

Holographische Visualisierung der Leber mit markergestütztem Tracking an einem Phantom

Bachelorarbeit

Antonia Gerdes

Abteilung Translationale Chirurgische Onkologie
NCT Dresden

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Stefanie Speidel
Zweitgutachter: Dr.-Ing. Sebastian Bodenstedt
Betreuernder Mitarbeiter: Micha Pfeiffer

Bearbeitungszeit: Juli 08, 2019 – September 23, 2019



NATIONALES CENTRUM
FÜR TUMORERKANKUNGEN
PARTNERSTANDORT DRESDEN
UNIVERSITÄTS KREBSZENTRUM UCC



Ich versichere hiermit, die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt zu haben. Die verwendeten Hilfsmittel und Quellen sind im Literaturverzeichnis vollständig aufgeführt.

Dresden, den YY Monat, 20XX

Zusammenfassung

Short description of motivation, methods, results and discussion

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 1 Einführung | 1 |
| 1.1 Motivation | 1 |
| 1.2 Ziele | 1 |
| 1.3 | 1 |
| 2 Stand der Forschung | 3 |
| 2.1 Augmented Reality in der Chirurgie | 3 |
| 2.2 Marker Tracking in der Chirurgie | 3 |
| 2.3 Hololens in der Chirurgie | 4 |
| 3 Grundlagen | 5 |
| 3.1 Mixed Reality | 5 |
| 3.2 Head Mounted Displays | 5 |
| 3.3 Registrierung | 6 |
| 3.4 AR Tracking | 6 |
| 3.4.1 Infrarot Tracking | 6 |
| 3.4.2 Visible Light Tracking | 7 |
| 3.4.3 3D Structure Tracking | 8 |
| 3.5 Phantom | 8 |
| 4 Methoden | 9 |
| 4.1 Microsoft Hololens | 9 |
| 4.2 NDI Polaris | 9 |
| 4.3 Unity | 9 |
| 4.4 Mixed Reality Toolkit | 9 |
| 4.5 Vuforia | 9 |
| 4.6 Versuchsaufbau | 9 |
| 5 Evaluation | 11 |
| 6 Diskussion | 13 |
| List of Figures | 15 |
| List of Algorithms | 17 |
| Bibliography | 19 |

1. Einführung

This section should describe your motivation and general introduction to the topic as well as the goals of your work.

1.1 Motivation

-kein hin und her schauen zwischen Patient und Bildschirm

1.2 Ziele

Getrackt werden soll das Phantom eines Torsos. Es sollen verschiedene Methoden des markerbasierten Trackings implementiert und ein Hologramm der Leber relativ zu den Markern platziert werden. Zu diesen Methoden zählt Vuforia Model Recognition mit einem Trained Model Dataset, bei der die Bauchplatte des Phantoms als Model Target (Marker) fungiert und von Vuforia getrackt wird. Weitere Marker sind Vuforia ImageTargets, ArUco Marker und kreisförmige Farbmarker. Bei diesen drei Methoden werden mehrere Marker auf dem Torso platziert.

Die Methoden sollen mit Hilfe der NDI Polaris evaluiert werden. Dazu soll dem Modell des Torsos eine Reihe an voneinander unterscheidbaren Modellen (farbige Kugeln o.Ä.) hinzugefügt werden, welche sowohl in die Polaris eingepflegt als auch mit der Hololens angezeigt werden. Diese Modelle werden von VersuchsteilnehmerInnen mit dem Pointer der Polaris angefahren. Aus den Positionsdaten des Pointers und den Positionsdaten des in die Polaris eingepflegten Modells lässt sich der Fehler der jeweiligen Methode berechnen.

1.3 ...

2. Stand der Forschung

Im Folgenden werden verwandte Arbeiten genannt, wobei besonderer Fokus auf Anwendungen mit der Microsoft Hololens gelegt wird. Weiterhin wird auf verschiedene Möglichkeiten der Registrierung, u.a. durch Marker Tracking eingegangen.

