

Adaptive Fokus-Kontext-Kategorisierung für Visualisierungen zur Operationsplanung

Kerstin Kellermann, Alexandra Baer, Bernhard Preim

Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
`kerstin@isg.cs.uni-magdeburg.de`

Kurzfassung. In diesem Beitrag wird ein semantisches Verfahren vorgestellt, mit dessen Hilfe adaptive Visualisierungen zur Therapieplanung generiert werden können. Die dazu notwendige Reduktion wird durch eine Fokus-Kontext-Kategorisierung der im Datensatz enthaltenen wesentlichen Strukturen realisiert. Die Kategorisierung erfolgt anhand einer gewichteten Parameterkombination, die die aktuelle therapeutische Fragestellung repräsentiert. Mit dieser Kategorisierung wird eine adäquate Anpassung der Visualisierung an die spezifische therapeutische Fragestellung ermöglicht. Dieses System ist bei geeigneter Konfiguration in verschiedenen Therapieplanungssystemen einsetzbar.

1 Einleitung

Mit Hilfe interaktiver 3D-Darstellungen der patientenspezifischen Anatomie können verschiedene Fragestellungen geklärt werden, die maßgeblich für die Therapieentscheidung sind. Dazu gehört z.B. der Abstand einer pathologischen Struktur zu einer Risikostruktur. Der Nachteil von 3D-Darstellungen sind die häufig auftretenden gegenseitigen Verdeckungen der Strukturen. Daher ist die Beurteilung der für eine spezifische therapeutische Fragestellung entscheidenden Strukturen und ihrer Relationen zueinander sehr komplex. Eine auf die bzgl. der Fragestellung wesentlichen Strukturen reduzierte Darstellung ermöglicht dagegen eine schnellere Aufmerksamkeitslenkung sowie eine bessere Sichtbarkeit und expressivere Darstellung dieser Strukturen. Eine automatische Anpassung der Strukturparameter beim Wechsel der therapeutischen Fragestellung kann die Exploration der 3D-Darstellung beschleunigen. Zeitaufwändige Vorverarbeitungsschritte einer manuellen Generierung verschiedener aufgabenspezifischer 3D-Darstellungen werden verkürzt bzw. vermieden. Voraussetzung dafür ist die adaptive Bestimmung der wesentlichen Strukturen bzgl. der aktuellen Fragestellung.

Einige Verfahren erzielen eine Hervorhebung der wesentlichen Strukturen mit Hilfe eines Wichtigkeits- bzw. Prioritätswertes pro Struktur [1, 2, 3]. Die damit realisierte Kategorisierung in Fokusobjekte (höchste Wichtigkeit), fokusnahe Objekte (mittlere Wichtigkeit) und Kontextobjekte (geringste Wichtigkeit) [4] optimiert die Sichtbarkeit der wesentlichen Strukturen mittels Smart Visibility Techniken [5]. Die jeweilige Wichtigkeit wird in [1, 3] in einem manuellen Vorverarbeitungsschritt statisch vordefiniert. Dies ermöglicht lediglich einen ansichtabhängigen Blick ins "Innere", der in [3] mit Hilfe eines einfachen Fokusobjektes

(Ebene, Mauszeiger etc.) steuerbar ist. In [2] wird die jeweilige Wichtigkeit entsprechend des selektierten Fokusobjektes angepasst, das die höchste Wichtigkeit erhält, während alle restlichen Strukturen als Kontextstrukturen in den Hintergrund treten. Die Zusammenhänge zwischen den Strukturen hinsichtlich der unterschiedlichen therapeutischen Fragestellungen werden in den genannten Verfahren nicht berücksichtigt. Das Anatomie-Lehrsystem der VoxelMan-Gruppe [6] erfasst systemische, regionale und z.T. auch funktionelle Zusammenhänge in einem umfangreichen semantischen Netzwerk (Ontologie). Darauf basierend werden aufgabenspezifische Visualisierungen im Rahmen der Anatomielehre generiert. Im vorliegenden Beitrag wird ein Verfahren für Interventions- und Operationsplanungen vorgestellt, welches die wesentlichen Strukturen bzgl. der aktuellen therapeutischen Fragestellung automatisch bestimmt. Dabei werden die fallspezifischen geometrischen und pathologischen Relationen in einem Vorverarbeitungsschritt erfasst und in einem parametrisierten Kategorisierungsprozess in Echtzeit ausgewertet.

