

Adaptive Fokus-Kontext-Kategorisierung für Visualisierungen zur Operationsplanung

Kerstin Kellermann, Alexandra Baer, Bernhard Preim

Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
alexandra@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 Datenreduktion 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 von interaktiven 3D-Darstellungen der patientenspezifischen Anatomie können verschiedene therapeutische Fragestellungen geklärt werden, die maßgeblich für die Therapieentscheidung sind. Dazu gehört z.B. der Abstand einer pathologischen Struktur zu einer Risikostruktur. Der Nachteil bei 3D-Darstellungen sind die häufig auftretenden gegenseitigen Verdeckungen der einzelnen 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, aber auch eine bessere Sichtbarkeit und expressivere Darstellung dieser Strukturen. Eine automatische Anpassung der Strukturparameter beim Wechsel der therapeutischen Fragestellung kann die Exploration der 3D-Visualisierung beschleunigen. Zeitaufwendige 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, wie [1,2,3], erzielen eine Hervorhebung der wesentlichen Strukturen mit Hilfe eines Wichtigkeits- bzw. Prioritätswertes pro Struktur. Die damit realisierte Kategorisierung in Fokusobjekte (höchste Wichtigkeit), fokussnahe Objekte (mittlere Wichtigkeit) und Kontextobjekte (geringste Wichtigkeit) [4] optimiert die Sichtbarkeit der wesentlichen Strukturen mittels Smart Visibility Techniken [5]. Die jeweilige Wichtigkeit wird bei [1,3] in einem manuellen Vorverarbeitungsschritt statisch vordefiniert. Dies ermöglicht lediglich einen

ansichtabhängigen Blick ins "Innere", der bei [3] mithilfe eines einfachen Fokusobjektes (Ebene, Mauszeiger etc.) steuerbar ist. Bei [2] wird die jeweilige Wichtigkeit entsprechend des selektierten Fokusobjektes angepasst, dass die höchste Wichtigkeit erhält, während alle restlichen Strukturen als Kontextstrukturen in den Hintergrund treten. Die verschiedenen Zusammenhänge zwischen den Strukturen hinsichtlich der unterschiedlichen therapeutischen Fragestellungen werden in den genannten Verfahren nicht berücksichtigt. Das Anatomie-Lehrsystem der VoxelMan-Gruppe [6] erfasst für einen qualitativ hochwertigen Datensatz systemische, regionale und z.T. auch funktionelle Zusammenhänge in einem umfangreichen semantischen Netzwerk. 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 lassen sich in drei Klassen unterteilen: 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 nicht nachgewiesen 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. Die nach der TNM-Klassifikation [7] kritischsten pathologischen Strukturen sind dabei besonders wichtig. Aus der Analyse der Fragestellungen ergaben sich die notwendigen Parameter, mit denen die wesentlichen Strukturen adaptiv bestimmt werden können [8]. Anhand der im Datensatz enthaltenen Metainformationen (z.B. Strukturart) und der geometrischen Szene werden diese Parameter in einem Vorverarbeitungsschritt berechnet. 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. 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* im Datensatz erfasst. Dies setzt eine bestimmte Datensatz-Hierarchie voraus, in der den Strukturen diese Metainformationen zugeordnet sind. Die für dieses Verfahren relevanten Metainformationen beschreiben die Struktur näher, indem sie z.B. ihre Strukturart und Strukturgruppe, aber auch das Stadium eines Tumors oder das Level eines Lymphknotens angeben. Eine hierarchieinterne Gruppierung dieser variierenden Informationen ermöglicht dabei ihre datensatz- und strukturunabhängige Extraktion.