2.1 Augmented Reality in der Chirurgie

Augmented Reality kann im medizinischen Bereich in vielerlei Hinsicht eingesetzt werden. Großes Potential haben Anwendungen zur präoperativen Planung [1], intraoperativer Visualisierung und zum Training von Chirurgen [2]. Anwendungen mit Head-Mounted-Displays, also Displays, die wie eine Brille auf dem Kopf getragen werden, bieten zusätzlich den Vorteil, dass der Chirurg seine Hände frei nutzen kann. Eine Herausforderung hierbei ist, dass zur Visualisierung die Daten korrekt mit dem Patienten überlagert (*registriert*) werden müssen. Es muss also erreicht werden, dass jeder Punkt auf dem Patienten mit dem korrespondierenden Punkt im angezeigten Objekt übereinstimmt.

Azuma hat bereits 1997 Anwendungsfälle für AR im medizinischen Bereich genannt, unter anderem ein Projekt, bei welchem eine Biopsie des Brustgewebes durch AR unterstützt wurde. Die Position des Tumors in einem Phantom wurde visualisiert und die Einstichstelle sowie der Pfad der Nadel im Gewebe bis zum Tumor geführt [2].

Birkfellner et al. [3] nutzen als HMD ein um AR-Fähigkeit erweitertes Varioscope von Life Optics.

Bei *INPRES* (intraoperative presentation of surgical planning and simulation results)[] wurde als HMD die Optische-Durchsicht-Brille Sony Glasstron verwendet.

2.2 Marker Tracking in der Chirurgie

Registrierung kann über das Tracken von Markern erreicht werden. Marker sind Objekte, die in der Szene angebracht werden und durch Methoden der Computer Vision im Videostream erkannt werden können. Durch die Position der Marker im Bild lässt sich dann wiederum die Kamerapose ermitteln und so das 3D Objekt an der richtigen Stelle im Raum anzeigen.

Ha und Hong haben ein System zur Unterstützung einer Knochentumorresektion entwickelt. Um den Patienten und die Instrumente zu tracken, wurde ein Tablet Computer

mit Kamera genutzt, auf dem auch gleichzeitig die Visualisierung zu sehen war. Als Marker wurden Würfel genutzt, an welchen auf jeder Seite ein planares Bild angebracht war, ähnlich zu Aruco Markern. Diese Marker wurde am Patienten und an den Instrumenten befestigt, ein externes Tracking System war nicht notwendig [1].

2.3 Hololens in der Chirurgie

Liebmann et al. [4] nutzen die Hololens

Rae et al. [5] nutzen die Hololens, um die Platzierung von Bohrlöchern auf dem Schädel anzuzeigen. Mit dem Tool 3D Slicer wird ein 3D Modell erstellt und Marker sowohl an den gewünschten Bohrpunkten als auch an Registrierungspunkten platziert. Die Registrierung des 3D Modells via Hololens mit dem Phantom erfolgt über die manuelle Positionierung der ersten Markers. Die Abstände zwischen den Markern sind fix, sodass die beiden anderen Marker vom Chirurgen an die gewünschte Stelle rotiert werden. Anschließend können vom Chirurgen kleinere Anpassungen in der Positionierung vorgenommen werden. Bei dem gesamten Vorgang wird auf die korrekte Einschätzung des Chirurgen vertraut.

3. Grundlagen

In diesem Kapitel wird eine Einführung in die Grundlagen gegeben, welche im Methoden Kapitel verwendet werden. Zuerst wird das Mixed Reality Spektrum erläutert, anschließend das Prinzip der Head Mounted Displays. Im Abschnitt 4.3 wird AR Tracking beschrieben, welches Marker, verschiedene Arten von Markern und Tracking Algorithmen beinhaltet. Abschließend wird das bei dieser Arbeit verwendete Phantom vorgestellt.

