längs-, Roll- oder Schwenkbewegungen, programmiert

werden, verschlechtert dies die Genauigkeit und die Einhaltung des geometrischen Pfads enorm, da die einzelnen sechs Gelenke unterschiedliche Bewegungen durchführen. Eine weitere Fehlerquelle beim Einsatz herkömmlicher Hexapoden ist eine meist fehlende Umsetzung einer vektoriiellen Vorwärts-/Rückwärts-Kinematik.

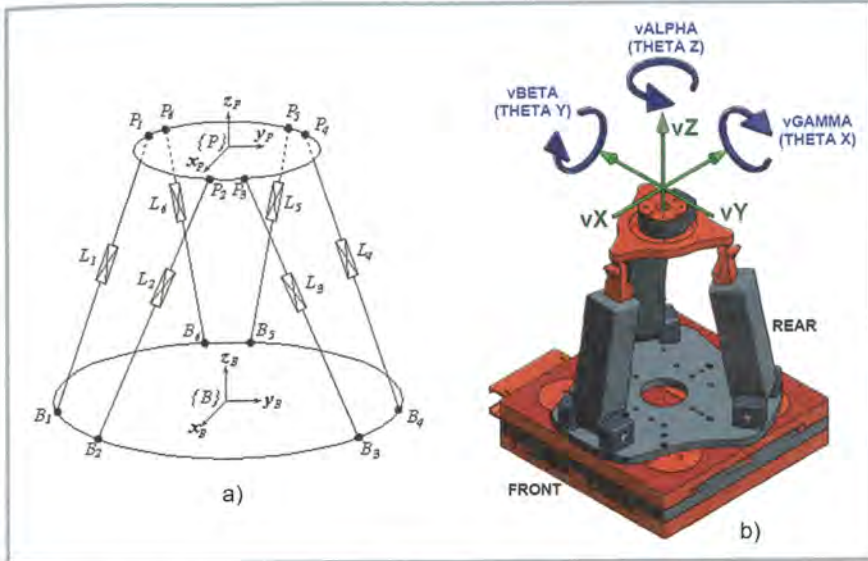
Hybrid-Hexapoden – Ansatz und Vorteile

Das Hybrid-Hexapod-Design wurde von Alio Industries entwickelt, um die Schwachstellen herkömmlicher Hexapod-

Konstruktionen zu adressieren. Entwicklungsziel waren eine Genauigkeit und Reproduzierbarkeit im Nanometerbereich sowie die Umsetzung von genauen und geraden Bewegungsverläufen. Hierfür wird ein Tripod mit einer parallelkinematischen

KONTAKT

Laser 2000 GmbH
82334 Weßling, Deutschland
Tel. +49 8153 405-0
info@laser2000.de
www.laser2000.de
Lasys: Stand 4.A71.0

