

Automatische Kamerapositionierung für intra-operative Visualisierungen in der onkologischen Leberchirurgie

Konrad Mühler¹, Christian Hansen², Mathias Neugebauer¹, Bernhard Preim¹

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

²MeVis Research – Center for Medical Image Computing, Bremen

muehler@isg.cs.uni-magdeburg.de

Kurzfassung. In diesem Beitrag wird ein Verfahren vorgestellt, mit dessen Hilfe automatisch gute Blickpunkte auf dreidimensionale Planungsmodelle für die Leberchirurgie berechnet werden können. Das Verfahren passt die Position der virtuellen Kamera während einer Operation dynamisch an, insbesondere im Falle einer Aktualisierung von onkologischen Planungsdaten durch neue intra-operative Befunde.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Zur Navigationsunterstützung während komplexer leberchirurgischer Eingriffe werden dem Chirurgen zunehmend getrackter Ultraschall zusammen mit dreidimensionalen Planungsmodellen auf einem Bildschirm direkt am Situs dargeboten (Abb. 1(a)) [1, 2]. Bei den verwendeten Planungsmodellen handelt es sich um patientenindividuelle Modelle der Organoberfläche, Gefäßsysteme und pathologischen Strukturen, die aus prä-operativen Tomographiedaten rekonstruiert werden. Im Verlauf eines Eingriffes kommt es häufig vor, dass sich die dargestellte Planungsszene durch intra-operativ detektierte Metastasen verändert [3]. Um dem Chirurgen jederzeit eine effektive Sicht auf die Daten zu gewährleisten, ist eine Neupositionierung der virtuellen Kamera in vielen Fällen notwendig. Hierfür musste der Chirurg bisher aufwendig mit einer Maus in der Szene navigieren und wurde so unnötig abgelenkt. Wir haben daher ein Verfahren entwickelt, das automatisch die günstigste Kameraposition in einer Planungsszene berechnet und diese dem Chirurgen intra-operativ in Echtzeit zur Verfügung stellt.

1.2 Stand der Forschung

Im Bereich der intra-operativen Darstellung von dreidimensionalen Planungsdaten wurden in den letzten Jahren eine Reihe an Arbeiten veröffentlicht [1, 4, 5]. Bisher existiert jedoch kein Ansatz, der eine automatische Neupositionierung der Kamera während eines chirurgischen Eingriffes in Abhängigkeit von klinisch relevanten Parametern erlaubt.

Bei der Bestimmung guter Blickpunkte für 3D-Szenen konzentrierten sich bisherige Arbeiten meist auf eine Erweiterung des *viewpoint entropy* Ansatzes [6]. Dabei geht es um die Maximierung des Informationsgehaltes einer Sicht, bspw. durch ein optimales Verhältnis von sichtbaren Polygonen und sichtbarer Fläche [6] oder die Maximierung der sichtbaren Oberflächenkrümmung [7]. Das Maß der *viewpoint entropy* wurde von [8] und [9] auf Volumerendering-Darstellungen übertragen, jedoch auch hier, ohne einzelne Objekte in einer Szene zu unterscheiden.

In [10] wird ein neuartiges Verfahren vorgestellt, mit dem Kamerapositionen für einzelne Objekte in einer Darstellung für Interventionsplanungen generiert werden können. Dabei fließen unterschiedliche Parameter (sichtbare Fläche, Wichtigkeit verdeckender Strukturen, Vorzugsblickwinkel des Nutzers, Stabilität der Positionen, u.v.m.) in die Berechnung einer optimalen Kameraposition ein, wodurch diese in ihrer Bewertung objektiviert wird. Jeder Parameter wird durch eine so genannte *parameter map* repräsentiert, welche eine Funktion des Parameters über alle möglichen Kamerapositionen¹ darstellt. In einem Vorverarbeitungsschritt werden alle statischen Parameter wie sichtbare Fläche und Verdeckungen berechnet. Zur Ermittlung der optimalen Kameraposition zur Laufzeit werden die einzelnen *parameter maps* gewichtet summiert. Das Maximum des Ergebnisfeldes ist die neue Kameraposition. Eine unterschiedliche Wichtung der Parameter erlaubt es, das Verfahren für bestimmte Anwendungen und verschiedene Fragestellungen zu adaptieren.

