

Stereo augmented reality in einem navigierten Operationsmikroskop (AROSCOPE)

Y. Özbek¹, W. Freysinger¹

¹ AG 4D Visualisierung, Univ. HNO Klinik, Medizinische Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

Kontakt: Yusuf.Oezbek@i-med.ac.at

Abstract:

Wir präsentieren das Konzept eines navigierten Stereooptionsmikroskops (Leica M500 N), mit stereo augmented reality und Bildextraktion. Damit können segmentierte anatomische Strukturen und/oder Zugangswege direkt im Gesichtsfeld des Operateurs dargestellt werden, ohne dass die Aufmerksamkeit der Chirurgen vom Operationsfeld abgelenkt wird. Durch die verfügbare Bildextraktion kann intraoperative Qualitätssicherung durch Stereorekonstruktionen des Operationssitus bereitgestellt werden.

Die Anwendung AROSCOPE ist open-source basiert und nutzt den NDI optotrak Certus Tracker. Das Stereo-Operationsmikroskop ist eine Spezialanfertigung von Leica, die mittels CAN-Bus bidirektionale Übertragung von Mikroskopparametern gestattet, so wie AR Überlagerung und Bildextraktion aus/in beiden Strahlengängen ermöglicht.

Wir stellen ein Konzept vor, das mit Navigation und stereoskopischen Visualisierungen am Beispiel von navigierter Chirurgie der Laterobasis als Werkzeug für wahrnehmungsphysiologischen und psychophysikalischen Studien dienen kann.

Schlüsselworte: Bildgestützte Navigation, Registrierung, Kalibrierung, augmented reality, Operationsmikroskop

1 Problemstellung

Bei minimal invasiven Eingriffen in der HNO-Heilkunde, die mit chirurgischer Navigation durchgeführt werden, muss der Chirurg üblicherweise den Blick vom Operationsgebiet auf den Monitor des Navigationssystems lenken. Bei mikroskopisch durchgeführten Eingriffen muss der Blick vom Mikroskop-Okular [1, 3] ab- und auf die präoperativen radiologischen Bilder des Navigationssystems zugewandt werden [5]. Dies ist für eine sinnvolle und ergonomische Integration von Navigationstechnologie in den chirurgischen Workflow nicht geeignet, denn aufgrund der ständigen Änderungen des Gesichtsfeldes während der Operation wird der Eingriff eher noch erschwert und die Hand-Auge-Koordination, Adaptation und Orientierung des Operateurs mit der Zeit eingeschränkt. Dies alles lenkt den Chirurgen vom eigentlichen Ziel - exakten zu operieren - ab und wirkt sich negativ auf die Akzeptanz dieser Technologie aus. Dies wird dadurch bestätigt, dass es sehr wenige Berichte über navigierte mikroskopische Eingriffe in der HNO, aber auch in der Neurochirurgie, gibt.

Für navigierte Mikroskope sind *augmented reality* System (ARS) [2] bereits kommerziell erhältliche Lösungen, die im Operationsfeld zusätzliche virtuelle Inhalte darstellen können. So bieten die beiden wesentlichen Hersteller von Navigationssystemen (Brainlab und Medtronic) mit den Stereooptionsmikroskopen von Leica und Zeiss monoskopische ARS an.

In diesem Beitrag werden die wesentlichen Eckpunkte und Zielsetzungen von AROSCOPE präsentiert.

2 Material und Methoden

AROSCOPE besteht aus fünf Modulen, die mit den plattformübergreifenden Standardbibliotheken IGSTK (igstk.org), ITK (itk.org), VTK (vtk.org), OpenCV (opencv.org), Qt (qt-project.org) und CMake (cmake.org) mit umfangreichen Funktionalitäten ausgestattet sind. Patientendaten werden in DICOM Modul von IGSTK geladen und entsprechend visualisiert. Bilddaten können in multiplanaren Ansichten dargestellt werden; einfache Bildverarbeitungen, Segmentierungen und 3D-Visualisierungen werden angeboten.

