

Regelung optischer Systeme – Automatisierungstechnik trifft Optoelektronik

Klaus Janschek und Christoph Stiller

Die aktuelle Bedeutung optischer Technologien

Die technische Optik ist eine Disziplin mit einem traditionsreichen Fundament und sie wird speziell in den letzten zwei Jahrzehnten geprägt durch die Fortschritte in der Optoelektronik. Das Medium Licht stellt dem Ingenieur in seinen vielfältigen Ausprägungsformen eine Vielfalt einzigartiger Eigenschaften zur Verfügung, um neue Anwendungen und Produkte entstehen zu lassen. Die technologische Beherrschung von an sich lange bekannten kohärenten optischen Phänomenen wie Beugung und Interferenz ermöglicht etwa neuartige Möglichkeiten der Abbildungstechnik, wie beispielsweise die 3D-Holografie. Licht kann bis auf den millionsten Teil eines Millimeters – Nanometer – gebündelt werden und im Bereich einer milliardstel Sekunde – Femtosekunde – gepulst werden. Zugleich kann man in einem solchen Bruchteil einer Sekunde in einem Laserstrahl eine Leistung von Millionen von Megawatt bündeln [1]. Atemberaubende Fortschritte in der Technologie für Bildaufnehmer (Imager) erleben wir in wachsender Auflösung, Empfindlichkeit und Dynamik sowie in einer Erweiterung der messbaren Parameter des Lichts. Zahlreiche neuartige Produkte im Bereich der optischen Kommunikationstechnik, Fertigungstechnik, Drucktechnik und Medizintechnik sind bereits heute verfügbar. Die ersten Schritte in die Biophotonik (zellbiologische Analyse und Eingriffe) und organische Lichttechnik sind zumindest auf wissenschaftlicher Ebene bereits gemacht.

Die große Bedeutung der optischen Technologien lässt sich auch aus vielfältigen aktuellen Initiativen auf nationaler Ebene [1; 2] und auf europäischer Ebene [3] ablesen.

Deutschland verfügt traditionsgemäß über einen starken Hintergrund in der Optik, man denke an Joseph von Fraunhofer (1787–1826), Carl Zeiss (1816–1888) bis hin zu Ernst Karl Abbe (1840–1905). Aber auch auf den neuen Arbeitsgebieten der Optoelektronik können die nationalen Einrichtungen aus Forschung und Industrie punkten. Seit Ende der 80er-Jahre hat sich Deutschland zu einem Weltmarktführer in vielen Gebieten der Lasertechnik entwickelt, bei den Laserstrahlquellen für die industrielle Fertigung kann man einen Weltmarktanteil von 40% verbuchen [1].

Diese Blitzlichter mögen verdeutlichen, warum wir gerade dieses Thema zu diesem Zeitpunkt als Schwerpunktthema ausgewählt haben. Wie steht es aber nun um die Rolle der Automatisierungstechnik in diesem pulsierenden Fachgebiet?

Automatisierungstechnik und optische Systeme

Für die folgenden Betrachtungen ist eine Strukturierung der optischen Systeme in folgende zwei Klassen hilfreich:

- *Abbildung von emittierter und reflektierter Strahlung*, z. B. Abbildungstechnik (Teleskope, Kameras), Messtechnik optischer Größen (Spektralanalyse, Interferenzverfahren) oder Methoden zur Bildgewinnung (synthetische Apertur, Bildfusion),
- *Erzeugung von emittierter Strahlung*, z. B. Laserquellen, Licht- und Beleuchtungstechnik, Projektionstechnik.

Viele dieser Anwendungen benötigen eine *aktive Beeinflussung der Photonenbewegung in einem geschlossenen Wirkungskreis*, um eine hochgenaue Einhaltung von optischen Parametern bei variablen Umweltbedingungen zu gewährleisten. In diesem Sinne spielt die Regelungstechnik bei modernen optischen Systemen also eine zentrale Rolle.

Sieht man die Regelung als eine systemtechnische Aufgabe, so sind noch eine Reihe zusätzlicher Fragestellungen zu lösen. Die Qualität der Messung der optischen Regelgrößen beeinflusst maßgebend die erreichbare Produktqualität – *you cannot control, what you cannot measure*. In sozusagen natürlicher Weise können für diese Messaufgabe moderne optoelektronische Komponenten und Technologien genutzt werden. Diese in gekonnter und geeigneter Weise zu integrieren, ist also eine weitere Herausforderung. Ein weiterer systemtechnischer Aspekt liegt in einer geeigneten Beeinflussung der optischen Parameter. Neben den neuartigen Möglichkeiten der rein optoelektronischen Beeinflussung ist es oftmals unvermeidlich, den Strahlengang aktiv mit hoher Präzision zu beeinflussen. Damit stehen auch schnell Fragen der geeigneten Präzisionsstelltechnik und die gesamte mechatronische Funktionsintegration im Mittelpunkt des Entwurfes von optischen Systemen.