3.1 Mixed Reality

Der Begriff *Mixed Reality* (MR) wurde zuerst von Milgram und Kishino [6] beschrieben. Dabei handelt es sich um ein Spektrum, welches sich zwischen der realen und der virtuellen Welt aufspannt (siehe Abb. 3.1). Unter der virtuellen Welt wird hierbei die *Virtuelle Realität* (VR) verstanden, welche sich dadurch kennzeichnet, dass der Nutzer vollständig in eine digitalisierte Umgebung eintaucht, ohne seine reale Umwelt direkt wahrnehmen zu können. Auf dem MR Spektrum sind reale und virtuelle Welt unterschiedlich stark miteinander verschmolzen. Bei der *Augmented Reality* (AR) werden der realen Welt virtuelle Objekte, wie bspw. der Avatar einer sich nicht im Raum befindlichen Person, hinzugefügt [7]. Bei der *Augmented Virtuality* (AV) werden ausgehend von der virtuellen Welt Eigenschaften des realen Raumes übernommen, wie etwa Hindernisse [7].

Heutzutage wird die MR nicht nur durch die Art des verwendeten Bildschirms beschrieben, sondern zusätzlich durch die Fähigkeit des Geräts, sich im Raum lokalisieren zu können und bspw. Geräusche räumlich korrekt wiedergeben zu können [7].

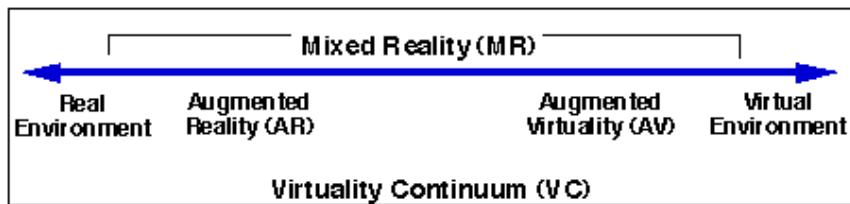


Abb. 3.1: Mixed Reality Spektrum nach Milgram und Kishino [6]

3.2 Head Mounted Displays

Um virtuelle Objekte in der realen Welt anzeigen zu können, werden Displays benötigt. Neben Displays, welche in der Hand gehalten werden und stationär befestigten Displays,

gibt es *Head Mounted Displays* (HMDs). Sie werden ähnlich einer Brille auf dem Kopf getragen, das Display befindet sich vor den Augen des Nutzers. Im Bereich AR wird zwischen *video see-through HMD* (VST-HMD) und *optical see-through HMD* (OST-HMD) unterschieden.

Bei VST-HMDs wird ein Video der Umwelt aufgenommen, in welches die virtuellen Objekte mittels Methoden der Computer Vision pixelgenau eingefügt werden [8]. Es tritt keine Zeitverzögerung zwischen Bild der realen Welt und dem darauf angezeigtem virtuellem Objekt auf. Mittels Tiefenkameras kann eine korrekte räumliche Überlagerung von virtuellen Objekten durch reale Objekte garantiert werden. Ein Nachteil von VST-HMDs ist die Tatsache, dass der Träger des HMDs die Welt nur über das Video wahrnimmt und es so zu Problemen aufgrund von begrenzter Auflösung und zeitlicher Verzögerung zwischen realer Welt und Video kommen kann [8].

OST-HMDs hingegen sind Displays, welche durchsichtig sind und so den Blick auf die reale Umgebung ermöglichen. Dadurch gibt es keine Zeitverzögerung zwischen realer Welt und Szene, die der Nutzer sieht, mehr. Allerdings kann es nun zur zeitlichen Verzögerung im Rendering des virtuellen Objektes kommen. Ein weiteres großes Problem ist das Registrieren der virtuellen Objekte mit der Umwelt, da bei OST-HMDs zum positionieren dieser Objekte keine Methoden der Computer Vision verwendet werden können [8]. Die in dieser Arbeit verwendete Microsoft Hololens lässt sich zu den OST-HMDs zählen.

