

Bestimmung der Zahl von Fiducials für punkt-basierte Registrierung

F. Schröter¹, Z. Bardosi¹, F. Kral¹, M. Perwög¹, Ö. Güler², W. Freysinger¹

¹ AG 4D Visualisierung, Universitätsklinik für Hals -, Nasen – Ohrenheilkunde, Medizinische Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

² Children's National Medical Center, Washington DC, USA

Kontakt: ferdinand.schroeter@gmail.com

Abstract:

Die Anwendungsgenauigkeit von intraoperativer Navigation hängt neben anderen Faktoren auch von der Zahl der verwendeten Fiducials ab. Nach gängiger Auffassung steigt die vorhergesagte Anwendungsgenauigkeit mit der Zahl der Fiducials. In unserer klinischen Routine hat sich deutlich gezeigt, dass durch Verwendung von mehr als fünf Punkten am Patienten für die starre Registrierung des Patienten an den präoperativen Bilddatensatz KEIN Gewinn an Anwendungsgenauigkeit gewonnen wird. Deshalb wurden im experimentellen Operationssaal der HNO unter kontrollierten Bedingungen Experimente dazu durchgeführt.

Dabei wurde ein optischer Tracker (easyTrack 500, atracsys, Schweiz), ein open-source Navigationssystem (open4Dnav, voxelmaster.at) und CT und DVT Datensätzen der Studienobjekte (Plastikschädel, anatomisches Präparat, Freiwilliger) verwendet. Es wurden Messreihen mit jeweils 3-, 5-, 7- und 9 Registrierungspunkten, mit je 10 Registrierungen und 10 wohldefinierten Kontrollpunkten (Targets) durchgeführt. Insgesamt wurden 1960 Punktmessungen durchgeführt und verwendet.

Die Daten zeigen, dass eine Verwendung von mehr als 5 Punkten zur Registrierung keinen wirklichen Nutzen für die intraoperative Anwendungsgenauigkeit bringt.

Schlüsselworte: accuracy, point based, registration

1 Problemstellung

Der klinische Nutzen von intraoperativer Navigation (CAS) hängt davon ab, wie genau die Systeme die Position einer navigierbaren Sonde oder eines Instrumentes in den präoperativen radiologischen Datensätzen darstellen können. Es gibt eine Vielzahl von Studien, die sich mit diesem Themenkreis auseinandersetzen. In einer unserer letzten Arbeiten zur Anwendungsgenauigkeit [1] konnten wir erstmals quantitativ die einzelnen Faktoren der Anwendungsgenauigkeit identifizieren und quantifizieren. In dieser Arbeit wurde ein NDI Polaris Tracker der ersten Generation verwendet (NDI, Deutschland). Obwohl dieser Tracker im Detail analysiert wurde und sichergestellt war, dass er mit Herstellerpräzision funktioniert, wurden die Experimente mit dem easytrack 500 Tracker wiederholt. Dabei kamen die in [1] entwickelten Methoden zur Anwendung. Für Kliniker ist die Frage nach der Zahl der zu verwendenden Registrierungspunkte essentiell – wenn paired-point-registration verwendet wird – denn der Zeitaufwand für Auswahl, Definition und Anfahren der Fiducials in Operationssaal kann nicht vernachlässigt werden.

Nach den gängigen Theorien zur Vorhersage der „klinischen“ Anwendungsgenauigkeit von Fitzpatrick [2,3,4] sinkt der Target Registration Error (TRE) mit der Zahl der Registrierungspunkte. Damit ergibt sich ein Widerspruch zwischen den experimentellen / klinischen Befunden und der Theorie, die in dieser Studie untersucht werden sollten.

2 Material und Methoden

Für alle Messungen kam das 3D Navigationssystem open4Dnav [5] zur Anwendung. Es wurde mit open-source Standardbibliotheken (IGSTK, ITK, VTK, Qt) aufgebaut, ist auf allen gängigen Rechnerplattformen lauffähig und bietet einen flexiblen Einsatzbereich im Rahmen der point-based, rigid-body-registration. Der easyTrack 500 kann als ein trinokulares aktives optisches System das mit einer Anwendungsgenauigkeit von 0.2 mm betrieben werden kann. Das Arbeitsvolumen des Trackers ist kegelförmig mit einem optimalen Arbeitsabstand von ca. 750 mm. An den untersuchten Objekten (Plastikschädel von Somso, Deutschland, und anatomisches Präparat) wurden 1 mm Ti-Minischrauben zur Registrierung und Messung angebracht. Am Plastikschädel wurden zusätzlich anatomische Landmarken verwendet (Kreuzungspunkte in Fissuren, frühere Löcher von Schrauben). Im Gegensatz zu diesen beiden Ver-