2 Methoden

Ziel unseres Verfahrens ist es, einem Chirurgen während einer OP möglichst gute Sichten auf die fusionierten, dreidimensionalen Planungsdaten anzubieten. Eine gute Sicht wird dabei durch mehrere Parameter beeinflusst. So sollen mehrere Strukturen entsprechend ihrer aktuellen Bedeutung in einer Sicht erkennbar sein. Außerdem sollen neu hinzukommende Objekte, die erst intra-operativ in die Planungsdaten eingezeichnet werden, berücksichtigt werden.

Grundlage unseres Verfahrens ist die in [10] vorgestellte Methode zur Generierung von guten Kamerapositionen für einzelne Objekte. Wir haben den Ansatz sowohl um eine Methode, gute Sichten für mehrere Objekte zu generieren, als auch um die Möglichkeit, dynamisch erzeugte Objekte in die Bestimmung guter Kamerapositionen einzubeziehen, erweitert.

2.1 Gute Kamerapositionen für leberchirurgische Darstellungen

Bei der Planung und Durchführung von leberchirurgischen Eingriffen spielt die relative Lage von Gefäßstrukturen zu umliegenden Metastasen eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung der Resektabilität. Gespräche mit unseren klinischen Partnern haben gezeigt, dass diese relativen Lagebeziehungen am besten beurteilt werden können, wenn möglichst viele Gefäßäste in der Darstellung zu

¹ Die Positionen befinden sich äquidistant auf einer die Szene umgebenden Kugel.

erkennen sind. Daher führen wir als neuen Parameter zur Sichtbewertung die Länge der sichtbaren Silhouette einer Struktur ein. Als Silhouette werden dabei all jene Pixel einer projizierten Fläche betrachtet, die in ihrer 4er-Nachbarschaft ein Hintergrundpixel haben. Der Parameter der Silhouettenlänge geht mit relativ hohem Gewicht gegenüber anderen Parametern wie der sichtbaren Fläche in die Berechnung der optimalen Kameraposition ein. Dies führt zu deutlich besseren Sichten auf Gefäßbäume (Abb. 1(b),1(c)).

Um die Adaption der Darstellung auf den Situs für den Chirurgen zu erleichtern, wählt unser Verfahren eine annähernd gleiche Blickrichtung auf die dargestellten Planungsmodelle, wie sie der Chirurg auf den Situs hat. Hierfür haben wir die möglichen Blickpunkte auf einen koronalen Sichtbereich mit einer Rotation von 60° axial und sagittal beschränkt. Die Beschränkung auf einen bestimmten Bereich erreichen wir durch die Änderung des existierenden Parameters des Vorzugsblickwinkels zu einem multiplikativen Faktor. Somit werden alle Kamerapositionen, die außerhalb der gewünschten Region liegen, mit 0 bewertet.

2.2 Gute Kamerapositionen für mehrere Objekte

Das bisherige Verfahren [10] war lediglich dazu ausgelegt, gute Kamerapositionen für einzelne Objekte in einer Szene zu ermitteln. Da aber während eines onkologischen Eingriffes eine gute Sicht sowohl auf alle Metastasen als auch auf die verschiedenen Gefäßbäume und Leberterritorien in gleicher Weise garantiert werden soll, wurde das Verfahren erweitert. Dazu berechnen wir die Ergebnissfelder aller beteiligten Objekte (*object maps*) wie in [10] und summieren diese gewichtet auf. Die Wichtung der einzelnen *object maps* erlaubt es, neu hinzugekommenen Metastasen bei der Ermittlung der Kameraposition ein höheres Gewicht gegenüber bereits prä-operativ segmentierten Strukturen zu geben. Das Maximum des sich ergebenden Feldes ist die gesuchte optimale Kameraposition für eine gute Sicht auf alle beteiligten Strukturen.

