

Effiziente Planung von Zugangswegen für sichere Nadelinsertionen

Alexander Seitel, Kwong Yung, Markus Engel, Markus Fangerau, Anja Groch,
Michael Müller, Hans-Peter Meinzer, Lena Maier-Hein

Abteilung Medizinische und Biologische Informatik, Deutsches
Krebsforschungszentrum Heidelberg
a.seitel@dkfz-heidelberg.de

Kurzfassung. Automatische Systeme für minimal-invasive perkutane Nadelinsertionen erfordern die Segmentierung von Risikostrukturen zur Bestimmung eines sicheren Zugangsweges. Mangels vollautomatischer Segmentierungsverfahren für alle Strukturen im Abdominalraum macht dieser Segmentierungsschritt den größten Teil der gesamten Planungs-dauer aus. Um die Planung zu beschleunigen, stellen wir ein zweistufiges Konzept für eine schnelle semiautomatische Zugangsplanung vor, bei dem (1) vollautomatisch ein Großteil der Hautoberfläche als Einstichszone ausgeschlossen wird, indem nur automatisch segmentierbare Risikostrukturen berücksichtigt werden und (2) die so erhaltene Einstichszone durch Benutzung des Prinzips der Pareto-Optimalität weiter eingeschränkt und der finale Einstichpunkt interaktiv mit einer neuen Visualisierungstechnik unter Berücksichtigung der anderen Risikostrukturen gewählt wird.

1 Einleitung

Minimal-invasive Verfahren zur Tumorbehandlung wie z.B. Radiofrequenzablationen oder Biopsien haben in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Viele dieser Verfahren erfordern das Einbringen eines nadelförmigen Instruments in die Zielstruktur wie z.B. die Leber. Für eine komplikationsfreie und schnelle Durchführung der Intervention ist ein gut gewählter Zugangsweg unabdingbar. Neben zahlreichen semi-automatischen Verfahren zur Zugangsplanung wurden in den letzten Jahren Ansätze präsentiert, die eine automatische Berechnung möglicher Nadeltrajektorien zum Ziel haben [1, 2]. Grundlage dieser Verfahren ist die Beachtung bestimmter Bedingungen (sogenannter constraints), die für eine Trajektorie erfüllt sein müssen (Abb. 1). So darf der Zugangsweg beispielsweise keine kritische Struktur (z.B. die Lunge) kreuzen und nicht länger als die verwendete Nadel sein. In [3] wurde ein System vorgestellt, das auf Basis von Segmentierungen von Haut, Zielstruktur und Risikostrukturen aus einem dreidimensionalen Planungsdatensatz sowie unter Berücksichtigung gewisser Restriktionen (sogenannter hard constraints) automatisch mögliche Zugangswege berechnet und diese anhand bestimmter Parameter (sogenannter soft constraints) wie der Trajektorienlänge oder deren Distanz zu kritischen Strukturen bewertet. In

einer retrospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass das System in der Lage ist, Komplikationen zu vermeiden. Nichtsdestotrotz ist das Hauptproblem dieses Ansatzes, dass eine ausreichend genaue Segmentierung aller Strukturen noch nicht vollautomatisch erfolgen kann und somit zwar eine schnelle Pfadplanung möglich ist, diese jedoch eine relativ lange Vorbereitungszeit erfordert.

Wir stellen deshalb in diesem Beitrag ein zweistufiges Konzept für eine schnelle semiautomatische Zugangsplanung vor. Zunächst wird vollautomatisch ein Großteil der Hautoberfläche als Einstichszone ausgeschlossen indem nur automatisch segmentierbare Risikostrukturen berücksichtigt werden (Abschn. 2.1). In einem zweiten Schritt wird die so erhaltene Einstichszone durch Benutzung des Prinzips der Pareto Optimalität weiter eingeschränkt und interaktiv mit

