

Navigation in medizinischen Bilddaten mittels eines taktilen Fußbodens

B. Hatscher¹, S. Wagner¹, L. Grimaldi¹, M. Fritzsche², N. Elkmann², C. Hansen¹

¹ Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Deutschland

² Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF), Magdeburg, Deutschland

Kontakt: benjamin.hatscher@ovgu.de

Abstract:

In dieser Arbeit wird eine Möglichkeit zur Interaktion mit medizinischen Bilddaten während einer Operation ohne Verwendung der Hände vorgestellt. Hierfür wird ein taktiler Fußboden zur Interaktion genutzt, der keinerlei ortsgebundene Gegebenheiten, wie z.B. Pedale, benötigt. Im Zuge der Arbeit wurde eine grafische Benutzeroberfläche entwickelt, welche die Manipulation von medizinischen 2D- und 3D-Bilddaten mit Hilfe der Füße ermöglicht. Die grafische Benutzeroberfläche soll das fehlende haptische Feedback des taktilen Fußbodens und die flexible räumliche wie funktionale Belegung geeignet visualisieren und kommunizieren. Das System wurde im Rahmen einer Nutzerstudie mit 10 Teilnehmern evaluiert. Die Ergebnisse der Studie zeigen die grundsätzliche Eignung taktiler Fußböden als Benutzerschnittstelle, eine steile Lernkurve bei der Nutzung des Systems, aber auch Defizite bei der ausschließlichen Verwendung von Taps und Buttons zur Fußinteraktion.

Schlüsselworte: Fuß-Interaktion, Mensch-Computer-Interaktion, Visualisierung

1 Problemstellung

Bei chirurgischen Eingriffen sind medizinische Bilddaten (MR-/CT-Bilddaten) heute von essentieller Bedeutung. Präoperative 3D-Planungsdatensätze als auch intraoperative Kontrolldaten stehen dem Chirurgen während der Intervention zur Verfügung. Die Interaktion mit medizinischen Bilddaten ist für Operateure aufgrund der speziellen Anforderungen im OP jedoch schwer zu bewerkstelligen [1, 2, 3]. Direkte Eingabegeräte müssen mit steriler Folie abgedeckt werden, was die Bedienbarkeit negativ beeinflussen kann. Alternativ nimmt assistierendes Personal in einem Nebenraum sprachliche Anweisungen entgegen und bedient die zur Darstellung der Datensätze verwendete Software. Dies beinhaltet im Gegensatz zu direkter Interaktion die Gefahr von Kommunikationsfehlern [2]. Zeitaufwändig ist zudem die Möglichkeit, dass der Chirurg selbst den Operationsaal verlässt, den Computer bedient und den Sterilisationsprozess danach wiederholt.

Ein Ansatz, welcher direkte Interaktion unter sterilen Bedingungen erlaubt, sind berührungslose Benutzerschnittstellen. Zur Zeit im OP eingesetzte Systeme lassen sich auf technischer Ebene grob in folgende Bereiche untergliedern: kamerabasierte Systeme, am Körper getragene Inertialsensorik und Sprachsteuerung. Kamera-basierte Systeme erfassen und interpretieren Gesten der Arme oder Finger des Chirurgen, führen vorab hinterlegte Funktionen aus oder emulieren Mausbewegungen [3, 4]. Inertialsensoren ermöglichen Gestenerkennung durch Erfassung von Lage und Beschleunigung. Sie können oft unter der OP-Kleidung getragen werden und ermöglichen somit den Einsatz in sterilen Bereichen [5, 6, 7]. Zur Verwendung von Gestenerkennungssystemen muss der Chirurg jedoch seine aktuelle Aufgabe unterbrechen, um die Bedienung mittels Armen oder Händen leisten zu können. Spracherkennung erlaubt eine zeitgleiche Bearbeitung, leidet jedoch unter den Einflüssen von Störgeräuschen, ungünstiger Befehlsbenennung oder undeutlicher Aussprache [8, 9].

