

Licht und Schatten

Neue Wege in der 3D-Oberflächeninspektion

Ein wichtiges Teilgebiet der industriellen Bildverarbeitung ist die dreidimensionale, optische Inspektion von Objekten in Produktion und Qualitätssicherung sowie in wissenschaftlichen und medizinischen Applikationen. Mit SPARC (Surface Pattern Analyzer and Roughness Calculator) wird ein neuartiges 3D-Inspektionssystem vorgestellt, das nach dem Prinzip „Shape-from-Shading“ arbeitet. Es vereinigt einige wesentliche Vorteile in sich: Es arbeitet schnell und es bietet ein großes Bildfeld bei hoher Tiefenauflösung bis in den Sub-Mikrometerbereich. Da weitgehend Standardkomponenten verwendet werden und da keinerlei bewegliche Teile erforderlich sind, ist es sehr robust und preiswert.

Je nach Anwendung wird in der 3D-Inspektion Wert gelegt auf ein großes Bildfeld, hohe Tiefenauflösung, kurze Messzeiten oder günstige Systempreise. Derzeit ist diese Aufgabe noch nicht allgemein gelöst, es werden vielmehr je nach Einsatzgebiet unterschiedliche Ver-

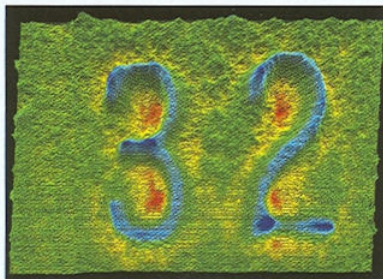


Abb. 2: 3D-Bild einer Schlagzahl auf Grauguss

fahren eingesetzt. Die meisten optischen 3D-Verfahren sind vergleichsweise langsam, da sie eine ganze Reihe von Einzelaufnahmen erfordern oder scannend arbeiten, beispielsweise mit Laserscannern. Genügt eine grobe Tiefenauflösung von einigen Millimetern, so können schnelle Time-of-Flight Kameras verwendet werden; für Objekte mit strukturierten Oberflächen oder wenn nur Kantenbilder von Interesse sind, führen Stereoverfahren zum Ziel. Weit verbreitet, aber wegen der Notwendigkeit spezieller Projektoren vergleichsweise teuer, sind Streifenprojektions-Methoden. Hohe Tiefenaufösungen werden mit interferometrischen Verfahren erreicht, jedoch arbeiten diese langsam und mit kleinem Gesichtsfeld.

Das Shape-from-Shading-Verfahren vereinigt eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zu den bislang üblichen Methoden, allerdings gibt es auch hier eine Einschränkung: unstetige Stellen der Oberfläche wie Löcher oder Hinterschnidungen können nicht erfasst werden. Der Anwendungsbereich liegt daher bei der Vermessung von Oberflächenstrukturen und Rauigkeiten.

Prinzip des Messverfahrens

Grundlage von SPARC ist die mathematische Analyse der Grauwertverteilungen einer aus unterschiedlichen Richtungen homogen beleuchteten Oberfläche. Das Verfahren ist vergleichbar mit dem in Abbildung 1 dargestellten dreidimensionalen visuellen Eindruck, den man bei Betrachtung einer seitlich beleuchteten Statue erhält. Bislang wurde diese als photometrisches Stereosehen oder Shape-from-Shading bekannte Methode vor allem in wissenschaftlichen Anwendungen eingesetzt. Durch Optimierung der erforderlichen Algorithmen und deren Portierung auf schnelle Rechner sowie durch Entwicklung spezieller Beleuchtungs- und Aufnahme-Hardware ist nun auch der Einsatz in industriellen Applikationen möglich.

Von der zu vermessenden Oberfläche werden mit nur einer senkrecht auf das Objekt gerichteten Kamera nacheinander einige Bilder aufgenommen, wobei die Beleuchtung aus jeweils unterschiedlichen Richtungen erfolgt. Aus den Grauwertverteilungen in diesen Bil-

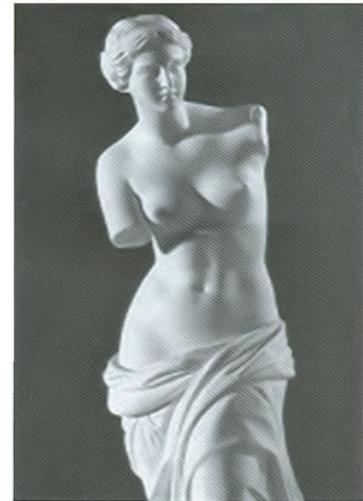


Abb. 1: Wird eine aus homogenem Stein gehauene Statue durch gerichtetes Licht beleuchtet, so entstehen Schattierungen, die einen dreidimensionalen Eindruck vermitteln

dern werden dann zunächst für jedes Oberflächenelement die Steigungen in X- und Y-Richtung ermittelt. Im nächsten Schritt wird aus den nun bekannten Steigungen die gesuchte dreidimensionale Form der Oberfläche berechnet. Diesen Prozess kann man sich in Analogie zu einem Spaziergang vorstellen, der bergauf und bergab durch eine Landschaft führt, wobei die Steigungen die Schritthöhen in X- und Y-Richtung darstellen. Diese werden also längs eines Pfades, der von Punkt zu Punkt durch das gesamte Bild führt, aufaddiert, wobei man für jeden besuchten Punkt die aktuelle Höhe relativ zum Startpunkt notiert. Eine Voraussetzung für dieses Verfahren ist, dass die Steigungen tatsächlich überall existieren. Dies ist dann der Fall, wenn die analysierte Oberfläche keine Unstetigkeiten wie Sprünge und Kanten aufweist.