Die Automatisierungstechnik spielt also auch hier die ihr zu eigene Rolle: sie ist gleichermaßen eine verborgene Technologie und eine Schlüsseltechnologie.

Zur Gestaltung des Schwerpunktheftes

Bei der Gestaltung dieses Schwerpunktheftes waren den Gastherausgebern folgende Aspekte wichtig:

- Darstellung einer *repräsentativen Anwendungsbandbreite* optischer Systeme: Die vorliegenden fünf Fachbeiträge beleuchten ganz unterschiedliche Anwendungen von der optischen Nachrichtentechnik bis hin zur hochpräzisen Fertigungstechnik.
- Konzentration auf Problemstellungen mit *höchsten technischen Anforderungen und Herausforderungen*: hier sollen die besondere Bedeutung einer ausgewogenen Systemauslegung und die vorteilhafte Anwendung der Automatisierungstechnik verdeutlicht werden – erst die Anwendung moderner Verfahren der Regelung, Messtechnik und Stelltechnik in Kombination mit modernsten optoelektronischen Technologien machen die vorgestellten Anwendungen möglich.
- Konzentration auf Problemstellungen mit einem *ausgeprägten Feedback-Charakter* und die detaillierte Darstellung der genutzten *automatisierungstechnischen Lösungsansätze*: Damit soll ein Eindruck vermittelt werden, welche typischen automatisierungstechnischen Problemstellungen vorliegen und welche Lösungsansätze (Methoden, Verfahren) sich hierfür bewährt haben. Gleichzeitig sollen damit für den werten Leser aber auch Anregungen verbunden sein, vielleicht eigene alternative Lösungsansätze in die Diskussion einzubringen.

Kurzeinführung in die Beiträge

Entsprechend der eingangs aufgestellten Klassifizierung optischer Systeme finden sich in diesem Schwerpunktheft drei Beiträge zu *abbildenden* optischen Systemen und zwei Beiträge zu *strahlungsemitternden* Systemen.

Der erste Beitrag von *Fedrigio, Kasper, Ivanescu* und *Bonnet* zeigt neue Wege zur Verbesserung der Auflösung von astronomischen Teleskopen durch eine so genannte aktive Optik auf. Dabei wird der Lichtweg der ankommenden Lichtwellenfront auf mechanischem Wege räumlich-zeitlich über verstellbare Teleskopspiegeelemente beeinflusst, um Phasenunterschiede durch Atmosphärenabsorption auszugleichen. Dieses an sich hochdimensionale Mehrgrößenregelungsproblem kann durch eine geeignete Systemauslegung orthogonalisiert und damit in (weitgehend entkoppelte) Eingrößensysteme transformiert werden. Die erfolgreiche Anwendung der verwendeten Regelungskonzepte in den weltweit einzigartigen Teleskopen des European South Observatory wird durch eindrucksvolle astronomische Bilder demonstriert.

Ein neuartiges Konzept zur Bewegungskompensation für hochauflösende Fernerkundungskameras wird im zweiten

Beitrag von *Janschek, Tchernykh, Dyblenko* und *Flandin* vorgestellt. Hierbei wird eine Verbesserung der Bildschärfe bei bewegter Kamera durch eine mechanische Korrektur des Lichtweges erreicht. Die Anwendung modernster optoelektronischer Informationsverarbeitung in Form eines optischen Korrelators erlaubt die Nutzung eines hochgenauen Bildsignals als Messgröße in einem geschlossenen Regelkreis nach dem Prinzip des Visual Servoing.

Einen ganz anderen Lösungsansatz für ein abbildendes System mit einer Regelschleife stellen *Beyerer* und *Puente León* im dritten Beitrag vor. Zur Verbesserung der Bildqualität, d. h. Erhöhung des Informationsgehaltes, werden in einem Sichtprüfungssystem über eine iterative Exploration die optischen Aufnahmeparameter in einem geschlossenen Wirkungskreis gezielt variiert. Der Bildakquisitionsprozess wird dadurch im Hinblick auf einen aufgabenspezifischen Informationsgewinn geregelt. In einem Schritt haltenden Fusionsprozess wird ein Resultatbild generiert, das in seinem Informationsgehalt jedem mit fester optischer Konfiguration aufgenommenen Bild überlegen ist.

