

OsiriX in Motion – Ein Prototyp zur berührungslosen Interaktion im OP

Marcel Reich¹, Christian Hetterich¹, Gerald Weisser², Gerrit Meixner¹

¹UniTyLab, Hochschule Heilbronn, Max-Planck-Str. 39, 74081 Heilbronn

²Institut für klinische Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Mannheim,
Theodor-Kutzer-Ufer 1-3, 68167 Mannheim

Zusammenfassung

Zur Behandlung eines Patienten müssen Chirurgen heutzutage mit einer zunehmenden Zahl an computerbasierten medizinischen Systemen intraoperativ arbeiten. Dabei besteht die größte Herausforderung vor allem darin, dass viele Peripheriegeräte nur schwer sterilisierbar sind. Im Rahmen des Projektes *OsiriX in Motion* wurde ein Plug-In zur berührungslosen Interaktion im Operationssaal entwickelt. Das Plug-In ermöglicht eine 1-Hand-Interaktion zur Steuerung von OsiriX, einer Software zur Darstellung und Verarbeitung radiologischer DICOM-Bilddaten. Das Gestenvokabular des Plug-Ins folgt einem einheitlichen Konzept und ermöglicht somit das schnelle Erlernen der Bedienung.

1 Einleitung

Zur Behandlung eines Patienten müssen Chirurgen heutzutage mit einer zunehmenden Zahl an computerbasierten medizinischen Systemen arbeiten. Diese Entwicklung ist nicht nur auf die Betrachtung von Aufnahmen vor einer Operation beschränkt, häufig müssen auch intraoperativ erstellte Bilder begutachtet werden. Dabei besteht die größte Herausforderung vor allem darin, mit nur schwer sterilisierbaren Peripheriegeräten zu arbeiten (Graetzel et al., 2004) und gleichzeitig die Grenze zwischen sterilem und nicht-sterilem OP-Bereich beizubehalten (Johnson et al., 2011). Dieses Problem soll mit Hilfe berührungsloser Interaktionssysteme auf Basis von Sprachbefehlen oder Körpergesten gelöst werden. Sprachbasierte Interaktionssysteme sind jedoch anfällig gegen Umgebungsgeräusche im OP und arbeiten daher nicht zuverlässig (Jalaliniya et al., 2013). Aus diesem Grund beschäftigt sich dieser Beitrag mit der Entwicklung und der Evaluation eines berührungslosen, gestengesteuerten Interaktionssystems: OsiriX in Motion (OiM). OiM ist als Plug-In zur Steuerung von

OsiriX¹, einer MAC OS X basierten Software zur Darstellung und Verarbeitung radiologischer DICOM-Bilddaten (u.a. CT, MRT und Röntgen), entwickelt worden.

Der Rest des Beitrages ist wie folgt gegliedert: Kapitel 2 beschreibt den aktuellen Stand der Wissenschaft, bevor in Kapitel 3 näher auf die verwendete Hard- und Software eingegangen wird. Kapitel 4 beschreibt die Entwicklung von OiM und Kapitel 5 gibt einen Überblick über die Evaluationsergebnisse. Kapitel 6 schließt diesen Beitrag mit einer Diskussion und einem Ausblick ab.

2 Stand der Wissenschaft

Bisherige Ansätze zur Steuerung während einer Operation umfassen folgende vier Arten:

1. Wechsel des Operateurs zwischen sterilem und nicht-sterilem Bereich,
2. Steuerung durch Sprachbefehle,
3. Delegation von Aufgaben an einen Assistenten und
4. Nutzung von Fußpedalen.

Diese vier Arten werden im Folgenden genauer betrachtet.