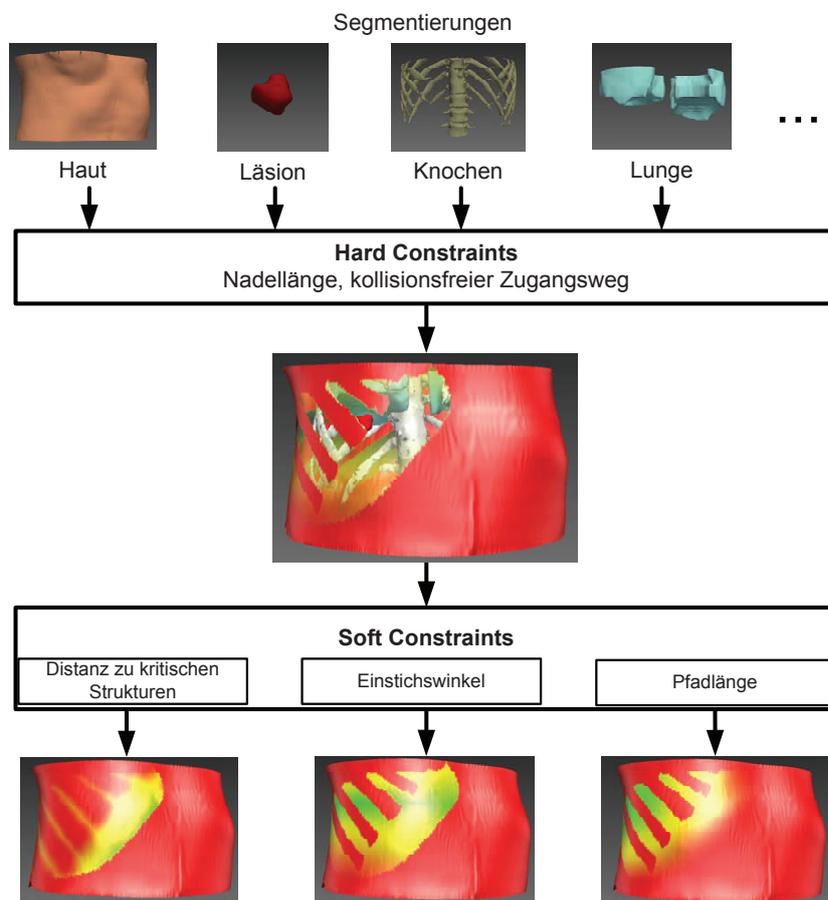


Abb. 1. Prinzip der automatisierten Pfadplanung. Ausgehend von Segmentierungen der wichtigsten Strukturen wird über die hard constraints eine mögliche Einstichszone ermittelt, welche mit Hilfe der soft constraints bewertet wird.

einer neuen Visualisierungstechnik unter Berücksichtigung der restlichen Risikostrukturen der finale Einstichpunkt gewählt (Abschn. 2.2).

2 Material und Methoden

2.1 Automatische Grobplanung

Das grundlegende Prinzip der automatischen Pfadplanung, wie in [3] vorgestellt, ist in Abb. 1 verdeutlicht. Ausgehend von Segmentierungen der einzelnen Strukturen wird anhand der sogenannten hard constraints, wie z.B. der Nadellänge, eine Einstichszone auf der Hautoberfläche berechnet. Diese wird mittels der soft constraints bewertet und entsprechend der Gewichtung der einzelnen constraints (z.B. der Distanz zu kritischen Strukturen) farblich markiert, um dem Arzt somit eine Entscheidungshilfe für die Trajektorienauswahl zu geben. Die Farbkodierung ändert sich je nach Auswahl oder Gewichtung der soft constraint. Besonders zeitaufwändig ist die Segmentierung von Strukturen wie Leber, Herz, Magen oder Darm, da sich diese Organe nur wenig in ihren Grauwertbereichen im Bild unterscheiden. Die Rippen, die Haut, sowie die beiden Lungen lassen sich hingegen mit relativ einfachen Verfahren automatisch segmentieren. Wir verwenden daher zur Berechnung der Einstichszone nur die automatisch segmentierbaren Strukturen und berücksichtigen die anderen kritischen Strukturen im neuen, interaktiven Planungsschritt (Abschn. 2.2).

