

MITK-ToF: Time-of-Flight Kamera-Integration in das Medical Imaging Interaction Toolkit

Kwong Yung, Alexander Seitel, Sven Mersmann, Hans-Peter Meinzer,
Lena Maier-Hein

Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik, DKFZ Heidelberg
k.yung@dkfz-heidelberg.de

Kurzfassung. Time-of-Flight (ToF) Kameras bieten aufgrund der Möglichkeit zur schnellen und robusten Oberflächenerfassung großes Potential für die intra-interventionelle Akquise von Informationen über die Patienten-anatomie und Organmorphologie. Eine Nutzung der neuen Technik als medizinische Bildgebungsmodalität erfordert eine nahtlose Integration in die verwendete Softwareinfrastruktur. Nachdem sich das Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK) als Framework für die medizinische Bildverarbeitung etabliert hat, stellen wir in diesem Beitrag eine Erweiterung um die Anbindung von Time-of-Flight Kamerasystemen vor (MITK-ToF). MITK-ToF unterstützt die Ansteuerung verbreiteter ToF-Kameratypen und stellt die akquirierten Bilddaten in mehreren Dateiformaten bereit. Die durch die Integration in das MITK ermöglichte Verwendung der dort vorhandenen Komponenten zur Bildverarbeitung, Visualisierung und Interaktion ermöglichen die Entwicklung komplexer ToF-basierter Anwendungen. Wir zeigen das Potential des vorgestellten Toolkits beispielhaft anhand einer Anwendung zur Darstellung, Aufnahme und Wiedergabe von ToF Daten. Zur BVM 2011 wird eine erste open-source Version des Toolkits veröffentlicht.

1 Einleitung

Ein zentrales Problem bei der computerbasierten Interventionsunterstützung ist die Registrierung prä- und intraoperativer Daten des Patienten. Oberflächenbasierte Verfahren für die intraoperative Registrierung haben im Vergleich zu den in der Praxis häufig eingesetzten, markerbasierten Registrierungsverfahren den Vorteil, dass sie ohne zusätzliche interne oder externe Marker auskommen und daher schonendere Eingriffe ermöglichen. Für ein akkurates Registrierungsergebnis ist jedoch eine genaue Rekonstruktion der Organoberfläche erforderlich. Bisherige Ansätze für die Erfassung der Organoberfläche (z.B. Laserscanning oder strukturiertes Licht) sind entweder zu ungenau, zu kostspielig, oder weisen eine zu geringe Aktualisierungsrate auf. Eine neuartige Möglichkeit zur intraoperativen Oberflächenerfassung bietet in diesem Zusammenhang die Time-of-Flight-(ToF) Kameratechnik, welche auf der Laufzeitmessung von intensitätsmoduliertem Licht basiert, wie beispielsweise in [1] detailliert beschrieben. Sie ermöglicht die Aufnahme von korrespondierenden Distanz- und Intensitätsbilder

mit hoher Aktualisierungsrate. Der Einsatz der ToF-Technik zur intraoperativen Oberflächenerfassung stellt besondere Herausforderungen an die verwendete Software zur Kamera-Ansteuerung, Bildakquisition und Bildverarbeitung, da genaue und präzise 3D Informationen benötigt werden. Bestehende Softwarebibliotheken wie die Basic Image Algorithms Library (BIAS) oder die ARTTS-Toolbox, die ToF-Unterstützung anbieten, haben ihren Fokus in der allgemeinen Bildverarbeitung und Objekterkennung; komplett integrierte medizinische Applikationen, welche die Unterstützung unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten (CT, MRT, ToF) und die Umsetzung computerbasierter Therapie und Interventionsunterstützung ermöglichen, lassen sich damit nicht – oder nur umständlich – erstellen. Wir stellen daher eine Erweiterung des Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK) [2] für medizinische Bildverarbeitungsanwendungen vor (MITK-ToF), die es ermöglicht, performante ToF-basierte Anwendungen zur Therapieunterstützung zu realisieren.

2 Material und Methoden

Folgende Anforderungen werden beim Entwurf von MITK-ToF hauptsächlich berücksichtigt.

