

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 116 (2018)

Heft: 9

Artikel: Innosuisse-Projekt BIMAGE-Cloudbasierte 3D-Bilddienste für das
Gebäudemanagement

Autor: Blaser, S. / Cavegn, S. / Rettenmund, D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-815955>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Innosuisse-Projekt BIMAGE – Cloudbasierte 3D-Bilddienste für das Gebäudemanagement

Die Digitalisierung der Bauwirtschaft erfordert neue Methoden, um Innenräume effizient und hinreichend genau zu erfassen und die 3D-Daten bereitzustellen. Im Aussenraum werden bildbasierte Webdienste mit Messfunktionalität – im Ansatz vergleichbar mit Street View – bereits verbreitet eingesetzt. Das Hauptziel des Innosuisse-Forschungsprojekts BIMAGE ist es, die Technologie für den Innenraum weiterzuentwickeln. Es wurde ein portables, bildbasiertes Mobile Mapping-System (MMS) entwickelt. Der LiDAR-SLAM-Algorithmus positioniert und orientiert das MMS. Mit einer anschliessenden Bündelblockausgleichung wurde eine signifikante Verbesserung der 3D-Punktgenauigkeit, von 13.3 cm auf 1.8 cm, nachgewiesen. Ebenso kann die 3D-Bilddatenbasis mit nachträglich erfassten Bildern aktualisiert werden.

La digitalisation de l'économie du bâtiment requiert de nouvelles méthodes afin de saisir les espaces intérieurs avec assez d'efficacité et de préparer les données 3D alors que pour l'extérieur l'utilisation de services web basés sur des images avec fonctionnalité de mesure – comparable à Street View – est déjà assez répandue. Le but principal du projet de recherche Innosuisse BIMAGE consiste à développer la technologie pour les espaces intérieurs. Un système portable Mobile Mapping (MMS) sur base d'images a été développé. L'algorithme LiDAR-SLAM permet de positionner et orienter le MMS. Par une compensation correspondante des blocs groupés une amélioration significative de la précision des points 3D a été démontrée, de 13.3 cm à 1.8 cm. En plus la base de données d'images 3D peut être actualisée avec des images saisies ultérieurement.

La digitalizzazione dell'edilizia presuppone nuove metodologie per rilevare in modo ottimale gli spazi interni e mettere a disposizione i dati 3D. Negli spazi esterni i servizi web, basati su immagini, con funzionalità di misurazione trovano già ampia diffusione con un approccio simile a Street View. Lo scopo principale del progetto di ricerca BIMAGE di Innosuisse consiste nell'ulteriore sviluppo della tecnologia per gli spazi esterni. Al riguardo si è sviluppato un Mobile Mapping System (MMS) portatile e basato su immagine. L'algoritmo LiDAR-SLAM posiziona e orienta il MMS. Con la successiva calibrazione dei parametri dell'equazione si è ottenuto un miglioramento significativo della precisione dei punti 3D da 13,3 cm a 1,8 cm. La base dati immagini 3D può essere aggiornata con le immagini rilevate in un secondo tempo.

S. Blaser, S. Cavegn, D. Rettenmund,
St. Nebiker

1. Einleitung

Der anhaltende Digitalisierungstrend bewirkt in der Bau- und Immobilienwirtschaft schnelle und tiefgreifende Veränderungen. Neue Methoden des digitalen Bauens, z.B. Building Information Mod-

eling (BIM) oder Virtual Design and Construction (VDC), führen, in Kombination mit modernen und effizienten 3D-Erfassungstechniken, zu Paradigmenwechseln im gesamten Entwurfs-, Planungs- und Unterhaltsprozess. Neuartige kollaborative Konstruktions- und Managementprozesse mit unterschiedlichen beteiligten Parteien erfordern eine Basis an genauen, zuverlässigen und stets aktuellen 3D-Daten. Nebiker et al. (2015) beschreiben ei-