2 Material und Methoden

In Zusammenarbeit mit HNO-Ärzten der Universitätsklinik in Leipzig wurden zunächst die möglichen therapeutischen Fragestellungen zur Tumor-Operationsplanung inklusive der relevanten Strukturen erfasst. Die Strukturen sind in drei Klassen unterteilbar: pathologische (z.B. Tumore), verdächtige (z.B. Lymphknoten) und anatomische Strukturen (Risikostrukturen, wie Gefäße). Verdächtig bezieht sich hier auf den Verdacht eines pathologischen Charakters bei einer anatomischen Struktur, der noch nicht bestätigt wurde. Diese Strukturen werden bei characterspezifischen Betrachtungen sowohl als pathologisch als auch anatomisch behandelt. Die Lokalisation der pathologischen und verdächtigen Strukturen sowie ihre kritischen minimalen Entfernungen und Infiltrations- bzw. Umschließungsgrade bzgl. der anatomischen Strukturen liegen im Fokus der Operationsplanung. Aus der Analyse der Fragestellungen ergaben sich die notwendigen Parameter, mit denen die wesentlichen Strukturen adaptiv bestimmt werden können [7]. Diese Parameter werden in einem Vorverarbeitungsschritt berechnet und in einer Datenbasis hinterlegt. Neben geometrischen Berechnungen sind hier auch Metainformationen notwendig. Diese beschreiben die Strukturen näher, indem sie z.B. ihre jeweilige Strukturart und Strukturgruppe, aber auch das Stadium eines Tumors oder das Level eines Lymphknotens angeben. Da eine allgemeingültige anatomische Ontologie für sämtliche patientenindividuellen Datensätze zu komplex ist, müssen diese Informationen im jeweiligen Datensatz den entsprechenden Strukturen zugeordnet sein. Zur Unterscheidung der Strukturklassen und zur Bestimmung der kritischsten pathologischen Strukturen werden die Metainformationen Charakter und Schweregrad über interaktiv spezifizierte Klassifizierungsregeln mit folgendem Muster bestimmt:

Charakter : Strukturart : Schweregrad : Messgröße : Vergleich : Grenzwert
Bsp.: pathologisch : Tumor : 3 : max. Durchmesser : > : 40(mm)

Beim Laden des Datensatzes werden dazu für alle Strukturen der hier aufgeführten Strukturarten die notwendigen Messgrößen berechnet. Diese sowie die anwendungsspezifischen Grenzwerte können der jeweiligen TNM-Klassifikation [8] o.ä. entnommen werden. Die den Regeln nicht entsprechenden Strukturen sind anatomisch und haben keinen Schweregrad. Die minimale Entfernung und das Schnittvolumen wird für sämtliche Strukturen anhand ihrer Dreiecksnetze berechnet (z.B. [9]). Zudem werden die Zusammengehörigkeiten der Strukturen bzgl. ihrer Metainformationen erfasst. Der erhöhte Aufwand zur Generierung der Datenbasis hängt hauptsächlich von der Komplexität der geometrischen Berechnungen und der Anzahl der daran beteiligten Strukturen ab. Daher werden diese Ergebnisse im Datensatz dauerhaft abgespeichert.

Der auf diesen akquirierten Parametern basierende Kategorisierungsprozess (Abb. 1) unterteilt die Strukturen in Fokusobjekte, fokusrelevante Objekte und Kontextobjekte und lehnt sich damit der Fokus-Kontext-Definition in [4] an. Die fokusrelevanten Objekte stehen hier jedoch in einem bzgl. der aktuellen therapeutischen Fragestellung wesentlichen Zusammenhang mit den Fokusobjekten. Die Fragestellung wird als eine gewichtete Kombination der im Vorverarbeitungsschritt ermittelten Parameter und einer Menge von selektierten Fokusobjekten ($0-n$) repräsentiert. Zudem werden Bedingungen zur Erfüllung der Parameter mittels bestimmter Werte oder Grenzwerte definiert; z.B. eine minimale Entfernung zu einem Fokusobjekt zwischen 2 und 15 Millimeter oder die Metainformation "Charakter" mit dem Wert "anatomisch". Die Kategorisierung erfolgt schwellenwertbasiert anhand eines Wichtigkeitswertes der jeweiligen Struktur, ähnlich wie in [1]. Dieser berechnet sich durch Aufsummieren der Wichtigkeiten der Parameter ($0-1$), deren Bedingungen diese Struktur erfüllt. Bei den fokusbezogenen Parametern muss dazu lediglich die jeweiligen Bedingung für eines der Fokusobjekte erfüllt sein. Zunächst werden die Strukturen, die den Parametern bzgl. der Metainformationen (z.B. Strukturgruppe = Gefäße) entsprechen, zu Fokusobjekten, wenn ihre derzeitige Wichtigkeit S_{W_1} über dem Schwellenwert t_F liegt (linke Seite von Abb. 1). Erst nach dieser automatischen Erfassung aller Fokusobjekte wird mit den restlichen, den fokusbezogenen Parametern fortgefahren (Abb. 1,

