

Der Einfluss geometrischer und radiometrischer Fehler digitaler Flächensensoren auf den Bündelblockausgleich

Dissertation
zur Erlangung des Grades
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
im Studiengang Computervisualistik

vorgelegt von

Waldemar Kisser

Betreuer: Prof.-Dr. F. Boochs, i3mainz - Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachbereich Technik, Hochschule Mainz

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dietrich Paulus, Institut für Computervisualistik, Fachbereich Informatik, Universität Koblenz-Landau

Koblenz, im November 2017

Kurzfassung

Technologische Fortschritte auf dem Gebiet der integrierten Halbleitertechnik, welche unter anderem auch zur gestiegenen Leistungsfähigkeit der Kamera-Sensoren beitragen, konzentrierten sich bisher primär auf die Schnelligkeit und das Auflösungsvermögen der Sensoren. Die sich ständig verändernde Entwicklung hat jedoch direkte Folgen auf das physikalische Verhalten einer Kamera und damit auch Konsequenzen für die erreichbare geometrische Genauigkeit einer photogrammetrischen 3D-Rekonstruktion. Letztere stand bisher nicht im Fokus der Forschung und ist eine Aufgabe, der sich diese Arbeit im Sinne der Photogrammetrie und Messtechnik stellt. Aktuelle Untersuchungen und Erfahrungen aus industriellen Projekten zeigen in diesem Zusammenhang, dass das geometrisch-physikalische Verhalten digitaler Kameras - für höchste photogrammetrische Ansprüche - noch nicht ausreichend modelliert ist. Direkte Aussagen zur erreichbaren Genauigkeit bei gegebener Hardware erweisen sich deshalb bisher als unzureichend. Ferner kommt es aufgrund der unpräzisen Modellierung zu Einbußen in der Zuverlässigkeit erreichter Ergebnisse. Für den Entwickler präziser kamerabasierter Messverfahren folgt daraus, dass zu einer optimalen Schätzung des geometrischen Genauigkeitspotentials und damit auch vollständigen Ausschöpfung der Messkamera geeignete mathematische Modelle erforderlich sind, die das geometrisch-physikalische Verhalten bestmöglich beschreiben. Diese Arbeit beschreibt, wie die erreichbare Genauigkeit einer Bündelblockausgleichung, schon a priori mit Hilfe des EMVA1288 Standards approximiert werden kann. Eine in diesem Zusammenhang wichtige Teilaufgabe, ist die Schaffung einer optimalen Messanordnung. Hierzu gehören Untersuchungen der üblicherweise verwendeten Kalibrierkörper und die Beseitigung von systematischen Fehlern vor und nach der Bündelblockausgleichung. Zum Nachweis dieser Systematiken wird eine auf statistischem Lernen basierende Methode beschrieben und untersucht. Erst wenn alle genauigkeitsmindernden Einflüsse berücksichtigt sind, wird der Anteil des Sensors in den Messdaten sichtbar und damit auch mathematisch parametrisierbar. Die Beschreibung des Sensor-Einflusses auf die erreichbare Genauigkeit der Bündelblockausgleichung erfolgt in drei Schritten. Der erste Schritt verknüpft einzelne EMVA1288-Kennzahlen mit der daraus resultierenden Unsicherheit eines Pixel-Grauwertes. Der zweite Schritt ist eine Modellierung dieser Grauwertunsicherheit als Zentrumsunsicherheit einer Zielmarke. Zur Beschreibung dieser Unsicherheit innerhalb der Bündelblockausgleichung wird ein stochastisches Modell, basierend auf der EMVA1288 vorgeschlagen. Ausgehend vom Rauschen des Zielmarkenmittelpunktes wird im dritten Schritt die Unsicherheit im Objektraum, beispielhaft mit Hilfe von physikalisch orientierten Simulationen approximiert. Die Wirkung der vorgeschlagenen Methoden wird anhand von Real-Kalibrierungen nachgewiesen. Abschließend erfolgt die Diskussion der vorgeschlagenen Methoden, erreichten Ergebnisse und ein Ausblick auf kommende Untersuchungen.

Abstract

Current research and technological progress in the semiconductor industry contributes to the increasing performance of modern camera sensors. The principal aim in this development is to provide the highest possible resolution, biggest dynamic range and fastest image transfer. This progress is driven by rapidly changing technologies with a potential impact not only on the physical sensor properties, but also on the geometric accuracy of photogrammetric 3D reconstructions. The latter has not been focussed in investigations yet and is a task, which is pursued in this thesis. Current research and experiences, which are gained in industrial projects, reveal that geometry related physical properties as well as other geometric influences are not sufficiently understood or modelled yet. This may be one reason why statements concerning the achievable accuracy for a specific sensor and lens configuration have only been marginally successful so far. In addition, an insufficient sensor model yields less reliable bundle adjustment results. The conclusion is unequivocal: Developers of precise photogrammetric measurement systems need to evaluate and model the sensors-intricacies in order to achieve the highest possible accuracies. This thesis describes how the current prediction models for the achievable bundle adjustment accuracies can be enhanced by using the EMVA1288 standard and its ability to take proper account of the physical sensor properties. To ensure the reliability for such forecasts, it is crucial to satisfy several mandatory conditions. One is to create best possible measurement conditions through the choice between various calibration-bodies and strategies. Another crucial condition to be satisfied is the absence of systematic and gross measurement errors. Here a machine-learning based approach is described, which improves the current available methods to track systematic errors and insufficient least squares models. All these conditions are conducted to lower the common error sources. The remaining uncertainty, which is caused by the sensor, becomes apparent, parameterizable and easier to study. In this thesis, the sensor influence on the achievable bundle adjustment accuracies is described through three separate steps, as a link between the radiometry and geometry. The initial step in this chain connects several EMVA1288 parameters to the pixel greyvalue-accuracy. The second step shows the impact of the greyvalue-noise onto the target detection algorithms. To describe this accuracy, a stochastic model based on the EMVA1288 is described. Finally, the target noise is connected to the object-space accuracy through physical simulations. As an example, the achievable object-space accuracy is approximated for two common calibration scenarios. The effectiveness of all proposed methods is evaluated through real camera calibrations. The last chapter of this thesis discusses the achieved results and provides an outlook to remaining questions to be addressed in activities within this field.