nen schnellen, kostengünstigen und benutzerfreundlichen Ansatz des 3D-Datenmanagements, indem mit Mobile Mapping Systemen (MMS) Bilddaten erfasst und zu so genannten 3D-Bildern mit zusätzlicher Tiefen- und Qualitätsinformation weiterverarbeitet werden. Die 3D-Bilder können mit den zugehörigen äusseren Orientierungen in einem cloudbasierten Webdienst – vergleichbar mit Street View – der Kundschaft zur Verfügung gestellt werden. Die bekannten Kameraposen, respektive die bekannten äusseren Orientierungen und die idealerweise pro Pixel bekannte Tiefeninformation, ermöglichen absolute und relative 3D-Messungen direkt im Bild. Im Aussenbereich kommen bereits verbreitet kommerzielle bildbasierte 3D-Webdienste für das Infrastrukturmanagement (z.B. Strassen- und Schienennetze) zum Einsatz. In Burkhard et al. (2012) wird ein bildbasiertes MMS mit einer universellen Stereo-Kamerakonfiguration präsentiert. Ein MMS mit grosser 3D-Bildabdeckung, dank zahlreicher Stereosysteme, welche sich aus zwei verkipperten Mehrkopf-Panoramakameras ergeben, wird in Blaser et al. (2017) vorgestellt. Diese MMS eignen sich im Speziellen für die Erfassung des urbanen Raums. Die verbreitetste Technologie zur direkten Georeferenzierung von MMS im Aussenraum ist die Inertialnavigation (INS), wobei GNSS- und IMU-Daten mit einem Kalman-Filter fusioniert werden. Das Projekt BIMAGE ist ein gemeinsames angewandtes Forschungs- und Entwicklungsprojekt der Fachhochschule Nordwestschweiz und der iNovitas AG. Es wird von der Innosuisse gefördert. Das Ziel ist es, die Mobile Mapping-Technologie mit den cloudbasierten 3D-Bilddiensten weiterzuentwickeln und dabei auf Innenräume auszuweiten. Ein Projektteil besteht aus der Entwicklung eines prototypischen bildbasierten MMS für Innenräume, auf welches in Kapitel 2 näher eingegangen wird. Eine grosse Herausforderung stellt die fehlende GNSS-Verfügbarkeit dar, was die Verwendung von herkömmlichen INS für die direkte Georeferenzierung ausschliesst. Als Ersatztechnologie wird 3D-LiDAR-SLAM in Betracht gezogen,

welche Kameraposen, respektive die äusseren Orientierungen, als Näherungswerte in einem lokalen Koordinatenbezugsrahmen liefern kann. Ein weiterer Projektteil besteht aus der Verbesserung der genäherten Kameraposen mittels bildbasierter Georeferenzierung, worauf in Kapitel 3 eingegangen wird. Durch Bildmessungen von bekannten, zuvor eingemessenen Passpunkten, lassen sich die Kameraposen vom lokalen Bezugsrahmen in einen globalen Bezugsrahmen überführen. In Kapitel 4 wird die Nachführung von 3D-Bilddiensten thematisiert. Dabei ist es möglich, Bilder von mobilen Endgeräten in den 3D-Webdienst hochzuladen und mittels merkmalsbasierter Bildzuordnung entsprechend zu orientieren, was eine einfache Nachführung durch fachfremde Personen, wie beispielsweise Handwerker, ermöglicht.

2. Portables bildbasiertes 3D-Erfassungssystem

Im Rahmen des BIMAGE-Projekts wurde ein portables, bildbasiertes 3D-MMS für die Innenraumaufnahme entwickelt. Das für Forschungszwecke konzipierte, prototypische System wurde sowohl hardware- als auch softwareseitig modular aufgebaut, sodass einzelne Sensoren und Komponenten mit möglichst geringem Aufwand ausgetauscht werden können. Dies ermöglicht die Untersuchung verschiedener Sensorkonfigurationen sowie die fortlaufende Optimierung des Systems.

Die aktuelle Sensorkonfiguration besteht aus einer Mehrkopf-Panoramakamera *Ladybug5*, zwei Multiprofillaserscannern *Velodyne VLP-16* sowie einer *industrial grade IMU XSens MTI-300* (siehe Abb. 1). Des Weiteren enthält das MMS unterstützende Komponenten, wie einen leistungsfähigen Mini-Computer für die Datenspeicherung und die Echtzeit-SLAM-Prozessierung, LED-Streifen für die Ausleuchtung dunkler Räume, einen zusätzlichen Einplatinencomputer *Arduino Nano* mit entsprechenden Schnittstellen, um alle Sensoren hardwarebasiert zeitlich zu synchronisieren, sowie eine Batterie