- *Flexibilität*: Das Toolkit soll modular aufgebaut sein und muss verschiedene Kameramodelle vers. Hersteller unterstützen. Die akquirierten Bilddaten sollen in unterschiedlichen Formaten bereitgestellt werden. Ausserdem ist eine einfache Integration in die bestehende Pipelinearchitektur der Bildverarbeitung und Trackingkomponente (MITK-IGT [3]) zu gewährleisten.
- *Erweiterbarkeit*: Neue Kamerasysteme sollen einfach in das System integriert werden können.
- *Robustheit*: Ein gutes Qualitätsmanagement der Softwarekomponenten ist im Hinblick auf einen möglichen klinischen Einsatz unabdingbar. Daher sollen Modultests (unit tests) vom Anfang an integriert werden. Eine möglichst hohe Testabdeckung ist durch die sorgfältige Auswahl von Testfällen und Testdaten zu gewährleisten.
- *Performanz*: Für die schnelle Weiterverarbeitung der Daten wird eine Wiederholungsrate von 20 bis 25 Bilder pro Sekunden gefordert.
- *Portierbarkeit*: Analog zu MITK soll das ToF-Toolkit in portablem C++ Code für die Betriebssysteme Windows, Linux und Mac OS entwickelt werden.

Zur Realisierung dieser Anforderungen wurde ein zweistufiges Konzept umgesetzt (Abb. 1), welches die Ansteuerung der Kamera-Hardware (Abschnitt 2.1) und die Verarbeitung der ToF-Bilddaten (Abschnitt 2.2) ermöglicht. In Bezug auf die Qualitätssicherung wurden die in [4] vorgestellten Softwareentwicklungsprozesse und -werkzeuge, z.B. für die Versionskontrolle (Subversion) und Fehlerverfolgung (Bugzilla), eingesetzt.

2.1 Geräteschicht

Die Geräteschicht abstrahiert die Ansteuerung der ToF-Kamera-Hardware. Unterstützt werden zur Zeit u.a. die Typen O3, CamCube 2.0 und CamCube 3.0

sowie das CamBoard von PMDTechnologies (PMDTechnologies GmbH, Siegen, Deutschland). Die implementierte Klassenhierarchie ermöglicht es ferner, neue Kameratypen mit geringem Aufwand in MITK-ToF einzubinden. Kameraparameter werden über individuelle Konfigurationsdateien eingegeben. Das Auslesen der ToF-Bilddaten erfolgt in einem separaten Thread, der in Verbindung mit einem Datenpuffer für einen hohen Durchsatz sorgt. ToF-Kameras liefern üblicherweise mehrere Datenströme (Distanz-, Intensität- und Amplitudenbild, Rohdaten); dementsprechend werden diese Daten an die Verarbeitungsschicht weitergeleitet. Dabei werden die Bilddaten wahlweise in die Formate MITK, ITK oder OpenCV konvertiert, um eine hohe Flexibilität zu erreichen.

Eine weitere Aufgabe der Geräteschicht ist die Bereitstellung von Aufnahme (Recorder)- und Wiedergabe (Player)-Funktionalitäten. In MITK-ToF sind deshalb Recorder-/Player-Klassen für einige ausgewählte Bildformate (MITK,