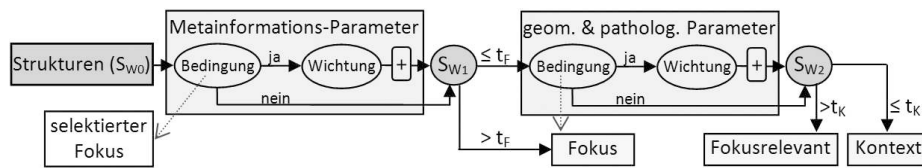


Abb. 1. Die Wichtigkeit einer nicht selektierten Struktur $S_{W_0} = 0$ wird für jeden Parameter, dessen Bedingung sie erfüllt, um die Wichtung des Parameters erhöht. Die Bedingungen beziehen sich dabei z.T. auf die vorhandenen Fokusstrukturen. Strukturen mit einer Wichtigkeit $S_{W_1} > t_F$ werden Fokusstrukturen während die restlichen die geometrischen Parameter und den pathologischen Parameter durchlaufen. Ihre resultierende Wichtigkeit S_{W_2} bestimmt den Schwellenwert t_F entsprechend ob sie fokusrelevant sind oder zum Kontext gehören.

rechter Kasten). Die resultierende Wichtigkeit einer Nicht-Fokusstruktur S_{W_2} bestimmt per Schwellenwert t_K , ob diese fokusrelevant ist oder zum Kontext gehört. Auf diese Weise werden z.B. alle Gefäße zu Fokusstrukturen und alle Primärtumore und Metastasen innerhalb einer minimalen Entfernung von 0 mm bis 5 mm fokusrelevant, während der Rest dem Kontext zugeordnet wird. Zur Einschätzung des Risikos für eine Risikostruktur oder ganzen -gruppe, aber auch dem Risikos durch eine bestimmte pathologische Struktur, werden verschiedene Parameter im pathologischen Parameter kombiniert. Mit diesem werden die Strukturen höher gewichtet, die einen verdächtigen oder anderen Charakter (Metainformation) als die Fokusstruktur haben und innerhalb einer angegebenen kritischen minimalen Entfernung zu dieser Fokusstruktur liegen.

3 Ergebnisse

Es konnte ein Verfahren zur adaptiven Kategorisierung bzgl. wechselnder therapeutischer Fragestellungen für Visualisierungen zur Operationsplanung speziell für den Hals- und Leberbereich entwickelt werden. Dieses schwellenwertbasierte Verfahren arbeitet in Echtzeit und ist robust gegenüber kleinen Änderungen der Parameterwichtungen. Durch Anpassen der Visualisierungsparameter der Strukturen entsprechend ihrer ermittelten Kategorie bzw. Wichtigkeit können die wesentlichen Strukturen hervorgehoben werden. Abbildung 2 zeigt die als wesentlich (Fokus und fokusrelevant) kategorisierten Strukturen eines Halsdatensatzes bzgl. der mit den klinischen Partnern ermittelten Fragestellungen im Vergleich zur Ausgangsdarstellung (a). Abbildung 2(c-e) wurden allein durch den gleich gewichteten pathologischen Parameter für drei verschiedene Fokusobjekte erstellt. Für komplexe Leberdatensätze wurden mit einer annähernd gleichen Parameterkombination vergleichbare Ergebnisse erzielt, die anhand der Bedingungen der Metainformations-Parameter optimierbar sind.