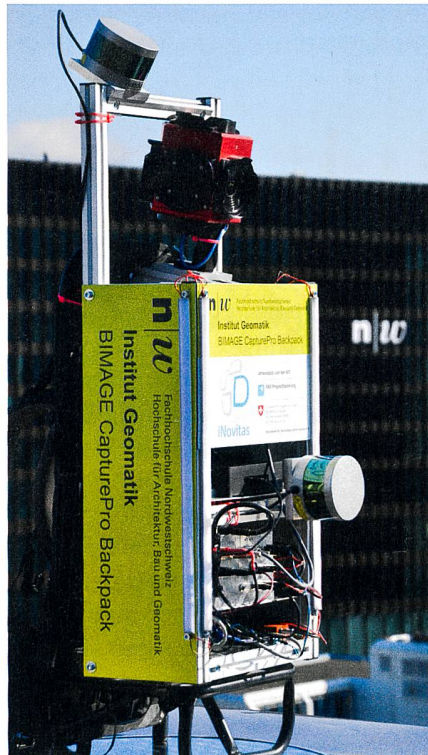


Abb. 1: Portables bildbasiertes 3D-Erfassungssystem für Innenräume als Prototyp (Blaser et al., 2018).

für die Stromversorgung. Das Systemgewicht beträgt rund 20 kg. Mit einem beliebigen mobilen Endgerät (Tablet, Smartphone, Laptop) lässt sich das MMS über eine Remote-Desktop-Verbindung bedienen. Während der Aufnahme registriert ein SLAM-Algorithmus die Punktwolken über eine Voxel-Karte, welche im Hintergrund zeitgleich erzeugt wird. Dadurch sind einerseits die Position und Ausrichtung des MMS, die so genannte Systempose, in einem lokalen Koordinatensystem bekannt, andererseits kann mit der Karte der Aufnahmefortschritt verfolgt werden. Der SLAM-Algorithmus kann automatisch Schleifenschlüsse detektieren und somit den Drift korrigieren. Mithilfe der Systempose, welche in Echtzeit vorliegt, kann die Panoramakamera nach geometrischen Bedingungen (z.B. pro Meter und/oder nach einer Drehung um 15°) ausgelöst werden. Nach der Aufnahme liegen die Einzelbilder der Panoramakamera mit den zugehörigen äusseren Orientierungen basierend auf der SLAM-Lösung vor. Sie können als

Näherungswerte für weitere Auswertungsschritte (z.B. bildbasierte Georeferenzierung) verwendet werden.

3. Genauigkeitssteigerung mit bildbasierter Georeferenzierung

Um die Kameraposen aus dem SLAM-Algorithmus zu verbessern, wurde die Structure-from-Motion Pipeline COLMAP mit Georeferenzierungs-Funktionalität erweitert (Cavegn et al., 2018). Somit können nun äussere Orientierungsparameter aus der direkten Sensororientierung oder SLAM sowie Passpunkte in die Bündelausgleichung integriert werden. Zudem können Bedingungen für relative Orientierungsparameter zwischen unterschiedlichen Kameras definiert und bei Bedarf fixiert werden.

Die entwickelten Komponenten wurden anhand zweier Datensätze evaluiert, die im 6. Obergeschoss des alten FHNW-Hauptgebäudes in Muttensz erfasst wurden. Die Bildaufnahme wurde jeweils beim Erreichen einer Distanz von grösser als einem Meter oder bei Richtungsänderungen von mehr als 15° ausgelöst. Bei der COLMAP-Prozessierung wurden die vorkalibrierten inneren Orientierungsparameter wie auch die relativen Orientierungsparameter zwischen den unterschiedlichen Kameraköpfen der Ladybug5-Panoramakamera festgesetzt. Der Datensatz vom November 2017 umfasst 270 Kamerastandorte (siehe Abb. 2), jeweils drei Passpunkte in den vier Ecken des Hauptkorridors und 13 über den ganzen Bereich verteilte Kontrollpunkte. Es resultierte ein RMSE-Wert für absolute 3D Kontrollpunkt-Residuen zwischen bildbasierter Georeferenzierung und Tachymetrie von 22 mm. Beim zweiten Datensatz vom März 2018 wurden Panoramaaufnahmen an 253 Standorten aufgenommen, jeweils zwei Passpunkte in den vier Ecken des Hauptkorridors definiert und 28 Kontrollpunkte berücksichtigt. Es wurde ein RMSE-Wert für 3D Kontrollpunkt-Residuen zwischen bildbasierter Georeferenzierung und Tachymetrie von 18 mm und ein RM-



Abb. 2: Untersuchungsgebiet im alten FHNW-Hauptgebäude in Muttenz mit georeferenzierten Mobile-Mapping-Bildern (rot) und 3D-Verknüpfungspunkten (schwarz), resultierend aus COLMAP, einer modifizierten Bündelblockausgleichungspipeline (Cavegn et al., 2018).