2.1 Wechsel von sterilem in nicht-sterilen Bereich

Bei dieser Vorgehensweise unterbricht der Chirurg die Operation des Patienten und wechselt in den nicht-sterilen Bereich, um die gewünschte Aktion auszuführen. Nach der Aktion muss der Operateur allerdings erneut die Hände reinigen und die Handschuhe wechseln, was unvermeidlich zu längeren OP-Zeiten führen kann und mit einem höheren Patientenrisiko einhergeht (Ebert et al., 2012).

2.2 Sprachbefehle

Bei dieser Art der Steuerung trägt der Chirurg ein Headset und interagiert mittels Sprachbefehlen mit dem System. Auf diese Weise wird dem Chirurg das berührungslose Arbeiten mit dem System ermöglicht und er kann beide Hände wie gewohnt zum Operieren nutzen. Doch die Nachteile überwiegen: Zum einen erschweren laute Umgebungsgeräusche im OP (z.B. Pumpen, EKG) das Erkennen der Sprachbefehle (Johnson et al., 2011), zum anderen kann das System nur schwer zwischen Anweisungen und der Konversation zwischen zwei Ärzten differenzieren. Aus diesem Grund hat sich der Gebrauch bestimmter Startsequenzen (vgl. Google Glass: „OK Glass, ...“) etabliert, was jedoch die Gebrauchs-tauglichkeit des Systems herabsetzt.

¹ <http://www.osirix-viewer.com>

2.3 Delegation an einen Assistenten

Die Delegation von Sprachfehlern an einen Assistenten bietet ebenfalls den Vorteil, dass der Chirurg den Patienten mit beiden Händen operieren kann. Der Assistent übernimmt auf diese Weise z.B. die Translation oder Rotation einer radiologischen Aufnahme. Allerdings birgt diese Art der Steuerung einen entscheidenden Nachteil: Durch Missverständnisse in der Kommunikation zwischen Operateur und Assistent kann es zu Fehlern in der Interaktion mit dem System kommen, was zu Verzögerungen im OP-Ablauf führen kann. In einer Untersuchung von (Graetzel et al., 2004) benötigte ein OP-Team mit dieser Methode sieben Minuten, um einen einzelnen Mausklick auszuführen. Aus diesem Grund sollte die Delegation nur in gut eingespielten OP-Teams eingesetzt werden.

2.4 Fußpedal

Eine weitere Interaktionsmöglichkeit ist der Einsatz von Fußpedalen, welche in der interventionellen Radiologie und der Chirurgie häufig zum Einsatz kommen. Sie werden beispielsweise verwendet, um die Helligkeit im OP oder die Höhe des OP-Tisches zu verändern. Auch bei diesem Ansatz kann der Chirurg beide Hände für die Operation nutzen. Aufgrund der zu geringen Präzision sind diese Geräte für die Interaktion im OP aber ungeeignet.

Nachdem die bisher vorgestellten Ansätze intra-operativer Steuerung skizziert wurden, werden nun die Vor- und Nachteile der berührungslosen Interaktion durch Gesten dargestellt. Tan et al. entwickelten 2013 eine berührungslose Benutzungsschnittstelle für die intra-operative Steuerung eines DICOM-Viewers mit Hilfe der Microsoft Kinect (Tan et al., 2013). Eine daran angeschlossene Umfrage unter 29 Radiologen ergab, dass 69% der Befragten einen Nutzen in der berührungslosen Interaktion sehen. Darüber hinaus sind sie der Überzeugung, dass diese Art der Interaktion die Sterilität im OP aufrechterhalten kann. Als nachteilig sehen die Radiologen jedoch, dass für Gesten beide Hände eingesetzt werden müssen. Darüber hinaus beansprucht die Erkennung der Gesten durch die Kinect zu viel Platz, welcher im OP in den seltensten Fällen zur Verfügung steht. Ferner können bei längerer Interaktion mit dem System Ermüdungserscheinungen des Arms („gorilla arm“) auftreten (O’Hara et. al, 2014).

