

Registrierung und Visualisierung von 3D U/S und CT Datensätzen der Prostata

Evelyn Firlé, Stefan Wesarg und Christian Dold

Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung, 64283 Darmstadt
Email: Evelyn.Firle{Stefan.Wesarg, Christian.Dold}@igd.fhg.de

Zusammenfassung. Brachytherapie ist eine Strahlentherapie, welche u. a. mit Hochenergie-Strahlenquellen in Hohlnadeln, die in den Körper des Patienten eingestochen werden, durchgeführt wird. Die präzise Konturierung des zu bestrahlenden Gewebes, sowie die genaue Platzierung der Hohlnadeln an den Positionen, welche durch das „Pre-Planing“ vorgegeben werden, sind hierbei wichtige Arbeitsschritte. Bisher basiert die Behandlung des Prostatakarzinoms mittels Brachytherapie vornehmlich auf CT Aufnahmen, welche aber keine Echtzeit-Visualisierung während der Implantation der Katheter zulassen. Sind sowohl CT als auch 3D U/S Aufnahmen vorhanden, können diese registriert und fusioniert werden, um somit die Vorteile beider Modalitäten zu nutzen. Im folgenden werden die Untersuchungen zur Registrierung sowie Möglichkeiten zur Evaluierung dargestellt.

1 Einleitung

Der bösartige Tumor der Prostata ist einer der häufigsten Krebsarten bei Männern über 50 Jahren. Die Gefahr für eine Erkrankung liegt weltweit bei 20%. Er ist die häufigste Todesursache unter den urologischen Tumoren und ab dem 80. Lebensjahr die häufigste tumor-bedingte Todesursache überhaupt.

Neben der traditionellen Form der Tumorbehandlung - der radikalen Prostatatektomie - gewinnt die Strahlentherapie zunehmend an Bedeutung. Die am häufigsten angewandte Strahlentherapie in Bezug auf die Prostatakrebsbehandlung ist die Brachytherapie. Diese Kurzzeit-Strahlentherapie kann unter anderem mit Hilfe von interstitiellen Hohlnadeln durchgeführt werden. Anders als bei der perkutanen Strahlentherapie, bei der ein Tumor von außerhalb des Körpers bestrahlt wird, wird hier eine Hochenergie Strahlenquelle (Iridium) innerhalb des Körpers platziert und bestrahlt den Tumor auf kurze Entfernung. Diese Form der Behandlung wird derzeit vornehmlich basierend auf CT Aufnahmen durchgeführt. Der Nachteil daran liegt in der mangelnden Echtzeit Darstellungsmöglichkeit von CT. Transrektaler 3D Ultraschall (3D U/S) bietet dem Arzt die Möglichkeit die Nadelpositionierung in Echtzeit zu überwachen und ist im Vergleich zu CT eine wesentlich flexiblere und zudem kostengünstigere Alternative.

Die Vorteile der CT Aufnahmen - klare Erkennung der Strukturen - gelangen am besten zur Entfaltung in der Kombination der Informationen, welche von

CT und 3D U/S erhalten werden. Diese fusionierte anatomische Information soll im AR-Projekt (AR = Augmented Reality) Medarpa [1] auf einem semi-transparenten Display intraoperativ dargestellt werden. Daher beschäftigt sich die vorliegende Entwicklung mit der Registrierung und Fusion vorhandener CT Volumina mit 3D U/S Datensätzen der gleichen anatomischen Region, d.h. der Prostata.

2 Material und Methode

Registrierungsmethoden können u.a. dadurch unterschieden werden, ob sie auf externen Markern bzw. anatomischen Landmarks, Segmentierungsergebnissen oder der reinen Voxelinformation basieren [2]. Der bisher vielversprechendste Ansatz im Rahmen der vorliegenden Untersuchung basiert auf Segmentierungsergebnissen und verwendet die Geometrie der Urethra, welche durch den Einsatz eines Kontrastmittels in beiden Modalitäten erkennbar ist. Des Weiteren sind zur Zeit Verfahren zur Registrierung beruhend auf der reinen Voxelinformation (unter Verwendung der Mutual Information) in der Entwicklungsphase. Die Software baut auf einem im Fraunhofer IGD über mehrere Jahre entwickelten Softwaresystem zur Visualisierung von 3D Volumendaten (InViVo) auf, welches für diese Entwicklung um mehrere Komponenten zur Registrierung und Fusion erweitert wurde. Die Untersuchung gliedert sich in die nachfolgenden Teilschritte.

2.1 Segmentierung

Nach der Akquisition beider Datensätze wird zunächst die Anatomie der Urethra in CT und 3D U/S segmentiert. Dieser Schritt kann unter Verwendung eines „active contouring models“ semi-automatisch durchgeführt werden [3]. Diese Algorithmen können ebenfalls zur Konturierung der Prostata verwendet werden [4].