SE-Wert für 3D Kontrollpunkt-Residuen zwischen SLAM und Tachymetrie von 133 mm berechnet. Für die mittlere Präzision der Vorwärtsschnitte von jeweils mindestens vier Beobachtungen zu jedem Kontrollpunkt wurde ein 3D-Wert von 123 mm für SLAM und ein 3D-Wert für die bildbasierte Georeferenzierung von 3 mm erreicht. Diese Werte repräsentieren das Genauigkeitspotenzial von relativen 3D-Distanzmessungen.

4. Nachführung mit Smartphone-Bildern

Um den Wert eines 3D-Bilddatensatzes hoch halten zu können, sollten Änderungen möglichst rasch nachgeführt werden. Um Nachbefahrungen mit einem MMS auf periodische Kampagnen über grössere Gebiete zu beschränken, wäre eine Aktualisierung von kleinräumigen Änderungen mit mobilen Endgeräten wünschenswert. Handwerker könnten damit direkt nach Abschluss der Arbeiten die

Änderungen mit einigen Bildern dokumentieren, die danach in die bestehende Bilddatenbasis integriert werden. Der implementierte Prototyp für die Bildorientierung besteht aus einem Webser-

vice, mit welchem die Bilder hochgeladen werden können. Danach werden vollautomatisch Merkmale aus dem Bild extrahiert und diese mit den bestehenden Bildern verknüpft. Durch die Orientierungswerte und Tiefenkarten der Referenzbilder können somit über gefundene Verknüpfungspunkte die 3D-Koordinaten berechnet werden, anhand derer das neu aufgenommene Bild orientiert werden kann (siehe Abb. 3).

Untersuchungen in Rettenmund et al. (2018) haben gezeigt, dass absolute Genauigkeiten im Bereich von einigen Zentimetern im Innenbereich und ungefähr einem Dezimeter im Aussenbereich erreichbar sind. Allerdings sind dafür zurzeit noch optimale Bedingungen notwendig, da die aktuelle Lösung noch zu wenig robust ist, um starke Veränderungen im Vergleich zu den Referenzbildern abzufangen.

5. Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Innosuisse-Forschungsprojekts BIMAGE wurde ein prototypisches portables MMS entwickelt, um Daten für ein effizientes bildbasiertes Gebäudemanagementsystem zu erheben. Das System besteht aus der Mehrkopf-Panoramakamera *Ladybug5*, welche die Umgebung bildbasiert erfasst. Die Navi-

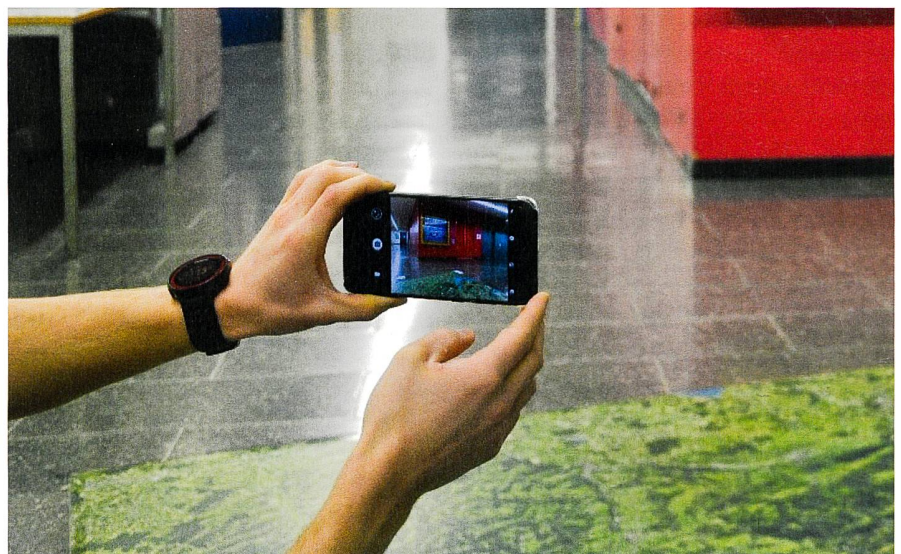


Abb. 3: Bildaufnahme mit einem Smartphone, welche mithilfe der bestehenden 3D-Bilddatenbasis vollautomatisch orientiert und georeferenziert wird.