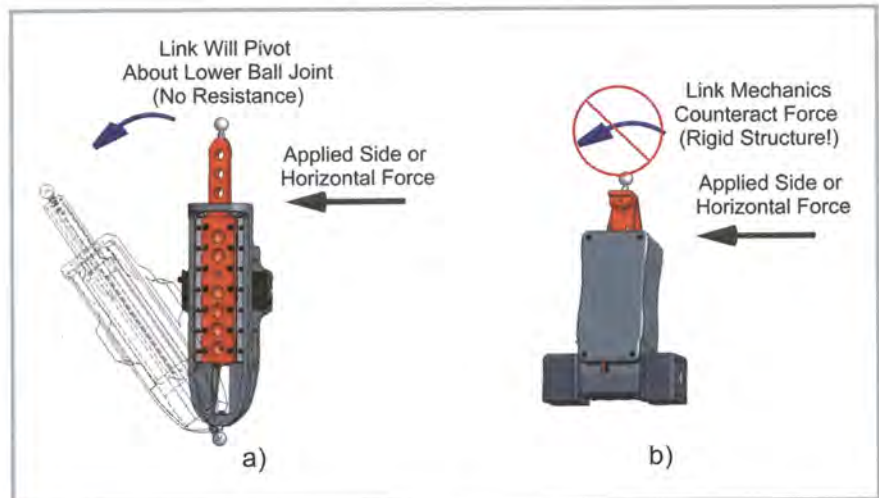


1 Schemata a) eines Hexapoden und b) eines Hybrid-Hexapoden

Struktur für z- und Kippbewegungen seriell mit einer monolithischen xy-Achse kombiniert. Eine Rotationsachse am Kopf des Tripods (oder darunter, je nach Anwendungsbedarf) bietet eine kontinuierliche 360°-Drehung um die z-Achse. Bild 1 zeigt die Schemata von Hexapoden und Hybrid-Hexapoden. Bei der Hybrid-Variante können die einzelnen Achsen angepasst und ausgetauscht werden. Dadurch werden Bewegungsfreiheiten von wenigen Millimetern bis zu einem Meter möglich. Diese Hybrid-Struktur ist das Herz des neuen Konzepts und ermöglicht es, Genauigkeiten und Wiederholgenauigkeiten im Nanometerbereich zu erreichen.

Mit aktuellen Controller-Technologien und hochauflösenden Encodern sind die neuen Hybrid-Hexapoden in der Lage, alle Achsen mit einer Auflösung von wenigen Nanometern zu bewegen. Vektorielle Bewegungen anders als bei Hexapoden auch dann möglich, wenn alle Achsen im Einsatz sind. Die vorher genannte Vorwärts-/Rückwärts-Kinematik wurde somit bei den neuen Systemen erfolgreich umgesetzt.

Gelenkconstruction: Jedes Gelenk eines Hexapoden arbeitet in Verbindung mit den anderen Gelenken, um die oberste Plattform beziehungsweise die Montagefläche zu positionieren. Die Genauigkeit der oberen Plattform ist damit direkt abhängig von der Genauigkeit der einzelnen Lager. Die vielen gleichartig orientierten Lagerungen bei normalen Hexapoden ergeben in der Summe zu viel Spiel und Ungenau-



2 Hexapoden- und Tripod-Gelenk bei horizontalen Kräften

igkeiten, sodass eine Präzision im Nanometerbereich nicht mehr möglich ist.

Durch folgende Merkmale können mit Hybrid-Hexapoden deutlich bessere Leistungen erzielt werden:

- Es werden bürstenlose Linear-Servomotoren kollinear zu den jeweiligen Achsen eingesetzt. Spiel und Toleranzen durch weitere mechanische Getriebebauteile bleiben somit aus. Da die Linearmotoren kontaktfrei arbeiten, wird weder Verschleiß noch Abwärme durch Reibung erzeugt.
- Eine sehr reibungsarme pneumatische oder magnetische Dämpfung an jeder Strebe des Tripods erlaubt die Anpassung beziehungsweise den Aufbau einer Gegenkraft an die Nutzlast. So können die Tripoden auch über Kopf einge-