2.2 Registrierung

Mit Hilfe der daraus resultierenden Punktmengen, welche die Urethra darstellen (jeweils eine für jede Modalität), wird die Transformationsmatrix berechnet [5]. Diese spiegelt die Korrelation zwischen den beiden Datensätzen wieder. Anschließend werden die transformierten und fusionierten Volumen dargestellt.

Nach der Registrierung und Fusion kann mit Hilfe der CT Aufnahmen die Kontur der Prostata im 3D U/S Bild mit höherer Genauigkeit dargestellt werden (Abb. 1). Diese Konturdefinierung ist ein wichtiger Arbeitsschritt im Rahmen der Strahlenbehandlung. Sowohl zur Planung einer optimalen Position der Hohl-nadeln als auch zur Bestimmung der Dosis zur Bestrahlung der Prostata ist eine Berechnung des Volumens der Prostata unablässig.

Die so berechnete Kontur wird im weiteren Verlauf zur Berechnung der optimalen Dosisverteilung bei der Bestrahlungsplanung verwendet.

2.3 Validierung

Letztlich wurden Möglichkeiten zur Evaluierung des Registrierungsprozesses integriert. Möchte man eine Registrierung evaluieren, so werden Punkte benötigt, die in beiden Modalitäten sichtbar sind, um deren Abstand zueinander nach der Transformation zu berechnen. Nun ist es nicht einfach solche Punkte in U/S Volumina zu lokalisieren, welche auch im CT Datensatz sichtbar sind. Daher wurde hier auf Plastik-Katheter zurückgegriffen, welche zur Bestrahlung in den Tumor implantiert werden. Diese sind in beiden Modalitäten gut sichtbar (Abb. 2 bzw. Abb. 1). Nachdem die Hohlnadeln sowohl im 3D U/S Datensatz als auch im CT Volumen segmentiert sind, wird für die konturierte Objekte jeweils eine 3D Distance Map berechnet. Diese beinhaltet den minimalen Abstand zum naheliegenden Voxel der Kontur des Original Volumens. Mit Hilfe dieser Distance Map wird dann der durchschnittliche Abstand der Katheter bestimmt und somit ein Mass für die Güte der Registrierung. Eine Überlagerung der Nadeln ist in Abb. 3 sichtbar. Desweiteren wird der finale Abstand der Prostata und der Urethra bestimmt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind beispielhaft für das Prostata Phantom sowie für einen Patientendatensatz in der Tabelle (Tab. 1) dargestellt.

3 Ergebnisse

Das hier beschriebene Verfahren zur Registrierung von CT und 3D U/S Daten wurde zuerst am Ultraschallphantom der Prostata erprobt [6]. Anschließend wurden Patientendaten verwendet, um die am Phantom gewonnenen Ergebnisse zu validieren. Die Abbildungen Abb. 2 und Abb. 1 visualisieren die durch die Registrierung ermittelte Fusion der CT und 3D U/S Datensätze. Hier ist jeweils eine Schicht durch den U/S bzw. CT Datensatz sowie die Fusion der beiden abgebildet. Der letztere stellt zusätzlich auch die Konturen, welche im CT Volumen eingezeichnet wurden, im fusionierten Datensatz dar. Die Plastik-Katheter der beiden Post-Planing Datensätze nach der Registrierung sind hingegen in der

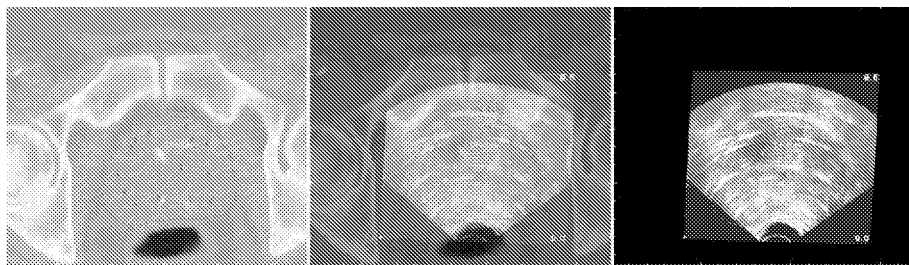


Abb. 1. Axialer Schnitt durch das CT (links) bzw. U/S (rechts) Volumen nach Registrierung. Das mittlere Bild stellt die Fusion der beiden Volumina dar. Desweiteren sind die im CT Datensatz eingezeichneten Konturen der Urethra und der Prostata sichtbar, welche in den 3D U/S Datensatz übertragen werden.

Abbildung Abb. 3 zu sehen. Sowohl die Daten, welche durch den Phantomdatensatz als auch (exemplarisch) einen Patientendatensatz gefunden wurden, sind in der Tabelle (Tab. 1) aufgelistet.

