

2D und 3D vereint

Präzise Inspektion von bewegten Objekten mittels Inline Computational Imaging

Inline Computational Imaging (ICI) ist ein neues Verfahren für die kombinierte 2D- und 3D-Inline-Inspektion. Das Verfahren arbeitet weitgehend unabhängig von den Oberflächeneigenschaften der geprüften Objekte und liefert in Echtzeit optimierte Farbbilder und detaillierte 3D-Tiefenmodelle. Speziell für die industrielle Inspektion stellt ICI eine zukunftsfähige Lösung dar.

Petra Thanner

Für die industrielle 2D- oder 3D-Inspektion steht eine große Bandbreite an Verfahren zur Auswahl. Eine der gebräuchlichsten 3D-Methoden ist das Laser-Lichtschnittverfahren. Es erreicht hohe Prüfgeschwindigkeiten, benötigt für gute Ergebnisse jedoch kooperative Oberflächeneigenschaften ohne Helligkeits- oder Reflexionsänderungen. Aufgrund von sog. Laser-Speckle-Effekten stößt diese Methode bei Auflösungen von 100 µm typischerweise an ihre Grenzen. Für höhere optische Auflösungen werden Technologien wie Shape from Focus (SFF) oder konfokale Mikroskopie (CM) eingesetzt, vorwiegend für die Stichprobenanalyse im Prüflabor.

Sowohl SFF als auch CM erreichen optische Auflösungen bis in den Mikro- oder sogar Nanometerbereich, haben jedoch ein sehr kleines Gesichtsfeld und erfordern eine texturierte Oberfläche. Zudem drosselt die große Anzahl von aufgenommenen Bildern die Prüfgeschwindigkeit. Grundsätzlich gilt es also, die Lücke zwischen Systemen mit hoher optischer Auflösung und kleiner Prüfgeschwindigkeit bzw. hoher Prüfgeschwindigkeit und geringer optischer Auflösung zu schließen.

Diesen Spagat will das Wiener AIT (Austrian Institute of Technology) mithilfe

des ICI-Verfahrens (Inline Computational Imaging) leisten. Dabei handelt es sich um eine Single-Sensor-Technologie für die simultane 2D- und 3D-Inspektion von bewegten Objekten. Nach Aussage von AIT liefert ICI nicht nur detaillierte 3D-Daten, sondern auch pixelgenau rektifizierte Farbbilder.

Synergien zwischen Lichtfeld und fotometrischem Stereo

Dem Funktionsprinzip liegt eine Kombination zweier Methoden aus dem Computational Imaging zugrunde, die auf Basis mehrerer Aufnahmen ein Objekt in 3D re-

konstruieren: Lichtfeld (LF) und fotometrisches Stereo (PS).

LF verwendet Abbildungen aus verschiedenen Betrachtungswinkeln. Das Verfahren ist besonders gut in der Bestimmung des Höhenprofils für texturierte Bereiche, versagt jedoch bei Bereichen mit homogener oder glänzender Oberfläche sowie feinen Oberflächendetails.

Die PS-Methode verwendet Abbildungen des Objekts mit unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen. Sie berechnet aus den Schattierungsverläufen lokale Oberflächenkrümmungen und hat ihre Stärken in