Der auf diesen akquirierten Parametern basierende Kategorisierungsprozess (vgl. Abb. 1) unterteilt die Strukturen in Fokusobjekte, fokusrelevante Objekte und Kontextobjekte und lehnt sich damit der Fokus-Kontext-Definition von [4] an. Die fokusrelevanten Objekte stehen hier in einem bzgl. der aktuellen therapeutischen Fragestellung wesentlichen Zusammenhang mit den Fokusobjekten. Diese Fragestellung wird als eine spezifizierte und gewichtete Kombination der im Vorverarbeitungsschritt ermittelten Parameter und einer Menge von Fokusobjekten (0-n) repräsentiert. Die Spezifikation erfolgt über die Definition bestimmter Werte oder Grenzwerte der Parameter, wie eine *minimale Entfernung* zu einem Fokusobjekt zwischen 2 und 15 Millimeter oder der *Metainformation* Charakter mit dem Wert anatomisch. Die Kategorisierung erfolgt schwellenwertbasiert anhand eines Wichtigkeitswertes der jeweiligen Struktur, ähnlich wie bei [1]. Dieser berechnet sich durch Aufsummieren der Wichtigungen der Parameter (0-1) deren Spezifikationen diese Struktur entspricht. Bei den fokusbezogenen Parametern muss dazu lediglich die jeweilige Spezifikation für eines der Fokusobjekte erfüllt sein. Bei der sukzessiven Abarbeitung der Parameter werden zunächst die Strukturen, die den Parametern bzgl. der *Metainformationen* (z.B. Strukturgruppe = Gefäße) entsprechen, zu Fokusobjekten, wenn ihre derzeitige Wichtigkeit über dem Schwellenwert SW_{Fokus} liegt. Erst nach dieser automatischen Erfassung

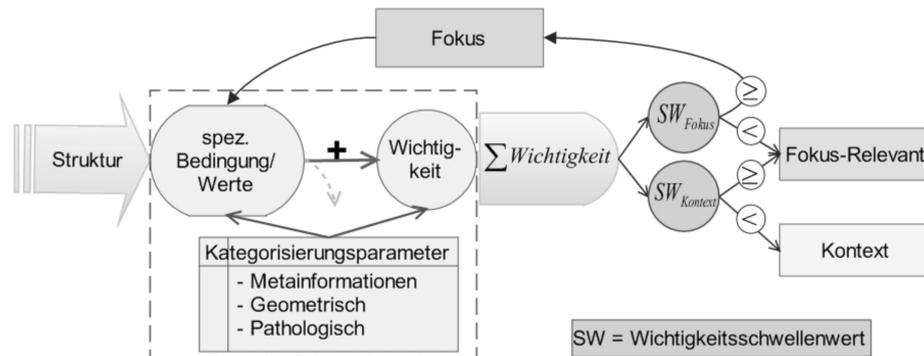


Abb. 1. Die Wichtigkeit einer Struktur wird für jeden spezifizierten Parameter, dem diese entspricht, um die des Parameters erhöht. Die resultierende Wichtigkeit bestimmt den Wichtigkeitsschwellenwerten entsprechend die Kategorie der jeweiligen Struktur. Der Fokus wird entweder gegeben und/oder zwischendurch automatisch berechnet.

der Fokusobjekte wird mit den restlichen, den fokusbezogenen Parametern fortgeföhren. Die resultierende Wichtigkeit einer Nicht-Fokusstruktur bestimmt per Schwellenwert $SW_{Kontext}$, ob diese fokusrelevant ist oder zum Kontext gehört. Auf diese Weise werden z.B. alle GefäÙe zu Fokusstrukturen und alle Primärtumore und Metastasen innerhalb einer minimalen Entfernung von 0mm bis 5mm 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 erzielt auch bei abweichenden Parameterwichtungen datensatzübergreifend vergleichbare und rekonstruierbare Ergebnisse. Durch Anpassen der Visualisierungsparameter der Strukturen entsprechend ihrer ermittelten Kategorie bzw. Wichtigkeit können nun die wesentlichen Strukturen hervorgehoben werden. Abbildung 2 zeigt die als wesentlich (fokus und fokusrelevant) kategorisierten Strukturen eines Halsdatensatzes bzgl. verschiedener pathologischer Fragestellungen im Vergleich zur Ausgangsdarstellung (a). Abbildung 2(c) bis (e) wurden allein durch den gleich gewichteten pathologischen Parameter für drei verschiedene Fokusobjekte erstellt.