Etablierte Eingabemodalitäten im medizinischen Kontext, denen die oben genannten Nachteile nicht anhaften, finden sich in Form von Fußschaltern. Sie werden beispielsweise eingesetzt, um die Tischhöhe zu verändern oder Strahlungsquellen zu aktivieren und können ohne Einsatz der Hände aktiviert werden. Der Funktionsumfang dieser Eingabemodalität ist jedoch sehr begrenzt. Zudem ist die Position von Fußschaltern variabel, vom Standpunkt des Operateurs aus nicht einsehbar und daher umständlich zu ermitteln. Fitzke et al. [10] entwickelten mehrere Ansätze zur Interaktion im OP per Fußsteuerung. Sie identifizierten die Möglichkeiten des Zeichnens von Glyphen, des Antippens von Punkten und der Gewichtsverlagerung als Interaktionsmuster. Entsprechend handelte es sich bei den prototypischen Eingabegeräten um eine optische Fußmaus, ein Taster-Board und eine druckempfindliche FSR-Fußmaus. Ein System zur Interaktion mit medizinischen Bilddaten unter Zuhilfenahme eines kapazitiven Fußbodens wurde zwar bereits von Jalaliniya et al. [11] untersucht, hier kam jedoch eine Kombination aus Fuß- und Handgesten zur Anwendung. Zudem wurden Fußgesten lediglich zur Aktivierung und Deaktivierung der Handgestenerkennung oder den Wechsel von Anwendungsfenstern eingesetzt.

In diesem Beitrag wird die Interaktion mit medizinischen Bilddaten mittels eines taktilen Fußbodens untersucht. Hierbei sollten Arten der Fußinteraktion gefunden werden, welche der Chirurg problemlos während der Intervention anwenden kann. Diese dürfen weder sehr ermüden, noch durch ihre Komplexität hohen kognitiven

Aufwand erfordern. Durch das fehlende haptische Feedback eines taktilen Fußbodens und die flexible räumliche wie funktionale Belegung muss zudem eine geeignete Art der Rückmeldung gefunden werden.

2 Material und Methoden

Die entwickelte Nutzeroberfläche zur Interaktion mit medizinischen Bilddaten mittels Fußinteraktion orientiert sich bezüglich der Anforderungen an einer allgemeinen OP-Situation. Das System sollte daher den Wechsel von MRT-Schichtbildern sowie die Rotation der 3D-Darstellung des gleichen Datensatzes um zwei Achsen erlauben. Die Bedienelemente sollten zudem dynamisch um den Standort des Nutzers gruppiert werden, um die Bewegungsfreiheit des Operateurs am Tisch nicht einzuschränken. Entsprechend einer OP-Situation sollte außerdem eine visuell-auditive Rückmeldung erforscht werden, die es ermöglicht, das System auch bei einer durch den Tisch verdeckten Sicht auf den Boden sicher zu bedienen. Durch das im Gegensatz zu Fußpedalen fehlende haptische Feedback musste besondere Sorgfalt auf die Vermittlung detektierter Nutzerinteraktionen, als auch die Repräsentation des Nutzers selbst gelegt werden. Zu diesem Zweck wurde eine prototypische Nutzeroberfläche mit Hilfe der medizinischen Prototyping-Plattform MeVisLab [12] erstellt.

2.1 Taktile Fußboden

Für die durchgeführten Untersuchungen wurde ein taktiler Sensorfußboden des Fraunhofer IFF verwendet, welcher z.Z. primär im Rahmen der Mensch-Roboter Interaktion für Industrieanlagen Anwendung findet [13, 14]. Das darin enthaltene taktile Sensorsystem besteht aus einer Vielzahl von piezoresistiven Messaufnehmern, die matrixförmig in eine robuste Kunststoffhülle eingebettet sind. Um die Bedingungen im OP bestmöglich zu simulieren, wurde der Sensorfußboden mit einem OP-üblichen Linoleumbelag ausgestattet. Abbildung 1 zeigt den taktilen Fußboden mit den Abmessungen von 160 x 95 cm. Der gesamte Fußboden umfasst 608 individuelle Sensorzellen (Taxel), die in 32 Spalten und 19 Zeilen angeordnet sind. Die Ortsauflösung des Sensorfußbodens beträgt damit ca. 5 cm, wodurch Personen nicht nur lokalisiert werden können, sondern bei entsprechender Auswertung der Daten zusätzlich die Orientierung der Füße erfasst werden kann. Ein zentraler Sensorcontroller dient der Messdatenerfassung. Dieser verfügt über einen 12 Bit A/D Wandler mit einer theoretischen Abtastrate von 2 MSPS. Im Rahmen der vorliegenden Applikation werden die Messdaten mit einer Abtastrate von ca. 50 Hz via USB-Schnittstelle bereitgestellt. Im Gegensatz zu [10] stehen somit, sobald der Nutzer den Boden betritt, Daten zur Verfügung und können zur Realisierung ähnlicher Funktionen verwendet werden, jedoch positionsunabhängig und ohne zusätzliche Sensorik am Körper zu tragen.



