

Forschungsergebnisse

Photonik, Mikroelektronik, Informationstechnik: Intelligente optische Sensorik

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Intelligenter optischer Sensor zur 2D/3D Objekterfassung und
dimensionellen Messtechnik

Intelligenter optischer Sensor zur 2D/3D Objekterfassung und dimensionellen Messtechnik

Im Rahmen der Ausschreibung „Photonik, Mikroelektronik, Informationstechnik: Intelligente optische Sensorik“ der Baden Württemberg Stiftung gGmbH forschen das Institut für Technische Optik (ITO) und das Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS) der Universität Stuttgart an einem neuen hybriden Sensorkonzept mit telezentrischer, diffraktiver Optik und Echtzeit-Bildverbesserung für die 3D Produkt-Inspektion. Bei der Entwicklung stand das multidisziplinäre Zusammenwirken von Optik und Echtzeit-Bildverarbeitung im Vordergrund.

Die Vision zukünftiger Fertigung und Produktionsautomatisierung durch selbstregulierende Systeme in der sogenannten „Industrie 4.0“ fordert Sensoren und Aktoren die digital vernetzt arbeiten. Optischen Sensoren kommt hierbei aufgrund der hohen Datenerfassungsraten, der berührungslosen Arbeitsweise und der hohen erzielbaren Genauigkeiten traditionell eine besondere Bedeutung zu.

Ziel des Projekts war die Untersuchung und Realisierung interdisziplinärer neuer Techniken zur 2D/3D Inspektion technischer Oberflächen und Produkte mit Abmessungen bis ca. 200 mm. Das Gesamtsensorkonzept beruht auf dimensionellen Messungen mittels Punkt- und Streifenprojektions-triangulation mit einer Abbildung auf Basis eines neuartigen Konzepts der Telezentrie, bei dem keine großen refraktiven Frontlinsen mehr benötigt werden. Dies ist durch ein multidisziplinäres Zusammenspiel von diffraktiver Optik mit Algorithmen zur Bildkorrektur in Echtzeit realisiert. Die Algorithmen zur Bildkorrektur sind mittels schnellen mikroelektronischen Schaltungen, sogenannten Field-Programmable-Gate-Arrays (FPGA), realisiert, um die

Bilddaten in Echtzeit auswerten zu können. Durch diesen Ansatz eines intelligenten Sensors mit integrierter Bildkorrektur und vereinfachter Optik ist der Sensor kosteneffizienter als eine klassische telezentrische Optik. Trotz der für das Konzept erforderlichen algorithmischen Bildkorrekturen sind geringe Messunsicherheiten, sowohl in zweidimensionalen wie auch in dreidimensionalen Anwendungen des Sensorsystems, erzielbar. Zusätzlich wurde durch Reduktion der Kohärenz sowie der bildsensorbedingten Unsicherheiten die axiale Messunsicherheit der Triangulation reduziert.

Das grundsätzliche Messprinzip für die Topographiemessung ist die flächige Triangulation, die bei vergleichsweise geringen Kosten eine sehr hohe Geschwindigkeit, insbesondere bei der Inspektion von Objekten, erlaubt. Geringe Messunsicherheiten und hohe Geschwindigkeiten bei gleichzeitig hoher Robustheit gegenüber starken Intensitätsvariationen erlaubt hierbei die objektangepasste Streifenprojektion, bei der eine an das Objekt angepasste Maske projiziert und mit – idealerweise – einer einzigen Messaufnahme die dreidimensionale Form kontrolliert wird. Die Maske wird entweder über die Aufnahme mit einem Masterteil oder simulativ mittels Raytracing (CAD Vorlage) erstellt. Aufgrund des Messprinzips, der Anpassung der Maske an Topographie und Helligkeitsvariation sowie dem Einzelbildbetrieb ist eine hohe Robustheit gegeben.

Ein Lichtmodulator (SLM) als zentrales Projektionselement generiert umschaltbar eine Projektion aus zwei unterschiedlichen Richtungen (Ver-ringerung von Abschattung und Verbesserung der Messunsicherheit). Dabei erfolgt aus der einen Richtung (geringerer Triangulationswinkel) eine konventionelle (abbildende) Projekti-

on für Streifen. Die zweite Projektion mit vergrößertem Triangulationswinkel erfolgt holografisch, sodass eine optimale und hochgenaue Punktprojektion auch bei ausgedehnten Volumina ermöglicht wird. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des konzipierten Systems.

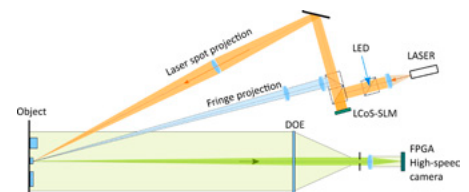


Abb.1: Konzept des Gesamtsystems für den Sensor mit Punkt- (Orange) und Streifenprojektion (Blau) und des hybriden telezentrischen Objektivs mit „FPGA-Bildkorrektur-Kamera“

Das hybride Abbildungssystem ist für typische Inspektionsanwendungen beidseitig telezentrisch ausgelegt. Dies wird gefordert, um geringe Messunsicherheiten über große Objektfelder zu erhalten. Die erste Linse (bzw. Frontelement) muss grundsätzlich größer sein als das Objektfeld. Üblicherweise wird dieses Element als refraktive Linse ausgelegt und ist für große Objektfelder vergleichsweise teuer und schwer.

