

Kurzfassung

zur Dissertation

3D Shape Measurement and Reflectance Analysis for Highly Specular and Interreflection-Affected Surfaces

von

Dipl.-Ing. Steffen Herbolt

Tag der mündlichen Prüfung: 28.05.2014

Hauptreferent: Prof. Dr. rer. nat. Christian Wöhler

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Franz Kummert

Die Verfügbarkeit von 3D-Daten realer Objekte zur computergestützten Auswertung und Analyse bietet vielfältige Möglichkeiten für z.B. industrielle Qualitätskontrolle, Planeten-Fernerkundung, medizinische Diagnose, Tatort erfassung und Reverse Engineering. Die zur Objektvermessung oft eingesetzten 3D-Scanner weisen jedoch verschiedene Schwächen auf, wie z.B. Messrauschen bzw. fehlende Messpunkte auf spekularen Oberflächen oder interreflektionsbehafteten Vertiefungen. Bildbasierte 3D-Oberflächenrekonstruktionsalgorithmen, wie z.B. Photometric Stereo, sind als Alternative zu 3D-Scannern weniger von den genannten Schwächen betroffen, neigen jedoch auf großen Skalen zu systematischen Abweichungen von der korrekten Objektform. Im Kern dieser Arbeit steht daher die Präsentation eines innovativen Ansatzes, der metrische 3D-Punktwolkendaten mit bildbasiert ermittelten Oberflächengradienteninformationen fusioniert, was eine signifikante Verbesserung der genannten Schwächen ermöglicht. Thematisch verwandte Arbeiten lassen dahingegen Interreflektionen oder nicht-Lambert'sche Oberflächen oft unberücksichtigt, arbeiten nur mit synthetischen Daten und/oder verwenden den unrealistischen Fall weit entfernter Szenenbeleuchtungsquellen.

Insgesamt werden in dieser Arbeit drei wichtige Beiträge zum Forschungsbereich Computer Vision vorgestellt: Erstens ein neuer Ansatz zur Kalibrierung von Lichtquellenintensitäten und -positionen unter Verwendung eines einzelnen Bildes einer diffus reflektierenden Kugel. Zweitens ein Ansatz, mit dem interreflektionsbehaftete Objekte mit unbekanntem nicht-Lambert'schen Reflexionseigenschaften erfolgreich rekonstruiert werden können, indem 3D Punktwolkendaten mit bildbasiert ermittelten Oberflächengradienteninformationen iterativ fusioniert werden. Drittens ein innovativer Ansatz zur Segmentierung verschiedener Oberflächenmaterialien basierend auf Multispektraldaten.

Die erzielten 3D-Objektprofile zeigen jeweils deutliche Verbesserungen verglichen mit den Profilen aus einem industriellen 3D-Scanner ohne Bilddatenfusion. Diese Ergebnisse wurden qualitativ und quantitativ auf sowohl synthetischen als auch realen Daten ermittelt. Somit ist es nun möglich, dichte 3D-Profile von metallischen, dielektrischen und lackierten Oberflächen zu erstellen, die in ihrer Genauigkeit den von 3D-Scannern gut erfassbaren diffusen Oberflächen entsprechen.

Abschließend wird ein ausführlicher Ausblick gegeben und ein Prototyp zur Stereokamera-basierten 3D-Rekonstruktion vorgestellt. Dieser ermöglicht die Vermessung von 3D-Objekten ohne Verwendung eines kostenintensiven 3D-Scanners durch Korrespondenzfindung auf Gradientenfeldern in Verbindung mit Gradienten/Tiefendaten-Fusion.

Abstract

zur Dissertation

3D Shape Measurement and Reflectance Analysis for Highly Specular and Interreflection-Affected Surfaces

von

Dipl.-Ing. Steffen Herbolt

Tag der mündlichen Prüfung: 28.05.2014

Hauptreferent: Prof. Dr. rer. nat. Christian Wöhler

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Franz Kummert

Transferring the 3D shape of real world objects into automatic data processing and examination machines is the basis for a wide range of promising applications like industrial quality inspections, lunar expeditions, medical diagnostics, crime scene investigations, and reverse engineering. However, commonly applied techniques for 3D data acquisition come with weaknesses alongside their strengths: While photogrammetric approaches like 3D scanners yield robust 3D point cloud data, they are commonly challenged by high frequency noise, specular surfaces regions, and interreflection-affected surface concavities. Image-based shape acquisition techniques like Photometric Stereo as an alternative to 3D scanners are less affected by those impairments, but turn out to be less robust on large scales. Therefore, this thesis presents an innovative approach that fuses metric 3D point cloud data with image-based gradient information, which strongly improves measurement noise, specular surfaces, and interreflection-affected regions. Past and recent work in that field rarely regards the case of interreflection-affected non-Lambertian surfaces, operates on synthetic data only, and/or applies the unrealistic simplification of distant light sources.

On that background, three main contributions have been made to the field of computer vision: First, a novel approach for the calibration of point light source intensities and positions using a single image of a diffusely reflecting sphere. Second, a 3D surface reconstruction approach that successfully handles even unknown non-Lambertian surface reflectance behavior and interreflections in a scheme that iteratively fuses 3D point cloud data and image-based surface gradient information. Third, an innovative technique for the segmentation of surface materials based on multispectral data.

The obtained 3D profiles show overall strong improvements compared to 3D measurement results of industrial 3D scanners without additional image data incorporation. These results have been assessed qualitatively and quantitatively on both, real and synthetic data. Overall, it is now possible to obtain dense 3D profiles of metallic, dielectric, and lacquered surfaces with an accuracy that was previously only available for the much simpler case of diffuse surfaces. Additionally, it is shown how metallic and colored surface materials can be segmented feasibly using multispectral data, which provides a basis for the 3D reconstruction of inhomogeneous surfaces.

Concludingly, a thorough outlook is given that contains the presentation of a prototype for stereo-camera-based 3D reconstruction, which successfully deals with the very challenging case of measuring specular surfaces without the need for a costly 3D scanner by using correspondence establishment on gradient fields in conjunction with gradient/depth data fusion.