Bisher publizierte Implementierungen zur Gestensteuerung des DICOM-Viewers OsiriX nutzen zur Erkennung von Gesten stereokamerabasierte Verfahren (Kipshagen et al., 2009) oder Infrarot-Laserprojektoren wie die Kinect von Microsoft (Ebert et al., 2012). Die hier vorgestellte Lösung mit dem LMC erkennt Gesten mit Hilfe von Infrarot-Technologie, durch die eine deutlich höhere Präzision erreicht werden kann. Allerdings ist der Interaktionsbereich im Vergleich zu stereo- bzw. time-of-flight-kamerabasierten Verfahren um ein Vielfaches geringer. Aus diesem Grund unterscheidet sich die Interaktion mit dem LMC wesentlich von der Arbeitsweise bislang entwickelter Systeme.

3 Material und Methoden

Zunächst wird die dem Projekt zugrundeliegende Hardware und anschließend die verwendete Software sowie die zur Implementierung notwendigen Tools beschrieben.

3.1 Hardware

Für die Implementierung des Prototyps wurde ein 15“ MacBook Pro mit einem 2 GHz Intel Core i7 Prozessor und 8GB Arbeitsspeicher verwendet. Zur Erfassung der Gesten wurde der Leap Motion Controller eingesetzt. Der Controller ist 8 x 3 x 1,27 cm groß und wiegt 45 Gramm. Die Oberseite des Geräts besteht aus Plastik und ist für infrarotes Licht durchlässig. Dies erlaubt den drei im Gerät befindlichen LEDs infrarotes Licht zu emittieren und ermöglicht auf diese Weise die Aufnahme der Tiefenkamera. Nachdem der LMC mit dem Computer verbunden wurde, können Fingerbewegungen mit einer Rate von ca. 200 Frames pro Sekunde und einer Präzision von 0,01 mm übertragen werden. Die Auswertung der Daten wird dabei von dem angeschlossenen PC übernommen. Die Erkennung von Bewegungen erfolgt innerhalb der Interaktionsbox, die in Form einer um 180° rotierten Pyramide im Bereich von 2,5 – 60 cm vom Controller aufgespannt wird (vgl. Abbildung 1).

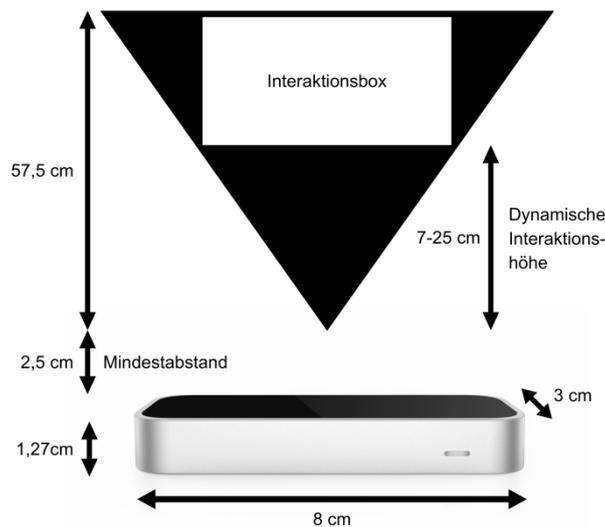


Abbildung 1: Abmessungen und Darstellung der Interaktionsbox des Leap Motion Controllers

3.2 Software

Zur Entwicklung wurde das LMC-SDK in v.1.0.9 und die Entwicklungsumgebung Xcode in v.5.0.1 eingesetzt. Das Plugin wurde unter Mac OS X 10.9.1 Mavericks für die 32-bit Variante von OsiriX (v.5.8.5) in der Programmiersprache Objective-C++ entwickelt.

