



STAND DER TECHNIK UND ZUKUNFT OPTISCHER 3D-MESSTECHNIK

Flexibel und adaptierbar

Die Koordinatenmesstechnik gilt als universelles Verfahren, wenn in der Fertigung geometrische Größen zu messen sind. Diese lassen sich inzwischen auch mit optischer 3D-Messtechnik erfassen. QZ sprach mit Dr.-Ing. Dirk Berndt vom Fraunhofer IFF, Magdeburg, über den Stand der Technik und die Zukunft der optischen Verfahren.

QZ Optische 3D-Messtechnik ist ein weites Feld. Gibt es eine klare Definition?

Berndt Die Verfahren der optischen 3D-Messtechnik nutzen optisch messende Sensoren. Erfasst werden Abstandsinformationen zu Objekten, deren Gestalt oder Oberflächenstruktur. Jeder zum Einsatz kommende optisch messende Sensor besteht aus einer Sendeeinheit, die ein Lichtsignal aussendet, und einem Empfänger, der ein vom Objekt reflektiertes Lichtsignal erfasst. Als Empfänger werden Fotodioden, CCD- oder CMOS-Sensoren eingesetzt, die das Lichtsignal – unter Benutzung des photoelektrischen Effekts – in ein elektrisches Signal umwandeln.

QZ Welche grundlegenden Messverfahren kommen hier zum Einsatz?

Berndt Im Wesentlichen das Laufzeitverfahren, die interferometrischen Verfahren und die Triangulation. Beim Laufzeitverfahren messen Sie die Zeit des zweifach zurückgelegten Weges zwischen Sensor, Objekt und Empfänger. Damit lassen sich ohne weiteres Messvolumen von mehreren zehn Metern bei einer Messunsicherheit von wenigen Millimetern erreichen. Beispiele sind Laserscanner, mit denen komplette Fabrikanlagen, Gebäude oder Verkehrsinfrastrukturen gemessen werden können. Für Messaufgaben zur Qualitätssicherung in der industriellen Produktion genügt die erreichbare Messunsicherheit in der Regel nicht.

QZ Wie sieht das bei interferometrischen Verfahren aus?

Berndt Die Interferometrie kann geometrische Merkmale in sehr kleinen dimensionellen Messvolumen, üblicherweise einige Millimeter, erfassen. Die Auflösung dieser Verfahren kann wenige Nanometer errei-

chen. Deshalb kann man damit Schichtdicken oder Oberflächenrauheiten sehr gut untersuchen.

QZ Und wie verhält es sich mit der Triangulation?

Berndt Die triangulationsbasierten Verfahren bewähren sich bei der Überprüfung von geometrischen Funktionsmaßen in allen Bereichen der industriellen Fertigung. Bekannt sind Messsysteme, die geometrische Objektinformationen punktförmig, linien- oder flächenhaft erfassen. Typische Messvolumina reichen von einigen Kubikzentimetern bis zu einem Kubikmeter. Dabei werden Messunsicherheiten zwischen einhundert und wenigen Mikrometern erreicht.

QZ Welche Bedeutung hat das Laserlichtschnitt-Messverfahren?

Berndt Das ist ein linienhaft messendes Verfahren der Triangulation. Üblicherweise erzeugt eine Laserdiode mit Spezialoptik eine Lichtebeine, die das zu messende Objekt schneidet, sodass sich ein Lichtschnitt



abbildet. Dieser Lichtschnitt wird zusätzlich in Abhängigkeit der Objektgestalt verformt. Eine Kamera nimmt diesen Lichtschnitt auf und berechnet mit trigonometrischen Verfahren dreidimensionale Oberflächenmesspunkte entlang der Lichtschnittkontur.

QZ Wo liegen die Vorteile gegenüber der flächenhaft messenden Triangulation?

Berndt Laserlichtschnittsensoren sind besonders für Inline-Lösungen geeignet. Sie lassen sich in Fertigungsprozesse integrieren und sind robust gegenüber Fremdlicht und Änderungen der optischen Eigenschaften der Messobjektoberfläche. Für komplexe Objektgeometrien lassen sich mehrere Lichtschnittsensoren miteinander kombinieren.

QZ Was ist von der Technik der Fokus-Variation zu halten?

Berndt Dies ist ein Verfahren, mit dem sich in kleinen Messvolumina sehr hohe Auflösungen bei der Erfassung von Form und Rauheit erreichen lassen. Die Fokus-Variation nutzt die geringe Schärfentiefe technischer Optiken aus und ist in der Lage, auch sehr steile Flanken zu messen.

