

Kapitel 8

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur modellbasierten Bildverarbeitung von CT- und MRT-Daten der Orbita beschrieben. Die Zielsetzung des in dieser Arbeit entwickelten Realisierungsvorschlags ist die semiautomatische Auswertung der Schnittbilddaten zur Rekonstruktion eines Bestrahlungsmodells für die Strahlentherapie von Augentumoren. Der Arbeitsaufwand zur Berechnung des Bestrahlungsmodells soll dabei bei so gering wie möglich sein. Die Qualität der berechneten Ergebnisse muß andererseits so hoch sein, daß die Nachbearbeitung der Segmentierung den Aufwand einer rein manuellen Segmentierung nicht übersteigt. Da die entwickelte Software im klinischen Umfeld zur Anwendung kommen soll, sind eine hohe Benutzerfreundlichkeit und möglichst geringe Anforderungen bezüglich der Kenntnisse mit dem Umgang eines Rechners von großer Bedeutung. Darüber hinaus sollte der dreidimensionale Charakter der menschlichen Anatomie berücksichtigt werden und eine einfache Anpassung an andere Aufgabenstellungen möglich sein.

Nach den einleitenden Worten wird im zweiten Kapitel zunächst die medizinische Aufgabenstellung beschrieben, die der Entwicklung des in dieser Arbeit beschriebenen Ansatzes zugrunde gelegt wurde. Es wird zunächst die grundsätzliche Motivation zur Berechnung eines präzisen Bestrahlungsmodells erläutert, indem aktuelle Möglichkeiten der Strahlentherapie von Augentumoren aufgezählt werden. Nachdem die deutlichen Vorteile der Protonentherapie gegenüber den anderen Therapieformen herausgearbeitet wurden, werden die Zielsetzungen definiert, die die Bildauswertung erfüllen muß, damit diese Vorteile in vollem Umfang für die Verbesserung der Strahlentherapie von Augentumoren eingesetzt werden können. Es wird das in der Ophthalmologie zur Verfügung stehende Bildmaterial auf die Möglichkeiten untersucht, die Informationen zur Rekonstruktion eines für die Protonentherapie unverzichtbaren präzisen Bestrahlungsmodells zu liefern. Es werden CT- und hochaufgelöste MRT-Daten aufgrund der Darstellungsinhalte und -eigenschaften als die geeigneten Bildmodi identifiziert, um das Bestrahlungsmodell mit der erforderlichen Präzision zu rekonstruieren. Anschließend werden die bereits oben erwähnten Zielsetzungen der Bildverarbeitungssoftware herausgearbeitet. Hierzu gehören unter anderem ein geringer Interaktionsaufwand, eine hohe Ergebnisqualität, die Möglichkeit zur Anpassung an andere Aufgabenstellungen und eine hohe Benutzerfreundlichkeit. Sie müssen nach Ansicht des Autors erfüllt werden, damit die Software unter Berücksichtigung der speziellen Rahmenbedingungen in der klinischen Routine zur Anwendung kommt.

Im dritten Kapitel werden einerseits theoretische Grundlagen der Bildverarbeitung, andererseits aktuelle Konzepte für die Segmentierung, Interpolation und Registrierung von medizinischen Datensätzen erläutert. Da in dieser Arbeit ein von den aktuellen Verfahren zur Bildverarbeitung grundsätzlich abweichender Ansatz entwickelt wurde, werden bei den theoretischen Grundlagen verschiedene Herangehensweisen an das Problem Bildverarbeitung beschrieben. Es werden Konzepte zur Erklärung des menschlichen Bilderkennungsprinzips aus den Bereichen der Medizin und Künstlichen Intelligenz erläutert und in ihren wichtigsten Eigenschaften diskutiert. Als einer der wichtigsten Parameter für die Bildauswertung

wird das Vorwissen festgestellt, das über das zu bearbeitende Bildmaterial vorliegt und während des Verarbeitungsprozesses zur Anwendung kommt. Es wird darüber hinaus konkretisiert, welches Vorwissen über medizinisches Bildmaterial existiert, wie es kodiert werden kann und wie es im Rahmen eines Problemlösungsprozesses für die Anwendung auf andere Datensätze genutzt werden kann. Bei der nachfolgenden Beschreibung aktueller Ansätze zur Lösung der in der medizinischen Bildverarbeitung auftretenden Aufgabenstellungen Segmentierung, Interpolation und Registrierung von multimodalen Datensätzen werden die Verfahren unter anderem auf die Integration und Nutzung von Vorwissen über das Bildmaterial beleuchtet und die mit der Konzeption der Verfahren verbundenen Schwachstellen herausgearbeitet.