suchen wurden beim Freiwilligen für Fiducials und Targets ausschließlich anatomische Landmarken verwendet, da der Datensatz wegen einer anderen Indikation erstellt wurde und für diese Studie verwendet wurde. Die Daten wurden mit Einverständnis des Probanden und Bewilligung durch die lokale Ethikkommission für diese Studie verwendet. In den Versuchsreihen wurden CT Datensätze (1 mm Schichtdicke) für Plastikschrädel und anatomisches Präparat und DVT (0.4 mm isotrope Voxel) für den Freiwilligen verwendet. In den Datensätzen wurden die optimalen Fiducials und Targets manuell als Mittelpunkte der Ausnehmungen der Schraubenköpfe definiert und als Goldstandard für Registrierungen und Messungen abgespeichert. Insgesamt wurden in den Datensätzen je 3, 5, 7 und 9 Fiducials für die Registrierungen und Messungen definiert. Bei jeder der zehn Registrierungen wurden die Fiducials und Targets mit der Sonde angesteuert und deren Position im Navigationssystem (x, y, z, in mm) aufgezeichnet. Der Total Target Error (TTE) und der Total Fiducial Registration Error (TFRE) [2,1] ergaben sich durch Vergleich der vom Navigationssystem berechneten Ist- mit der vordefinierten Sollposition jeweils von Targets und Fiducials im Bilddatensatz; der Fiducial Registration Error (FRE) wurde vom System in der üblichen Art berechnet [6] und abgespeichert. Der TFRE ergab sich durch Anfahren und Vermessen der Fiducials, der TTE durch Anfahren und Vermessen der Targets.



Abbildung 1: Das für die Messungen verwendeten Setups mit Tracker, linkes Bild. Mitte: Fixierung des anatomischen Präparates mit hydraulischen Armen (detto für Plastikschrädel) und Tape-Fixierung des Freiwilligen.

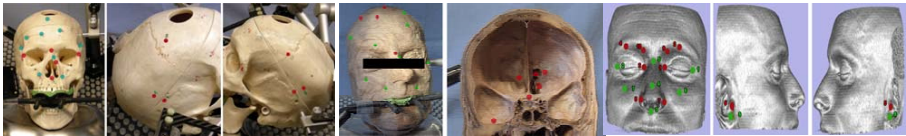


Abbildung 2: Fiducials und Targets an den drei untersuchten Objekten (Fiducials grün, Targets rot) liegen jeweils auf implantierten Titan Minischrauben.

Mittelwerte und Standardabweichungen wurden mit MS Excel berechnet.

3 Ergebnisse

Insgesamt wurden von 2680 Punktmessungen aus [7] 1960 Messungen dokumentiert und statistisch ausgewertet. Diese setzen sich aus 4 (3-, 5-, 7- und 9-Punkt-Registrierung) x 10 (Messwiederholungen) x 11 (Targets) + (3+5+7+9) x 10 (Fiducials) x 2 (Registrierung und TFRE Messung) für den Plastikschrädel sowie jeweils 4 x 10 x 10 (Targets) + (3+5+7+9) x 10 Fiducials x 2 (Registrierung und TFRE Messung) für Kadaver und Freiwilligen zusammen. Allerdings wurden die 3 x 240 Punktmessungen der Registrierungen statistisch nicht verwertet. Für die Auswertungen wurden alle Messungen einer Serie (Plastikschrädel, anatomisches Präparat, Freiwilliger) über alle Messungen und Koordinaten gemittelt und als Absolutbetrag gespeichert.

Aus den Messungen ergab sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen experimentell bestimmten Werten für FRE / TFRE, TRE und TTE. Die Daten für den Freiwilligen weisen offenbar einen systematischen Fehler auf, da bei bestimmten Targets bei allen Messungen extreme Abweichungen gefunden wurden. Diese Daten zeigen darüber hinaus keinen Einfluss der Zahl von Fiducials. Die hier gemessenen Daten sind mit den früheren [1] vergleichbar.