4 Entwicklung

Der Prototyp beschränkt sich auf den Anwendungsfall der intra-operativen Interaktion mit radiologischen 3D-Bild-Datensätzen. Das Hauptziel besteht darin, dem Anwender einen möglichst großen Umfang an Funktionen zur Verfügung stellen zu können und gleichzeitig den Aufwand zum Erlernen der Bedienung des Systems gering zu halten. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass die Software mit einer Hand gesteuert werden kann, da dem Chirurg während einer Operation häufig nicht beide Hände für die Interaktion zur Verfügung stehen (Graetz et al., 2004). Bisher veröffentlichte Ansätze (Ebert et al., 2012; Tan et al., 2013; Bizzotto et al., 2014) haben diesen wichtigen Aspekt nicht beachtet. Des Weiteren ist OsiriX in Motion über die Plugin-Schnittstelle in OsiriX integriert und hat somit Zugriff auf alle Funktionen der OsiriX-API. Dies unterscheidet OiM von bisherigen Lösungen wie beispielsweise (Bizzotto et al., 2014), welche die Applikation GameWave² aus dem Leap Motion Online-Store verwenden und ausschließlich Tastenkürzel für den Aufruf bestimmter Funktionen an OsiriX weiterleiten.

4.1 Design

Für die prototypische Integration in den klinischen Workflow wurden zunächst Funktionen zur Schichtselektion, Fensterung, Translation, Rotation und den Vergrößerungsfaktor implementiert. Die Funktionen wurden in einem kreisrunden Menü angeordnet, welches sich in der Mitte des Bildschirms öffnet (vgl. Abbildung 2).

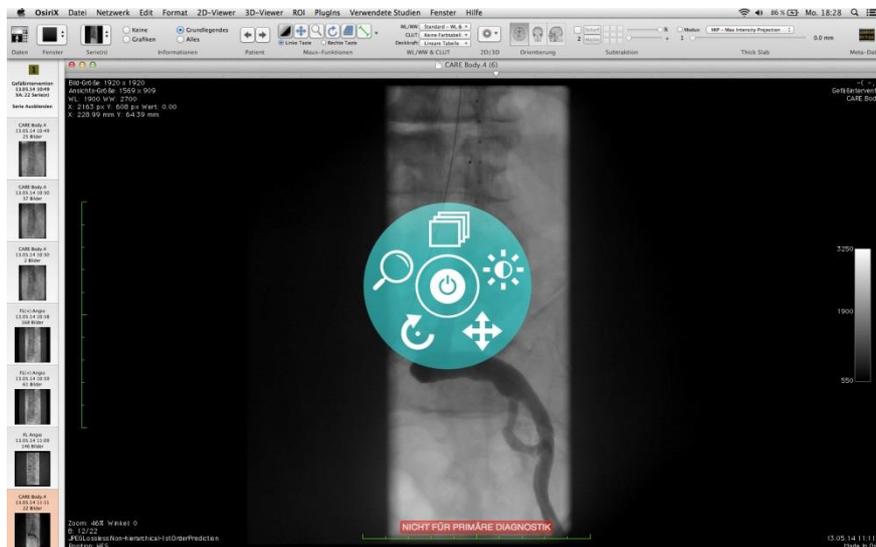


Abbildung 2: Im OsiriX-Viewer geöffneter Angiographie Datensatz mit gestartetem OiM Plugin

² www.uwyn.com

Die Gestaltung des Icons der jeweiligen Funktion erfolgte nach den Empfehlungen des Integrating the Healthcare Enterprise (IHE)-Profils „Basic Image Review“³.

Ziel bei OiM war, ein möglichst geringes Gestenvokabular bereitzustellen, wodurch das Erlernen erleichtert wird. Aus diesem Grund basieren alle Interaktionen auf einem einheitlichen Konzept. Die Auswahl eines Menüpunktes erfolgt in Abhängigkeit der Richtung des ausgestreckten Zeigefingers. Wird die Position des Fingers circa 1,5 Sekunden nicht verändert, startet der selektierte Interaktionsmodus. Diese Art der Funktionswahl wurde aufgrund der höheren Zielgenauigkeit von „wait to click“ im Gegensatz zu einem Tap verwendet (Graetzel et al., 2004). Nach Start des Interaktionsmodus verkleinert sich das Menü und bewegt sich an den Rand des OsiriX-Fensters (vgl. Abbildung 3).