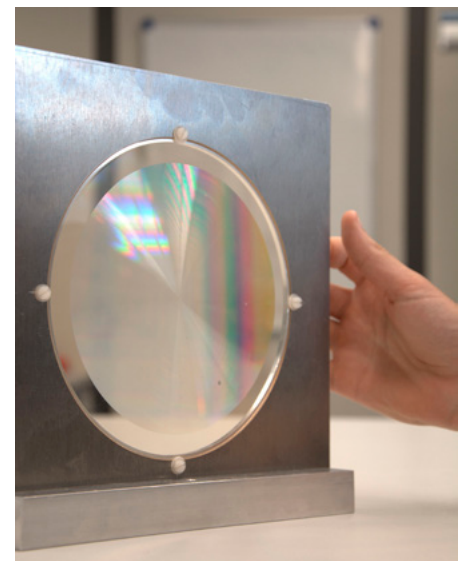


Abb.2: Diffraktive Optik des telezentrischen Objektivs.

Durch ein diffraktiv-optisches Element (DOE), siehe Abbildung 2, können in Serie (Replikationstechnik, ähnlich CD/DVD Serienproduktion) erhebliche Kosten gespart werden. Die hintere Linsengruppe besteht aus Kataloglinsen. Die sich dadurch ergebenden (monochromatischen) Aberrationen lassen sich durch das DOE ebenfalls korrigieren. Für spektral ausgedehnte Quellen ergeben sich durch das DOE stark feldabhängige chromatische Aberrationen, die durch den Dekonvolutionsansatz in der FPGA-basierten Bildverbesserung größtenteils korrigiert werden.

Für die Dekonvolutionsalgorithmen wurden Punktspreizfunktionen (PSF) zuerst simuliert und dann im System aufgenommen. Diese spiegeln die Eigenschaft der optischen Abbildung und deren Fehler wieder. Mit den PSFs wurden dann Wiener-Filter-Kernel für die Bildoptimierung und Restauration implementiert, um das verrauschte, abbildungsfehlerbehaftete Kamerabild an das Original anzunähern. Die feldabhängige Wienerfilterung mithilfe von „Singular Value Decomposition“ (SVD) und den PSFs angepassten Kernels wurde auf einem FPGA, Abbildung 3, realisiert. Wesentlich ist dabei, dass die messtechnisch erfassten (feldabhängigen) PSFs durch modellierte und damit rauschfreie PSFs ersetzt werden. Das Ergebnis der Restaurationsqualität ist in Abbildung 4 gezeigt.

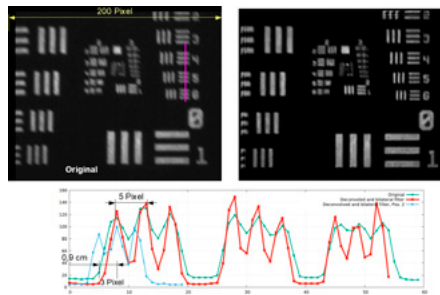


Abb.4: Vergleich des unrestaurierten Kamerabildes (links) mit der Bildkorrektur implementiert auf dem FPGA (rechts). Unteres Diagramm zeigt den verbesserten Kontrast und Auflösung der Bildkorrektur (Rot).

Das Erweiterungsmodul zur hochpräzisen, holographischen Punktriangulation basiert auf dynamischer Spotvariation (Multi-Spot). Die Messpunkte können holografisch sehr exakt im Volumen gesetzt werden. Die Position kann extrem fein variiert werden. Hierdurch kann eine Genauigkeitssteigerung der Spotpositionsermittlung durch Reduzierung des Speckle-Rauschens der kohärenten Laserlichtquelle erreicht werden.

Zusammenfassend wurde ein neues hybrides Sensorkonzept erarbeitet. Die Kombination von neuer hybrider Optik mit Online-Bildkorrektur durch ein FPGA ermöglicht ein kostengünstiges und leichtes telezentrisches Objektiv. Zusammen mit objektangepasster Streifenprojektion und hochgenauer

Punktriangulation kann das Gesamtsystem als intelligenter Sensor für viele Anwendungen in der Industrie 4.0 eingesetzt werden.

Kontakt

Andreas Faulhaber
 Institut für Technische Optik ITO
 Universität Stuttgart
 Pfaffenwaldring 9
 70569 Stuttgart
 Tel. 0711 685 698 88
 faulhaber@ito.uni-stuttgart.de
 www.ito.uni-stuttgart.de

Yousef Baroud
 Institut für Parallele und Verteilte Systeme IPVS
 Universität Stuttgart
 Universitätsstrasse 34
 70569 Stuttgart
 Tel. 0711 685 884 69
 baroud@ipvs.uni-stuttgart.de
 www.ipvs.uni-stuttgart.de

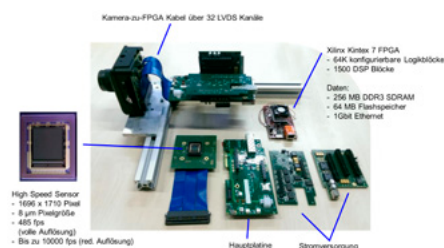


Abb.3: Komponenten des Kamera-Moduls mit Highspeed CMOS Sensor und dessen LVDS Anbindung an den FPGA über eine Hauptplatine.