QZ Was ist zur Holografie zu sagen?

Berndt Dieses interferometrische Messverfahren spielt in der Optik-Industrie eine

taktile Koordinatenmesstechnik ausgedient hat. Die 2D-Messtechnik ist überall dort geeignet, wo geometrische Merkmale an sehr flachen Bauteilen gemessen werden müssen. Wenn Sie sicherstellen können, dass das Bauteil relativ zum Messsystem im rechten Winkel ausgerichtet ist, können Sie Abstände, Bohrungen und Radien an den Bauteilen zuverlässig messen; mit optischer 3D-Messtechnik ist das nicht zuverlässig möglich.

QZ Für viele Messaufgaben gibt es Lösungen auf der Basis unterschiedlicher Messprinzipien. Konkurrenz belebt das Geschäft. Wird es am Ende nicht das Phänomen „The winner takes it all“ geben?

Berndt Es ist korrekt, dass am Markt eine große Vielfalt an optischen 3D-Messverfahren angeboten werden, die jeweils ihre Daseinsberechtigung für bestimmte Messaufgaben haben. Insofern ist es für einen potenziellen Anwender sehr schwierig, den für ihn geeigneten Anbieter auszumachen. Meine Empfehlung wäre: Der Anwender sollte seine messtechnische Aufgabenstellung möglichst präzise formulieren und sich erst dann an Anbieter wenden. Kompetente Beratung bei der Beschreibung der Messaufgabe und der Auswahl des jeweils geeigneten Messverfahrens ist absolut sinnvoll. Eine messtechnische Lösung

„Etabliert haben sich 3D-Lösungen für einfache Messaufgaben.“

große Rolle. Es können geringfügige Formabweichungen optischer Baugruppen bestimmt werden. Ansonsten sind mir, bis auf wenige Ausnahmen wie die Erfassung der Topografie von Dichtflächen, keine holografischen Systeme in der Produktion bekannt.

QZ Nach der Fraunhofer-Marktstudie zur optischen 3D-Messtechnik von 2009 ersetzt zunehmend 3D-Messtechnik die 2D-Verfahren. Hat die optische 2D-Messtechnik ausgedient?

Berndt Die optische 2D-Messtechnik hat nicht ausgedient, genauso wenig wie die

für alle Messaufgaben ist nicht sinnvoll. Neben technischen Auswahlkriterien ist auch die Wirtschaftlichkeit einer Lösung zu bewerten.

QZ Auf der Website des IFF heißt es zur optischen 3D-Messtechnik: „Neue Anwendungsfelder werden erschlossen, wenige sind bereits realisiert.“ Ist das so zutreffend? Die Industrie bewirbt vielfältige Anwendungen.

Berndt In den vergangenen Jahren ist es der Industrie gelungen, die optische 3D-Messtechnik in vielen Bereichen der Produktion einzusetzen. Etabliert haben »



sich Lösungen für einfache Messaufgaben, bei denen überwiegend Einzelsensoren Geometrie-Merkmale erfassen. Für spezialisierte Anwendungen mit mehreren gleichwertigen Sensoren oder Multisensoranordnungen in einem gemeinsamen Messsystem sind die notwendigen Technologien in der Breite noch nicht verfügbar.

QZ Multisensorsysteme waren in den letzten Jahren so etwas wie ein Highlight.

Berndt Ich sehe darin weiterhin ein Zukunftsthema. Die Multisensorik erfordert ja, dass Sie Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien und unterschiedlicher Art der Messdatenerfassung, zum Beispiel triangulationsbasierte Sensoren, Thermografiekameras und laufzeitbasierte PMD-Kameras (Anm. d. Redaktion: Photomisch-

und die jeweiligen Schwächen neutralisiert werden. Wenn Sie zum Beispiel eine Bohrung vermessen und den Abstand zwischen der Bohrung und einer Freiformfläche bestimmen wollen, dann brauchen Sie bereits Verfahren der Sensorfusion.

QZ Was muss getan werden, um Multisensorsysteme für den Einsatz in der Industrie zu qualifizieren?

Berndt Um solche Systeme technologisch zuverlässig und wirtschaftlich im Fertigungstakt einsetzen zu können, reicht es nicht aus, dass Sie verschiedene Sensoren über das Messobjekt verteilen und damit Einzelmerkmale erfassen. Sie müssen komplexe Sensoranordnungen in die Lage versetzen, zuverlässig vernetzt zu arbeiten. Technologien der Sensorkalibrierung und

weichungen durch Werkzeugverschleiß mit Kompensationsmaßnahmen reagieren und Werkzeuge nicht schon nach vordefinierten Instandhaltungsvorschriften wechseln. Damit sparen Sie massiv Kosten.