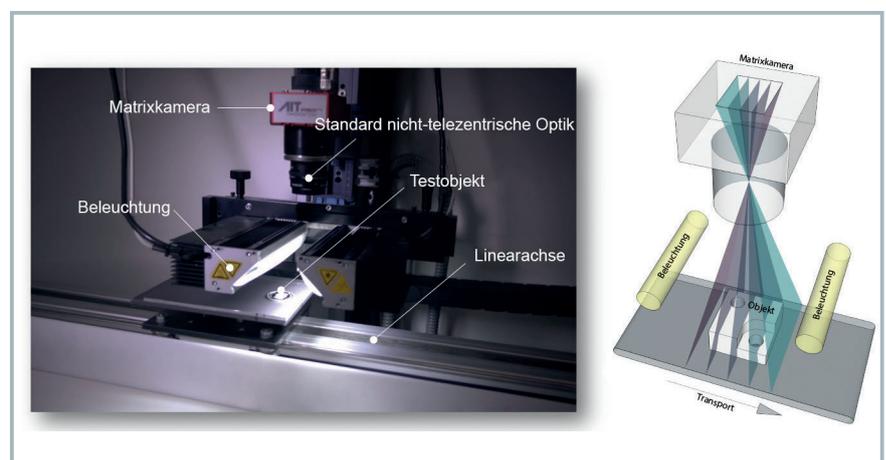


Bild 1. Links: Foto des ICI-Laborsystems; rechts: ICI-Funktionsprinzip. (© AIT GmbH)

der Rekonstruktion von feinen Oberflächendetails.

Wie Inline Computational Imaging in der Praxis funktioniert

ICI kombiniert diese beiden Methoden in einem kompakten Set-up. Bild 1 zeigt ein Foto des ICI-Aufnahmesystems (links) und eine Skizze zur Veranschaulichung des Funktionsprinzips (rechts). Der Sensorkopf besteht aus einer Matrixkamera, einem nicht telezentrischen Objektiv und zwei Lichtzeilen. Die Kamera wird in einem Multi-Line-Scan-Modus betrieben, bei dem nur wenige Zeilen ausgelesen werden. Jede Zeile agiert dabei als unabhängige Zeilenkamera, die das Objekt abscannt, während es sich unter der Kamera bewegt.

Auf diese Weise ergibt sich ein ICI-Bildstapel aus genauso vielen Bildern, wie Zeilen ausgelesen wurden. Jede Einzelaufnahme zeigt das Objekt dabei unter einem anderen Betrachtungs- und Beleuchtungswinkel. Der Bildstapel enthält sowohl Lichtfeldinformationen (unterschiedliche Blickwinkel) als auch fotometrische Informationen (unterschiedliche Beleuchtungswinkel).

Die ICI-3D-Algorithmen kombinieren die Bestimmung des 3D-Höhenprofils mit der Oberflächenrekonstruktion. Für die Bestimmung des Höhenprofils wird der aufgenommene ICI-Bildstapel als so-

genannter EPI-Stack (Epipolar Plane Image) dargestellt. Die Neigungen (Winkel) der EPI-Linearstrukturen korrelieren dabei für jeden Bildpunkt mit der Tiefe. Größere Winkel entsprechen weiter entfernten Objektpunkten, kleinere Winkel entsprechen näher liegenden Objektpunkten.

Mittels Multi-View-Korrespondenzanalyse wird das Höhenprofil bzw. eine Tiefenschätzung der gesamten Szene ermittelt (Bild 2). Die Algorithmen kombinieren für jeden Bildpunkt die Tiefenschätzung aus dem Lichtfeld mit der Oberflächenrekonstruktion aus der fotometrischen Stereoanalyse und erreichen damit nach Angaben von AIT eine erheblich verbesserte Rekonstruktionsgenauigkeit. Die ICI-3D-Rekonstruktion kann wahlweise als Punktwolke oder als Tiefen-Map jeweils mit und ohne Konfidenzwerte bereitgestellt werden. Neben der 3D-Punktwolke stehen auch 2D-Farbbilder mit Glanz- und Schattenunterdrückung, ferner auch All-in-Focus-Bilder oder HDR-Bilder (High Dynamic Range) zur Verfügung. ICI ist somit nach Angaben von AIT nicht nur für die präzise 3D-Messung geeignet, sondern ermöglicht auch eine robustere Fehlererkennung.

Schnell und detailarm oder langsam und detailliert?

