


Computerbasierte, bildgeführte chirurgische Eingriffe

Philippe C. Cattin^a, Adrian Schneider^a, Mathias Griessen^a, Christian Baumberger^a, Bert Müller^b

^a Medical Image Analysis Center, Universität Basel

^b Biomaterials Science Center, Universität Basel

Die Durchführung von komplexen chirurgischen Eingriffen erfordert vom Chirurgen viel Erfahrung und grosse Geschicklichkeit. Je komplexer der Eingriff, umso höher ist das Risiko für den Patienten. Studien haben gezeigt, dass der Einsatz von intraoperativen Navigationshilfen das Risiko für den Patienten erheblich verringert [1, 2]. Die zusätzlichen Informationen für den Chirurgen im OP können unterschiedlich dargestellt werden. Einerseits können die Navigationshilfen als Angabe der verbleibenden Distanz zum Ziel dargestellt werden. Andererseits kann man intuitiver vorgehen und die Methode der Augmented Reality (AR) benutzen. AR bezeichnet die Technik, Informationen wie zum Beispiel einen aus präoperativen Daten segmentierten Tumor, der im Computer gespeichert ist, in das Live-Kamerabild einzublenden. In Abbildung 1  ist ein Beispiel zu sehen, wie der intraossäre Tumor und der Nervus alveolaris relativ zum Unterkiefer lokalisiert sind.

Trotz der offensichtlichen Vorteile für den Patienten und den behandelnden Chirurgen ist die Verbreitung der Navigationssysteme heute normalerweise auf spezialisierte Kliniken und Universitätsspitäler beschränkt. Der Grund dafür liegt nicht nur in der Komplexität dieser Systeme, sondern vor allem in dem hohen Anschaffungspreis von rund 500 000 Fr. Im vorliegenden Forschungsprojekt konzentrieren wir uns auf die Entwicklung einer kostengünstigen Navigationslösung, die genügend einfach und genau ist und durch ihren Preis von unter 1000 Fr. einen breiten Markt erschliessen wird.


Zielsetzung und Hypothese

Wir sind überzeugt, dass man kostengünstig Navigationslösungen auf Basis einer herkömmlichen Android-Tablet-PC-Architektur (ASUS Transformer prime TF201) entwickeln kann. Der Einsatz eines Tablet-PCs für diese komplexen Echtzeit-Aufgaben bedingt die Verfügbarkeit von Algorithmen, die sehr viel effizienter als die bekannten Softwarelösungen sind.

Methodik

Um mit einem Tablet-PC ein funktionsfähiges AR-System zu realisieren, muss man zwei technische Hürden meistern. Die erste besteht darin, dass heutige Tablet-PCs in der Regel nur über eine einzige Kamera an ihrer Rückseite verfügen. Die Schätzung der relativen Position des Tablets zum Patienten ist zwar technisch möglich, resultiert aber in einem grossen Positionsfehler senkrecht zur

Bildebene. Die zweite Hürde besteht darin, dass die Rechenleistung gegenüber leistungsfähigen PCs beschränkt ist.

Diese Einschränkung kommt insbesondere zum Tragen, wenn die Orientierungspunkte (Abb. 1, grüne Markierungspunkte) verfolgt werden müssen. Diese Markierungen werden vom Chirurgen an charakteristischen anatomischen Merkmalen in den dreidimensionalen, präoperativ gewonnenen Daten angebracht. Danach werden die Koordinaten dieser Punkte auf das zweidimensionale Kamerabild projiziert (Abb. 2 ). Da alle Punkte die gleiche grüne Farbe haben, kann dies sehr effizient mit einem Farbgrenzwert durchgeführt werden. Eine Implementierung auf dem Graphikprozessor des Tablet-PCs bringt einen weiteren Geschwindigkeitsvorteil und erlaubt nun die Darstellung in Echtzeit. Weil die grünen Punkte sich nur in der Position voneinander unterscheiden, gibt es keinen direkten Weg, den einzelnen Punkten ihre dreidimensionalen Koordinaten zuzuordnen. Damit stellt sich die Aufgabe, der Liste von zweidimensionalen Punktkoordinaten im Kamerabild die zugehörigen dreidimensionalen Koordinaten zuzuordnen. Erst durch diese Zuordnung kann man die benötigte Position und Lage des Patienten bestimmen und im Live-Videobild die Objekte überlagern, wie zum Beispiel den intraossären Tumor oder den N. alveolaris (Abb. 1).

