

Wissensbasierte Segmentierung von Risikoorganen in der Strahlentherapieplanung

Katrin Faiß¹, Susanne Oertel², Wolfgang Schlegel¹,
Thomas Wetter³ und Rolf Bendl¹

¹Abteilung für Medizinische Physik,
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

²Klinische Kooperationseinheit Strahlentherapie,
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

³Abteilung für Medizinische Informatik,
Institut für Medizinische Biometrie und Informatik,
Universität Heidelberg, 69120 Heidelberg

Email: katrin.faiiss@web.de

Zusammenfassung. Eine Strahlentherapieplanung basiert auf Serien zweidimensionaler Bilder, aus denen ein dreidimensionales Modell der individuellen Patientengeometrie abgeleitet werden kann. Zur Generierung eines Patientenmodells ist es notwendig, in den zugrunde liegenden Bildern die therapielevanten Strukturen zu segmentieren. Dieser Vorgang wird von Strahlentherapeuten oder medizinisch-technischem Personal durchgeführt und ist sehr zeitaufwendig. Semi-automatische Segmentierungsverfahren haben bereits zu einer Beschleunigung des Segmentierungsvorgangs geführt. Dieser Beitrag stellt einen wissensbasierten Ansatz vor, der das Wissen um die korrekte Parametrisierung dieser semi-automatischen Verfahren sammelt und strukturiert. Damit besteht die Möglichkeit, den Segmentierungsvorgang weiter zu automatisieren.

1 Einleitung

Eine Strahlentherapie von Tumoren erfolgt meist fraktioniert, d.h. die gesamte Dosis wird nicht in einer einzelnen Sitzung, sondern meist innerhalb von 4-6 Wochen, täglich in kleinen Einzeldosen appliziert. Dadurch können Reparaturmechanismen im gesunden Gewebe Schädigungen kompensieren und gleichzeitig werden Tumorzellen in unterschiedlichen Phasen des Zellzyklus von der Strahlung getroffen und die Wahrscheinlichkeit für eine irreparable Schädigung der Tumorzellen steigt. Eine Strahlentherapieplanung basiert auf Serien zweidimensionaler Bilder, aus denen ein dreidimensionales Modell der individuellen Patientengeometrie abgeleitet werden kann. Anhand des Modells erfolgt eine Optimierung der Bestrahlungstechnik am Rechner, die einen Einschluss des Tumors mit der therapeutischen Dosis und eine Schonung der umliegenden Risikoorgane zum Ziel hat. Zur Generierung des Patientenmodells ist es notwendig, in den zugrunde liegenden Bildern die therapielevanten Strukturen zu segmentieren. Auch wenn dieser Vorgang mittlerweile durch semi-automatische Verfahren unterstützt wird, nimmt er nach wie vor einen beträchtlichen Teil der

Planungszeit ein. Da der Bestrahlungsplan auf einem statischen anatomischen Modell beruht, das der Dynamik des Organismus über den Zeitraum der fraktionierten Therapie nicht gerecht wird, müssen potentielle Änderungen durch Sicherheitsbereiche berücksichtigt werden. Es wird also nicht nur der sichtbare Tumor bestrahlt, sondern ein größeres Zielvolumen, das entsprechende Sicherheitsbereiche enthält. Dadurch kann die Dosis nicht mehr wie gewünscht nur auf den Tumor fokussiert werden. Das Ziel einer adaptiven Strahlentherapie ist es deshalb, anatomische Veränderungen auch während einer fraktionierten Therapie zu berücksichtigen, um so den Tumor gezielter bestrahlen zu können. Ein potentieller Ansatz besteht im Anfertigen von Kontrollaufnahmen (am besten vor jeder Fraktion) und im Wiederholen wesentlicher Teile der Therapieplanung. Eine Überprüfung des Therapieplans bzw. seine Anpassung an eine veränderte Geometrie ist nur dann sinnvoll, wenn sie innerhalb kurzer Zeit (ca. 15 Min.) durchgeführt werden könnte. In diesem Zeitraum ist es jedoch mit den heute verfügbaren Methoden nicht möglich, zu einer zufrieden stellenden Segmentierung auf Basis der Verifikationsaufnahmen zu gelangen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt zwei Ziele, zum einen das Wissen für eine korrekte Parametrisierung der verschiedenen Segmentierungsverfahren zu strukturieren, zum anderen das Erstellen eines Moduls zur Automatisierung der Abfolge verschiedener semi-automatischer Verfahren und notwendiger Vorverarbeitungsschritte, um so die Segmentierung von Risikoorganen weiter zu automatisieren und zu beschleunigen. Das Konzept sieht die Möglichkeit zur kontinuierlichen Erweiterung der Wissensbasis ausdrücklich vor, sowohl um die Aufnahme neuer gewebespezifischer Parameter für bestehende Verfahren als auch die Integration weiterer Segmentierungs- oder Vorverarbeitungsmethoden.

