

Modellbasierte Anforderungsanalyse für den Massenausgleich bei Delta-Robotern

Model Based Requirement Analysis for the Dynamic Balancing of Delta Robots

Christian Mirz¹, Mathias Hüsing¹, Yukio Takeda², Burkhard Corves¹

¹ RWTH Aachen University, Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik, Aachen, Deutschland
mirz@igmr.rwth-aachen.de

² Department of Mechanical Sciences and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokio, Japan

Kurzfassung

Eines der Hauptanwendungsgebiete von Industrierobotern liegt in der Handhabung von Objekten, speziell in Pick und Place Aufgaben. Hierbei wird ein Objekt durch ein Greifsystem aufgenommen und durch einen Manipulator an einem definierten Zielort positioniert. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, werden kurze Zykluszeiten und große Handhabungskapazitäten angestrebt. Eine typische Anwendung ist die Be- und Entladung von Transportbändern. Solche hochdynamischen Handhabungsaufgaben erfordern ein hohes Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht, hohe Positioniergenauigkeiten sowie hervorragende Steifigkeitseigenschaften. Parallele Manipulatoren erfüllen diese Anforderungen durch ihre besondere Architektur mit gestellseitigen Antrieben und damit geringen bewegten Massen. Die am weitesten verbreitete Manipulatorart innerhalb des Marktes der Parallelrobotik sind die Delta Roboter. [1]

Seit der Erfindung des Delta-Roboters durch Clavel wurde eine Vielzahl von Optimierungsstrategien zur Maßsynthese vorgeschlagen. Zunächst lag der Fokus der Optimierung dabei auf kinematischen Bewertungskriterien, wie z.B. der maximalen Aktuatorgeschwindigkeit [2]. Später wurden diese durch dynamische Bewertungskriterien, wie dem durchschnittlichen Leistungsbedarf, ergänzt. Dabei trägt die Berücksichtigung dynamischer Eigenschaften den wachsenden Anforderungen an eine energieeffiziente und nachhaltige Produktion Rechnung. Da die Optimierung der dynamischen Eigenschaften eines Systems tendenziell mit einer Reduktion der Massen und damit einer Verschlechterung der Steifigkeitseigenschaften einhergeht, verfolgen neue Ansätze das Ziel, Bewertungskriterien zur Dynamik und Steifigkeit zu kombinieren. So schlugen etwa Courteille et al. in [3] eine multikriterielle Optimierung vor, die globale Steifigkeitsindizes berücksichtigt, die auf Basis einer Strukturanalyse abgeleitet wurden. Zugleich wird die bewegte Masse des Roboters nach oben beschränkt, um eine zufriedenstellende Dynamik zu gewährleisten. Schließlich erfolgte in [4] eine Maßsynthese aufbauend auf Bewertungskriterien zur Kinematik, Dynamik und Steifigkeit. Dies ermöglicht über die Maßsynthese hinaus eine Geometrieoptimierung der Oberarme.

Um unzulässig hohe Schwingungen am Gestell zu verhindern, müssen die Delta-Roboter in vielen Industrieanwendungen jedoch mit reduzierter Geschwindigkeit betrieben werden oder es müssen Stillstandszeiten in der Bewegungsplanung vorgesehen werden, um ein Ausklingen der Schwingungen zu ermöglichen [7]. Dies führt dazu, dass das volle Potential der optimierten Delta-Roboter nicht ausgeschöpft werden kann.

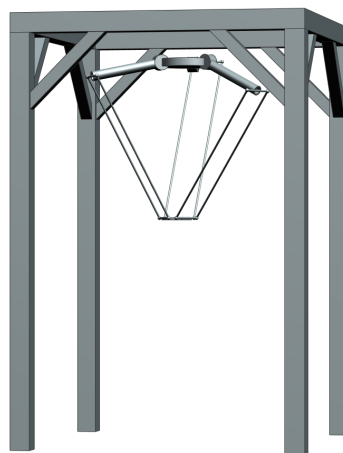


Bild 1 Exemplarische Aufhängung eines Delta Roboters in einem hohen und schlanken Rahmen um die Montage über einem Förderband zu ermöglichen

Zu erklären sind diese Schwingungen mit den hohen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, die erforderlich wer-