Das Navigationsmodul bietet Standardnavigation des Patienten, in der der Fokus des Mikroskops, der Patient und ein Instrument relativ zu einem dynamic reference frame (am Patienten) über den optotrak Certus (NDI, Deutschland) navigiert wird; Sonden werden wie üblich Pivot-kalibriert [6]. Aktuell ist eine landmarkenbasierte Registrierung des Patienten an die radiologischen Bilder mit 3 bis 25 Fiducials in IGSTK [7] implementiert.

Um das 3D-Koordinatensystem des Mikroskops in die Koordinaten der 2D-Bildebene zu transformieren wird die Projektionsmatrix beider Kameras für jede binokulare Ansicht berechnet. Dabei erfolgt die Echtzeitnavigation des Patienten und des Mikroskopkopfes, in der Transformationen relativ zum Tracker ergeben sind (siehe Abbildung 1). Abbildung 2 zeigt die Softwarearchitektur und Komponenten von AROSCOPE.

Am Mikroskopkopf sind in zueinander orthogonalen Ebenen drei rigid bodies mit jeweils vier aktiven Markern zum Tracking angebracht (6 Freiheitsgrade, LEDs mit je 11 mm Durchmesser) [8]. Diese aktiven Marker wurden mit dem NDI 6D Architect [9] kalibriert und getrackt. Damit ist eindeutig sichergestellt, dass jede Seite des Mikroskops aktuell vom optotrak gesehen und getrackt wird. Über interne Qualitätskriterien des optotrak certus wird immer eindeutig ein optisches Target ausgewählt und getrackt.

Das Mikroskop ist mit zwei industriellen Farbkameras (TXG06c, 776x578 px, max. 64 fps) [10] ausgestattet, die über TCP/IP mit der Workstation verbunden sind; sie liefern Videostreams in Echtzeit. Beide Kameras samt dazugehörigem Stereokanal des Mikroskops werden einzeln kalibriert [11]. Dabei muss möglichst der ganze Parameterraum von Zoom und Fokusstellungen [12] abgedeckt werden [4]. Dazu werden zwei Schachbrettmuster (10 mm Kantenlänge und 6 x 5 bzw. 8 x 5 Quadrate für Kalibrierung und Validierung) verwendet. Bei der Standardkalibrierung werden an die 50 Bilder des gesamten getrackten Musters in frei wählbaren Positionen und Orientierungen aufgenommen. Dies liefert Kalibrierung und Hand-Auge Kalibrierung des gesamten optischen Systems. In der Validierungsphase werden die gefundenen Ecken in ein beliebig orientiertes Validierungsmuster zurückprojiziert und ausgewertet.

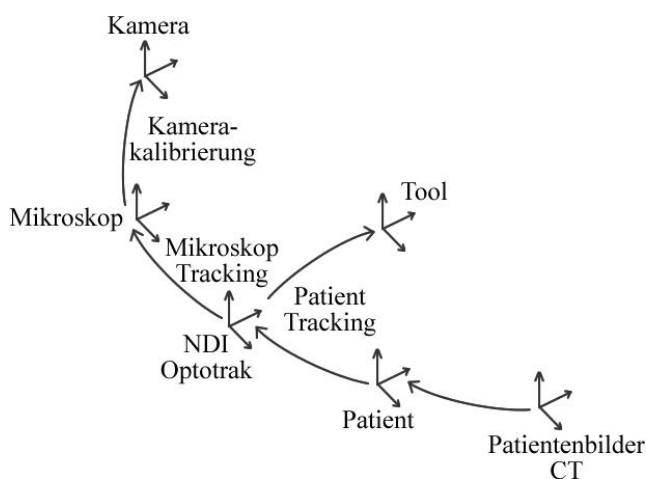


Abbildung 1: Darstellung der in AROSCOPE involvierten Koordinatentransformation Systems, nach [3].