2 Material und Methoden

2.1 Wissensbasierte Systeme

Wissensbasierte Systeme trennen das Wissen über einen bestimmten Bereich (Domäne) von der Verarbeitung dieses Wissens. Sie bestehen zum einen aus einer expliziten, symbolischen Repräsentation von Wissen, zum anderen aus einem Problemlöseverfahren (Inferenzmechanismus), das zwar auf einer Wissensbasis arbeitet aber selbst kein implizites Domänenwissen verwendet, also unabhängig von der Domäne ist.

Regelbasierte Systeme sind historisch gesehen die ersten Formen von wissensbasierten Systemen. Sie repräsentieren empirisches Wissen. Wie bei wissensbasierten Systemen üblich, wird auch hier eine Trennung zwischen der Wissensbasis (Regelmenge) und dem Regelinterpreter vorgenommen. Jede Regel in einem regelbasierten System ist eine unabhängige Wissenseinheit. Regeln bestehen aus einem Bedingungs- und einem Aktions- oder Anweisungsteil (Produktionsregel). In einem regelbasierten System sind die Wissensbasis und der aktuelle Zustand gegeben. Ist im aktuellen Zustand der Bedingungs- oder Anweisungsteil einer Regel erfüllt, so gehört sie zu den ausführbaren Regeln. Aus diesen ausführbaren Regeln wird

vom Inferenzmechanismus eine Regel ausgewählt und angewendet (Auswahl-Anwendungszyklus). Durch die Art der Regeln und die Art und Weise ihrer Verknüpfung sind Problemlösemethoden charakterisiert [1].

2.2 Die Ontologie

Die Ontologie ist das Gerüst einer Wissensbasis. Sie modelliert die Domäne, in der das wissensbasierte System angewendet werden soll. Eine Ontologie ist also eine explizite, formale Beschreibung einer Domäne. Bei der Modellierung der Ontologie ist darauf zu achten, dass die Ontologie den Ausschnitt der Realität, für den sie entworfen wird, möglichst gut modelliert. Außerdem ist bei der Modellierung einer Ontologie für eine Domäne zu beachten, dass es nicht nur einen korrekten Weg gibt, die Domäne zu modellieren, sondern dass es immer verschiedene Wege gibt. Die bestmögliche Lösung ist abhängig von der Applikation, für die man die Modellierung vornimmt. Noch zu berücksichtigen ist, dass die Modellierung einer Ontologie ein iterativer Prozess ist. Man muss im Laufe des Entwicklungszyklus immer wieder Änderungen an der Ontologie vornehmen können [2].

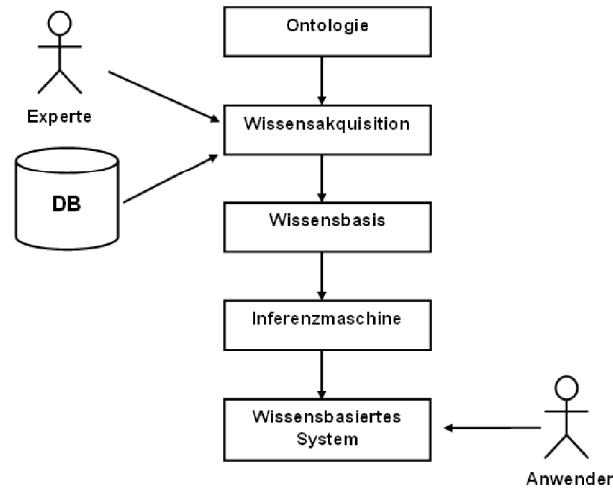
2.3 Entwicklung eines wissensbasierten Systems

Die Erstellung eines wissensbasierten Systems beginnt mit der Modellierung einer Ontologie. Im nächsten Schritt folgt die Wissensakquisition, wobei mit Hilfe einer Wissenserwerbskomponente Wissen in die Ontologie eingepflegt wird. Dieses Wissen kann entweder direkt von einem Domänenexperten eingegeben werden oder aus einer bereits existierenden Datenbank in die Ontologie überführt werden. So entsteht aus der Ontologie eine Wissensbasis.

Um nun das in der Wissensbasis abgelegte Wissen anwenden zu können, wird ein Inferenzverfahren benötigt. Ein Inferenzverfahren arbeitet auf dem abgespeicherten Wissen und ist in der Lage, aus diesem Wissen Ein- oder Ausgaben eines Systems herzuleiten. Inferenzmechanismus und Wissensbasis bilden zusammen das wissensbasierte System.

Im Gegensatz zu konventioneller Software, in der das Wissen implizit in den Algorithmen steckt, wird bei wissensbasierten Systemen eine Trennung von Wissen und Inferenzverfahren vorgenommen. Man trennt also das Wissen von der Problemlösemethode. Eines der grundlegenden Kennzeichen von wissensbasierten Systemen ist also die explizite Repräsentation von Wissen. Durch diese Trennung des Wissens von seiner Anwendung hat sich die Möglichkeit eröffnet, den gleichen Inferenzmechanismus auch für andere Wissensbasen zu verwenden (siehe Abb. 1).