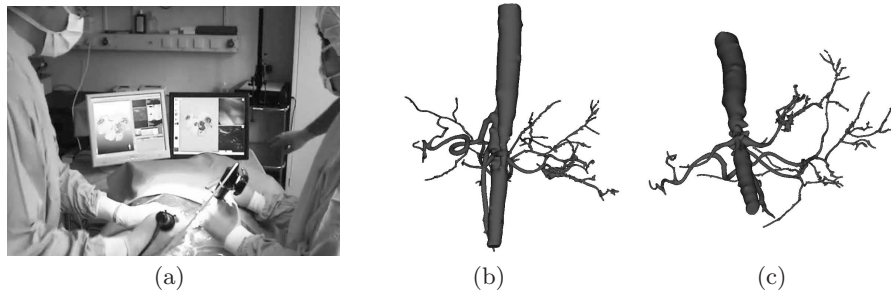


Abb. 1. (a) Intra-operative Visualisierung von Planungsdaten (UKSH Lübeck). Planungsmodelle und intra-operativer Ultraschall werden dem Chirurgen in einer Darstellung fusioniert präsentiert. Sichten auf eine Leberarterie ohne (b) und mit (c) Berücksichtigung des neu eingeführten Silhouettenparameters

Zusätzlich zu dieser Kameraposition werden noch weitere Positionen ermittelt, die jeweils eine gute Sicht auf einzelne Metastasen bieten. Zusammen werden diese Kamerapositionen als Vorschau dem Chirurgen zur Auswahl präsentiert. Dieser kann dann die gewünschte Kameraposition per Touchscreen auswählen und muss nicht mehr aufwendig mit der Maus in der Szene navigieren.

2.3 Einbeziehung dynamischer Objekte in die Kameraberechnung

Das bisher genutzte Verfahren [10] erlaubt es nicht, nach der Vorberechnung neu zur Szene hinzugekommene Objekte in die Berechnung der Kameraposition mit einzubeziehen. Es müssten mit den neuen Objekten wiederum die Vorberechnungen zur Sichtbarkeitsbestimmung durchlaufen werden. Um dies zu vermeiden, aber dennoch die Einbeziehung während der Operation eingezeichneter Metastasen zu ermöglichen, nutzen wir so genannte Stellvertreterobjekte (SO). Dies sind Objekte, die schon zum Zeitpunkt der Vorberechnungen erzeugt werden und so als Vertreter dynamischer Objekte zur Sichtbarkeitsbestimmung herangezogen werden können. Zur Erzeugung der SO wird das Parenchymobjekt der Leber in ca. 30 würfelförmige Teilobjekte unterteilt.

Anstelle einer neu hinzukommenden Metastase werden die Sichtbarkeitsinformationen der SO in deren Umgebung genutzt. Dabei wird das in Abschnitt 2.2 beschriebene Verfahren zur Sichtpunktberechnung für mehrere Objekte genutzt. Die SO für eine neue Metastase gehen entsprechend gewichtet der Größe ihrer Überlagerung mit der neuen Metastase in die Berechnung ein. So werden nur die SO genutzt, welche die neue Metastase schneiden.

3 Ergebnisse

Mit dem vorgestellten Verfahren ist es möglich, gute Kamerapositionen auf mehrere Objekte in intra-operativen Darstellungen automatisch zu generieren. Au-