Abbildung 1: Taktile Fußboden

2.2 Interaktion

Um eine möglichst hohe Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen, wird die Nutzeroberfläche soweit möglich an die physiologischen Eigenschaften des Nutzers angepasst. Dies erfolgt ausgehend von den übermittelten Druckwerten. Die Füße des Nutzers werden bei Überschreitung eines Druck-Schwellwertes mittels Connected-Component-Analyse (Achter-Nachbarschaft) erfasst und dienen als Ausgangspunkt für die Dimensionierung der sensiblen Bereiche auf dem taktilen Fußboden. Der schwer zu bewerkstelligenden Unterscheidung von intendierten Taps (anheben und absetzen eines Fußes) zu Positionsänderungen des Nutzers wird mit einer Aktivierungsgeste Rechnung getragen: Um die durch den Nutzer aktivierten Taxel wird ein Rechteck aufgezo-gen, welches sich im inaktiven Modus des Interfaces der Nutzerposition anpasst. Durch einen „Triple Tap“ (dreifacher Tap in einem Zeitfenster von zwei Sekunden) als dedizierte Geste wird das System in den Interaktionsmodus versetzt. Die

Position des Rechtecks ist nun starr. Im Prototyp kommen ausschließlich Schaltflächen zum Einsatz, um den Komplexitätsgrad gering zu halten. Die nun aktiven Schaltflächen werden im Verhältnis zur Position und Dimension des Rechtecks um den Nutzer angelegt und können über Taps ausgelöst werden, um mit den Bilddaten zu interagieren. Der Interaktionsmodus kann sowohl über nochmaliges Ausführen der Aktivierungsgeste beendet werden, als auch durch das vollständige Verlassen des starren Zentrumsrechtecks. Der automatische Wechsel in den dynamischen Modus ermöglicht einen schnellen Positionswechsel und unkomplizierte Reaktivierung des Systems an einer anderen Position.

2.3 Benutzeroberfläche

Um auch am OP-Tisch ohne direkte Sicht auf den Boden bzw. die eigenen Füße zu funktionieren, ist die Visualisierung der für die Bedienung relevanten Bereiche des taktilen Bodens in einen prototypischen medizinischen Bildbetrachter integriert. Der Operateur bekommt somit visuelles Feedback ohne den Blick vom Monitor wenden zu müssen. Im Zentrum der grafischen Benutzeroberfläche steht daher ein Ausschnitt der Druckdaten um die Position des Nutzers. Diese ist im inaktiven Modus farblich abgesetzt. Ein Tap wird durch ein akustisches sowie visuelles Signal bestätigt. Das visuelle Signal ist in der linken unteren Ecke der Abbildung 2a dargestellt. Dieser Zustand zeigt an, dass das System bereits 2 Taps der Aktivierungsgeste erfolgreich erkannte. Zum Vergleich wurde in Abbildung 2b noch kein Tap erkannt. Bei erfolgreicher Erkennung der Aktivierungsgeste wechselt das Farbschema des Bodenausschnittes in eine auffälligere Variante. Die Schaltflächen um die Nutzerposition sind per Taps bedienbar, Rückmeldung erfolgt stets akustisch und visuell durch Grünfärbung der aktiven Fläche (hellgraue Fläche „X+“ in Abb. 2b). Zur Manipulation von medizinischen Bilddaten erfolgt zunächst die Auswahl der 2D- oder 3D-Darstellung mittels der Schaltfläche „2D->3D“ bzw. „3D->2D“ rechts des Nutzers. Die aktuell manipulierbaren Bilddaten sind stets durch eine farblichen Umrandung hervorgehoben. Zwei Schaltflächen stehen vor den Füßen des Nutzers zur Interaktion mit den Daten in Positiv- und Negativrichtung zur Verfügung. Damit lässt sich in der 2D-Darstellung durch den Bildstapel navigieren, in der 3D-Darstellung um die aktive Achse rotieren. Im 3D-Modus existiert links eine zusätzliche Schaltfläche „RotaSwitch“ zum Ändern der aktiven Rotationsachse sowie eine grafische Darstellung der aktiven Achse.