Die ICI-Technologie arbeitet unabhängig von der verwendeten Zeilenanzahl und

kann durch Parametrierung an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Eine kleinere Zeilenanzahl ermöglicht schnellere Aufnahmegeschwindigkeiten, geringere Datenmengen und damit kürzere Rechenzeiten, liefert jedoch weniger detaillierte Ergebnisse. Eine Erhöhung der Zeilenanzahl bedeutet langsamere Aufnahmegeschwindigkeiten, höhere Datenmengen und längere Rechenzeiten bei genaueren und robusteren Ergebnissen. Dabei arbeitet die ICI-Technologie mit lateralen Auflösungen von 100 bis 4 µm pro Pixel. Die maximal erreichbare Aufnahmegeschwindigkeit wird von der Framerate der verwendeten Kamera bestimmt. Typischerweise arbeitet das System mit 20 kHz bei elf Zeilen. Bei Verwendung von vier Zeilen und der „xposure“-Kamera von AIT sind Scan-Raten bis 150 kHz realisierbar.

AIT beschreibt die ICI-Technologie als ein einfaches und leistungsstarkes Akquisitionskonzept. In Kombination mit intelligenten Algorithmen ermöglicht sie nach Angaben der Entwickler eine neue Dimension der schnellen und präzisen Inline-Inspektion. Geringe Systemkomplexität, weitgehende Unabhängigkeit von den Reflexionseigenschaften der Prüfobjekte und die hohe Anpassungsfähigkeit an Genauigkeit und Geschwindigkeit machen das Verfahren zu einer zukunftsfähigen Lösung für die industrielle Inspektion.

Die denkbaren Einsatzbereiche der ICI-Technologie in der industriellen Inspektion sind breit gefächert und reichen von Anwendungen in der Elektronik- und Leiterplattenfertigung über Metalle und Materialklassifikation bis hin zur Druckbildinspektion und Prüfung von Sicherheitsfeatures wie Hologrammen und taktilen Elementen. ■

INFORMATION & SERVICE

AUTORIN

Petra Thanner ist Research Engineer im Bereich High-Performance Image Processing bei der AIT Austrian Institute of Technology GmbH.

KONTAKT

Petra Thanner
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
T 043 50550-2802
petra.thanner@ait.ac.at
www.ait.ac.at/hpv

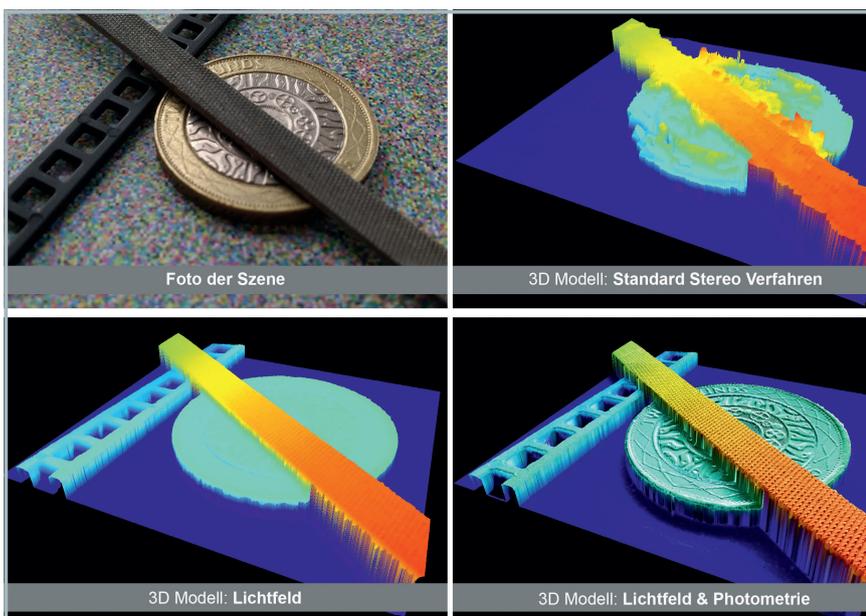


Bild 2. Ergebnisse unterschiedlicher 3D-Rekonstruktionsmethoden. Links oben: Foto der Szene, bestehend aus einem matt schwarzen Kabelbinder, einer glänzenden Münze und einer Feile. Rechts oben: 3D-Modell berechnet mit Standard Stereo Verfahren. Links unten: 3D-Modell berechnet aus Lichtfelddaten. Rechts unten: 3D-Modell berechnet mit ICI-Verfahren. (© AIT GmbH)