

Location estimation in indoor environments using time-of-flight range camera

Doctoral Thesis

Author(s):

Kohoutek, Tobias K.

Publication date:

2012

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007618337>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH NO. 20820

**LOCATION ESTIMATION IN INDOOR ENVIRONMENTS USING A
TIME-OF-FLIGHT RANGE CAMERA**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the Degree of
Doctor of Sciences

presented by

TOBIAS KARL KOHOUTEK

Dipl.-Ing., TU Dresden

born February 11, 1981 in Frankfurt (Oder), Germany
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr.-Ing. Hilmar Ingensand, ETH Zurich
Dr. Jan Böhm, University College London (UCL)
Prof. Bertrand Merminod, EPF Lausanne

2012

ABSTRACT

Indoor positioning with different technical solutions is omnipresent in industrial and academic research. The most important applications are Location Based Services (LBS), which objects require reference in a coordinate system. Research and development target for example the automation of processes in smart warehousing and logistics, or the monitoring of people during rescue missions. Indoor positioning is also highly relevant to robotics and autonomous navigation. The poor performance of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) in indoor environments calls for other solutions. Diverse requirements and different environmental conditions, in particular Non-Line-of-Sight (NLoS) signal propagation, are reasons for the current insufficient level of performance in indoor positioning and navigation. Wireless devices (e.g. RFID systems) enjoy widespread use in numerous diverse applications including sensor networks, deployed in all environments and organizing themselves in an ad-hoc fashion. However, knowing the correct positions of network nodes and their deployment is an essential precondition. Optical sensors do not require the deployment of physical reference infrastructure inside buildings and offer several solutions covering all required accuracy levels.

The aim of this thesis is to apply range images from a Time-of-Flight (ToF) range camera for indoor positioning. Range Imaging (RIM) is a special technique in the spectra of electro-optic and video-metric principles. It is capable to capture the environment three-dimensionally in real-time. Single camera systems offer a high potential for indoor applications. Camera position and possible movements can be derived after insignificant details have been eliminated. Furthermore, semantic information can be extracted from the purely metrical data using geometric constraints to establish a connection between the spatio-semantic information of installations and objects in the scene.

This thesis is based on five scientific publications, which have been framed, by an introduction and a concluding chapter. Publication 1 focuses on the localization and tracking/monitoring of a robot. Publication 2 describes human computer interaction based motion detection of people. Publications 3 to 5 concentrate on the location estimation of a ToF range camera itself in a scene compared to a spatio-semantic interior building model. Such models can be referenced to any arbitrary coordinate system. The proposed approach can therefore be used for absolute positioning of objects/installations and human operators in real time with centimeter accuracy. However, the camera position in relation to surrounding objects, which are compared with their database models, is derived with decimeter accuracy. Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) generates 3D modeled environments in the proposed method.

ZUSAMMENFASSUNG

Innenraumpositionierung und die verschiedenen technischen Lösungsmöglichkeiten erfahren ein immenses Interesse in der Industrie und Forschung. Die wichtigsten mobilen Anwendungen beziehen sich auf den aktuellen Ort, um so genannte Location Based Services (LBS) zu ermöglichen. Lagerhaltung, Logistik und deren Automatisierung sowie das Verfolgen von Personen bei Rettungseinsätzen oder in Krankenhäusern und in Heimen liefern die Grundlage für die Forschung und Entwicklung in diesem Gebiet. Weiterhin ist die Positionierung ein wichtiges Element in der Robotik und der autonomen Navigation. Die komplexen Anforderungen und die verschiedenen Umgebungsbedingungen, mit ihren oftmals ungünstigen Signalausbreitungsverhältnissen sind die Ursachen für die Schwierigkeiten bei der Innenraumpositionierung und Navigation. Das weitgehende Fehlen von Satellitensignalen innerhalb von Gebäuden fordert andere Lösungen. Drahtlose Geräte genießen weit verbreiteten Einsatz in unterschiedlichsten Anwendungen, darunter zahlreichen Sensor-Netzwerken in allen Umgebungen in denen sie sich in einem Ad-hoc-Modus organisieren. Exakte Informationen über die Positionen der Netzwerkknoten sind jedoch eine wesentliche Funktionsvoraussetzung. Optische Sensoren benötigen keine zusätzlichen Referenzobjekte und bieten Lösungsansätze, welche alle Genauigkeitsklassen abdecken.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, semantisch-geometrische Zusammenhänge von Installationen und Objekten in Gebäuden mit akquirierten Punktwolken einer Time-of-Flight (ToF) Kamera zu vergleichen, bzw. in weiteren Schritten Informationen über Position und Bewegung abzuleiten. Unter den vielen elektro-optischen und videometrischen Verfahren nimmt Range Imaging (RIM) einen speziellen Stellenwert ein. Die Möglichkeit die Umgebung in Echtzeit dreidimensional mit Zentimetergenauigkeit mit einer Kamera zu erfassen lässt ein immenses Potential erwarten. Die Position der Kamera und eventuelle Bewegungen können erst nach dem entfernen unwichtiger Details und der Extraktion von relevanten geometrischen Elementen aus den reinen geometrischen Daten bestimmt werden.

Die vorliegende Dissertation stützt sich auf fünf wissenschaftlichen Publikationen umrahmt von einer Einleitung, Schlussfolgerungen und einem Ausblick. Dabei wird in Publikation 1 auf das Lokalisieren und Verfolgen/Überwachen eines Roboters eingegangen, während in Publikation 2 das Erkennen von Personen und deren Bewegungen vor Bildschirmen zur interaktiven Steuerung behandelt wird. Die Publikationen 3 bis 5 behandeln die Positionierung der Kamera anhand der Erkennung ihrer Umgebung und dem Vergleich dieser mit semantisch-geometrischen Innenraummodellen. Diese Modelle können mit jeglichen Koordinatensystemen versehen werden und erlauben damit eine absolute Positionierung. Die Installation zusätzlicher Sensoren im Gebäude ist unnötig, welches einen Vorteil gegenüber üblichen Sender-Empfänger gebundenen Positionierungsverfahren (z.B. RFID Systemen) in dieser Genauigkeitsklasse bieten kann.

Die vorgestellte Methode ermöglicht die Bestimmung der Position von Objekten/Installationen und Personen mit Zentimetergenauigkeit. Die Bestimmung der Position der Kamera, aus dem Vergleich der sie umgebenden Objekte mit deren Datenbankmodellen, erfolgt jedoch nur mit Dezimetergenauigkeit. Die gleichzeitige 3D-Modellierung der Räume ist ein Zusatzprodukt der hier vorgestellten Methode.