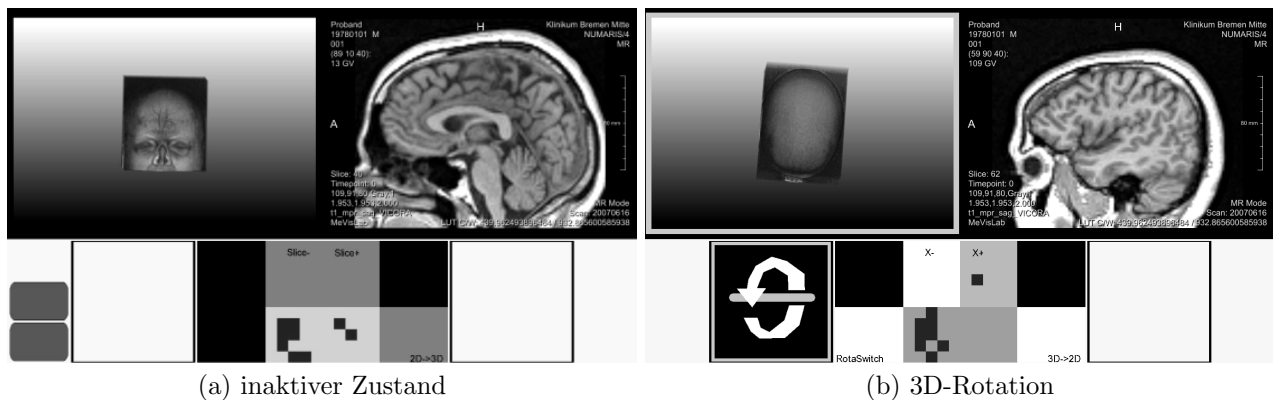


Abbildung 2: In (a) zu sehen ist die Nutzeroberfläche bei inaktivem Zustand. Der Ausschnitt des taktilen Fußbodens (hellgraues Rechteck) wird der Nutzerposition (dunkelgraue Taxel, im Original rot) dynamisch angepasst. (b) zeigt das aktivierte Interface bei Rotation der 3D-Ansicht.

2.4 Evaluierung

Zur Evaluierung des Systems wurde eine Nutzerstudie mit zehn Probanden durchgeführt. Die Gruppe bestand aus 30% weiblichen und 70% männlichen Probanden. Das Alter der Probanden lag zwischen 21 und 29 Jahren, der Durchschnitt bei 23,4 Jahren. 90% der Teilnehmer waren Informatikstudenten, 10% studierten Betriebswirtschaftslehre. Die Nutzer erhielten weder Einweisung noch Einlernzeit. Zum einen wurde damit die Selbsterklärbarkeit der Benutzerschnittstelle überprüft, zum anderen konnten so Assoziationen und Erwartungshaltungen zu Fußgesten erfasst werden. Lediglich die Art der Aktivierungsgeste (Taps mit dem rechten Fuß) wurde vorab angegeben. Jeder Proband führte eine Reihe von festgelegten Aufgaben aus, die das komplette Funktionsspektrum der Implementierung umfassten. Die Aufgaben während der Studie lauteten wie folgt:

- **Aufgabe 1:** Aktivieren Sie die Oberfläche
- **Aufgabe 2:** Navigieren Sie zu Schicht Nr. 45 in der 2D-Ansicht der MR-Daten

- **Aufgabe 3:** Rotieren Sie die 3D-Darstellung in der Art, dass das Gesicht zu sehen ist
- **Aufgabe 4:** Rotieren Sie die 3D-Darstellung in der Art, dass das linke Ohr sichtbar ist
Navigieren Sie zur entsprechenden Schicht in der 2D-Ansicht der MR-Daten
- **Aufgabe 5:** Deaktivieren Sie die Oberfläche

Nach jeder Teilaufgabe wurden die Nutzer gebeten mündlich zu erläutern, welche Probleme es bei dieser Aufgabe gab und durch welche Maßnahmen ihr Verständnis des Systems unterstützt werden könnte. Nach Abschluss der Aufgaben bewerteten die Nutzer das System nach den sechs in Abbildung 3 aufgeführten Kriterien.