Abb. 1. Die einzelnen Schritte bei der Entwicklung eines wissensbasierten Systems (nähere Erläuterungen siehe Text).



3 Ergebnisse

Der hier vorgestellte Ansatz zur automatischen Segmentierung von Risikoorganen in der Strahlentherapieplanung beruht auf einem regelbasierten Ansatz. Dieser Ansatz wurde gewählt, da dieser am ehesten der Denkweise eines Strahlentherapeuten entspricht. Dies ist ein wichtiger Aspekt, da es möglich sein soll, dass die Wissensakquisition von Strahlentherapeuten oder medizinisch-technischem Personal direkt durchgeführt werden kann. Eine Orientierung bei der Modellierung der Ontologie erfolgte an der Arbeit von Skonetzki [3].

Die zugrunde liegende Ontologie gliedert sich in vier Hauptbereiche, welche die wichtigsten Bereiche beim Segmentierungsvorgang abdecken: die Organe, die Bildmodalitäten, die Aktionen und das Regelwerk.

Der Organbereich beschreibt die Organe des menschlichen Körpers und modelliert das anatomische Wissen des Arztes. Die einzelnen Organe sind durch die Körperregion (Kopf, Hals, oberer/mittlerer/unterer Bauchbereich), in der sie sich befinden, näher spezifiziert. Außerdem wird ihre Größe und Lage durch die Koordinaten in einem zugrunde liegenden zweidimensionalen Modellmensen beschrieben.

Der Bildbereich dient der Modellierung der unterschiedlichen Bildmodalitäten wie CT oder MRT und den jeweilig unterschiedlichen Bildeigenschaften, wie der Aufnahme mit oder ohne Kontrastmittel bei CT oder den unterschiedlichen Aufnahmetechniken bei MRT.

Unter Aktionen fallen die Methoden der Bildverarbeitung, die bei der Segmentierung benötigt werden. Sie werden in der Ontologie mit ihren spezifischen Parametern beschrieben.

Das Regelwerk dient der Verknüpfung der gegebenen Bedingungen, modelliert durch kausale Regeln, unter Zuhilfenahme der Organe und der Bilder und den daraus resultierenden Aktionen. Mit Hilfe dieser Regeln lässt sich der Segmentierungsvorgang abbilden und das Wissen zur korrekten Parametrisierung modellieren.

Die Wissensakquisition kann mit einer zur Verfügung stehenden Wissenserwerbskomponente durchgeführt werden. Es wurde ein Modul entwickelt, das in der Lage ist, auf dem Wissen zu arbeiten und den bestehenden Bedingungen entsprechend, passende Regeln in der Wissensbasis zu finden und anzuwenden. Damit für Verfahren, die einen Startpunkt oder eine Startkontur benötigen, diese passend für die aktuelle Bildserie berechnet werden können, wurde eine weitere Komponente (Matcher) für das Modul entwickelt. Der Matcher berechnet anhand eines zweidimensionalen anatomischen Modells und in Bezug auf die gescannte Länge die ungefähre Lage der einzelnen Strukturen in der aktuellen Bildserie.

Die Anbindung des entwickelten Moduls an eine Bestrahlungsplanungssoftware zeigte, dass es möglich ist, die semi-automatischen Verfahren auf diese Weise anzusteuern. Größere Organe, wie Lunge und Leber, lassen sich befriedigend segmentieren. Bei kleineren Organen, liefert der Matcher bisher zu ungenaue Informationen für mögliche Startpunkte oder -konturen; das Verfahren führt deshalb nicht immer zum gewünschten Ziel.

4 Diskussion und Ausblick

Die Segmentierung von Risikoorganen in der Strahlentherapieplanung ist sehr zeitaufwendig. Da in jeder einzelnen Schicht der Bildserie die für die Bestrahlungsplanung relevanten Strukturen zu segmentieren sind. Zur Beschleunigung des Segmentierungsvorgangs, wurden bereits semi-automatische Segmentierungsverfahren entwickelt, die bereits zu einer Beschleunigung geführt haben. Um die Segmentierung mit diesen Verfahren weiter zu beschleunigen, wurde ein Modul entwickelt, mit dem die Möglichkeit besteht, das Wissen zur Parametrisierung dieser semi-automatischen Verfahren zu sammeln. Damit besteht die Möglichkeit die semi-automatischen Segmentierungsverfahren automatisch anzusteuern und so den Segmentierungsvorgang an sich weiter zu beschleunigen. Ansatzpunkt für eine Optimierung der Segmentierungsergebnisse ist eine Verbesserung des Matchers.

Literaturverzeichnis

1. Puppe F. Einführung in Expertensysteme. Springer, Berlin; 1991.
2. Gruber TR. The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Base. In: Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning; 1991. p. 601–602.
3. Skonetzki S, Gausepohl HJ, van der Haak M, Knaebel S, Linderkamp O, Wetter T. HELEN, a Modular Framework for Representing and Implementing Clinical Practice Guidelines. *Methods of Information in Medicine* 2004;(4):413–426.