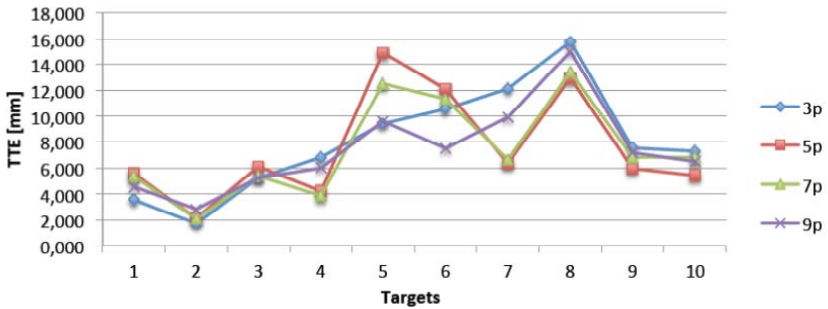


Abbildung 3: Freiwilliger: Darstellung der gemessenen TTE [1] Abhängigkeit von der Zahl der Fiducials. Abgesehen von bedeutenden (!) Anwendungsfehlern (siehe dazu den Text) lässt sich keine deutliche Verbesserung der TTE Messungen nachweisen. Dargestellt sind die Ergebnisse für 3, 5, 7, und 9 Fiducials.

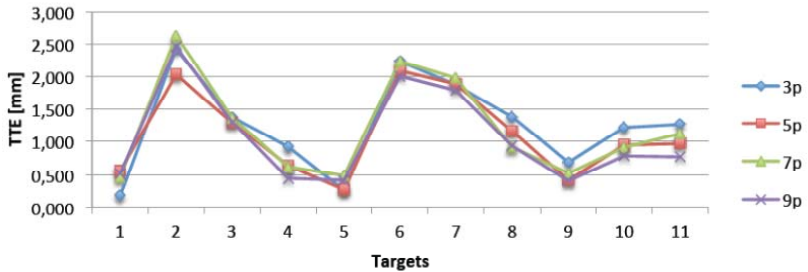


Abbildung 4: Plastikschädel: Darstellung der gemessenen TTE [1] Abhängigkeit von der Zahl der Fiducials. Auch für diesen optimalen Fall lassen sich keine deutlichen Verbesserung der TTE Messungen nachweisen. Dargestellt sind die Ergebnisse für 3, 5, 7, und 9 Fiducials. Die TTEs sind teilweise im submillimetrischen Bereich (Targets 1, 4, 5, 8, 9, 10 und 11).

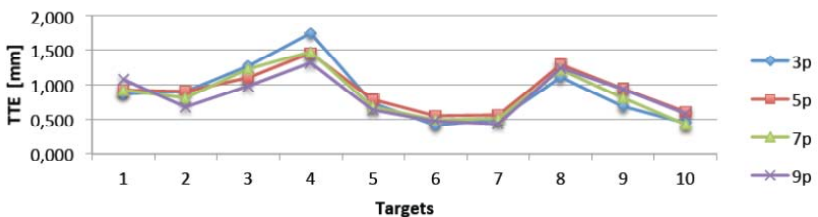


Abbildung 5: Anatomisches Präparat: Darstellung der gemessenen TTE [1] Abhängigkeit von der Zahl der Fiducials. Auch hier lässt sich keine Verbesserung der TTE Messungen nachweisen. Dargestellt sind die Ergebnisse für 3, 5, 7, und 9 Fiducials. Praktisch alle Targets (bis auf 3, 4 und 8) weisen submillimetrischen TTE auf.

4 Diskussion

Ein Vergleich der 3-, 5-, 7- und 9 Punktregistrierungen innerhalb der Messreihen mit dem Plastikschädel verdeutlicht, dass mit zunehmender Fiducialanzahl die Anwendungsgenauigkeit nicht eindeutig verbessert werden konnte. Ähnliches ist auch bei den Versuchen mit dem anatomischen Präparat zu sehen. Auch wenn bei den Experimenten mit dem Freiwilligen bei bestimmten Targets ein grosser (!) systematischer Fehler vorliegt, so bestätigen diese Daten, *cum grano salis*, dass die 7- und 9 Punktregistrierungen keinen besseren TTE als die 3- und 5 Punktregistrierungen liefern.

In einem klinischen Setting würde die Navigation mit einer Genauigkeit wie beim Freiwilligen wohl kaum verwendet werden; wir sind aber der Auffassung, dass auch solche quantitativ erhobenen Daten präsentiert werden sollen.