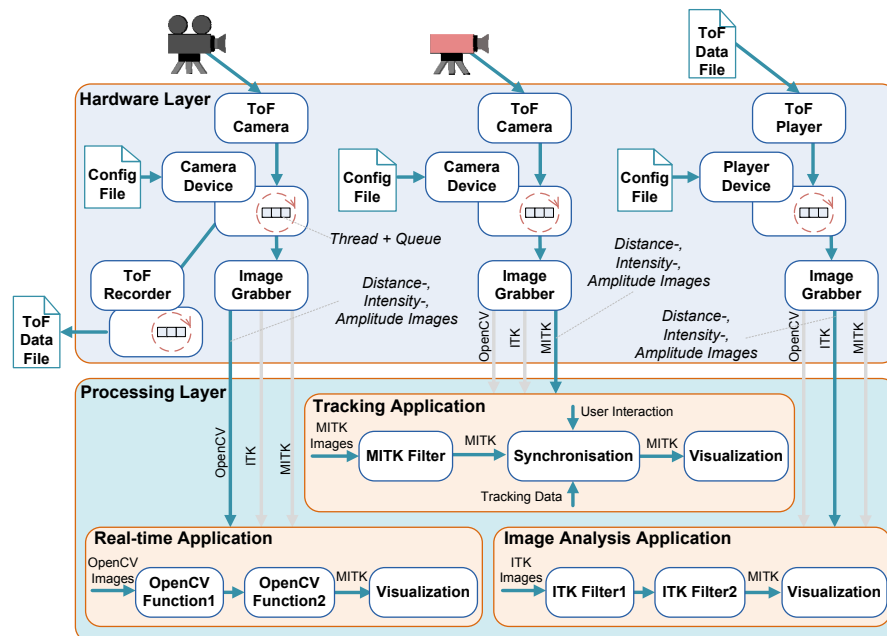


Abb. 1. Schematischer Aufbau von MITK-ToF. Die Geräteschicht (Hardware Layer) erlaubt das Ansteuern verschiedener ToF-Kameras sowie Player/Recorder Komponenten. Die Bilddaten werden von der Device-Klasse in einem separaten Thread ausgelesen und in einer Datenpuffer zwischengespeichert. Die ImageGrabber-Klasse kann die Bilddaten dann jederzeit mit einer geringeren Latenzzeit abholen. Die Verarbeitungsschicht (Processing Layer) ermöglicht das Weiterverarbeiten der ToF-Daten unter Benutzung der Bildverarbeitungs-, Visualisierungs- und Interaktionskomponenten des MITK sowie assoziierter Toolkits wie ITK und OpenCV. In der Grafik sind beispielhaft verschiedene Anwendungsszenarien skizziert.

ITK, Textdatei) implementiert, neue Formate können durch Implementierung von neuen Writer-/Reader-Klassen eingebunden werden.

2.2 Verarbeitungsschicht

Die Verarbeitung der ToF-Bilddaten ist vollständig in die Pipeline-Architektur von MITK integriert. Filter können sowohl für die Vorverarbeitung (z.B. Tiefenkorrektur, Entrauschen) als auch für die spezifische Anwendung (z.B. 3D Oberflächenmodell-Generierung, Registrierung) in eine Pipeline zusammenschaltet werden. Während bei Aufgaben wie Glättung und Entrauschung Standardfilter von ITK, MITK oder OpenCV zum Einsatz kommen können, werden für die ToF-Bildverarbeitung spezielle Filter implementiert. Es existieren beispielsweise Filter für die Bereiche Segmentierung und 3D-Oberflächengenerierung. Die Auswahl und Zusammenstellung der erforderlichen Filter sind allerdings sehr anwendungsspezifisch, einige typische Anwendungsszenarien sind in Abb. 1 dargestellt. Durch die flexible Schnittstelle kann auf sämtliche Filterfunktionalitäten von ITK, MITK und OpenCV zurückgegriffen werden. Zusätzlich zu den Filterklassen beinhaltet die Verarbeitungsschicht eine Sammlung von wiederverwendbaren Bedienelementen für die grafische Benutzeroberfläche (GUI-Widgets) zur Gerätekonfiguration, zum Aufnehmen und Abspielen sowie für die Visualisierung von ToF-Daten (Abb. 2).

