

MULTISENSOR-ASSISTENZSYSTEM OPTIMIERT MESSPROZESSE VIRTUELL

Gegen die zitternde Hand

Klaus Haskamp, Markus Kästner und Eduard Reithmeier, Hannover

Bei kleiner werdenden Bauteiltoleranzen spielt die Qualitätssicherung innerhalb des Produktionsprozesses eine immer wichtigere Rolle. Die Qualitätssicherung muss gewährleisten, dass die signifikanten Geometriebereiche mit einer Messunsicherheit gemessen werden können, die um ein Vielfaches kleiner ist als die vom Konstrukteur vorgegebenen Bauteiltoleranzen. Der eigentlichen Anwendung geht eine umfassende Messunsicherheitsanalyse voraus, die für jedes Bauteil oder Geometrieelement und somit für jeden messtechnischen Einzelfall gesondert durchgeführt werden muss. Als Ergebnis erhält der Anwender eine Abschätzung über die zu

Bei Qualitätsprüfungen muss die Messunsicherheit des Messgeräts unterhalb der Bauteiltoleranzen liegen. Der vom Anwender verursachte Beitrag zur Messunsicherheit kann diesen Anspruch beispielsweise in der optischen Messtechnik vereiteln. Mit dem virtuellen Multisensor-Assistenzsystem der Leibniz Universität Hannover lässt sich der Anwenderanteil an der Messunsicherheit reduzieren.

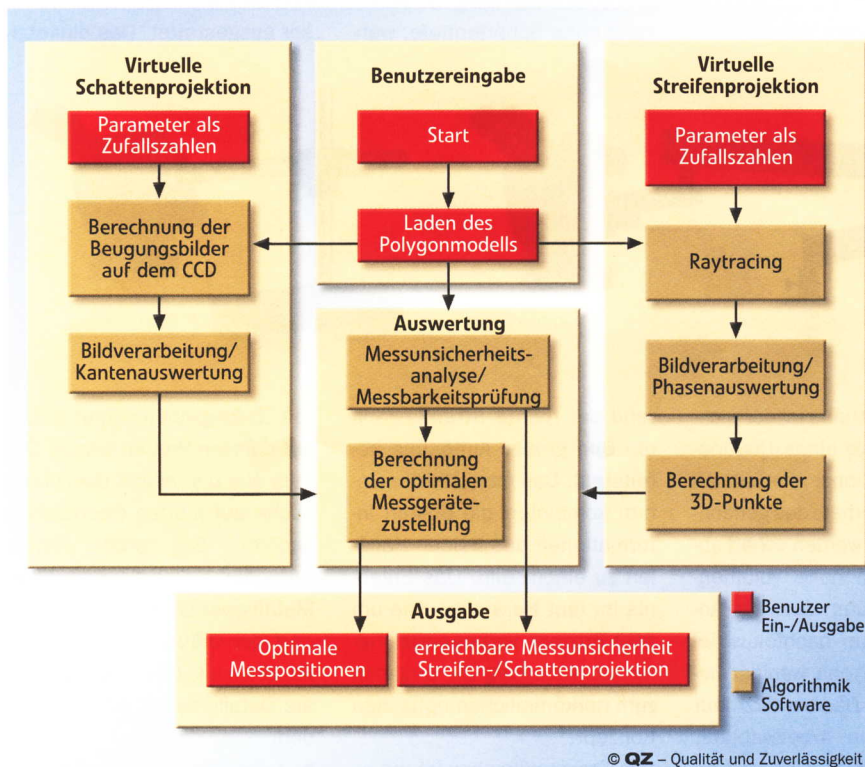
erreichende Messgenauigkeit beziehungsweise über die verbleibende Messunsicherheit.