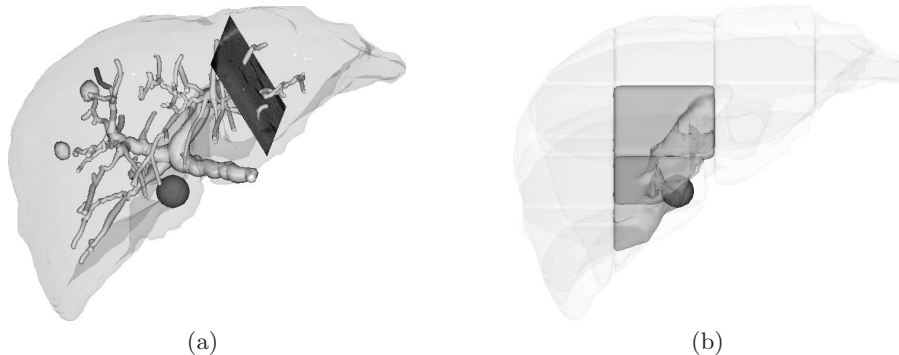


Abb. 2. (a) Optimale Sicht auf die prä-operativ detektierten Metastasen, den portalvenösen Gefäßbaum und die intra-operativ gefundene Metastase (dunkle Kugel). Ebenfalls zu erkennen ist das fusionierte Ultraschall-Bild. (b) Darstellung der Stellvertreterobjekte für die neue Metastase

ßerdem konnte die Einbeziehung dynamischer Objekte in die Positionsberechnung mittels Stellvertreterobjekten realisiert werden. So können auch neue Befunde in Echtzeit optimal betrachtet werden, ohne dass der Chirurg in der dreidimensionalen Szene navigieren muss. Um verzweigten Strukturen besser gerecht zu werden, wurde als neuer Parameter zur Blickpunktbewertung die Silhouettenlänge eingeführt.

4 Diskussion

Derzeit wird ein Verfahren zur intra-operativen Anpassung der geplanten Resektionsebene entwickelt. Durch automatisch berechnete Kamerapositionen kann der Chirurg bei solchen Anpassungen besonders unterstützt werden. Es ist eine Evaluierung des vorgestellten Verfahrens in Zusammenarbeit mit den klinischen Partnern geplant. Derzeit befindet sich das Verfahren zusammen mit anderen neuen intra-operativen Visualisierungstechniken in der vorklinischen Erprobung.

Danksagung. Dieses Projekt wurde im Zusammenhang mit dem SOMIT-FUSION-Projekt durch das BMBF gefördert (FKZ 01-BE03B und FKZ 01-BE03C). Wir danken Stefan Schlichting (UKSH Lübeck) sowie allen involvierten Chirurgen aus dem FUSION-Projekt.

Literaturverzeichnis

1. Lange T, Eulenstein S, Hünerbein M, et al. Augmenting intraoperative 3D ultrasound with preoperative models for navigation in liver surgery. Proc MICCAI. 2004; p. 543–51.
2. Markert M, Weber S, Kleemann M, et al. Comparison of fundamental requirements for soft tissue navigation with a novel assistance system for open liver surgery. Proc CARS. 2006; p. 498–9.
3. Hansen C, Schlichting S, Markert M, et al. Intraoperative adaptation of preoperative risk analyses for oncologic liver surgery using navigated 2D-ultrasound. Proc CURAC. 2007; p. 155–8.
4. Hansen C, Köhn A, Ritter F, et al. Simultaneous visualization of preoperative planning models and intraoperative 2D ultrasound for liver surgery. Proc Eurographics. 2007; p. 73–6.
5. Nimsy C, Ganslandt O, Enders F, et al. Visualization strategies for major white matter tracts for intraoperative use. Proc CARS. 2005; p. 793–798.
6. Vazquez PP, Feixas M, Sbert M, et al. Viewpoint selection using viewpoint entropy. In: Vision, Modeling, and Visualization; 2001. p. 273–280.
7. Sokolov D, Plemenos D. Viewpoint quality and scene understanding. In: Proc Int EG Symp VR, Archaeology Cultural Heritage; 2005. p. 67–73.
8. Bordoloi U, Shen HW. View selection for volume rendering. In: Proc IEEE Vis; 2005. p. 487–94.
9. Takahashi S, Fujishiro I, Takeshima Y, et al. A feature-driven approach to locating optimal viewpoints for volume visualization. In: Proc IEEE Vis; 2005. p. 495–502.
10. Mühler K, Neugebauer M, Tietjen C, et al. Viewpoint Selection for intervention planning. Proc IEEE EuroVis. 2007; p. 267–74.