Das vierte Kapitel beschreibt den in dieser Arbeit entwickelten Ansatz zur modellbasierten Bildverarbeitung, der sich aus der modellbasierten Segmentierung, der modellbasierten Interpolation und modellbasierten Registrierung zusammensetzt. Bei der Darstellung der modellbasierten Segmentierung wird zunächst der Problemlösungsprozess Segmentierung in die Verarbeitungsschritte „Bestimmen des aktuellen Bildkontextes“, „Übertragen des Vorwissens“ und „Wissensanwendung mittels modellbasierten Snake“ zerlegt. Anschließend werden einige zur Umsetzung der modellbasierten Segmentierung notwendigen funktionalen Einheiten wie das Speichern des Vorwissens in Form von Referenzmodellen, die Akkumulation des Vorwissens in einer Referenzdatenbank und die Korrelation des Vorwissens mit einem aktuellen Datensatz erläutert. Die Verarbeitungspipeline der modellbasierten Segmentierung wird abschnittsweise in ihren funktionellen Einheiten beschrieben. Aufbauend auf dem modellbasierten Segmentierungsansatz werden anschließend die weiterführenden Bildverarbeitungsalgorithmen der modellbasierten Interpolation und Registrierung dargestellt. Dabei werden die grundsätzlichen Konzepte der Wissensrepräsentation übernommen und für die Umsetzung eines effizienten Interpolationsverfahrens und Registrierungsverfahrens von multimodalen Datensätzen genutzt. Den wichtigsten Aspekt stellt dabei die Nutzung der erfolgreichen oberflächenbasierten Interpolation und Registrierung dar, ohne jedoch zuvor den beträchtlichen Arbeitsaufwand für eine manuelle Segmentierung der Referenzstrukturen aufbringen zu müssen.

Im fünften Kapitel werden grundlegende Aspekte des Systementwurfs diskutiert, die an die Rahmenbedingungen des klinischen Anwendungsbereiches optimal angepaßt werden sollten, um die Durchsetzung der Software zu unterstützen. Für die Implementation war vor allem die Wahl von Java als Programmiersprache eine wichtig Grundlage für eine portable und dennoch mächtige Bildverarbeitungssoftware. Da die Aufgabenstellungen der Bildverarbeitung stets mit einem beträchtlichen Rechenaufwand verbunden sind, stellt die Systemarchitektur eine wichtige Grundlage dar, um einen sinnvollen Kompromiß zwischen Rechenaufwand und Entwicklungsaufwand herzustellen. Dabei wurde der zunächst verfolgte Ansatz einer Client-Server-Architektur verworfen, da die Ergebnisse der Tests nicht erwarten ließen, daß der hohe Koordinations- und Transferaufwand bei der Umsetzung einer verteilten Berechnung durch einen entsprechenden Beschleunigungsgewinn kompensiert werden würde. Neben den funktionellen Aspekten spielt im klinischen Umfeld die Benutzerfreundlichkeit der Software eine durchaus wichtige Rolle bei der Unterstützung einer kontinuierlichen Nutzung. Daher werden außerdem die Richtlinien für den Entwurf der Softwareoberflächen beleuchtet.

Gegenstand des sechsten Kapitels ist die Beschreibung der durchgeführten Testverfahren und die Ergebnisse, die einerseits mit den einzelnen Modulen der modellbasierten Bildverarbeitung, andererseits mit dem Gesamtsystem erzielt wurden. Eine quantitative Bewertung von medizinischen Bildverarbeitungsalgorithmen gestaltet sich in der Regel recht schwierig, da aufgrund der medizinischen Bildgebungsverfahren die im Bildmaterial dargestellten Bildinhalte einer Vielzahl von verfälschenden Einflüssen unterliegen. Daher können die praxisnahen Datensätze wie Aufnahmen von Schweineaugen, Aufnahmen von Probanden und Datensätze aus der klinischen Routine in erster Linie für eine qualitative Bewertung der entwickelten Algorithmen genutzt werden. Um zumindest eine eingeschränkte quantitative Einschätzung der modellbasierten Bildverarbeitung vornehmen zu können, wurden über die erwähnten Datensätze hinaus Datensätze von künstlichen Modellen angefertigt, bei denen die Ausmaße der dargestellten Objekte im

Voraus bekannt sind. Bei der Bewertung der modellbasierten Bildverarbeitung wurde der Fokus auf die Kriterien Arbeitsaufwand, Ergebnisqualität, Nachbearbeitungsaufwand und Benutzerfreundlichkeit gelegt, da insbesondere festgestellt werden sollte, inwieweit der entwickelte Ansatz die zuvor definierten Anforderungen der klinischen Routine erfüllt. Unter Berücksichtigung der Testergebnisse konnte festgestellt werden, daß sämtliche Zielsetzungen aus Abschnitt 2.5 erreicht wurden. Abschließend werden beispielhaft die Verarbeitungsschritte zur Strahlentherapie von intraokularen Tumoren unter Verwendung der entwickelten Software rekapituliert.

Das siebente Kapitel diskutiert die Ergebnisse der modellbasierten Bildverarbeitung und resumiert, inwieweit die gesetzten Zielsetzungen erreicht wurden. Da der Fokus der Arbeit auf der modellbasierten Segmentierung lag, werden insbesondere die Aspekte des Arbeitsaufwands, der Ergebnisqualität und die Anpassung an andere Aufgabenstellungen betrachtet. Die Ergebnisse der Tests zeigten, daß die modellbasierte Segmentierung sämtliche Zielsetzungen erfüllt. Auch die modellbasierte Interpolation und die modellbasierte Registrierung erreichten mit beiden Umsetzungsvarianten gute Ergebnisse, die mit einem vergleichsweise geringen Arbeitsaufwand erzielt wurden. Zusammenfassend kann dementsprechend festgestellt werden, daß mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz zur modellbasierten Bildverarbeitung ein erfolgreiches Lösungskonzept für die Segmentierung, Interpolation und Registrierung von multimodalen medizinischen Datensätzen vorgestellt wurde, bei dem eine hohe Ergebnisqualität mit einem geringen Arbeitsaufwand erreicht werden kann.