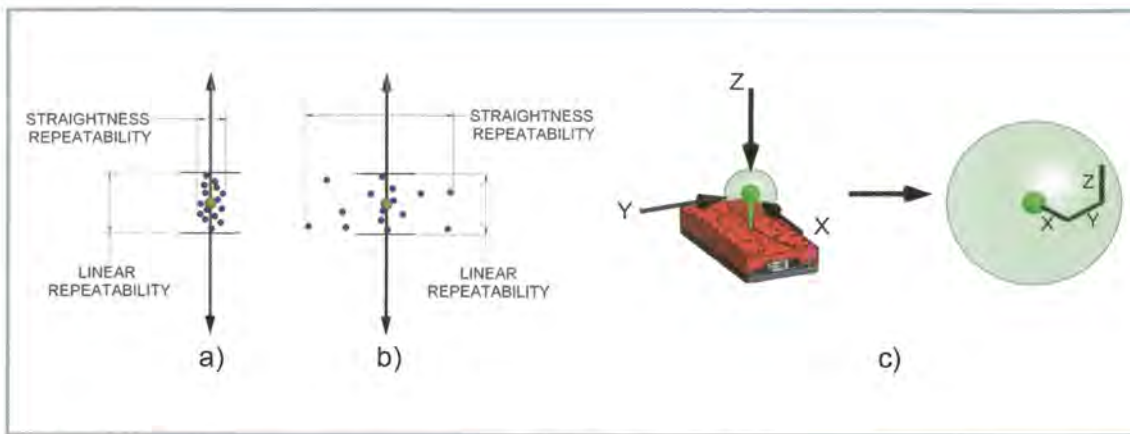
setzt werden, weil die Kraft der Motoren nur zur Bewegung der Nutzlast verwendet wird. Da somit auch die Kraft in beide Bewegungsrichtungen nahezu gleich bleibt, ist auch die Abwärme der Motoren relativ konstant.

- Optische Linearencoder werden kollinear zu jedem Motor beziehungsweise zu jeder Achse verwendet. Die Kombination mit der direkten mechanischen Kopplung der Motoren an die Achsen minimiert Fehler wie das Umkehrspiel deutlich.

Steifigkeit: Die Steifigkeit misst die Ablenkung einer Achse unter einer definierten vektoriellen Kraft. Hexapoden sind für ihre hohe Steifigkeit bekannt, jedoch nur unter Belastung in vertikaler z-Richtung.

Alle sechs Achsen sind in der Regel nahezu vertikal ausgerichtet, und demnach ist die Krafrichtung aller Achsen auch nahezu vertikal. Die Steifigkeit von Hexapoden bei xy-Belastung ist jedoch sehr gering. Dafür gibt es zwei Gründe. Erstens: Durch die nahezu vertikale Ausrichtung der Gelenke trägt nur eine kleine Komponente der Motorkraft zur xy-Steifigkeit bei. Zweitens: Die Gelenke der oberen und unteren Plattform eines Hexapoden sind sphärische Festkörper-/Universalgelenke, die horizontalen Kräften nachgeben.

Bild 2 verdeutlicht den Unterschied der Steifigkeit bei horizontaler Belastung a) eines Hexapoden-Gelenks mit Universalager und b) eines Tripod-Gelenks mit Festlagerung. ▶



3 Betrachtung von Wiederholgenauigkeiten mit a) einer, b) zwei und c) drei Dimensionen

Die Verwendung eines Tripoden ermöglicht also eine hohe Steifigkeit sowohl in z- als auch in xy-Richtung.

Pfad-Treue/Geradlinigkeit der Systeme: Alle Bewegungssysteme haben »Toleranz-Fehler«. Relevant sind die Größe der Fehler und die Frage, wie und ob sich diese auf die Anwendung auswirken. Bei Hexapoden sind diese Fehler relativ groß, da sich bei einer beliebigen linearen x-, y- oder xy-Bewegung immer alle sechs Einzelverbindungen mit einer unterschiedlichen Geschwindigkeit und Richtung über verschiedene Distanzen bewegen.

Ein Hybrid-Hexapod ist bei linearer Bewegungsrichtung in x-, y- oder z-Richtung in der Regel zwei Größenordnungen genauer als ein Hexapod, da sowohl bei linearen als auch bei rotierenden Bewegungen weniger Komponenten im Einsatz sind.

Linearer Versatz und Reproduzierbarkeit

Die Hybrid-Hexapoden sollen Genauigkeiten und Wiederholgenauigkeiten im Nanometerbereich bieten. Damit dies nicht nur gelingt, sondern auch gemessen werden kann, wird in Kürze eine neue Methode zur Analyse von Bewegungen im dreidimensionalen Raum vorgestellt. Diese Methode konzentriert sich auf Messungen im dreidimensionalen Raum und die präzise Darstellung funktionaler Punkte in einem Bewegungssystem.