3 Ergebnisse

Zu Beginn der Nutzung hatten einige Probanden Probleme, sich an das System zu gewöhnen. Nachdem Aufgabe 2 und 3 allerdings erledigt waren, wurde die darauf aufbauende Aufgabe 4 sehr viel schneller und gezielter gelöst. Dies zeigt, dass die Nutzer nach dieser kurzen Eingewöhnungsphase bereits begannen, sich an das System und dessen Nutzung zu gewöhnen. Die Auswertung der Interviews und Videoprotokolle zeichnet folgendes Bild: 40%

Aufgabe	Beobachtung	Verteilung
	Gestenerkennung bei Erstversuch	60%
1	Eingabe unterschritt Systemreaktionszeit	30%
	Gestenausführung überschritt Zeitfenster	10%
2	Verwendung der vorgesehenen Buttons	90%
	Slide-Gesten	10%
3	Verwendung der vorgesehenen Buttons	50%
	Slide-Gesten	20%
	Hilfestellung benötigt	30%
4	Verwendung der vorgesehenen Buttons	100%
5	Geste analog zu Aufgabe 1	60%
	Verlassen des taktile Fußbodens	20%
	Verlassen des Zentrumsrechtecks (siehe 2.2)	10%
	Hilfestellung benötigt	10%

Tabelle 1: Auswertung der Nutzerstudie

der Nutzer hatten Probleme bei der erfolgreichen Durchführung der Aktivierungsgeste. Im folgenden erkannten 30% der Probanden die „Buttons“ der Benutzeroberfläche zunächst nicht als solche. Bei den Aufgaben 2 und 3 wurde daher teilweise versucht, diese durch vom Smartphone bekannte Slide- oder Scrollgesten zu lösen. Ein jedoch viel häufiger aufgetretenes Problem bei der Hälfte der der Probanden war, dass sie nicht wussten, wie sie für Aufgabe 3 in den 3D-Modus des Systems wechseln sollten. Als Gründe hierfür wurde hauptsächlich die unverständliche Bezeichnung der Buttons genannt. Bei Aufgabe 5 kamen 60% der Probanden auf die Idee, dass die Deaktivierung genauso funktionieren könnte wie die Aktivierung. 20% verließen einfach den taktile Fußboden, was ebenfalls nach 3 Sekunden zu einer Deaktivierung des Systems führte. 10% der Probanden waren nicht in der Lage, das System auf Antrieb eigenständig zu deaktivieren. Das visuelle und akustische Feedback wurde von 90% der Probanden als intuitiv und sehr passend empfunden und hat ihnen beim Verstehen des Systems geholfen. Zum Abschluss wurden die Probanden gebeten, die Software unter den Aspekten aus Abbildung 3 auf einer Skala von 1 bis 5 zu bewerten.

4 Diskussion

Die Ergebnisse der Nutzerstudie zeigen, dass sich ein taktile Fußboden grundsätzlich zur Interaktion mit medizinischen Bilddatensätzen eignet. Optimierungsbedarf ist bei Gesten wie dem zur Aktivierung gewählten „Triple-Tap“ zu sehen, welche trotz visueller und akustischer Rückmeldung verhältnismäßig schlecht erkannt wurde. Aus den Beobachtungen der Nutzerstudie ist zu schließen, dass die Bezeichnung „Tap“ für Fußgesten zu unspezifisch bzw. nicht etabliert ist und als Tap mit dem Ballen oder Fuß interpretiert werden kann. Die prototypische Implementierung des Systems erfasste nur Taps mit dem kompletten Fuß. Zudem variierte der zeitliche Umfang, in dem die Geste ausgeführt wurde, stark. Durch Überschreitung des vorgegebenen Zeitfensters von 3 Sekunden wurde in einem Fall eine Gestenerkennung verhindert. Die gleichbleibende Erfolgsrate der Geste

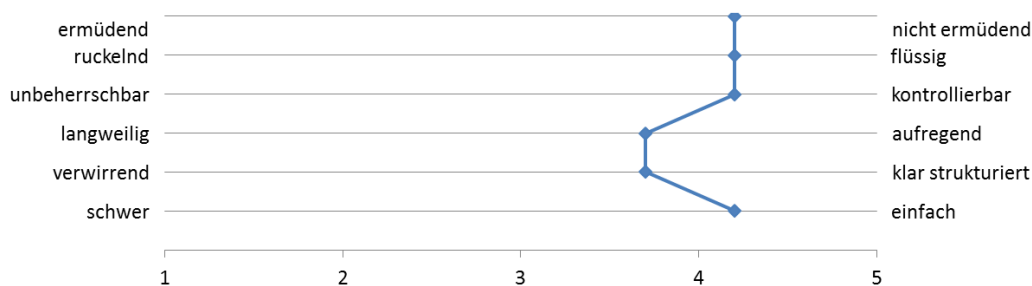


Abbildung 3: Mittelwerte des abschließenden Fragebogens zur Bewertung der Software