Für die Bauteilprüfung bietet sich die optische Messtechnik an, da sie die Werkstückkontur berührungslos und meist in wenigen Sekunden mit einer hohen Punktdichte abtastet. Nachteilig ist dabei – wie bei taktilen Messmethoden –, dass der Anwender wesentlich zur Güte des Messergebnisses beiträgt. Im ungünstig-

ten Fall kann das Bauteil nicht hinsichtlich der geforderten Bauteiltoleranzen geprüft werden, obwohl bei einer Umorientierung des Messsystems gegenüber dem Messobjekt die Messunsicherheit weit unterhalb der Bauteiltoleranzen liegen würde. Derartige Probleme können mithilfe virtueller Messtechnik gelöst werden.

Messung ausschließlich im Rechner

Mit dem virtuellen Messsystem lassen sich der Messvorgang und die Messunsicherheitsanalyse vollständig simulativ abbilden. Dies führt zu einer erheblichen Reduktion des Zeit- und Kostenaufwands im Vergleich zur eigentlichen Unsicherheitsanalyse. An der Leibniz Universität Hannover wurde ein virtuelles Messsystem entwickelt, mit dem für eine fixe Ausrichtung des Bauteils die Messunsicherheit abgeschätzt werden kann [1]. Allerdings können keine Aussagen zu einer optimalen Ausrichtung abgeleitet werden. Mit einem weiteren virtuellen Messsystem kann die optimale Zustellung eines Streifenprojektionssensors zur Werkstückoberfläche hinsichtlich der Vollständigkeit und einer Minimierung der Messunsicherheit berechnet werden [2]. Da in der Regel mit einem Messsystem nicht die ganze Werkstückoberfläche erfasst werden kann, werden üblicherweise verschiedene Messgeräte mit Linear- und Rotationsachsen zu einem Multisensor-system kombiniert. Damit besteht neben der flexiblen Zustellung der einzelnen



© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit

Bild 1. Ablaufschema der virtuellen Messung mit Benutzerschnittstellen

Sensoren auch die Auswahlmöglichkeit, welches Messsystem zur Messaufgabe eingesetzt werden sollte. Mit dieser Fragestellung und mit der Entwicklung eines virtuellen Multisensor-Assistenzsystems befasst sich ein aktuelles Projekt der Leibniz Universität Hannover.

Das Assistenzsystem besteht aus einem Schattenprojektionssystem mit integrierter Linear- und Drehachse und einem Streifenprojektionssensor, der an einem 3-Achs-Positioniersystem befestigt ist. Virtuelle Bauteile in Form von Polygonmodellen werden von den virtuellen Messgeräten gemessen. Auf Basis von Monte-Carlo-Methoden erfolgen die Messunsicherheitsanalyse und die Messbarkeitsprüfung der Bauteile (Bild 1).

Der verwendete Streifenprojektionssensor besteht aus einem Projektor und einer Kamera. Die Projektionseinheit beleuchtet das Messobjekt mit strukturiertem Licht (Lichtstreifen) unter dem Triangulationswinkel. Die Kamera erfasst die von der Objektoberfläche deformierten Streifen. Mittels Bildverarbeitung wird der Zusammenhang zwischen den Kamerapixeln und der Projektorphase ermittelt und mittels Triangulation zur Objektrekonstruktion verwendet. Im Modell sind neben den äußeren Parametern alle inneren Parameter, wie optische Verzeichnungen, mit berücksichtigt. Zur Beschreibung von Glanzlichteffekten wurden verschiedene Beleuchtungsmodelle implementiert, um das wirkliche Sensorverhalten möglichst realistisch abzubilden. Alle Systemparameter sind durch einen Kalibrierprozess vollständig bestimmt worden. Mit den Parametern und geeigneten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen kann dann die Messunsicherheit mittels Monte-Carlo-Methoden abgeschätzt werden. Zur Verifikation wurden die abgeschätzten Unsicherheiten mit Unsicherheiten verglichen, die am realen System durch Wiederholmessungen ermittelt wurden. Für die maximal aufgetretene Abweichung wurde ein Wert unterhalb von 18 Mikrometern ermittelt.