Bisher werden die Wiederholgenauigkeiten meistens als lineare Wiederholgenauigkeiten im eindimensionalen Raum definiert. Dadurch werden jedoch die tatsächlichen Fehler im dreidimensionalen Raum ausgeblendet und schlichtweg ein falsches Bild für die echte Performance ei-

ner Achse beziehungsweise eines Systems vermittelt.

Bild 3 zeigt, wie unterschiedlich Wiederholgenauigkeiten ausfallen, wenn man neben der linearen Wiederholgenauigkeit als zweite Größe lediglich die Geradlinigkeit einer Achse betrachtet. Ebenfalls zu sehen ist, dass bei Betrachtung der Wiederholgenauigkeiten im dreidimensionalen Raum eine kugelförmige Zone definiert werden muss, um die tatsächliche Performance einer Achse zu spezifizieren. Diese dreidimensionale Art der Betrachtung wird bei »Alio 6-D Nano Precision« berücksichtigt. Messungen der einzelnen Achsen ermöglichen ein Mapping der Systeme. Dieses Mapping ermöglicht bei einer Kombination von xy-Achse und Tripod eine Kompensation möglicher Fehler der xy-Achse durch den Tripod. Damit wird letztendlich die sphärische Toleranzzone (siehe **Bild 3c**) minimiert und Genauigkeiten im Nanometerbereich erzielt.

Rotation um die z-Achse: Standard-Hexapoden ermöglichen eine Positionierung in sechs Freiheitsgraden, einschließlich Schwenk- oder Theta-z-Bewegungen. Die Schwenkbewegung ist generell auf eine Rotation von maximal $\pm 45^\circ$ beschränkt.

Rotationsachsen auf oder unterhalb eines Tripoden ermöglichen präzise Schwenkrotationen mit Rundlauf Fehlern von $\pm 1 \mu\text{m}$ und einer Drehgenauigkeit von weniger als ein paar Bogensekunden. Dies ist signifikant niedriger als bei traditionellen Hexapoden. Ebenso sind kontinuierliche 360°-Drehungen um die z-Achse möglich.

Fazit

Konventionelle Hexapoden hatten ihre Berechtigung, können den hohen An-

forderungen in der Nanotechnologie jedoch nicht mehr gerecht werden. Der neue Ansatz der Hybrid-Hexapoden – einer Kombination aus einem Tripod mit einer parallelkinematischen Struktur und einer monolithischen xy-Achse – verspricht Positioniergenauigkeiten in den Nanometerbereich. Die Hybrid-Hexapoden eignen sich für Anwendungen in der Nanotechnologie wie beispielsweise in der Optik- oder Halbleiterfertigung und erschließen dort neue Anwendungen.

LITERATUR

- 1 J.P. Merlet: »Parallel Robots« (Solid Mechanics and Its Applications), Springer, New York 2006
- 2 »Parallel Kinematics Motion Systems«, <http://www.alioindustries.com>.
- 3 Hexapods (Stewart Platforms), Overview, <http://www.physikinstrumente.com>
- 4 Robotics, Hexapod, www.pimicos.com
- 5 »6-Axis Parallel Kinematic Positioning System«, www.newport.com
- 6 ASME B5.54-2005, Methods for Performance Evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers, 2005
- 7 ISO 230-2:2006(E), »Test Code for Machine Tools-Part 2: Determination of Accuracy and Repeatability of Positioning Numerically Controlled Axes«
- 8 N. Brown: »A Method for Performance Evaluation of Single Axis Positioning Systems: Point Repeatability«, Proceedings of the ASPE Annual Meeting, 2012, 56, pp. 483-488

AUTOR

NATHAN BROWN ist »Vice President of Engineering« bei Alio Industries und besitzt umfangreiche Erfahrung mit dem Design, der Entwicklung, Herstellung und Prüfung von Positioniersystemen.

www.laser-photonik.de/LP110261