3.3 Registrierung

Im medizinischen Bereich ist es wünschenswert, verschiedene Datensätze, welche bspw. durch unterschiedliche Bildgebende Verfahren oder zu verschiedenen Zeitpunkten im Krankheitsverlauf entstanden sind, in Übereinstimmung zu bringen. So können die Datensätze gleichzeitig angezeigt werden, was die Interpretation erleichtert und das aufwändige Wechseln zwischen den verschiedenen Medien vermeidet. Dies ermöglicht eine Verbesserung von Diagnose, Planung und Therapie. Dieser Prozess des in-Übereinstimmung-bringens wird *Registrierung* genannt.

In der AR bezieht sich der Begriff Registrierung auf das Problem, die Objekte der virtuellen und realen Welt miteinander in Einklang zu bringen [2]. Es werden *Ankerpunkte* (Anchor) benötigt, um die Hologramme am korrekten Ort anzuzeigen und dort zu halten, selbst wenn der Nutzer sich im Raum bewegt. Als Anchor können u.a. reale Objekte im Raum, bspw. Image Marker aus Papier, genutzt werden [8]. Nach der initialen Registrierung, bei welcher die Position und Rotation (*Pose*) des Nutzers in Relation zum Anchor bestimmt werden, müssen diese kontinuierlich aktualisiert werden, da der Nutzer sich im Raum bewegt [8]. Im Folgenden werden verschiedene Tracking Methoden genannt.

3.4 AR Tracking

Generell gibt es verschiedene Tracking Methoden, wie Magnetisches Tracking, Sichtbasiertes Tracking, Inertial Tracking oder hybride Anwendungen.

Sichtbasiertes Tracking zeichnet sich dadurch aus, dass zur Berechnung der Kamerapose im Verhältnis zu Objekten im Raum Methoden aus der Computer Vision genutzt werden [9]. Da in dieser Arbeit sichtbasiertes Tracking verwendet wurde, wird nur dieses im Weiteren erläutert.

3.4.1 Infrarot Tracking

Beim Infrarot Tracking wird von einem Marker entweder Infrarot Strahlung ausgesendet (*aktiver Marker*) oder reflektiert (*passiver Marker*). Für die trackende Kamera haben diese

Marker einen hohen Kontrast, da sie als helle Punkte vor dunklem Hintergrund erscheinen. Es gibt zwei Ansätze, wie Marker und Kamera konfiguriert sein können: als *outside-looking-in* Konfiguration, bei welcher das zu trackende Objekt mit Markern ausgestattet und von einer stationären Kamera getrackt wird oder als *inside-looking-out* Konfiguration, bei welcher das zu trackende Objekt mit einer Kamera ausgestattet wird und sich anhand von im Raum befestigten Markern orientiert [8].

3.4.2 Visible Light Tracking

Mit Hilfe von Video Aufnahmen aus RGB-Kameras, wie sie bspw. die Hololens besitzt, lassen sich Hologramme ebenso mit der realen Welt registrieren. Die dazu verwendeten Methoden lassen sich in drei Techniken aufteilen, welche im Folgenden erläutert werden.

Fiducial Tracking

Fiducials sind physische Objekte, die in der realen Welt platziert werden (siehe Abb.3.2). Sie können als Anchor für virtuelle Objekte genutzt werden, um diese im Raum zu positionieren. Wie ein Fiducial aussieht, ist stark von dem Algorithmus abhängig, der zum Tracken genutzt wird. So gibt es einfarbige Fiducials, die per Color Matching getrackt werden können [8]. Hierbei muss beachtet werden, dass ein einzelner, einfarbiger Marker nicht genügend Informationen enthält, um die Kamerapose zu bestimmen. Es müssen mindestens vier Punkte im Raum erkannt werden, um diese berechnen zu können [8]. Es muss also darauf geachtet werden, die Marker so in der realen Welt zu positionieren, dass zu jeder Zeit mindestens vier einfarbige Fiducials sichtbar sind. Dieser Mehraufwand kann vermieden werden, indem planare quadratische Marker verwendet werden, deren Ecken als die vier bekannten Punkte dienen. Zusätzlich kann ein Bild dem Marker hinzugefügt werden, um zu ermöglichen, dass mehrere Marker zeitgleich verwendet und voneinander unterschieden werden können, sowie die Rotation um die vertikale Achse feststellen zu können, wie es bspw. beim ARToolkit der Fall ist [8].