QZ In welchen Anwendungsbereichen wird sich die optische 3D-Messtechnik in den nächsten zehn Jahren durchsetzen?

Berndt Im Grundsatz ist optische 3D-Messtechnik eine Querschnittstechnologie, die nicht spezifisch für eine Branche entwickelt wurde. Bisher hat sie überall dort Einzug gehalten, wo ein Produkt in einer großen Stückzahl hergestellt wird, zum Beispiel in der Automobilindustrie und bei deren Zulieferern. Künftig werden die Anforderungen an die Produktion hinsichtlich Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit steigen. Ein Produkt wird nicht mehr unverändert über Jahre hinweg produziert. Die Stückzahlen der Produkte werden weiter sinken und zugleich die Detailänderungen im Produktlebenszyklus zunehmen.

Mit dem Trend zur Änderung von Produkten und Produktionsverfahren muss die optische 3D-Messtechnik Schritt halten. Ein Beispiel ist der Einsatz neuer Leichtbaumaterialien zur Herstellung von Großstrukturen im Flugzeugbau, im Fahrzeugbau und in der Windkraftanlagenherstellung. Hier kommen neue Herstellungsverfahren zum Einsatz. Die Leichtbaumaterialien haben andere optische Eigenschaften als die bisher überwiegenden metallischen Werkstoffe. Diesen Anforderungen muss die optische 3D-Messtechnik Rechnung tragen.

„Flexiblen und adaptierbaren Messsystemen gehört die Zukunft.“

detektor, englisch: Photonic Mixing Device), hinsichtlich ihrer Messsignale fusionieren können. Die sogenannte Sensorfusion ist nicht nur für die Koordinaten-, sondern auch für die Inline-Messtechnik eine große Herausforderung.

QZ Was bedeutet Sensorfusion genau?

Berndt Sensorfusion ist die algorithmische Kombination von Messwerten. Es können gleichwertige Sensoren, beispielsweise mehrere Triangulationssensoren, oder unterschiedliche, wie Triangulationssensor und Thermografiekamera, kombiniert werden. Ein Vorteil dieser Kombination liegt darin, dass sich Merkmalsinformationen vervollständigen lassen. Wenn Sie mehrere Lichtschnittsensoren für eine Rundummessung eines Bauteils verwenden, bekommen Sie ein vollständiges Gesamtbild. Sie können auch Merkmalsinformationen um eine Dimension erweitern, indem Sie mit einem Kamerasystem Texturinformationen der Bauteiloberfläche aufnehmen und mit optischen 3D-Sensoren die Bauteilgeometrie erfassen. Durch Sensorfusion können weiterhin die Stärken der eingesetzten Sensortechnologien vereint

des Einmessens von Multisensoranordnungen sind erforderlich, damit alle Messdaten in ein gemeinsames Koordinatensystem überführt werden können. Und schließlich werden Technologien zur automatischen Auswertung aller erfassten Daten benötigt, die mit dem Fertigungstakt Schritt halten können.

QZ Damit sind wir bei der Inline-Messtechnik, deren Vorteile das Fraunhofer IFF sehr stark bewirbt.

Berndt Der Vorteil liegt insbesondere darin, dass Sie sehr schnell und kontinuierlich einen Überblick über die Qualität der Produkte bekommen, Abweichungen sehr schnell erfassen und interpretieren können sowie insbesondere Serienfehler vermeiden können. Ein Vorteil liegt auch darin, dass aufgefundene Fehler, zum Beispiel in der Montageprüfung, unmittelbar an der Stelle des Fehlerverursachers behoben werden können. Alle diese Maßnahmen tragen zu einer erheblichen Einsparung von Ressourcen bei. Sie können darüber hinaus die Standzeit von Produktionsanlagen verlängern, wenn Sie den Prozess überwachen und auf erkannte Bauteilab-

Dr.-Ing. Dirk Berndt,



geb. 1966, ist Leiter des Geschäftsfelds Mess- und Prüftechnik am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg.

Kontakt

Fraunhofer IFF

Dr. Dirk Berndt

dirk.berndt@iff.fraunhofer.de

Halle 1, Stand 1602



QZ Wie stellen Sie sich das vor? Soll es möglich sein, die ohnehin schwer realisierbaren Multisensorsysteme auch noch schnell an geänderte Produkte und Fertigungsverfahren anzupassen?