Was zunächst als einfache Aufgabe erscheint, ist weit aus komplizierter als ursprünglich erhofft. Die Anzahl Kombinationen, wie man die projizierten Punkte ihren



Abbildung 1

Intraossärer Tumor und Nervus alveolaris in Grün dem Live-Kamerabild überlagert.

Die Autoren haben keine finanzielle Unterstützung und keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

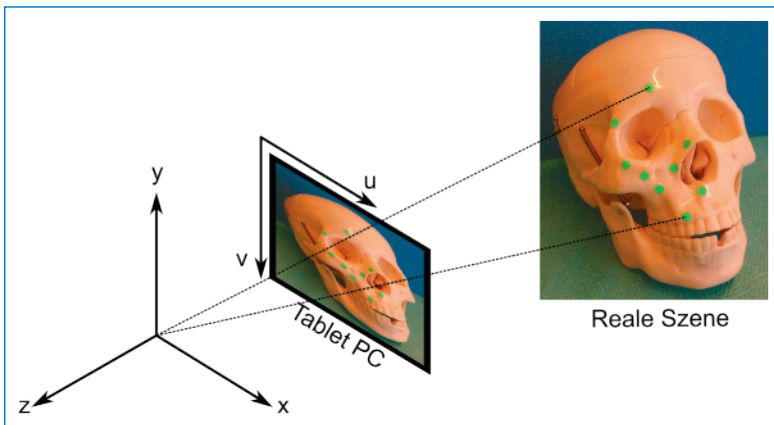


Abbildung 2
Die 3-D-Punkte der realen Szene werden auf das 2-D-Bild des Tablets abgebildet.

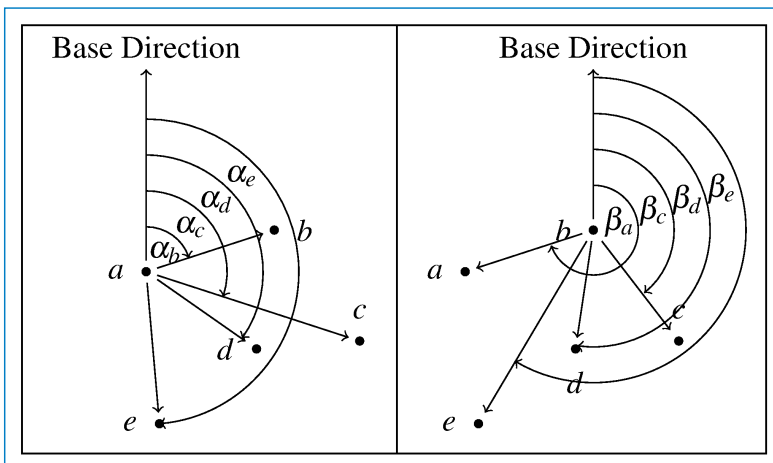




Abbildung 3
Beispiel-Beschreibungen für die beiden Punkte a und b.



Abbildung 4
Der intraossärer Tumor und ein fehlender Zahn werden dem Livebild überlagert.

dreidimensionalen Koordinaten zuordnen kann, steigt nämlich exponentiell mit der Anzahl der Punkte. In der Literatur ist diese Aufgabe als Point Pattern Matching (PPM) beschrieben [3]. Die bekannten PPM-Methoden sind leider aufgrund des hohen Rechenbedarfs für Tablet-PCs mit ihrer beschränkten Rechenleistung ungeeignet. Deshalb haben wir eine effiziente und robuste Methode entwickelt, um die Zuordnungen mittels Tablet-PC zu berechnen.

