

Thorsten Liebler
Dr. sc. hum.

Ein Software-Framework zur Integration computergestützter Patientenpositionierungsverfahren in der Strahlentherapie

Geboren am 04.12.1974 in Sinsheim
Diplom der Fachrichtung Medizinische Informatik am 24.01.2000 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Medizinische Physik
Doktorvater: Prof. Dr. rer. nat. W. Schlegel

In einem vorhergehenden Projekt konnte mit einem Funktionsmuster gezeigt werden, dass die Repositionierung von Patienten in der fraktionierten Strahlentherapie unter Verwendung videometrischer Techniken eine hohe Präzision erreichen kann. Voraussetzung in diesem Fall ist allerdings eine invasive Erstpositionierung, aus welcher das Messsystem die Referenzposition für die übrigen Fraktionen ermittelt. Desweiteren beschränkt sich der Ansatz auf die Repositionierung im Falle cranialer Tumoren, da hierbei über eine stabile Oberkieferfixierung der Bezug zwischen externen Markierungen und dem Zielpunkt unter Annahme rigider Strukturen im Kopfbereich sehr gut herzustellen ist.

Das ursprüngliche Ziel des in dieser Arbeit entwickelten FIVE (Fast Integrated Videobased Environment)-Systems, nämlich die Implementierung eines neuen optischen Trackingsystems mit Verzeichnungs-korrektur und Absolutkoordinatenmessung, wurde sehr schnell um einige zusätzliche Aspekte erweitert. Insbesondere wurde früh deutlich, dass eine sinnvolle Anwendung videobasierter Positioniermethoden im extracranialen Bereich nur unter Einbeziehung zusätzlicher Methoden sinnvoll ist. Aufgrund der viel größeren Bewegungsmöglichkeiten der Organe kann hier allein über eine externe Bezugspunktmessung keine verlässliche Aussage über die tatsächliche Zielpunkt- und Organlage getroffen werden.

FIVE führt daher einerseits konsequent das Konzept der videobasierten Positionierung fort. Andererseits ermöglicht es auch das einfache Hinzufügen neuer Mess- und Steuerkomponenten, die zur Positionierung eingesetzt werden können. In der Folge entstand ein offenes Framework, das als Basis für Anwendungen im Bereich der computergestützten Patientenpositionierung in der Strahlentherapie direkt verwendet werden kann. Diese Struktur bietet gleichzeitig den Vorteil, dass Messdaten unterschiedlicher Geräte direkt bei der Erzeugung einheitlich zusammengeführt werden können.

Die Software wurde mittels objektorientierter Techniken und Werkzeuge geplant und erstellt. Durch Vermeidung systemspezifischer Bibliotheken wurde ein plattformunabhängiges System implementiert. Zusätzlich wurde eine graphische Anwendung auf Basis des Frameworks erstellt, um die Modulfunktionalitäten demonstrieren und nutzen zu können.

Abstrakte Klassen garantieren durch Definition von Schnittstellen die konsistente Framework-Erweiterung. So können bereits existierende FIVE-Anwendungen die Funktionalität neuer, spezialisierter Klassen direkt einsetzen. Entsprechende Zugriffsklassen ermöglichen die identische Ansteuerung aller Subsysteme, wodurch FIVE-Anwendungen unabhängig von der verwendeten Datenerfassungshardware werden. Neue Geräte können somit direkt in eine bestehende FIVE-

Anwendung integriert werden. Zur effizienten Verwendung der Komponenten wurde eine ausführliche Schnittstellendokumentation erstellt.

Die vom Framework bereitgestellte Funktionalität verteilt sich auf eine große Anzahl von Klassen, die entsprechenden Modulen zugeordnet werden können:

- FIVE-HIC stellt den Zugriff auf verschiedene Subsysteme zur Datenerfassung her. Dabei steuert es die Anfragen von Klienten in der Weise, dass ein geregelter Ablauf realisiert wird. Damit ist z.B. die zeitgleiche Aufnahme von unterschiedlichen Datenquellen möglich.
- FIVE-GC stellt Methoden zur geometrischen Kamerakalibrierung bereit. Damit können für ein Stereokamerasystem Kameraparameter ermittelt werden, welche dieses zur Berechnung von 3D-Koordinaten benötigt. Unterschiedliche Kameramodelle werden über die Schnittstelle einer entsprechenden abstrakten Klasse eingebunden. Für das OTS wurde ein Kameramodell implementiert, welches Objektivverzeichnungen korrigiert.
- Mit FIVE-OTS wurde ein Modul zum optischen Tracking über ein Stereokamerasystem entwickelt, welches dieses erweiterte Modell verwendet. Im Gegensatz zum Kamerasystem des Funktionsmusters können mit FIVE-OTS höchstpräzise Absolutkoordinaten für passive Marker berechnet werden. Dies ermöglicht für die Positionierung benötigte Transformationen zwischen den Koordinaten aus dem Trackingsystem und dem stereotaktischen Patientenkoordinatensystem. Gegenüber kommerziellen OTS hat das FIVE-OTS den Vorteil, dass eine Verteilung der Messfehler über das gesamte Messvolumen quantifiziert werden kann.
- FIVE-SI enthält Techniken zur Differenzbildgebung, die im Zusammenhang mit der Patientenpositionierung eingesetzt werden können. Ihre Anwendung ist intuitiv und unterstützt eine interaktive Bedienung. Anstatt Markierungen direkt auf dem Patienten aufzubringen, wird die Projektion von Laserlinien dazu verwendet, die Patientenposition kontaktfrei zu ermitteln. Durch die Skelettierung der Linien kann eine hohe Repositioniergenauigkeit erzielt werden.
- Unter Verwendung der FIVE-GUI wurden die beschriebenen Komponenten in der aktuell zur Messdatengewinnung verwendeten FIVE-Anwendung zusammengeführt. Dabei konnte die Plattformunabhängigkeit beim Einsatz sowohl unter Linux als auch unter Windows erfolgreich getestet werden. Weitere Betriebssysteme sind denkbar.

Die praktischen Einsatzmöglichkeiten der FIVE-Anwendung wurden bereits während verschiedener Aufgaben wie Positionierung, Tracking, Qualitätssicherung und Differenzbildgebung erfolgreich gezeigt. Im nächsten Schritt kann die aktuelle Implementierung in Einzelheiten optimiert werden. Weitere Arbeit ist außerdem für die Einbindung in die klinische Umgebung erforderlich. So muss zur automatischen Repositionierung über das OTS eine Möglichkeit zur Ansteuerung des Patiententischs der Bestrahlungsanlage geschaffen werden. Außerdem wird eine Schnittstelle zum Austausch von Messdaten für die Therapieplanung und Behandlung benötigt. Die Einbindung von Daten aus weiteren Erfassungsmodalitäten (in erster Linie MRT, aber auch Ultraschall oder EPID) wird im Hinblick auf die Untersuchung atmungsbedingter Organbewegungen und neuer Positionieransätze im extracranialen Bereich benötigt.

Mit dem offenen und skalierbaren FIVE-Framework steht eine flexible Basis zur Integration dieser Ideen und weiterer Methoden zur Verfügung.