2.2 Interaktive Feinplanung

Die automatisch berechnete Grobplanung wird verfeinert, indem zunächst der Suchraum innerhalb der Einstichszone eingeschränkt wird und danach eine Visualisierungstechnik verwendet wird, um dem Arzt anhand einer „Trajektorienvorschau“ das errechnete Planungsergebnis direkt am Patienten zu visualisieren.

Suchraumeinschränkung. Da im Vergleich zum Planungssystem, in dem die Risikostrukturen vollständig segmentiert wurden, bei diesem Ansatz mit nur wenigen segmentierten Strukturen eine deutlich größere Einstichszone errechnet wird, bedarf es einer Einschränkung dieses relativ großen Suchraums. Um diejenigen Punkte der Einstichszone zu ermitteln, die für die aktuelle Kombination von constraints am besten für das Einführen des Instrumentes geeignet sind, verwenden wir das Prinzip der Pareto-Optimalität. Es ist damit möglich, die pareto-optimalen Punkte eines Parameterraums (in unserem Fall aufgespannt von den soft constraints) zu bestimmen. Ein Punkt in diesem Raum ist genau dann pareto-optimal, wenn es keinen anderen Punkt gibt, der bezüglich eines Parameters besser bewertet wird, ohne dass dadurch die Bewertung durch einen anderen Parameter verschlechtert wird. Das ermöglicht es, dem Arzt einen Vorschlag zu geeigneten Einstichspunkten zu präsentieren (Abb. 2a, Pareto-Front) bzw. sein Augenmerk auf die potentiell interessanten Bereiche der Einstichszone

zu lenken. Der errechnete Vorschlag kann nun als Ausgangspunkt für die Verfeinerung der Zugangsplanung verwendet werden, dient dabei jedoch lediglich als Entscheidungshilfe; der Einstichpunkt wird frei vom Arzt gewählt.

Verfeinerung der Planung. Zur Planung des finalen Einstichpunktes wird eine Visualisierung bereitgestellt, die es ermöglicht, unter Berücksichtigung sämtlicher Risikostrukturen sowie des groben Planungsergebnisses eine geeignete Trajektorie zu ermitteln. Hierfür wird eine Übersicht des berechneten Planungsergebnisses visualisiert (Abb. 2a). Zudem wird in Echtzeit eine Volumenvisualisierung berechnet, mit der sämtliche Risikostrukturen im Bezug zum aktuellen Einstichpunkt dargestellt werden können (Abb. 2b). Hierfür wird mittels Shading-Techniken, ähnlich der Ghost View in [4], anhand der Kameraposition und deren Blickrichtung eine Art vergrößertes Einstichloch aus der Hautoberfläche ausgeschnitten, was den Blick entlang des so gewählten Pfades freigibt und somit eine visuelle Beurteilung der Trajektorie ermöglicht. Es kann so schnell festgestellt werden, ob die aktuell geplante Trajektorie durch eine vorher nicht berücksichtigte Struktur (z.B. das Herz) verläuft. Für den Einsatz dieser Form der Visualisierung sind zwei Möglichkeiten vorhanden: Offline Visualisierung: Die Feinplanung erfolgt ausschließlich am Planungssystem. Lediglich die Bilddaten des Patienten sind erforderlich. Der aktuell vom Arzt gewählte Einstichpunkt definiert die Blickrichtung der Kamera entlang der Trajektorie, sowie die Kameraposition auf der Verlängerung des Pfades außerhalb des Körpers. Alternativ kann der Arzt durch manuelles Interagieren mit der virtuellen Planungsszene die Kameraposition und somit den resultierenden Einstichpunkt wählen. Online Visualisierung: Die finale Planung erfolgt am Patienten, wobei die Kameraposition über ein getracktes Instrument berechnet wird. Der Einstichpunkt kann somit direkt mit dem Instrument definiert werden.