den, um die gewünschten kurzen Zykluszeiten zu erreichen. Diese bedingen hohe Trägheitskräfte und -momente, welche auf das Gestell wirken. Verschärft wird diese Problematik, durch die meist schlanke und hohe Struktur der Gestelle [6]. Hierdurch neigen sie gerade bei horizontalen Bewegungen des Roboters wie sie für Pick und Place Aufgaben typisch sind, zu seitlichen Schwingungen. Eine solche Struktur ist jedoch notwendig, da Delta Roboter im Allgemeinen hängend über Förderbänder montiert werden, um eine horizontale Ausrichtung des Arbeitsraumes zu erreichen. Einer Versteifung der Gestelle sind durch Bauraumrestriktionen und dem Wunsch nach einer offenen Gestaltung, um die Installation von Förderbändern und den Zugang für Wartungs- und Reinigungsarbeiten zu ermöglichen, Grenzen gesetzt. Um die Gestellschwingungen dennoch einzudämmen, werden die Roboter an sehr massiven Gestellen aufgehängt. Deren großer Platzbedarf und die aufwändige Verankerung erschwert den Einbau in Produktionsstraßen erheblich. Zudem können die hohen Kräfte, welche in das Fundament eingeleitet werden, Schwingungen an Maschinen in der Umgebung induzieren. Um diesem Problem zu begegnen, legen van der Wijk et al. in [5] die theoretische Grundlage zur Realisierung eines hinsichtlich der Trägheitskräfte dynamisch ausgeglichenen Delta-Roboters. Hierbei muss die kinematische Struktur um zwei weitere Glieder erweitert werden und die Masse des Roboters erhöht sich in etwa um das Dreifache. Ein Nachteil ist, dass die Kinematik und die Ausgleichsmassen anwendungsfallspezifisch ausgelegt werden müssen und der Einfluss der Beladung nicht vollständig kompensiert werden kann, da hierzu eine ständige Anpassung der Ausgleichsmassen nach jedem Be- bzw. Entladevorgang erfolgen müsste. Zudem wird gezeigt, dass für einen vollständigen Kraft- und Momentenausgleich ein zusätzlicher aktiver Mechanismus verwendet werden müsste. Neben dem hohen konstruktiven Aufwand [5] hat dieser Ansatz den Nachteil, dass die Steigerung der bewegten Masse bei hoch dynamischen Aufgaben, mit einer Steigerung der benötigten Antriebsmomente einhergeht. Hier bietet die Verwendung eines aktiven Ausgleichsmechanismus den Vorteil, dass er für jede Aufgabe gleich konstruiert und softwareseitig adaptiert werden kann. Zudem kann der aktuelle Beladungszustand bei einem aktiven Massenausgleich mitberücksichtigt werden, was besonders bei Aufgaben mit schweren Handhabungsobjekten Vorteile bietet.

Im Rahmen dieses Beitrags wird durch eine modellbasierte Anforderungsanalyse für den Massenausgleich bei Delta-Roboter die Grundlage für die Konstruktion eines Mechanismus zum aktiven Ausgleich der Gestellschwingungen bzw. der Trägheitskräfte gelegt. Bei einer räumlichen Bewegung, wie sie durch funktionell erweiterte Delta-Roboter ausgeführt werden, können bis zu drei unabhängige Gestellkräfte und Momente auftreten. Für einen vollständigen Massenausgleich muss der Ausgleichsmechanismus also sechs Freiheitsgrade besitzen. Um eine kompakte und einfache Konstruktion zu ermöglichen, sollen zunächst nur die für die dominierenden Gestellschwingungen ursächlichen Trägheitskräfte und -momente kompensiert werden. Um diese zu bestimmen werden die Reaktionskräfte in einem repräsentativen Referenzszenario basierend auf dem Adept Cycle berechnet und analysiert. Zudem erfolgt eine Modalanalyse eines repräsentativen Gestells, um über die errechneten Eigenmoden relevante Schwingungsformen zu identifizieren. Abschließend sollen die aus diesen Analysen gewonnenen Erkenntnisse und Anforderungen an einen aktiven Mechanismus zum Massenausgleich gemeinsam mit den Konferenzteilnehmern diskutiert werden.

Literatur

- [1] Brinker, J.; Corves, B.: *A Survey on Parallel Robots with Delta-like Architecture* The 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, DOI: 10.6567/IFToMM.14TH.WC.PS13.003 (2015)
- [2] Brinker, J.; Corves, B.; Takeda, Y.: *Kinematic performance evaluation of high-speed Delta parallel robots based on motion/force transmission indices* Mechanism and machine theory 125, 111-125. Springer (2018)
- [3] Courteille, E.; Deblaise, D.; Maurine, P.: *Design optimization of a delta-like parallel robot through global stiffness performance evaluation* Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5159-5166. IEEE (2009)
- [4] Mirz, C.; Uzsynski, O.; Angeles, J.; Takeda, Y.; Corves, B.: *Stiffness Optimization of Delta Robots* Romansy 23 Robot Design, Dynamics and Control, Vol 601. Springer (2020)
- [5] van der Wijk, V.; Herder, J.L.: *Dynamic balancing of Clavel's delta robot* Computational Kinematics, Springer https://doi.org/10.1007/978-3-642-01947-0_39 (2009)
- [6] Cheng, H.; Li, W.: *Reducing the frame vibrations of delta robot in pick and place application: An Acceleration Profile Optimization Approach* Shock and Vibration, Volume 2018, Article ID 2945314 (2018)
- [7] van der Wijk, V.: *Methodology for analysis and synthesis of inherently force and moment-balanced mechanisms: theory and applications* Dissertation University of Twente, Enschede (2014)

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

In: Siebte IFToMM D-A-CH Konferenz 2021

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/74054

URN: urn:nbn:de:hbz:464-20210217-101804-5

Alle Rechte vorbehalten.