in erster und letzter Aufgabe zeigt, dass die Geste auch nach dem Erlernen schwer erfolgreich auszuführen war. Als Aktivierungsgeste muss daher in folgenden Untersuchungen eine Alternative entwickelt werden. Buttons der Nutzeroberfläche wurden teilweise nicht sofort als solche erkannt. Alternative Versuche von Slide-Gesten fanden in den Manipulationsaufgaben 2 und 3 statt, wurden jedoch vermehrt im 3D-Task beobachtet. Die Beschriftung der Buttons wurde teilweise als wenig verständlich bemängelt, insbesondere die Bezeichnung „RotaSwitch“ zum Wechsel der Rotationsachse in der 3D-Darstellung. Positiv hervorzuheben ist, dass Aufgabe 4 als Kombination der Aufgaben 2 und 3 von allen Probanden erfolgreich ohne Hilfestellung ausgeführt werden konnte. Das System scheint demnach nur eine sehr kurze Einarbeitungszeit zu erfordern. Kritisch zu betrachten im Studiendesign ist das Testszenario. Zur besseren Bewertung der Nutzerinteraktion standen die Probanden nicht an einem den Blick auf den Boden verdeckenden Tisch, wie im Anwendungsszenario herausgestellt. Da sich während der durchgeführten Nutzerstudie die Probanden komplett auf die Bedienung des taktilen Fußbodens konzentrieren konnten, muss zudem untersucht werden, inwieweit die parallele Bearbeitung von Aufgaben mit den Händen zu Schwierigkeiten bei der Bedienung des taktilen Fußbodens führt. Ebenso muss der Grad der Ermüdung über einen längeren Zeitraum evaluiert werden. In zukünftigen Forschungsarbeiten sollte - wie die Versuche von Velloso et al. [15] - die Verwendung von Fußgesten oder Gewichtsverlagerung zur Steuerung untersucht werden, um auf eine starre Ausrichtung und Positionierung der Buttons verzichten zu können. Von Velloso et al. [15] wurden bereits verschiedenste Fußgestensets recherchiert und vorgestellt. Dabei ist der kognitive Aufwand zu beachten, der durch das Ausführen dieser Gesten aufgewendet werden muss, während man parallel präzise Arbeiten mit den Händen ausübt. Da sich in Operationssälen immer mehrere Personen bewegen, muss zudem zwingend untersucht werden, inwiefern ein System entwickelt werden kann, welches eine parallele Nutzung durch mehrere Personen ermöglicht, da hier nicht wie im Falle Fitzke et al. [10] mithilfe unterschiedlicher Sensoren zwischen Personen unterschieden werden kann, sondern mehrere Nutzer des Eingabemediums softwareseitig identifiziert werden müssten. Hierbei könnten von unterschiedlichen Nutzern verschiedene Aufgaben mithilfe des Fußbodens zeitgleich durchgeführt werden.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit stellen wir einen alternativen Weg zur Steuerung von medizinischen Bilddaten im Operationsaal vor, der aus Sterilitätsgründen auf die Nutzung der Hände verzichtet. Es wurde ein Prototyp entwickelt, um die Nutzbarkeit eines taktilen Fußbodens zur Navigation durch medizinische Bilddatensätze zu evaluieren. Hierbei kommen Regionen des Fußbodens als Buttons zum Einsatz, da Ärzte mit dieser Art von Interaktion durch die bereits im OP verwendeten Pedale vertraut sind. Eine Benutzeroberfläche, welche grafische und akustische Rückmeldungen zur Interaktion mit dem Boden in einen medizinischen Bildbetrachter integriert, wurde entwickelt. Dabei fand ein Ansatz zur dynamischen Anpassung der Bedienelemente an die Position des Nutzers Anwendung. Der Funktionsumfang umfasst Rotation und Slicing von 2D- und 3D-Daten. In einer Nutzerstudie wurde die Gebrauchstauglichkeit des Systems evaluiert. In der abschließenden Diskussion wurden die Schwächen der implementierten Steuerung erörtert und die Verwendung von Gesten oder Gewichtsverlagerung als nächste Schritte in Betracht gezogen. Zudem muss untersucht werden, welche zusätzliche kognitive Belastung die parallele Interaktion mit Füßen und Bearbeitung von Aufgaben mit den Händen nach sich zieht.