Anwendungen

SPARC zeichnet sich durch einige besondere Eigenschaften aus, die für den Ein-



Quelle: Jörg Schmalenberger (photoscene)



Abb. 3: Braillepunkte auf einer Faltschachtel (oben) und deren dreidimensionale Darstellung (unten)

satz in industriellen Anwendungen wichtig sind:

- Hohe Auswertegeschwindigkeit von ca. 200 msec. Eine weitere Geschwindigkeitssteigerung bis hin zu Echtzeitfähigkeit wird in der nächsten Generation verfügbar sein. Dann können auch 3D-Messungen an bewegten Objekten durchgeführt werden.
- Die Höhenauflösung kann je nach Anwendung unterschiedlich gewählt werden. Sie hängt dabei vom Durchmesser des Gesichtsfeldes ab. Bei 100 mm Gesichtsfelddurchmesser liegt die Höhenauflösung bei ca. 10 µm. Bei 10 mm Gesichtsfelddurchmesser wird 1 µm erreicht.
- Das Mess-System verwendet nur eine handelsübliche Kamera mit speziellen Leuchten und keine beweglichen Teile, so dass ein

AUTOMATION

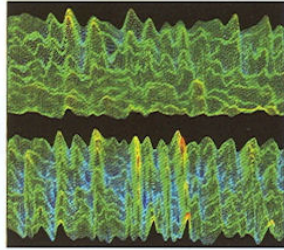


Abb. 4: Strukturen geschliffener Oberflächen

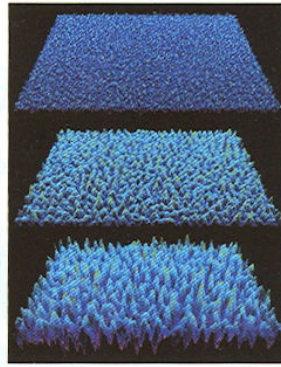


Abb. 5: 3D-Bilder von Lackstrukturen

sehr günstiges Preis-/Leistungsverhältnis vorliegt.

- Das System ist mechanisch robust, kompakt, vielseitig einsetzbar und einfach zu kalibrieren und zu bedienen.

Nahe liegend ist die Kontrolle von geprägten Mustern und Symbolen, etwa auf Kreditkarten oder Prägungen auf Metall, Papier, Kunststoff und Kartonagen. Abbildung 2 zeigt als Anwendungsbeispiel eine Schlagzahl in Grauguss. Eine 3D-Analyse erweist sich insbesondere bei sehr homogenen Materialien als vorteilhaft, wenn sich die zu vermessenden Strukturen visuell kaum vom Untergrund abheben.

Die erste mit SPARC realisierte Branchenlösung war DotScan. Dabei handelt es sich um eine Anlage zum Lesen und Vermessen von Blindenschrift (Braille) auf medizinischen Faltschachteln aus Pappe sowie den zugehörigen metallischen Prägwerkzeugen. In einem 15 cm breiten Blickfeld kann der gesamte Braille-Text in einer Aufnahme erfasst und analysiert werden. Die Lagen, Formen und Höhen der geprägten Punkte werden dabei mit einer Auflösung von 20 µm vermessen.

Der Einsatz von DotScan zur Inspektion von vergleichbaren Prägungen, etwa Klarschrift, Falze, Perforierungen etc. ist ohne weiteres möglich (siehe dazu auch Abb. 3).

Durch spezifische Anpassung von Details der Beleuchtungs- und Aufnahmetechnik können die Größe des Ge-

sichtsfeldes sowie die Tiefenauf Auflösung des Verfahrens optimiert werden. Auf diese Weise können Rauigkeiten von Oberflächen unterschiedlicher Abmessungen mit einstellbarer Auflösung gemäß ISO 4287 vermessen werden. Als Beispiele dafür sind in Abbildung 4 bearbeitete Metalloberflächen dargestellt.

Eine weitere typische Anwendung ist die Analyse von strukturierten Lackoberflächen, siehe Abbildung 5. Zugleich mit der 3D-Analyse wird auch ein 2D-Grauwertbild erzeugt, das ebenfalls in die bildanalytische Auswertung mit einbezogen werden kann. Diese Anwendung kann auf andere gemusterte und strukturierte Oberflächen ausgedehnt werden. Beispiele dafür sind Leder, Holz und Kunststoff.

Verglichen mit marktüblichen Rauheitsmessgeräten arbeitet SPARC flexibler und mit größerem Gesichtsfeld.

► Autoren
Sandra Söll



Prof. Dr. Hartmut Ernst



in-situ GmbH & Co. KG, Sauerlach
Tel.: 08104/6482-30
Fax: 08104/6482-43
vision@in-situ.de
www.in-situ.de