Anatomische Strukturen werden schwellwertbasiert aus den CT Daten segmentiert; mit dem Marching-Cubes Algorithmus [13] werden meshes generiert, die als virtuelles 3D-Objekte zur Überlagerung mit der realen Szene [14] bereitgestellt werden. Diese Rekonstruktionen wer-

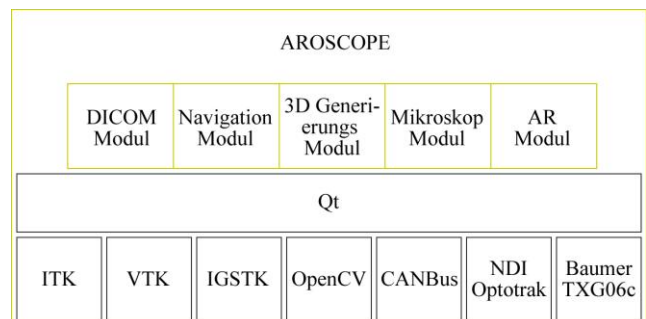


Abbildung 2: AROSCOPE Softwarearchitektur. Schichten und Komponenten.

den ihrerseits über zwei Bildinjektionsschnittstellen in den optischen Strahlengang des Stereomikroskops über zwei LED-Panels eingeblendet. Natürlich ist auch hier das gesamte optische System - wie die beiden Kameras - kalibriert, um eine korrekte Überlagerung in den Okularen des Leica Mikroskops realisieren zu können.

Das AROSCOPE baut auf dem CANBus Protokoll auf dem USB-Bus [15] zur Kommunikation von CAN-Nachrichten [16] über einen CANUSB-Adapter (LAWICEL, Schweden, can232.com) auf. Neben der Pose des Mikroskops werden alle anderen Parameter (Zoom, Fokus, Arbeitsabstand) ausgelesen, und mit Zeitstempel für die Navigation bereitgestellt. Dies ist für eine valide Navigation mit dem Mikroskop und *augmented reality* über den ganzen möglichen Parameterraum des Mikroskops notwendig. Erstellte 3D-Objekte werden vom CT-Bildkoordinatensystem in das Kamerakoordinatensystem transformiert, in die Kamera abgebildet und am Monitor eingeblendet.

Aktuell wird das optische Tracking, die Kalibrierung, *augmented reality* Überlagerung und Echtzeitfähigkeit auf die erzielbare Qualität untersucht. Paired-point und Oberflächenregistrierung sind eingebunden. In der nächsten Zukunft werden Systemintegration und umfangreiche Systemtests erfolgen.

3 Ergebnisse

AROSCOPE bietet ein Konzept für prä- und intraoperative Phasen der klinischen 3D-Navigation mit stereoskopischen

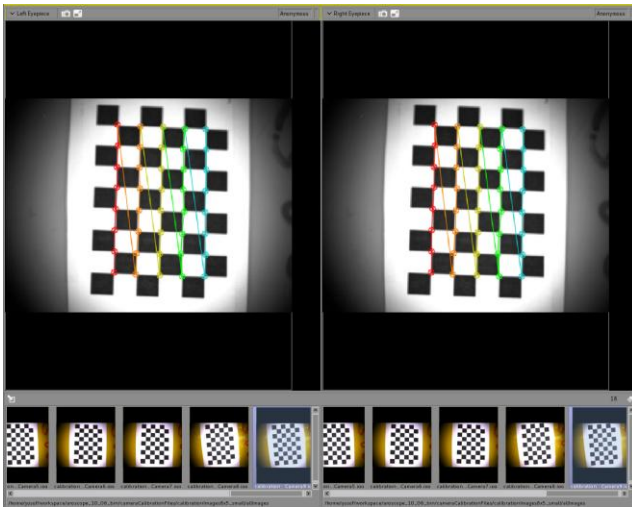


Abbildung 3: Screenshot vom Mikroskopmodul während des Kamerakalibrierungsprozesses für beide Kameras (Ausschnitt). Unten: aufgenommene Bilder; darüber kalibrierte Bildpaare mit detektierten Kreuzungspunkten des Kalibrierungsmusters (je links und rechts).