Die Abbildungen zeigen, dass im Rahmen dieses realistischen Experiments und mit einem hochauflösenden 3D-Positionsmesssystem kein Einfluss der Zahl von Fiducials auf die Anwendungsgenauigkeit festgestellt werden kann. Dies kann nach Analyse aller Fehlerquellen in der Navigation [1] nur darauf zurückzuführen sein, dass die Änderungen des vorhergesagten TRE und des TTE mit der Zahl der Fiducials deutlich kleiner ausfällt als der Einfluss des Benutzerfehlers bei der Lokalisation der Registrierungs- und Targetpunkte. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass im klinischen Bereich mit vier bis fünf fiducials zur Registrierung eine zuverlässige Navigation möglich ist.

4 Zusammenfassung

Für klinische Einsätze von punktebasierter Registrierung des Patienten an die präoperativen Datensätze kann aus den Ergebnissen dieser Arbeit abgeleitet werden, dass einzig die klinischen Rahmenbedingungen für die Wahl der Fiducials von Relevanz sind. Zumeist werden zeitliche Rahmenbedingungen eine maximale Zahl von fünf Fiducials zulassen. Die Modellierung der vorhergesagten Anwendungsgenauigkeit als Isokonturen über die klassische isotrope TRE Vorhersage [6] oder anisotroper Versionen [4,3,7] in der 3D-Visualisierung des Patienten oder den Schichtbildern kann als weiteres Kriterium für Wahl und Zahl von Fiducials herangezogen werden, um ein möglichst großes Areal mit möglichst guter Anwendungsgenauigkeit abzudecken.

Für klinische Verwendungen von Oberflächenregistrierungen ist diese Analyse nicht geeignet; dafür muss die notwendige Methodik erst entwickelt werden. Erste Ansätze dazu liefert etwa die Arbeit von Meier-Hein [8] oder [9].

5 Danksagungen

Diese Arbeit wurde aus Mitteln des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank, Projekt 13003, und des Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung, Projekt B-6204-B13, gefördert.

6 Referenzen

- [1] Güler, Ö., Perwög, M., Kral, F., Schwarm, F., Bardosi, Z. R., Göbel, G., Freysinger, W., *Quantitative error analysis for computer assisted navigation: a feasibility study*, Med Phys. **40**(2), 021910 (2013).
- [2] Fitzpatrick, J. M., West, J. B., Maurer, C. R., Jr., *Predicting error in rigid-body point-based registration*, IEEE Trans. Med. Imaging **17**(5), 694 - 702 (1998).
- [3] Wiles, A. D., Likholyot, A., Frantz, D. D., Peters, T. M., *A statistical model for point-based target registration error with anisotropic fiducial localizer error*, IEEE Trans. Med. Imaging **27**(3), 378 - 390 (2008).
- [4] Danilchenko, A., Fitzpatrick, J. M., *General Approach to First-Order Error Prediction in Rigid Point Registration*, IEEE Transactions on Medical Imaging **30**(3), 679 - 693 (2011).
- [5] Schwarm, F., Güler, Ö., Kral, F., Diakov, G. M., Reka, A., Freysinger, W., *Characterization of Open4Dnav, an IGSTK-based 3D-navigation system for FESS*, Int. J. CARS **3**(Suppl1), S 248 - S 249 (2008).
- [6] Fitzpatrick, J. M., *The role of registration in accurate surgical guidance*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H-Journal of Engineering in Medicine **224**(H5), 607 - 622 (2010).
- [7] Ma, B., Moghari, M. H., Ellis, R. E., Abolmaesumi, P., *Estimation of optimal fiducial target registration error in the presence of heteroscedastic noise*, IEEE Trans Med. Imaging **29**(3), 708 - 723 (2010).
- [8] Maier-Hein, L., Franz, A. M., dos Santos, T. R., Schmidt, M., Fangerau, M., Meinzer, H. P., Fitzpatrick, J. M., *Convergent iterative closest-point algorithm to accommodate anisotropic and inhomogenous localization error*, IEEE Trans Pattern Anal. Mach. Intell. **34**(8), 1520 - 1532 (2012).
- [9] Ma, B., Ellis, R. E., *Unified point selection and surface-based registration using a particle filter*, LNCS **3749**(Proc MICCAI), 75 - 82 (2005).