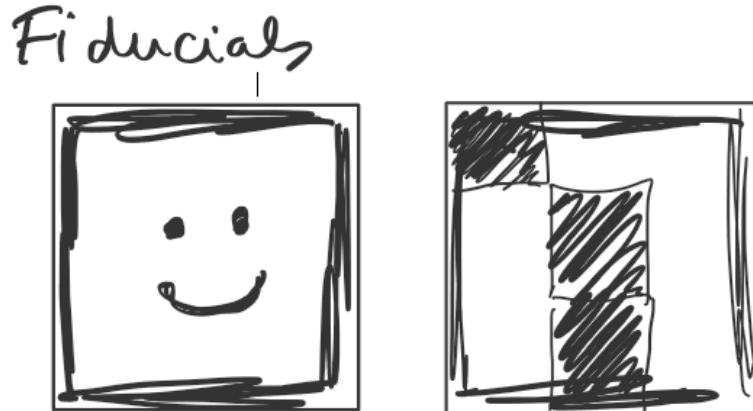


Abb. 3.2: Beispiel planare Fiducials und einfarbige Fiducials (beim zeichnen vergessen)

Natural Feature Tracking

Natural Feature Tracking ermöglicht ein markerloses Tracking, somit müssen dem Raum keine künstlichen Merkmale in Form von Fiducials hinzugefügt werden. Algorithmen wie SIFT (Scale Invariant Feature Transform) ermitteln eindeutige Merkmale in einem Set von Referenzbildern und bilden einen Deskriptor, welcher spezifisch für dieses eine Merkmal ist und in einer Datenbank gespeichert wird. Mittels Feature Matching werden Merkmale

des zu trackenden Objekts mit Merkmalen aus der Datenbank abgeglichen. Die Pose der Kamera kann nun mit den gefundenen Features ähnlich berechnet werden wie bei Fiducials [8].

Modellbasiertes Tracking

Beim modellbasiertem Tracking wird ein 3D-Modell des Objektes genutzt, welches getrackt werden soll. Auf die Szene werden Kantenfilter angewendet, welche mit dem 3D-Modell abgeglichen werden, wodurch die Pose der Kamera bestimmt wird. Es ist möglich, Natural Feature Tracking und die Textur des 3D-Modells mit einzubeziehen, wodurch das Tracking robuster wird [8].

3.4.3 3D Structure Tracking

Es ist möglich, mit Hilfe von 3D-Kamerasystemen Tiefendaten zu erhalten. Diese Tiefendaten werden mittels Methoden wie time-of-flight oder strukturiertem Licht erzeugt. Bei ersterem wird die Laufzeit eines Lichtimpulses zum Objekt und zurück gemessen, sodass für jeden Pixel in der Szene eine Laufzeitmessung und somit die Distanz zur Kamera bekannt ist [10]. Bei strukturiertem Licht werden Streifen oder Punkte auf eine Oberfläche projiziert. Durch die Oberfläche wird das projizierte Muster verzerrt. Mithilfe von optischer Triangulation kann nun die 3D Position der Punkte bestimmt werden [10]. Die KinectFusion nutzt strukturiertes Licht um 3D Modelle von Objekten und vom Raum zu erstellen, welche wiederum zum Tracken der Pose der Kamera genutzt werden [8].