gationssensorik besteht aus einer Sensorkombination mit zwei Multiprofillaserscannern *Velodyne VLP-16* und einer *industrial grade IMU XSens MTI-300*. Bei der Aufnahme werden die Punktwolken sowie die IMU-Daten in Echtzeit in einem 3D-LiDAR-SLAM-Algorithmus fusioniert, sodass die Trajektorie des MMS in einem lokalen Koordinatensystem vorliegt. Durch das Anbringen der Hebelarme und der Fehlausrichtungen lassen sich die genäherten Kameraposen berechnen. In einem nachträglichen Schritt können die durch den SLAM-Algorithmus näherungsweise bekannten Kameraposen mittels bildbasierter Georeferenzierung und Bündelausgleichung verbessert werden. Hierfür wurde die Open-Source-SfM-Software COLMAP dahingehend erweitert, dass vordefinierte Kamerakonfigurationen fixiert werden können. Erste Genauigkeitsuntersuchungen im alten FHNW-Hauptgebäude ergaben eine rund zehnfache Genauigkeitssteigerung für gemessene 3D-Kontrollpunkte; von 13.3 cm (SLAM-Kameraposen) hin zu 1.8 cm (bildbasierte Georeferenzierung). Die erfassten Bilddaten lassen sich mithilfe der Bildposen in einen infra3D-Webdienst integrieren und somit für das Building Information Management als professionelles «Street View für Innenräume» nutzbar machen. Des Weiteren wurde eine prototypische Anwendung zur Nachführung des infra3D-Webdiensts entwickelt, womit Smartphone-Bilder auf einfache und benutzerfreundliche Art und Weise in den

bestehenden Webdienst integriert werden können. Mithilfe von merkmalsbasierter Bildzuordnung können die Bilder entsprechend vollautomatisch georeferenziert werden.

Ein künftiger Entwicklungsschritt umfasst die Berechnung der Tiefeninformation in den erfassten Bildern, sodass 3D-Koordinatenmessungen direkt im Bild per Mausklick vorgenommen werden können. Des Weiteren werden Schnittstellen des 3D-Bilddatendienstes zu BIM prototypisch implementiert sowie die Interaktionsmöglichkeiten mit entsprechender BIM-Software untersucht. Künftig sollen einerseits direkt im 3D-Bilddatendienst BIM-Objekte konstruiert werden können. Andererseits sollen auch bestehende BIM-Objekte – unter anderem zur Kontrolle oder zur Visualisierung – in die 3D-Bilder augmentiert werden können.

Literatur:

- Blaser, S., Nebiker, S. & Cavegn, S., 2017. System Design, Calibration and Performance Analysis of a Novel 360° Stereo Panoramic Mobile Mapping System. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Hannover, Germany, Vol. IV-1/W1, pp. 207–213.
- Blaser, S., Cavegn, S. & Nebiker, S., 2018. Development of a Portable High Performance Mobile Mapping System Using the Robot Operating System. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Karlsruhe, Germany (wird im Oktober 2018 publiziert).
- Burkhard, J., Cavegn, S., Barmettler A. & Nebiker, S., 2012. Stereovision Mobile Mapping:

System Design and Performance Evaluation. In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Melbourne, Australia, Vol. XXXIX-B5, pp. 453–458.

Cavegn, S., Blaser, S., Nebiker, S. & Haala, N., 2018. Robust and Accurate Image-Based Georeferencing Exploiting Relative Orientation Constraints. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Riva del Garda, Italy, Vol. IV-2, pp. 57–64.

Nebiker, S., Cavegn, S. & Loesch, B., 2015. Cloud-Based Geospatial 3D Image Spaces – A Powerful Urban Model for the Smart City. ISPRS International Journal of Geo-Information, 4(4), pp. 2267–2291.

Rettenmund, D., Fehr, M., Cavegn, S. & Nebiker, S., 2018. Accurate Visual Localization in Outdoor and Indoor Environments Exploiting 3D Image Spaces as Spatial Reference. In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Karlsruhe, Germany (wird im Oktober 2018 publiziert).

Stefan Blaser

Stefan Cavegn

Daniel Rettenmund

Stephan Nebiker

Institut Geomatik

Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik

Fachhochschule Nordwestschweiz

Hofackerstrasse 30

CH-4132 Muttenz

stefan.blaser@fhnw.ch

stefan.cavegn@fhnw.ch

daniel.rettensmund@fhnw.ch

stephan.nebiker@fhnw.ch