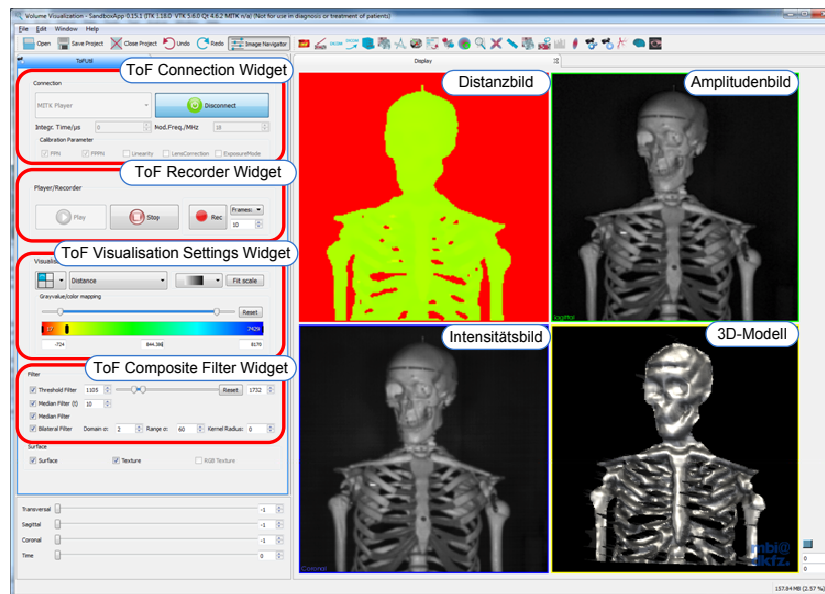
3 Ergebnisse

Um die Funktionsweise von MITK-ToF zu demonstrieren, wurde beispielhaft eine Anwendung zur Darstellung, Aufnahme und Wiedergabe von ToF-Daten entwickelt (Abb. 2), die es ermöglicht, ToF-Bilder auf eine einfache Art und Weise zu visualisieren und ToF-Oberflächenmodelle mit einer Wiederholungsrate von bis zu 20 Bildern pro Sekunde zu generieren (Intel Core i7 3GHz, Windows 7 64bit, ToF-Kamera: PMDTec CamCube 3.0). Sämtliche GUI-Widgets und Filter von MITK-ToF sind in diese Anwendung integriert. Eine erste open-source Version wird zur BVM 2011 auf www.mtk.org unter einer BSD-kompatiblen Lizenz veröffentlicht. Zusätzlich soll MITK-ToF auf der BVM 2011 als Softwaredemonstration gezeigt werden.

4 Diskussion

Mit MITK-ToF beschreibt diese Arbeit eine Erweiterung des MITK um die Anbindung von ToF Kameras sowie die Weiterverarbeitung aufgenommener ToF-Daten für den Einsatz zur intra-interventionellen Oberflächenerfassung. Besonderer Wert wurde auf Erweiterbarkeit, Robustheit und Performanz gelegt, um den grundlegenden Anforderungen an Systeme zur computerbasierten Therapieunterstützung zu genügen. Zukünftige Arbeiten konzentrieren sich auf die Integration von schnellen, GPU-basierten Algorithmen, Verfahren zur Kamerakalibrierung [5] sowie Synchronisation der ToF-Bilddaten mit anderen Bildquellen.

Abb. 2. Screenshot der entstandenen ToF-Anwendung. Im Kontrollbereich auf der linken Seite werden Widgets zur Gerätekonfiguration, zum Aufnehmen und Abspielen, sowie für die Visualisierung und Filterkonfiguration verwendet.



Dem open-source Gedanken folgend, stellt diese Arbeit eine Basis für zukünftige Weiterentwicklungen im Bereich ToF-basierter Systeme dar.

Literaturverzeichnis

1. Kolb A, Barth E, Koch R, et al. Time-of-flight sensors in computer graphics. Eurographics State Art Rep. 2009; p. 119–34.
2. Wolf I, Vetter M, Wegner I, et al. The medical imaging interaction toolkit. Med Image Anal. 2005;9(6):594–604.
3. Neuhaus J, Kast J, Wegner I, et al. Building image guided therapy applications with the Medical Imaging interaction toolkit. In: Int J CARS. vol. 4; 2009. p. 108–9.
4. Neuhaus J, Maleike D, Nolden M, et al. A quality-refinement process for medical imaging applications. Method Inform Med. 2009;48(4):336–9.
5. Lindner M, Kolb A. Lateral and depth calibration of PMD-distance sensors. Lect Notes Computer Sci. 2006;4292:524–33.