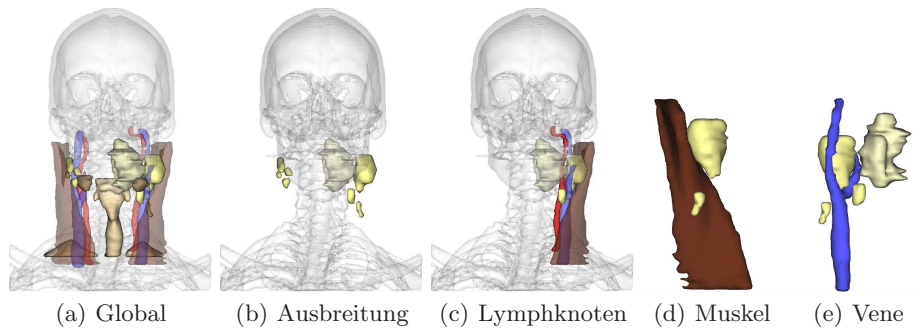


Abb. 2. Als Fokus und Fokusrelevant kategorisierte Strukturen bzgl. der Ausbreitung der pathologischen Strukturen (b), des Risikos durch den vergrößerten Lymphknoten (c) und des Risikos für die Fokusstrukturen in (d) und (e) im Vergleich zur Darstellung sämtlicher Strukturen (a).

4 Diskussion

Mit dem Verfahren wurde eine Grundlage zur adaptiven Generierung aufgabenspezifischer 3D-Visualisierungen geschaffen, auf die z.B. die oben genannten wichtigkeitsgesteuerten Verfahren [1, 3] aufbauen könnten. Das Grundprinzip der Kategorisierung ist in verschiedenen Planungssystemen umsetzbar, wenn die entsprechenden systemspezifischen Parameter verwendet werden. Die in dieser Arbeit verwendeten Parameter sind für die Tumor-Operationsplanung (speziell für Hals und Leber) geeignet. Sie können aber auch für allgemeine Aufgaben herangezogen werden, wie die Selektion der Leber und einen ihrer drei Gefäßbäume. Die exakte Definition der Parameterbedingungen ermöglicht für die Planung eine genaue Extraktion der gesuchten Strukturen. Für die hier entwickelte Anwendung ist eine Dreiecksnetzrepräsentation der Strukturen zur Berechnung geometrischer Parameter und eine geeignete Datenstruktur Voraussetzung. Für die Kategorisierung selbst ist die Dreiecksnetzrepräsentation irrelevant. Das Verfahren wird derzeit um eine einfache Anpassung der Visualisierung erweitert. Dabei soll die Sichtbarkeit der wesentlichen Strukturen und die visuelle Kennzeichnung therapieentscheidender Parameter berücksichtigt werden. Dazu ist auch die Erfassung weiterer Daten vorgesehen, die auf die Kategorisierung selbst keinen Einfluss nehmen. Zum Einblenden einer Auswahl an Orientierungsstrukturen sollen die Kontextstrukturen nach ihrer kontextuellen Relevanz unterteilbar werden. Zudem ist eine Evaluierung geeigneter Visualisierungstechniken geplant, die die Basis für die zukünftige automatische Anpassung der einzelnen Strukturdarstellungen bilden soll.

Literaturverzeichnis

1. Viola I, Kanitsar A, Gröller ME. Importance-driven feature enhancement in volume visualization. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2005;11(4):408–18.
2. Viola I, Feixas M, Sbert M, et al. Importance-driven focus of attention. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2006;12(5):933–40.
3. Rautek P, Bruckner S, Gröller ME. Interaction-dependent semantics for illustrative volume rendering. *Comput Graph Forum.* 2008;27(3):847–54.
4. Salah Z, Cunningham D, Straßer W, et al. Perceptually emphasized illustrative visualization for multiple objects. In: *WSI-TechReports WSI-2008-07*. Universitätsbibliothek Tübingen; 2008. p. 1–12.
5. Viola I, Gröller E. Smart visibility in visualization. In: *Comput Aesthet*; 2005. p. 209–16.
6. Höhne KH, Petersik A, Pflesser B, et al. *Voxelman 3D-Navigator: Brain and Skull. Regional, Functional and Radiological Anatomie*. Springer Electronic Media; 2001.
7. Kellermann K. *Ableitung und Verarbeitung semantischer Informationen zur Generierung adaptiver Interventionsplanungs-Visualisierungen [Diplomarbeit]*. Otto-von-Guericke-Universität, Fakultät für Informatik. Magdeburg; 2009.
8. Wittekind C, Sobin LH, Klimpfinger M. *TNM-Atlas*. Springer Berlin; 2005.
9. Rössling I, Cyrus C, Dornheim L, et al. Effiziente automatische Bestimmung interventionsrelevanter Entfernungsmaße. In: *Proc BVM*; 2009. p. 66–70.