Im ersten Beitrag zu strahlungsemitternden Systemen stellen *Frapard, Griser* und *Guyot* ein satellitengestütztes optisches Nachrichtensystem vor. Dabei wird eine breitbandige Informationsübertragung über sehr große Entfernungen mittels eines hochgenau ausgerichteten Laserstrahles als Lichtträger erreicht. Ein H ∞ -basierter Lösungsansatz bietet innerhalb eines optomechatronischen Regelkreises die Möglichkeit einer robusten mechanischen Korrektur des Laserlichtweges. Eindrucksvolle Resultate einer weltweit ersten (nichtmilitärischen) Intersatellite Link Optical Communication belegen die vorgestellte Vorgehensweise.

Der zweite Beitrag zu strahlungsemitternden Systemen führt in die industriell und medizintechnisch äußerst bedeutende Anwendungsklasse lasergesteuerter Fertigungs- und Bearbeitungssysteme ein. *Bollig, Mann, Beck* und *Kaierle* beschreiben anhand eines automatisierten Laserschweißprozesses grundsätzliche Funktionsprinzipien zur Lasertechnik und zur optischen Messtechnik von Prozessparametern der gesteuerten Laserquelle. Ein Ansatz zur modellbasierten prädiktiven Regelung und deren Einbindung in eine Automatisierungsstruktur belegt deutlich den erzielbaren Mehrwert moderner Automatisierungstechnik als Schlüsseltechnologie für anspruchsvollste optische Systeme.

Weitergehende Informationen zu optischen Systemen

Die fünf vorgestellten Beiträge können nur einige Schlaglichter auf die umfangreiche Bandbreite moderner optischer Systeme werfen. Für den in dieser Richtung interessierten Leser seien deshalb noch einige weiterführende Referenzen aufgeführt.

Die Thematik der Regelung von optischen Systemen wird sehr breit und fundiert innerhalb der optischen Fachgemeinschaft auf unterschiedlichen Ebenen diskutiert [4], sie

hat aber ebenso Wurzeln innerhalb der engeren Automation and Control Community [5]. Auch in der GMA treiben verschiedene Fachausschüsse vielfältige Anwendungen optischer Technologien und deren Regelung voran [6]. Beispielfhaft seien FA 3.32 *Optische 3D-Messtechnik* und 3.50 *Bildverarbeitung* genannt.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Optische Technologien – Mit Licht in die Zukunft, www.bmbf.de/de/3591.php.
- [2] www.optischetechnologien.de.
- [3] Europäische Union, Information Society Technologies: Optical, opto-electronic, and photonic functional components, www.cordis.lu/ist/so/photonic-components/home.html.
- [4] SPIE – The International Society for Optical Engineering, www.spie.org.
- [5] IEEE Laser & Electro-Optics Society, www.i-leos.org.
- [6] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, GMA, www.vdi.de/gma.



Prof. Dr. techn. Klaus Janschek ist geschäftsführender Direktor des Institutes für Automatisierungstechnik an der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Dresden. In der GMA leitet er den Fachbereich 4 – Aktoren und Stellsysteme, Mechatronik und Robotik – sowie den Fachausschuss 4.15 – Mechatronik. Hauptarbeitsfelder: Systementwurf, Teleautomation, mobile Robotik, Navigation, optische Bildverarbeitung.

Adresse: Institut für Automatisierungstechnik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Tel.: +49-351-463-34025,

E-Mail: janschek@ifa.et.tu-dresden.de



Prof. Dr.-Ing. Christoph Stiller ist Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Instituts für Mess- und Regelungstechnik der Universität Karlsruhe (TH). In der GMA leitet er den Fachbereich 3 – Sensoren und Messsysteme für die Fertigungstechnik. Hauptarbeitsfelder: Maschinelles Sehen, Automatische Sichtprüfung, Mobile Umfeldwahrnehmung, Fahrerassistenzsysteme und Informationsfusion.

Adresse: Institut für Mess- und Regelungstechnik, Universität Karlsruhe (TH), Engler-Bunte-Ring 21, 76131 Karlsruhe, Tel.: +49 (721) 608-2325, E-Mail: stiller@mrt.uka.de