6 Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungscampus STIMULATE (Förderungsnummer 13GW0095A).

7 Referenzen

- [1] K. O'Hara, G. Gonzalez, A. Sellen, G. Penney, A. Varnavas, H. Mentis, A. Criminisi, R. Corish, M. Rouncefield, N. Dastur et al., "Touchless interaction in surgery," Communications of the ACM, vol. 57, no. 1, pp. 70–77, 2014.
- [2] A. Huebler, C. Hansen, O. Beuing, M. Skalej, and B. Preim, "Workflow Analysis for Interventional Neuro-radiology using Frequent Pattern Mining," in Proceedings of the Annual Meeting of the German Society of Computer- and Robot-Assisted Surgery, Munich, 2014, pp. 165–168.
- [3] A. Mewes, P. Saalfeld, O. Riabikin, M. Skalej, and C. Hansen, "A gesture-controlled projection display for CT-guided interventions," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, pp. 1–8, 2015.
- [4] M. MA, P. Fallavollita, S. Habert, S. Weidert, and N. Navab, "Device- and system-independent personal touchless user interface for operating rooms," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 11, no. 6, pp. 853–861, 2016.
- [5] L. A. Schwarz, A. Bigdelou, and N. Navab, "Learning gestures for customizable human-computer interaction in the operating room," in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2011. Springer, 2011, pp. 129–136.
- [6] S. K. Herniczek, A. Lasso, T. Ungi, and G. Fichtinger, "Feasibility of a touch-free user interface for ultrasound snapshot-guided nephrostomy," in SPIE Medical Imaging. International Society for Optics and Photonics, 2014, pp. 90 362F–90 362F.
- [7] J. Hettig, A. Mewes, O. Riabikin, M. Skalej, B. Preim, and C. Hansen, "Exploration of 3D Medical Image Data for Interventional Radiology using Myoelectric Gesture Control," in Proceedings of Eurographics Workshop on Visual Computing for Biology and Medicine. The Eurographics Association, 2015, pp. 177–185.
- [8] A. Alapetite, "Impact of noise and other factors on speech recognition in anaesthesia," International Journal of Medical Informatics, vol. 77, no. 1, pp. 68 – 77, 2008.
- [9] L. C. Ebert, G. Hatch, G. Ampanozi, M. J. Thali, and S. Ross, "You Can't Touch This: Touch-free Navigation Through Radiological Images," Surgical Innovation, vol. 19, no. 3, pp. 301–307, 2012.
- [10] T. Fitzke, N. Krail, F. Kroll, L. Ohlrogge, F. Schröder, L. Spillner, A.-K. Voll, F. Dylla, M. Herrlich, and R. Malaka, "Fußbasierte Interaktion mit Computersystemen im Operationsaal," in CURAC 2015 - Tagungsband. Bremen: Hahn, Horst K. and Kikinis, Ron and Klein, Jan and Nabavi, Arya and Weber, Stefan, 2015, pp. 49–54.
- [11] S. Jalaliniya, J. Smith, M. Sousa, L. Bütthe, and T. Pederson, "Touch-less Interaction with Medical Images Using Hand & Foot Gestures," in Proceedings of the 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication, ser. UbiComp '13 Adjunct. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 1265–1274.
- [12] F. Ritter, T. Boskamp, A. Homeyer, H. Laue, M. Schwier, F. Link, and H.-O. Peitgen, "Medical image analysis," Pulse, IEEE, vol. 2, no. 6, pp. 60–70, 2011.
- [13] V. Muller, M. Fritzsche, and N. Elkmann, "Sensor design and calibration of piezoresistive composite material," in SENSORS, 2015 IEEE. IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [14] M. Fritzsche, J. Saenz, and F. Penzlin, "A Large Scale Tactile Sensor for Safe Mobile Robot Manipulation," in The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction, ser. HRI '16. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2016, pp. 427–428.
- [15] E. Velloso, D. Schmidt, J. Alexander, H. Gellersen, and A. Bulling, "The Feet in Human-Computer Interaction: A Survey of Foot-Based Interaction," ACM Comput. Surv., vol. 48, no. 2, pp. 21:1–21:35, Sep. 2015.