

# Objektvermessung auf der Basis von projizierten Punktwolken und Photogrammetrie (CloudPro)

## Zusammenfassung

CloudPro steht für **Cloud Projection** und benennt ein Verfahrenskonzept, das der Bestimmung der räumlichen Geometrie von Oberflächen dient. Die zu vermessende Oberfläche wird mit einer optischen Projektion signalisiert und mit Kameras erfasst. Die erzeugten Bilder werden verschiedenen radiometrischen und geometrischen Rechenoperationen unterzogen, an deren Ende in jedem Bild eine Vielzahl erkannter Punktsignale vorliegt. Diese werden in einer simultanen Triangulation weiterverarbeitet, womit eine präzise und ausgewogene Bestimmung der Raumpositionen der Punktsignale möglich ist. Aus dieser Wolke diskreter Punkte kann abschließend die darin repräsentierte Oberfläche bestimmt werden.

## Einführung

In wachsendem Maße wird die uns umgebende Welt in den Rechner abgebildet und darin gespeichert, manipuliert und visualisiert. Damit erschließen sich neue, ungeahnte Möglichkeiten im Umgang mit den realen, als Vorlage dienenden Objekten, indem nicht sie selbst, sondern ihre digitale Kopien den unterschiedlichsten Operationen unterzogen werden. Einsatzmöglichkeiten finden sich beispielsweise im Medienbereich, weil sich auf diesem Wege neue, auf die realen Objekten nicht anwendbare Manipulationen vornehmen lassen und damit ganz neue gestalterische Freiheiten gewonnen werden. Aber vor allem auch im industriellen Umfeld wird im wachsenden Maße die möglichst objektgetreue und präzise Beschreibung von Objekten benötigt. Dies kann zu Zwecken der Qualitätskontrolle, des Re-engineering, der Objekterkennung, für Überwachungsaufgaben und vielen weiteren Verwendungen geschehen.

Im Zusammenhang mit der Ermittlung von Oberflächengeometrien spielen noch eine Vielzahl von weiteren Aspekten eine Rolle, die über die Verwendbarkeit einzelner Techniken entscheiden. Dabei sind Aspekte wie Flexibilität, Genauigkeit, Vielseitigkeit, Berührungsllosigkeit, Portabilität, Einfachheit in der Handhabung aber nicht zuletzt auch die Kosten von Interesse. Dementsprechend haben sich im Laufe der Zeit verschiedenste Ansätze zur Bestimmung von Oberflächengeometrien herausgebildet, die ihre individuellen Stärken und Schwächen besitzen, aber selten allen Kriterien genügen. Es ist daher immer noch reichlich Spielraum für Verbesserungen und neue Verfahrensalternativen mit denen man den verschiedenen Aspekten näher kommen kann.

Dementsprechend geht auch das vorgestellte Verfahren neue Wege, indem es Fortschritte in den optischen Technologien nutzt und durch Kombination mit entsprechenden Bildverarbeitungs- und anderen Rechenverfahren ein sehr flexibles und skalierbares Messkonzept bereitstellt.

## Konzeption

Das grundsätzliche Vorgehen ist schematisch in nebenstehender Abbildung symbolisiert und sieht vor, dass das Objekt in einer Aufnahme- und in einer anschließenden Verarbeitungsphase ausgewertet wird. In der Aufnahme- und in der anschließenden Verarbeitungsphase wird die Oberfläche des Objektes mit Hilfe geeigneter Projektionstechniken signalisiert und mit einfachen

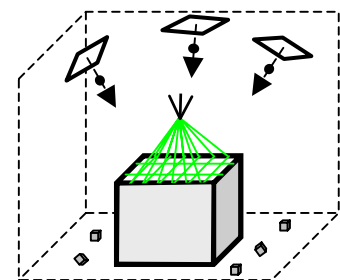


Abb. 1: Versuchsaufbau

kalibrierten Digitalkameras optisch erfasst. Die Verarbeitungsphase besteht aus mehreren Schritten, die zunächst einige notwendige Vorbereitungen vorsehen und im Kern der Auswertung aus Bildverarbeitungsalgorithmen und photogrammetrischen Operationen bestehen, die auf herkömmlichen Rechnern ablaufen.

werden und auch die Anzahl der einzusetzenden Bilder ist letztendlich beliebig. Gegebenenfalls beschränkt man sich auch auf zwei, auf einer Basis stabil und fest verbundene Kameras, die das Objekt in einer Stereoanordnung erfassen. Der Vorteil dieses Vorgehens liegt in der Vereinfachung des weiteren Prozederes, weil die Orientierungsberechnung entfallen kann. Allerdings reduziert sich die Genauigkeit damit auf das mit zwei Bildern erreichbare Maß.