Vollständige Simulation des Messvorgangs

Schattenprojektionssysteme werden zur Konturmessung von Bauteilen eingesetzt. Hierfür wird das Messobjekt von einer Seite mit parallelem monochromatischem Laserlicht beleuchtet. Die Lichtebene wird vom Objekt unterbrochen. Der projizier-

te Schatten wird mithilfe einer CCD-Zeilenkamera erfasst, welche mit einer telezentrischen Projektionsoptik ausgestattet ist. Um die Abmessungen des projizierten Schattens zu berechnen, müssen die Schattengrenzen ausgewertet werden. Hierfür werden die Grauwerte zwischen Hell-/Dunkel-Übergängen mit Subpixelmethoden ausgewertet und mit Polynomfunktionen interpoliert. Die Schattengrenze wird dort lokalisiert, wo die interpolierten Grauwerte eine zuvor definierte Digitalisierungsschwelle unterschreiten.

Die Simulation basiert auf der Wellenoptik. Um die Simulation anwendungsgerecht zu gestalten, muss die Berechnungszeit auf ein Minimum reduziert werden. Hierfür wurde eine spezielle, auf der Interpolation von elektrischen Feldern basierende Algorithmik entwickelt. Zur weiteren Geschwindigkeitssteigerung wird diese Simulation auf die leistungsfähige Grafikkarte des verwendeten Computers ausgelagert. Durch die Algorithmik und die Auslagerung der Berechnungen konnte die Berechnungszeit um einen Faktor von rund $1,5 \cdot 10^5$ auf 15 Sekunden pro virtueller Einzelmessung reduziert werden. Um mithilfe des virtuellen Modells Unsicherheiten abzuschätzen, müssen alle Parameter durch einen geeigneten Kalibrierprozess identifiziert werden. Dies ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.

Das Anwendungsgebiet für das virtuelle Multisensor-Assistenzsystem ist vielfältig. Neben der Auslegung von bauteilspezifischen Messstrategien kann das System für Untersuchungen zur Messdatenfusion unterschiedlicher Messgeräte herangezogen werden. Es können virtuelle Messwerte auf Basis von CAD-Modellen erzeugt werden, die sich dann für die Untersuchungen heranziehen lassen. So lässt sich beispielsweise vor realen Messungen abschätzen, welchen Einfluss die Messunsicherheiten der einzelnen Messgeräte auf die Datenfusion nehmen.

Ein weiterer Anwendungsfall ist die Kalibrierung der Einzelsysteme oder des Gesamtsystems. Der Kalibrierkörper beeinflusst wesentlich die Güte der Kalibrierung. Mit dem virtuellen System kann vor realen Messungen untersucht werden, wie ein geeigneter Prüfkörper gestaltet werden muss, um möglichst gute Kalibrierergebnisse zu erzielen. Zusätzlich kann analysiert werden, wie stark die einzelnen Systemparameter Einfluss auf die Kalibrierungsgüte nehmen. □

Projekt

Die Ergebnisse dieser Arbeit resultieren aus dem Teilprojekt B5 „Vollständige fertigungsnahe Geometrieprüfung“ des Sonderforschungsbereichs 489 „Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Literatur

- 1 Böttner, T.: Untersuchungen zur Messunsicherheit mit Hilfe eines virtuellen Streifenprojektionssystems. Dissertation, Leibniz Universität Hannover 2008
- 2 Weckenmann, A.; Hartmann, W.; Weickmann, J.: Model and simulation of fringe projection measurements as part of an assistance system for multi-component fringe projection sensors. In: Duparré, A.; Geyl, R. (Hrsg.): Proceedings of SPIE (2008) 7102, S.

Autoren

Dipl.-Ing. Klaus Haskamp, geb. 1984, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Markus Kästner, geb. 1975, leitet diese Arbeitsgruppe.

Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier, geb. 1957, leitet das Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

Kontakt

Klaus Haskamp
T 0511 762-4284
klaus.haskamp@imr.uni-hannover.de

www.qm-infocenter.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **QZ110310**