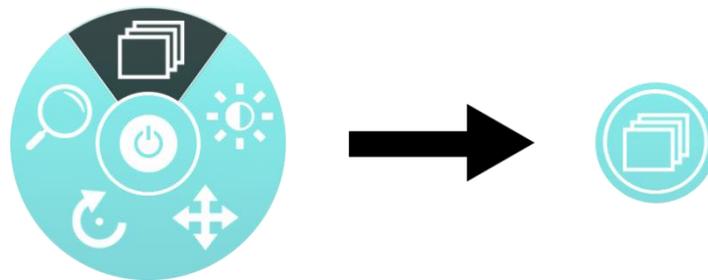


Abbildung 3: (*links*) Hauptmenü mit ausgewählter Schichtselektion, (*rechts*) Verkleinerung und Verschiebung des Menüs an den Rand des OsiriX-Fensters

Nach Auswahl des gewünschten Modus kann nun durch Spreizen der Finger der flachen Hand die Interaktion begonnen und durch Zusammenführen der Finger wieder beendet werden (vgl. Abbildung 4). Dieses Konzept wurde gewählt, da der Einsatz einer weiteren Geste dazu geführt hat, dass die Interaktion beim Wechsel der Gesten ungewollt fortgeführt wurde.

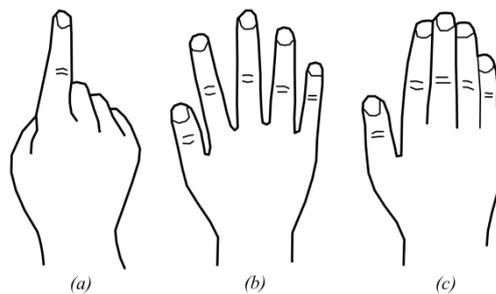


Abbildung 4: Die Interaktionsarten von OsiriX in Motion: (a) Auswahl der Funktion durch Zeigen und Halten, (b) Beginn der Interaktion durch Spreizen der Finger, (c) Beenden der Interaktion durch Anlegen der Finger

³ http://www.ihe.net/Technical_Framework/upload/IHE_RAD_Suppl_BIR.pdf, S. 42-52

4.2 Funktionen

Es folgt eine Beschreibung, wie die Interaktion mit der jeweiligen Funktion realisiert wurde.

4.2.1 Schichtselektion

Die Schichtselektion ermöglicht den Wechsel zur nächsten bzw. vorherigen Schicht in einer Bildserie. Um zur nächsten Schicht zu gelangen, wird die Hand im rechten Bereich der Interaktionsbox positioniert, die vorherige Schicht wird durch das Halten der Hand im linken Bereich erreicht. Je weiter sich die Hand vom Zentrum der Interaktionsbox entfernt, desto schneller werden die Schichten durchlaufen (vgl. Abbildung 5a). Auf diese Weise ist es möglich, selbst in großen Datensätzen gezielt Schichten auszuwählen.

4.2.2 Kontrastanpassung

Die Kontrastanpassung vereint die Einstellung des Kontrasts (Window Level) und der Intensität (Window Width) in einer Funktion. Der Kontrast kann durch vertikales Bewegen der Hand erhöht bzw. verringert werden. Die Anpassung der Intensität erfolgt durch horizontale Bewegung der Hand (vgl. Abbildung 5b).

4.2.3 Translation

Die Translationsfunktion ermöglicht das Verschieben des Bildes gemäß der Bewegung der Hand nach links, rechts, oben oder unten (vgl. Abbildung 5a). Auch hier erfolgt die Aktion langsamer, wenn die Hand im inneren Bereich der Interaktionsbox gehalten wird, oder schneller, wenn sie sich im äußeren Bereich befindet.