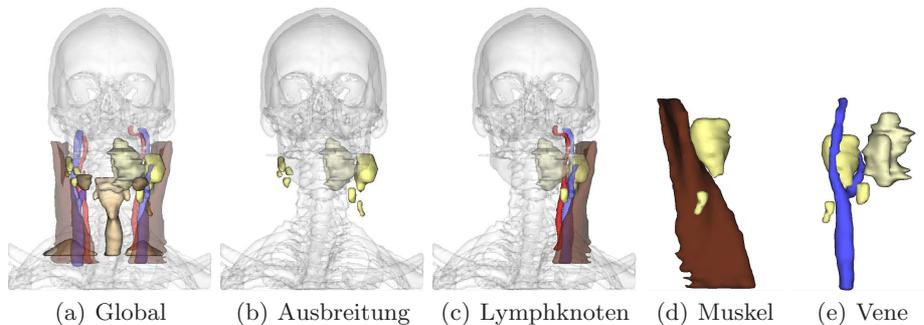


Abb. 2. Als Fokus und fokusrelevant kategorisierte Strukturen bzgl. der Ausbreitung der pathologischen Strukturen (b), des Risikos durch den vergrößerten Lymphknoten (c) und des Risikos für die Fokusstrukturen in (d) und (e) im Vergleich zur Darstellung sämtlicher Strukturen(a).

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. Voraussetzung ist eine Dreiecksnetzrepräsentation der Strukturen und eine geeignete Datensatzstruktur. Die exakte Spezifikation der Parameter ermöglicht eine diesbezüglich genaue Extraktion der Strukturen. Aufgrund der abweichenden individuellen Anatomie ist jedoch eine experimentelle Anpassung der Grenzwerte einiger Parameter notwendig um datensatzübergreifend die selben Strukturen zu extrahieren. Eine Erweiterung der Spezifikation solcher Parameter um eine Angabe der ersten X zu ermittelnden Strukturen (bzgl. des Parameters sortiert) wäre daher denkbar. Auf diese Weise könnten z.B. die drei nächsten Strukturen zur räumliche Einordnung der Fokusobjektes bestimmt werden. Der pathologische Parameter ist davon nicht betroffen. Eine Evaluierung der allgemeinen und spezifischen Notwendigkeit dieser Parameter wäre zur Vereinfachung der Spezifikation hilfreich. 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 haben. 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):408–418.
2. Viola I, Feixas M, Sbert M, Gröller ME. Importance-Driven Focus of Attention. *IEEE Trans Visn Comput Graph.* 2006;12(5):933–940.
3. Rautek P, Bruckner S, Gröller ME. Interaction-Dependent Semantics for Illustrative Volume Rendering. *Comput Graph Forum.* 2008;27(3):847–854.
4. Salah Z, Cunningham D, Straßer W, Bartz D. 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: *Computational Aesthetics;* 2005. p. 209–216.
6. Höhne KH, Petersik A, Pflesser B, al et. *Voxelman 3D-Navigator: Brain and skull . Regional, Functional and Radiological Anatomie.* Springer Electronic Media; 2001.
7. Wittekind C, Sobin LH, Klimpfnger M. *TNM-Atlas.* Springer Berlin Heidelberg; 2005.
8. Kellermann K. *Ableitung und Verarbeitung semantischer Informationen zur Generierung adaptiver Interventionsplanungs-Visualisierungen [Diplomarbeit].* Otto-von-Guericke-Universität. Magdeburg; 2009.
9. Rössling I, Cyrus C, Dornheim L, Preim B. Effiziente automatische Bestimmung interventionsrelevanter Entfernungsmaße. In: *Bildverarbeitung für die Medizin;* 2009. p. 66–70.