3.5 Phantom

Unter einem *Phantom* wird in der Medizin die Nachbildung eines Organs verstanden, an welchem Übungen und Experimente durchgeführt werden können. Das in dieser Arbeit verwendete Phantom ist das *open-source Heidelberg laparoscopic phantom* (Open-HELP). Es wurde nach dem CT-Scan des Torsos eines männlichen Patienten modelliert [11]. Der Torso enthält naturgetreue Organe und eine abnehmbare Bauchdecke (siehe Abb. 3.3).



Abb. 3.3: Open-HELP Phantom mit und ohne Bauchdecke

4. Methoden

Description of your used methods, algorithms and the actual work you did. This is often the longest and most detailed chapter...

4.1 Microsoft Hololens

-Begriff Hologramm -Wie findet sich die hololens im raum zurecht (inside out tracking)
-koordinatensysteme -specs

4.2 NDI Polaris

4.3 Unity

4.4 Mixed Reality Toolkit

4.5 Vuforia

-model targets -model target generator -image targets -wie sieht ein gutes image target aus -die image targets die ich genutzt habe? Oder erst später?

4.6 Versuchsaufbau

5. Evaluation

Description of your evaluation and its results. Interpretation of these results should go in the next chapter.

6. Diskussion

Discussion/Conclusion section. Some questions to think about while writing this section:

- What is the outcome of your evaluation?
- Did it meet the required goals defined in chapter 1? Why/Why not?
- How can future work improve on your work?

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|----------------------|---|
| 3.1 | Virtuality Continuum | 5 |
| 3.2 | Fiducials | 7 |
| 3.3 | Open-HELP Phantom | 8 |

List of Algorithms

Literaturverzeichnis

- [1] H.-G. Ha and J. Hong, "Augmented Reality in Medicine," *Hanyang Medical Reviews*, vol. 36, no. 4, pp. 242–247, Nov. 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7599/hmr.2016.36.4.242>
- [2] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, Aug. 1997. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- [3] W. Birkfellner, M. Figl, K. Huber, F. Watzinger, F. Wanschitz, J. Hummel, R. Hanel, W. Greimel, P. Homolka, R. Ewers, and H. Bergmann, "A head-mounted operating binocular for augmented reality visualization in medicine - design and initial evaluation," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 21, no. 8, pp. 991–997, Aug. 2002.
- [4] F. Liebmann, S. Roner, M. von Atzigen, D. Scaramuzza, R. Sutter, J. Snedeker, M. Farshad, and P. Fürnstahl, "Pedicle screw navigation using surface digitization on the Microsoft HoloLens," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 14, no. 7, pp. 1157–1165, Jul. 2019. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s11548-019-01973-7>
- [5] E. Rae, A. Lasso, M. S. Holden, E. Morin, R. Levy, and G. Fichtinger, "Neurosurgical burr hole placement using the Microsoft HoloLens," in *Medical Imaging 2018: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling*, vol. 10576. International Society for Optics and Photonics, Mar. 2018, p. 105760T. [Online]. Available: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10576/105760T/Neurosurgical-burr-hole-placement-using-the-Microsoft-HoloLens/10.1117/12.2293680.short>
- [6] P. MILGRAM and F. KISHINO, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays," Dec. 1994. [Online]. Available: https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e77-d_12_1321
- [7] B. Bray, v stdemo, J. McCulloch, N. Schonning, and M. Zeller, "What is mixed reality? - Mixed Reality." [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed-reality>
- [8] M. Billinghurst, A. Clark, and G. Lee, "A Survey of Augmented Reality," *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, vol. 8, no. 2-3, pp. 73–272, Mar. 2015. [Online]. Available: <https://www.nowpublishers.com/article/Details/HCI-049>
- [9] I. Rabbi and S. Ullah, "A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking Authors," p. 18, 2013.
- [10] R. Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications," p. 979.
- [11] "OpenHELP (Heidelberg laparoscopy phantom): development of an open-source surgical evaluation and training tool | SpringerLink." [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00464-015-4094-0>