4.2.4 Rotation

Das Bild wird analog zum Neigungswinkel der Hand im bzw. gegen den Uhrzeigersinn rotiert. Die Stärke der Neigung bestimmt dabei die Rotationsgeschwindigkeit: Ein Winkel größer als 45 Grad lässt das Bild kontinuierlich rotieren, mit kleinerem Winkel ist es möglich, das Bild schrittweise um ein Grad zu drehen (vgl. Abbildung 5c).

4.2.5 Vergrößerung

Diese Funktion ändert den Vergrößerungsfaktor des Bildes: Durch Heranziehen der Hand zum Anwender wird das Bild vergrößert und durch Wegschieben entsprechend verkleinert (vgl. Abbildung 5d).

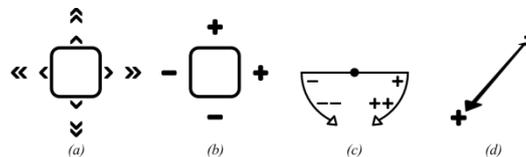


Abbildung 5: Interaktionsmöglichkeiten der flachen Hand bei gespreizten Fingern: (a) Schichtauswahl durch Bewegung nach links und rechts, Translation des Bildes nach links, rechts, oben und unten, (b) Anpassung des Kontrastes oben/unten und der Intensität links/rechts, (c) Rotation gegen und mit dem Uhrzeigersinn links/rechts, (d) Veränderung des Vergrößerungsfaktors vor/zurück

5 Evaluation

Um OiM zu evaluieren, wurde eine Kooperation mit der Abteilung Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Mannheim initiiert. Schwerpunkt dieser Abteilung ist die Durchführung von Angiographien, d.h. der Darstellung von Blutgefäßen mittels bildgebender Verfahren wie beispielsweise der kontrastmittelgestützten Computer-tomographie. Ein Eingriff dauert in der Regel zwei Stunden, von denen der Operateur etwa drei bis vier Minuten mit OsiriX interagiert. Um dies durchzuführen, muss der Arzt momentan den Eingriff unterbrechen, die OP-Handschuhe ausziehen und in den Nebenraum wechseln. Erst nach erneuter Sterilisation kann die Intervention fortgeführt werden.

5.1 Vorbereitung

Für den Spezialfall der Angiographie musste die ursprüngliche Funktionalität von OiM angepasst werden. Die Option Aufnahmen zu rotieren wird hier nicht benötigt, stattdessen muss es möglich sein, den in OsiriX integrierten digitalen Subtraktionsangiographie Modus (DSA) an- und auszuschalten. Als weitere Anpassung wurde der Wunsch seitens des Universitätsklinikums Mannheim geäußert, zwischen den einzelnen Serien der DICOM-Studie des Patienten zu wechseln. Diese Funktionalität wird benötigt, da während einer Intervention häufig neue Aufnahmen akquiriert werden und man mit den neuen Bildern auch gestengestützt interagieren möchte. Für die Evaluation von OiM wurde vorerst nur die Aktivierung des DSA-Modus übernommen und die Rotations-Funktionalität aus dem Menü entfernt. Die Integration des Serienwechsels ist in einer zukünftigen Version geplant.