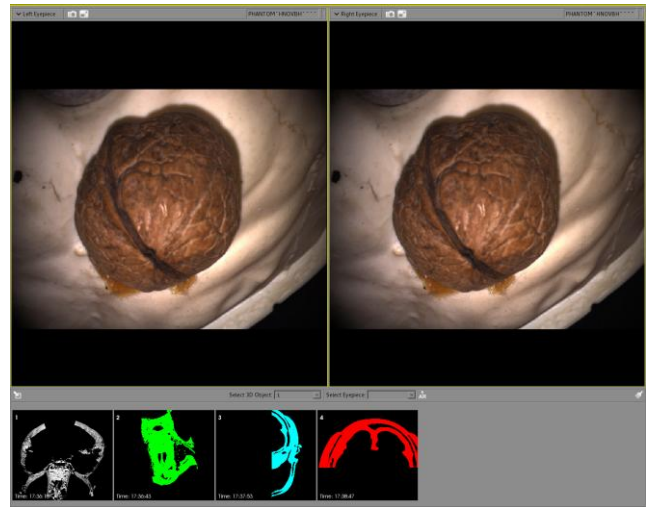


Abbildung 4: Screenshot vom AR Modul (Ausschnitt). Unten: aus CT Bildern segmentierte 3D-Objekte, bereit für die Einblendung. Oben; Echtzeit Videostreams vom Mikroskop.

Überlagerungen in den Okularen eines Operationsmikroskops. Die Patientennavigation wurde mit einem Phantom und einer kalibrierten Sonde mit Registrierungsfehlern unter einem Millimeter durchgeführt. Der durchschnittliche RMS Fehler der Kamerakalibrierung (siehe Abbildung 1) bei 5 Kalibrationen war 0.36 mm.

Von präoperativen CT Bildern erhaltene 3D-Objekte (siehe Abbildung 4) können individuell bearbeitet, in verschiedenen 3D Formen (surface, wireframe oder Punktelwolke) dargestellt, in das Kamerakoordinatensystem transformiert und in die Okulare eingeblendet werden.

4 Diskussion

AR- und Positionsmessungssysteme sind wesentliche und zukunftssträchtige Komponenten bildgestützter Chirurgie. Chirurgische Navigation kann damit präzisere und zielgenauere Eingriffe ermöglichen. Besonders bei kritischen Operationen kann Navigation eingesetzt werden, um für den Chirurgen physiologisch korrekte 3D-Information in das Sehfeld einzublenden.

Mittels positionsgenauer *augmented reality*, verbesserter visueller Wahrnehmung, so wie berechenbare Verlässlichkeit und Präzision des Gesamtsystems können nun alle möglichen Parameter solcher Systeme – Workflow, Handling, Visualisierungsstrategien, Wahrnehmungsphysiologie etc. detailliert studiert werden. Dadurch kann unter Umständen das beste Interface zwischen Chirurgen und mikroskopischem Navigationssystem eruiert werden. Letztendlich wird AROSCOPE zur Untersuchung der besten zu wählenden Visualisierung dienen, um die Akzeptanz von augmentierter Navigation mit dem Mikroskop an der Laterobasis im chirurgischen Einsatz zu erhöhen.

Das aktuelle Projekt ist momentan „work in progress“. Als nächste Schritte werden die *augmented reality* Überlagerung in die Okulare des Leica M500-N und danach die Extraktion von Stereobildpaaren aus dem Mikroskop zur Qualitätssicherung von operativen Eingriffen realisiert.

AROSCOPE wird also ein umfassendes experimentelles System sein, in dem Aspekte der Ergonomie und Wahrnehmungsphysiologie, aber auch der Psychologie und von Navigation mit vollständig bekannter Anwendungsgenauigkeit quantitativ studiert werden können.