Für die Projektion kommen Methoden in Frage, die eine präzise Abbildung mit hohen Kontrasten erlauben. Zuallererst ist dabei an Laser zu denken, die mit Hilfe optischer Komponenten in geeignete Muster umgeformt werden. Hier kommen diffraktive optische Elemente in Frage, aber auch diffraktive Komponenten sind heute erhältlich und flexibel gestaltbar. Andere Vorgehensweisen (Videoprojektion) sind natürlich auch realisierbar, erreichen aber wegen schwächerer Kontraste und Schärfe ggf. geringere Genauigkeiten.

Mit Laserprojektion verbinden sich mehrere Vorteile:

- energiereiche Strahlung
- in allen Umgebungen einsetzbar
- nahezu unabhängig von der Beschaffenheit des Untergrunds
- besitzt hohe Schärfentiefe
- die Projektion ist auch über längere Zeiträume geometrisch stabil
- die Einrichtung ist portabel

Nachteil der Laserprojektion ist allerdings die mögliche Wechselwirkung mit den obersten Materialschichten, die in Abhängigkeit von der Rauigkeit zu unerwünschten Speckleeffekten führen kann und sich negativ auf die Genauigkeit auswirkt. Gegebenenfalls lässt sich die Wirkung durch eine größere Zahl von Aufnahmen kompensieren.

Im Zuge der Auswertephase wird das Bildmaterial verschiedenen Maßnahmen unterzogen, die in untenstehender Übersicht zusammengefasst sind. Es geht dabei im wesentlichen um die Bestimmung von Position und Raumlage der aufgenommenen Messbilder (Bildorientierung)

- die Detektion der Punkte des abgebildeten Musters
- die Ermittlung der Korrespondenz der Musterpunkte
- und die Gewinnung der 3D-Koordinaten auf dem Weg der Bildtriangulation

Die Ermittlung der Bildorientierung kann auf Basis von interaktiven Messungen erfolgen, für einen permanenten Einsatz empfehlen sich automatische Techniken. Hierzu sind Orientierungsinformationen im Objektraum nötig, die beispielsweise in Form von speziellen, im Objektraum ausgelegten Orientierungsobjekten bereitgestellt werden können.

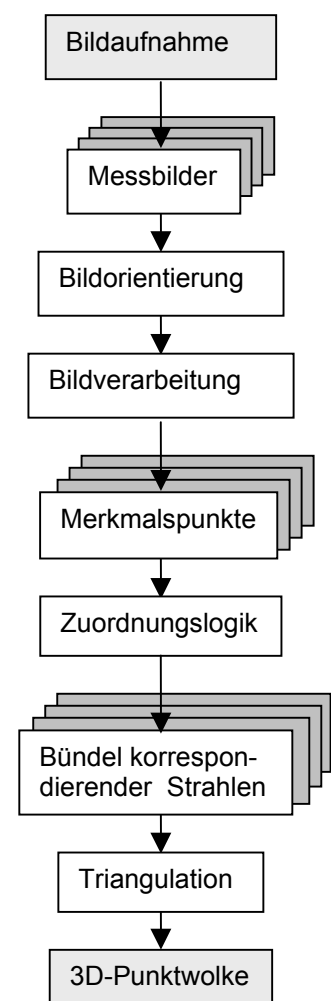


Abb. 2: Verarbeitungskette

Die *Detektion der Musterpunkte* geschieht mit Hilfe von Operatoren, die angepasst an die gewählte Projektion (Farbe, Intensität, Mustertyp) die einzelnen Bilder auf entsprechende Merkmale untersuchen. Auch hierbei wächst die Leistungsfähigkeit mit der Qualität der Abbildung, weshalb Laserpunkte angesichts der starken Intensität und der hohen Sättigung im allgemeinen Vorteile haben.

Die *Bestimmung der Korrespondenz* ist nötig, um die vielen gleichartigen Objektpunkte zueinander in Beziehung setzen zu können. Im Unterschied zu anderen Techniken, die hierzu optische Informationen nutzen arbeitet die hier verwendete Lösung primär über Geometriebedingungen, die sich aus den bekannten Orientierungen der Bilder und den Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den abgebildeten Punkten ableiten lassen.