5.2 Durchführung

Um den möglichen Einsatz von OiM während einer Angiographie beurteilen zu können, testeten zwei Angiographie-Ärzte und ein Oberarzt OiM außerhalb des sterilen Bereichs. Alle drei Personen kennen OsiriX und arbeiten täglich damit. Nur ein Arzt kannte den Leap Motion Controller bereits vor der Evaluation, das Gerät wurde bisher allerdings von keinem der Probanden verwendet. Schon nach einer kurzen, etwa fünf-minütigen Einführung in den LMC und das Interaktionskonzept von OiM waren die Ärzte in der Lage, das Plug-In selbständig zu bedienen und konnten sich einen Eindruck der berührungslosen Interaktion verschaffen. Im Anschluss daran wurden ihnen analog zu (Tan et al., 2013) folgende fünf Fragen gestellt: **1.** Könnte es bei der Nutzung des Systems Probleme mit der Aufrechterhaltung des sterilen Umfelds geben? **2.** Was könnten Vorteile des Systems sein? **3.** Welche Nachteile bzw. Einschränkungen hat das System? **4.** Haben Sie das Gefühl, dass der Einsatz des Systems in der Angiographie von Nutzen sein kann?

5.3 Ergebnisse

Die Befragung der drei Angiographie-Ärzte resultierte in einem homogenen Meinungsbild. Als großer Vorteil, der sich durch den Einsatz von OiM in der Angiographie ergeben würde, nannten die Probanden das schnellere Arbeiten. Dies wurde mit der Vermeidung des

Wechsels in den nicht-sterilen Raum und somit auch des Austauschs der OP-Handschuhe begründet. Der schnellere Wechsel ermöglicht somit zum einen das Einsparen kostenintensiver OP-Minuten, zum anderen werden Patienten einem geringeren Risiko ausgesetzt.

Als negativer Punkt wurde die Montageposition des LMC im Angiographie-Saal diskutiert. Eine mögliche Stelle wäre die Befestigung des Controllers an der OP-Ampel, einem an der Decke befestigten Block aus sechs Monitoren. Dies hätte jedoch zur Folge, dass sich der Operateur, um mit OiM zu interagieren, über den Patienten lehnen müsste. Zudem besteht hier die Gefahr, dass die OP-Ampel berührt wird und der Arzt dadurch nicht mehr steril ist. Als alternative Position wurde ebenfalls ein Feld neben den Joysticks am Angiographie-Tisch in Erwägung gezogen. An dieser Stelle könnte der LMC jedoch fälschlicherweise Bewegungen des Arztes als Interaktion verstehen. Um dies zu vermeiden, müsste eine zusätzliche, eindeutige Start- bzw. Stop-Geste implementiert werden.

Zusammenfassend waren die drei Ärzte von den Möglichkeiten von OiM überzeugt und sehen einen wertvollen Mehrwert in der Angiographie. Da bisher jedoch nur eine Beta-Version vorliegt, ist ein Einsatz im produktiven Umfeld noch nicht denkbar.

6 Diskussion und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Prototyp zur berührungslosen Steuerung des DICOM-Viewers OsiriX vorgestellt. Dazu wurden zunächst die bisher veröffentlichten Lösungen verglichen und daraus Anforderungen abgeleitet. Dabei hat sich gezeigt, dass die Kinect-basierten Systeme bisher hauptsächlich 2-Hand-Interaktionen unterstützen (Ebert et al., 2012; Tan et al., 2013), der Chirurg jedoch möglichst beide Hände zum Operieren benötigt. Aus diesem Grund wurde OiM ausschließlich für die Bedienung mit 1-Hand-Gesten konzipiert. Der Funktionsumfang bei bisher veröffentlichten Lösungen ist begrenzt. Nichtsdestoweniger nutzen diese Systeme eine Vielzahl an unterschiedlichen Gesten, wodurch deren Lernphase sehr zeitaufwendig ist. Bei OiM ist das Gestenvokabular verhältnismäßig gering, da die eingesetzten Gesten einem einheitlichen Konzept folgen und somit das Erlernen erleichtern (Gallo et al., 2011). Durch den geringeren Interaktionsradius erfolgt die Ausführung und Erkennung der Gesten auf engem Raum, was sowohl dem Platzproblem im OP-Saal entgegenwirkt, als auch den Ermüdungserscheinungen des Arms („gorilla arm“). Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass der Einsatz von OiM einen Mehrwert bieten kann. Durch das direkte Arbeiten am OP-Tisch werden wertvolle OP-Zeit eingespart.