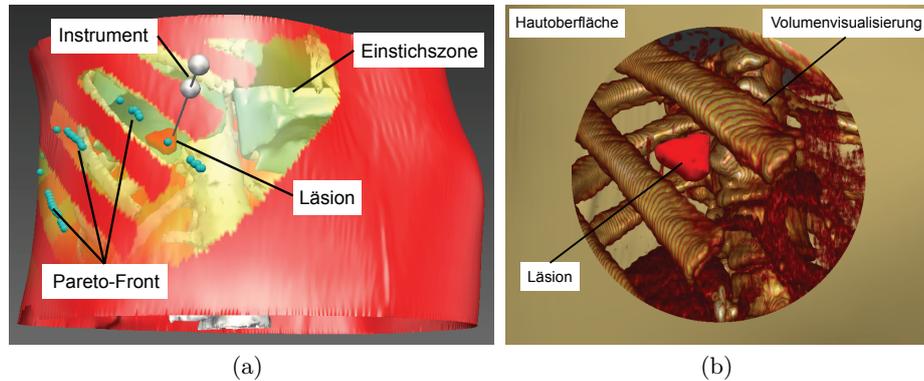


Abb. 2. (a) Planungsergebnis der Grobplanung sowie aktuelle Nadelposition. (b) Feinplanung direkt am Patienten mittels Volumenvisualisierung. Die Blickrichtung der Kamera des Renderers bestimmt den gezeigten Ausschnitt.

3 Ergebnisse

Die beschriebene Planungsmethode wurde prototypisch als Demosystem entwickelt und wird zur BVM 2011 präsentiert. Neben seiner Funktionalität als eigenständige Anwendung kann das Planungssystem auch in den Workflow eines Navigationssystems für Nadelinsertionen [5] integriert werden. Abbildung 2 zeigt die Umsetzung der neuartigen Visualisierungsmethoden für die Zugangsplanung. Die initiale, automatische Planung kann innerhalb von weniger als 10 Sekunden durchgeführt werden. Erste Experimente zeigen, dass die Verfeinerung dieser initialen Planung im Zeitraum von wenigen Minuten abhängig von der Lage der zu punktierenden Läsion durchgeführt werden kann.

4 Diskussion

Dieser Beitrag beschreibt eine Erweiterung des in [3] präsentierten Systems zur automatischen Pfadplanung und dessen Integration als Planungskomponente in ein Navigationssystem für perkutane Nadelinsertionen. Hauptaugenmerk wurde hierbei auf die Vermeidung zeitaufwändiger Segmentierungen von kritischen Strukturen gelegt. Die Lunge, als eine der komplikationsträchtigsten Strukturen bei Punktionen der Leber konnte durch ihre leichte Segmentierbarkeit berücksichtigt werden. Das entstandene System ermöglicht es dem Arzt, anhand einer innovativen Visualisierung, mögliche Zugangswege schnell auf ihre Qualität zu überprüfen. Im Vergleich zu einer manuellen Planung auf Schichtdaten, die in der Klinik in der Regel einige Minuten erfordert [6] konnte hiermit eine schnelle Planungskomponente für Navigationssysteme gefunden werden, welche aufwändige Segmentierungen aller kritischen Strukturen vermeiden kann. Zukünftige Arbeiten konzentrieren sich auf (1) die Evaluation des Systems im klinischen Workflow sowie (2) die Integration eines Konzeptes zur Kompensation von Bewegungen und Deformationen.

Literaturverzeichnis

1. Schumann C, et al. Fast automatic path proposal computation for hepatic needle placement. In: Proc SPIE. vol. 7625; 2010. p. 1J.
2. Baegert C, et al. Multi-criteria trajectory planning for hepatic radiofrequency ablation. In: Proc MICCAI. vol. 10; 2007. p. 676–84.
3. Engel M, et al. Schnelle Zugangsplanung für die perkutane Punktion der Leber. In: Proc BVM; 2010. p. 216–20.
4. Tietjen C, et al. GPU-basierte Smart Visibility Techniken für die Planung von Tumor-Operationen. In: Proc BVM; 2009. p. 272–6.
5. Maier-Hein L, et al. In vivo accuracy assessment of a needle-based navigation system for CT-guided radiofrequency ablation of the liver. Med Phys. 2008 December;35(12):5386–96.
6. Müller SA, et al. Navigated liver biopsy using a novel soft tissue navigation system versus CT-guided liver biopsy in a porcine model: a prospective randomized trial. Acad Radiol. 2010;17(10):1282–7.