Die Akquisition der Datensätze wurde in Kooperation mit den medizinischen Partnern aus der Strahlenklinik Offenbach durchgeführt.

4 Diskussion und Resümee

Die vorgestellte Entwicklung ermöglicht eine schnelle und präzise Registrierung des Prostata Volumens von CT und 3D U/S Datensätzen. Sie basiert derzeit auf der Konturierung der Urethra. Mit Hilfe dieser Registrierung kann eine genauere Zielvolumendefinition innerhalb des 3D U/S stattfinden. Anhand der in Tabelle Tab. 1 genannten Ergebnisse kann man sehen, dass die Registrierung im Falle des Prostata Phantoms sehr gute Ergebnisse erzielt. Nicht verwunderlich ist, dass diese Daten im Falle des reellen Patienten nicht die Genauigkeit des Phantoms erreichen. Aufgrund der Gegebenheiten der U/S Aufnahmen, sind die Abweichungen der Katheter nahe des Volumenmittelpunktes geringer als der am Rande gelegenen Hohlnadeln. Diese doch relativ hohen Abweichungen liessen sich durch eine bessere Kontrastierung der Urethra und somit einer genaueren Registrierungsgrundlage verringern.

Die Registrierung basierend auf Voxelinformation befindet sich zur Zeit in der Entwicklungsphase.

Diese hier vorgestellte Arbeit findet Verwendung in der Darstellung fusionierter anatomischer Informationen auf einem semi-transparenten Display. Dieses "AR-Fenster" wird im Rahmen des Projektes *Medarpa* [1] - gefördert durch das BMBF (01IRA09B) - entwickelt. Die Brachytherapie bei Prostatakarzinomen ist dabei eines der gewählten medizinischen Szenarien zur Evaluierung des Systems.

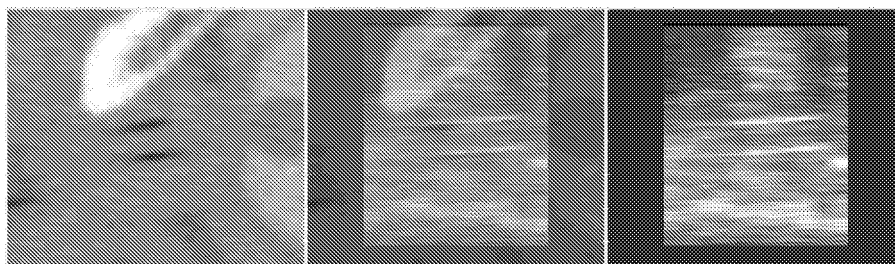


Abb. 2. Sagittaler Schnitt durch das CT bzw. U/S Volumen nach Registrierung. Das mittlere Bild stellt die Fusion der beiden Volumina dar. Gut sichtbar sind hierbei die Katheter, welche im U/S Datensatz schwarz und im CT Datensatz weiß visualisiert werden.

Abb. 3. Überlagerung der segmentierten Hohlnadeln in beiden Modalitäten nach Registrierung

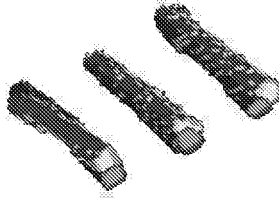


Tabelle 1. Evaluierung der Registrierung anhand eines Phantom und Patientendatensatzes der Prostata. Angaben in mm bzw. sec.

	Phantom	Patient
duration	1.6220	0.3616
minimal distance	1.4489	1.4814
distance urethra	0.8374	1.0680
distance prostate	1.4462	3.3442
distance catheter 1	0.7601	2.3738
distance catheter 2	0.7953	2.5712
distance catheter 3	0.8285	3.5469
distance catheter 4	0.9677	3.8066
distance catheter 5	1.0779	5.8954

Literaturverzeichnis

1. Schnaider M, Seibert H, Schwald B, Weller T, Wesarg S, Zogal P: "Medarpa - Ein Augmented Reality System fuer Minimal-Invasive Interventionen". 2. Int. Status-tagung "Virtuelle und Erweiterte Realitaet", Leipzig 2002
2. Maintz JB, et al.: Survey of Medical Image Registration. Med Image Anal 2(1): 1-36, 1998.
3. Großkopf S, Park SY, Kim MH: Segmentation of Ultrasonic Images by Application of Active Contour Models. Procs CARS 98:871, 1998.
4. Firlre EA: Semi-automatische Segmentierung der Prostata mit Hilfe von 3D Ultraschallaufnahmen. Procs BVM 01:262-266, 2001.
5. Besl P, McKay N: A method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Trans Patt Anal Mach Intell 14(2):239-255, 1992.
6. Firlre EA, Chen W, Wesarg S: Registration of 3D U/S and CT images of the prostate. Procs CARS 02:527-532, 2002.