Darüber hinaus zeigte sich, dass die Integration des LMC über die OsiriX-Plugin Schnittstelle auch im kommerziellen Bereich aktuell große Beachtung findet. Die Firma aycan verfolgt mit dem Plugin ayGesture einen gleichartigen Ansatz. Aycan entwickelt auf Basis der Open Source-Variante von OsiriX eine nach deutschem Medizinproduktegesetz zertifizierte Version (OsiriX Pro) zum Einsatz im klinischen Bereich. Eine erste Version zur Demonstration der Plugin-Funktionalität wurde auf dem 95. Deutschen Röntgenkongress in Hamburg vorgestellt. Der offizielle Termin für den Verkaufsstart ist nach aktuellem Stand noch offen. OiM befindet sich ebenfalls noch in einem Beta-Stadium, sodass die notwendige Robustheit und Fehlerfreiheit für den produktiven Einsatz aktuell noch nicht gewährleistet

werden kann. Zudem bietet der Prototyp nicht die gewünschte Konfigurierbarkeit, um ihn für unterschiedliche Bereiche und individuelle Wünsche anpassen zu können. Aus diesem Grund soll in den nachfolgenden Versionen ein Konfigurationsprogramm entwickelt werden, das per Drag & Drop das individuelle Zusammenstellen von Funktionen ermöglicht. Für die Weiterentwicklung wird der Programmcode auf der Plattform OpossUMM⁴ zur freien Verfügung veröffentlicht.

Literaturverzeichnis

- Bizzotto, N., Costanzo, A., Bizzotto, L., Regis, D., Sandri, A., & Magnan, B. (2014). Leap Motion Gesture Control With OsiriX in the Operating Room to Control Imaging First Experiences During Live Surgery. *Surgical innovation*, 1553350614528384.
- Ebert, L. C., Hatch, G., Ampanozi, G., Thali, M. J., & Ross, S. (2012). You can't touch this touch-free navigation through radiological images. *Surgical Innovation* 19(3), 301–307.
- Gallo, L., Placitelli, A. P., & Ciampi, M. (2011). Controller-free exploration of medical image data: Experiencing the kinect. In *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2011 24th International Symposium on* (pp. 1–6). IEEE.
- Graetzel, C., Fong, T., Grange, S., & Baur, C. (2004). A non-contact mouse for surgeon-computer interaction. *Technology and Health Care* 12(3), 245–257.
- Jalaliniya, S., Smith, J., Sousa, M., Büthe, L., & Pederson, T. (2013). Touch-less interaction with medical images using hand & foot gestures. In *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication* (pp. 1265–1274). ACM.
- Johnson, R., O'Hara, K., Sellen, A., Cousins, C., & Criminisi, A. (2011). Exploring the potential for touchless interaction in image-guided interventional radiology. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3323–3332).
- Kipshagen, T., Graw, M., Tronnier, V., Bonsanto, M., & Hofmann, U. G. (2009). Touch-and marker-free interaction with medical software. In *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, September 7-12, 2009, Munich, Germany (pp. 75-78). Springer Berlin Heidelberg.
- O'Hara, K., Gonzalez, G., Sellen, A., Penney, G., Varnavas, A., Mentis, H., ... & Carrell, T. (2014). Touchless interaction in surgery. *Communications of the ACM*, 57(1), 70-77.
- Schwarz, L. A., Bigdelou, A., & Navab, N. (2011). Learning gestures for customizable human-computer interaction in the operating room. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2011* (pp. 129-136). Springer Berlin Heidelberg.
- Tan, J. H., Chao, C., Zawaideh, M., Roberts, A. C., & Kinney, T. B. (2013). Informatics in radiology: Developing a touchless user interface for intraoperative image control during interventional radiology procedures. *Radiographics* 33(2), E61–E70.

⁴ <http://www.opossum.de>