Berndt Es besteht für die deutsche Wirtschaft im globalen Wettbewerb die Herausforderung, Technologien zu schaffen, die mit den Anforderungen der Produktion technisch und wirtschaftlich Schritt halten können. Wir brauchen also Messsysteme, die sehr schnell auf andere oder veränderte Produkte umkonfiguriert werden können. Dazu werden modellbasierte Prüftechnologien erforscht, die auf Basis von Modellinformationen des Produkts, zum Beispiel CAD-Daten und Werkstoffeigenschaften, einerseits und von Messsimulationen des Messsystems andererseits eine neue Prüfablaufplanung und eine Berechnung von Sollinformationen automatisiert und in Echtzeit ermöglichen. Damit besteht die Möglichkeit, diese Messsysteme auch da einzusetzen, wo keine großen Losgrößen produziert werden und die Produktvielfalt sehr hoch ist, zum Beispiel im Flugzeugbau. Eine weitere wichtige Voraussetzung ist, dass sich die optischen 3D-Messsysteme adaptiv an die sich ändernden Umgebungsbedingungen, zum Beispiel Temperatur, Farbe, Rauheit, Reflektivität, anpassen.

QZ Gibt es eine Plattformstrategie?

Berndt Selbstverständlich. Neue fertigungs- und messtechnische Anforderungen ziehen Neuentwicklungen nach sich und führen zu einer Funktionserweiterung der Technologieplattform. Am Fraunhofer IFF nennen wir diese Plattform OptoInspect 3D. Wir achten sehr darauf, was der Markt von der optischen 3D-Messtechnik fordert. Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft haben wir eine Technologie-Roadmap erarbeitet, die alle Technologien auflistet, die in nächster Zeit für eine bedarfsgerechte Entwicklung der 3D-Inline-Messtechnik benötigt werden. Flexiblen und adaptierbaren Messsystemen gehört die Zukunft.

QZ Sieht man von dieser Herausforderung ab, welche Hindernisse stehen dem Erfolg der optischen 3D-Inline-Messtechnik noch im Wege? Sind individuelle Systeme kostenintensiv?

Berndt Individuelle Systeme sind an spezielle Messaufgaben und besondere Produktionsbedingungen angepasst. Sie sind im Moment noch weitaus kostenintensiver als standardisierte Messsysteme, weil sie ein

höheres Maß an Engineering in der Entwicklung benötigen und in der Erstinbetriebnahme einen höheren Optimierungsaufwand aufweisen. Um diese Schere weiter zu schließen, sind Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des digitalen Engineerings von optischen Messsystemen erforderlich. Das digitale Engineering ermöglicht zum Beispiel über Messsimulationen eine Bewertung der messtechnischen Funktionseigenschaften des Messsystems, bevor ein Messsystem physisch existiert. Damit kann der Aufwand für Entwicklung und Inbetriebnahme reduziert werden.

QZ Sind Einführungsprojekte mit unsicherem Ausgang und zu hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit ein Problem?

Berndt Solange Sie keine Werkzeuge und Technologien haben, mit denen Sie die Funktionalität von aufgabenangepassten, neu entwickelten Messsystemen überprüfen können, haben die Projekte ein sehr hohes Risiko bezüglich des technischen Erfolgs und des damit verbundenen wirtschaftlichen Aufwands.

Die hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit sind kein sehr großes Problem, weil optische Systeme den Vorteil haben, dass sie berührungsfrei arbeiten. Es findet kein mechanischer Verschleiß statt. Kameras und Beleuchtungssysteme haben eine hohe Entwicklungsreife erreicht, arbeiten sehr zuverlässig und robust. Sie erfordern auch wenig Wartungsaufwand.

QZ Stellt die Verschmelzung von Mess- und Automatisierungstechnik ein Problem dar?

Berndt Im Allgemeinen lassen sich Anforderungen an die Messtechnik und die Automatisierungstechnik trennen. Denn Automatisierungstechnik sorgt dafür, dass ein Bauteil zu einem bestimmten Zeitpunkt dem Messsystem in einer definierten Lage präsentiert wird. Das Messsystem arbeitet dann autark und gibt am Ende der Prüfung an die Automatisierungstechnik die Freigabe, das geprüfte Bauteil weiterzutransportieren. Die Kommunikation zwischen Automatisierungstechnik und Messtechnik sehe ich nicht als eine sehr große Herausforderung an.

Das Gespräch führte Johannes Kelch.

Mehr zum Thema

Bilder zu optischer 3D-Messtechnik:

www.qz-online.de/432736