5 Zusammenfassung

Diese mit open-source geschriebene Software könnte alle Anforderungen für stereoskopische *augmented reality* Systeme in der mikroskopisch navigierten Chirurgie erfüllen.

Im Moment bietet AROSCOPE neben den klassischen Features von Navigation einen augmentierten Stereo-Videostream vom Operationssitus. In weiteren Ausbaustufen wird die Überlagerung der Überlagerungen in das Gesichtsfeld des Operateurs und die quantitative Bildextraktion aus dem Gesichtsfeld umgesetzt werden. Damit können als nächster Schritt visuelle Benutzerinterfaces und alternative Paradigmen zur Darstellung chirurgisch relevanter Informationen untersucht werden.

6 Referenzen

- [1] Reinhardt, H., Trippel, M., Westermann, B., Gratzl, O., *Computer aided surgery with special focus on neuronavigation*, Comput. Med. Imaging Graph. **23**(5), 237 - 244 (1999).
- [2] Brinker, T., Arango, G., Kaminsky, J., Samii, A., Thorns, U., Vorkapic, P., Samii, M., *An experimental approach to image guided skull base surgery employing a microscope-based neuronavigation system*, Acta Neurochir. (Wien) **140**(9), 883 - 889 (1998).
- [3] Edwards, P. J., King, A. P., Maurer, C. R., Jr., de Cunha, D. A., Hawkes, D. J., Hill, D. L., Gaston, R. P., Fenlon, M. R., Jusczyzck, A., Strong, A. J., Chandler, C. L., Gleeson, M. J., *Design and evaluation of a system for microscope-assisted guided interventions (MAGI)*, IEEE Trans. Med. Imaging **19**(11), 1082 - 1093 (2000).
- [4] Figl, M., Ede, C., Hummel, J., Wanschitz, F., Ewers, R., Bergmann, H., Birkfellner, W., *A fully automated calibration method for an optical see-through head-mounted operating microscope with variable zoom and focus*, IEEE Trans. Med. Imaging **24**(11), 1492 - 1499 (2005).
- [5] Gunkel, A. R., Vogele, M., Martin, A., Bale, R. J., Thumfart, W. F., Freysinger, W., *Computer-Aided Surgery in the Petrous Bone*, Laryngoscope **109**(11), 1793 - 1799 (1999).
- [6] Onprasert, W., Ongwattanakul, S., and Suthakorn, J., *A Novel Method on Tool Tip Calibration for Biomedical Application*, Proc CSIE **2011**, Changchun, China, 650 - 653 (2011).
- [7] LandmarkBasedTransformInitializer, http://www.itk.org/Doxygen/html/classitk_1_1LandmarkBasedTransformInitializer.html, ITK, Kitware Inc.
- [8] NDI Inc. Ontario, Canada, *Optotrak Certus Rigid Body and Tool Design Guide*, Revision 2, Part number: IL-1070077 (2006).
- [9] NDI Inc., Ontario, Canada, *NDI 6D Architect User Guide*, Revision 4.0, Part number: IL-1070059 (2004).
- [10] *Baumer-GAPI SDK v1.7 Programmer's Guide*, (<http://www.baumer.com>)
- [11] Z. Zhang, *A Flexible New Technique for Camera Calibration*, IEEE Trans. PAMI, **22**(11), 1330 - 1334 (2000).
- [12] *Technical data Leica M500-N, internal documentation*, Leica Microsystems (Herbrugg, Schweiz) (2006).
- [13] Lorensen, W. E. Cline, H. E., *Marching cubes: a high resolution 3d surface construction algorithm*, Computer Graphics 21(4), 163 - 169 (1987).
- [14] Bardosi, Z. R. Freysinger, W., *Real-time augmented reality with IGSTK*, Proc CURAC **2012**, 59 - 62 (2012).
- [15] Controller Area Network, CAN in Automation (CiA), <http://www.can-cia.de/>
- [16] P. Jonski, F. Haberbosch, C. Stenzel, *Leica internal documentation*. Leica Microsystems (Herbrugg, Schweiz).