Um die komplexe Aufgabe in effizient zu lösende Teile zu zerlegen, bestimmen wir zunächst für jeden der Punkte eine Beschreibung ihrer lokalen Umgebung. Diese Beschreibung besteht aus den Richtungen, unter denen alle anderen Punkte gesehen werden (Abb. 3 , Punkte a und b). Vergleicht man nun die Beschreibung der Umgebung für die Punkte a ($\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d, \alpha_e$) mit der Beschreibung vom Punkt b ($\beta_a, \beta_b, \beta_c, \beta_d, \beta_e$), lässt sich leicht erkennen, ob es sich um ein und denselben Punkt handelt oder nicht. Geht man nun rekursiv durch alle möglichen Zuordnungen der Punkte, kann die am besten passende Zuordnung bestimmt werden. Dadurch, dass wir anhand der genannten Beschreibungen bestimmen können, wie wahrscheinlich eine Zuordnung ist, kann die rekursive Suche massiv beschnitten und Rechenzeit gespart werden.

Für die Validierung der Technik benötigt man ein dreidimensionales Abbild, zum Beispiel des Schädels (Abb. 4 ). Dieser Schädel wurde mit dem phoenix nanotom® m der Firma General Electric mit hoher Detailtreue abgebildet. Dieses mit Mitteln des Schweizerischen Nationalfonds finanzierte Gerät erlaubt nicht nur die Tomographie an Objekten mit einem Durchmesser von bis zu 250 mm, sondern auch die Bestimmung von Distanzen mit Mikrometerngenauigkeit [4].

Wichtigste Ergebnisse

In diesem Forschungsprojekt konnten wir zeigen, dass durch den Einsatz der neu entwickelten PPM-Methode eine effiziente und echtzeitfähige AR-Navigationslösung mit einem Tablet-PC möglich wird. Die Methode ist robuster als die bekannten Algorithmen und erlaubt damit eine grössere Bewegung des Arztes um das Objekt. Bei der Verwendung von mehr als sechs Orientierungspunkten können einzelne Punkte – zum Beispiel durch die Hand des Chirurgen – abgedeckt sein und die Methode arbeitet weiterhin zuverlässig. Dank der hohen lateralen Auflösung der Tablet-Kamerabilder erreichten wir in diesen Richtungen eine durchschnittliche Positioniergenauigkeit von mindestens 0,8 mm, ein Wert, der für viele klinische Anwendungen im akzeptablen Bereich liegt.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch die Anwendung der neu entwickelten PPM-Methode konnten handelsübliche Tablet-PCs zu voll funktionsfähigen Navigationssystemen aufgerüstet werden. Die Rechenleistung und Kameraqualität dieser vergleichsweise preiswerten Computer erlauben es, komplexe AR-

Aufgaben zuverlässig und präzise zu erledigen. Die einfache Anwendung der preiswerten Navigationssysteme erleichtert die Integration in den klinischen Ablauf. Mögliche weitere Einsatzgebiete, wie zum Beispiel die Platzierung von Pedikelschrauben oder die Führung von Biopsienadeln, gehören zu den nächsten Schritten.

Danksagung

Die Autoren danken dem Schweizerischen Nationalfonds, Abteilung Biologie und Medizin, der im Rahmen der R'Equip-Initiative die Beschaffung des phoenix nanotom[®] m finanziell unterstützt hat (Grant 316030_133802/1).

Korrespondenz:

Prof. Dr. Philippe Cattin
Medical Image Analysis Center der Universität Basel
Universitätsspital Basel
CH-4031 Basel
[philippe.cattin\[at\]unibas.ch](mailto:philippe.cattin[at]unibas.ch)

Literatur

- 1 Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis. *Spine*. 2007;32(3):E111–E120.
- 2 Chin LP, Yang KY, Yeo S, Lo N, et al. Randomized control trial comparing radiographic total knee arthroplasty implant placement using computer navigation versus conventional technique. *The Journal of arthroplasty*. 2005;20(5):618.
- 3 Li B, Meng Q, Holstein H. Point pattern matching and applications – A review. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 2003;1:729–36.
- 4 Vögtlin C, Schulz G, Deyhle H, Jäger K, Liebrich T, Weikert S, Müller B. Comparison of denture models by means of micro computed tomography. *Proceedings of SPIE*. 20012;8506:85061S.