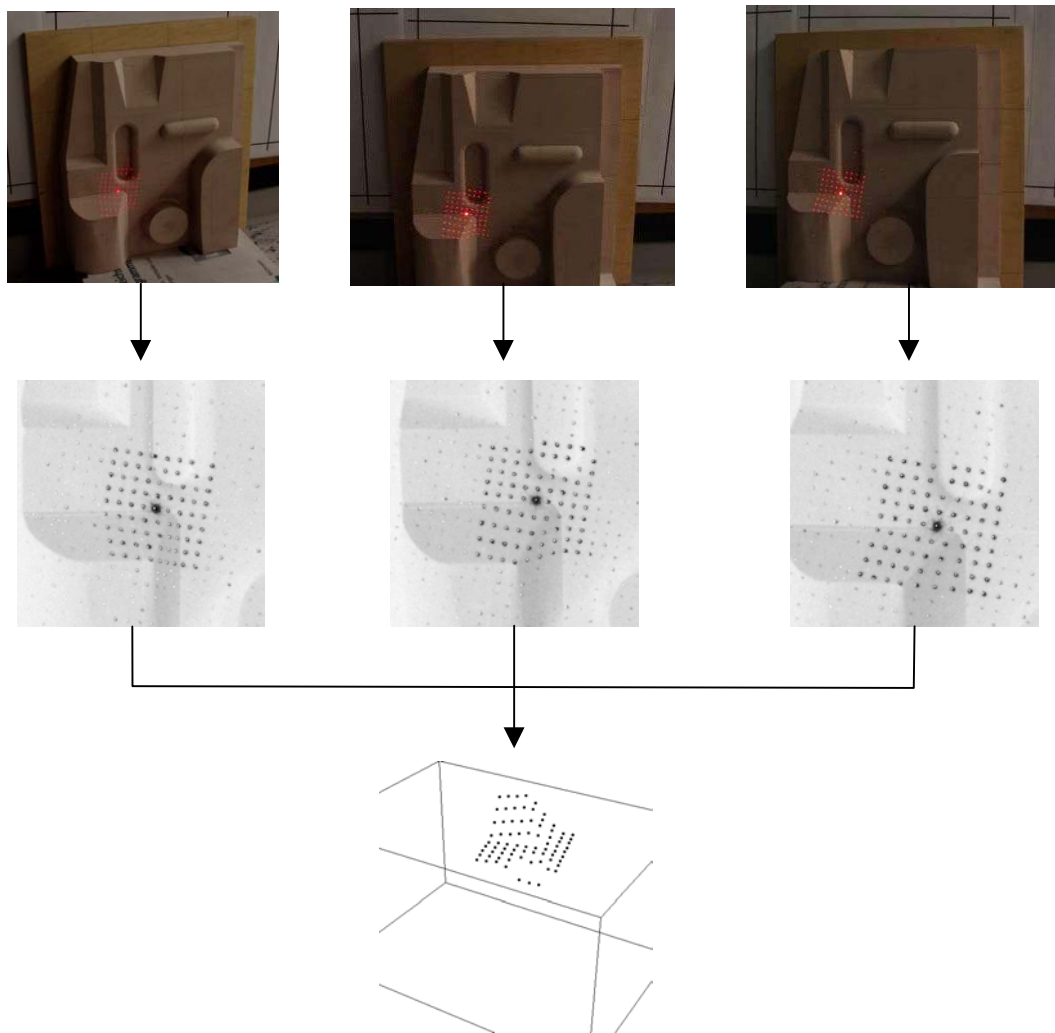


Abb. 3: Bildbeispiele mit Berechnungsergebnis

## Ergebnisse

Ein Verarbeitungsbeispiel ist in obiger Abbildung gezeigt. Dabei wurde ein gefrästes Kunststoffobjekt ausschnittsweise mit einem Muster belegt und aus mehreren Perspektiven mit kalibrierten Digitalkameras aufgenommen. Die Bilder hatten eine Größe von ca. 2500 \* 2000 Pixel und in erreichten im Objekt eine Auflösung von unter einem halben Millimeter. In der Versuchsanordnung sind 6 Bilder analysiert und trianguliert worden. Die am Objekt

erreichte Genauigkeit lag bei ca. 0,1 mm, ein für viele Aufgabenstellungen ausreichender Wert.

### **Fazit**

Die aktuellen Entwicklungen in der Optik eröffnen neue Möglichkeiten für Messkonzepte. So lässt sich mit einfachen optischen Komponenten ein Laser zu einer leistungsfähigen Projektionseinrichtung ausbauen, auf deren Grundlage Objekte ausreichend gut signalisiert werden können, dass sie sich mit Hilfe der Bildverarbeitung und Photogrammetrie in ihrer räumlichen Struktur vermessen lassen.

Die Vorteile des hier gezeigten Verfahrens sind im einfachen Aufbau, der universellen Anwendbarkeit und des trotzdem hohen Genauigkeitspotenzials zu sehen. Auch auf der Kostenseite bietet das Verfahren gute Voraussetzungen, da im Prinzip mit herkömmlichen Digitalkameras gearbeitet werden kann, sofern deren innere Geometrie vorab bestimmt wurde.

### **Literatur**

BOOCHS F.: Detection of spatial orientation objects for automatic orientation of arbitrary arranged metric images, IASTED/ACTA Press - Anaheim – 2003

BOOCHS F., FREISBERG M., TWARDOCHLIB M.: TARGET – eine flexible Einrichtung zur Erfassung industrieller Objekte. In: Luhmann, Th. (Hrsg), Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004. Wichmann Verlag Heidelberg