

OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG

Fakultät für Informatik
Institut für Simulation und Graphik



Diplomarbeit

Automatische Ableitung und Verarbeitung
semantischer Informationen zur Generierung
adaptiver Interventions-Planungs-Visualisierungen

Kerstin Kellermann

Kerstin Kellermann:

Matrikelnummer: 16 31 06

Automatische Ableitung und Verarbeitung semantischer Informationen zur Generierung adaptiver Interventions-Planungs-Visualisierungen

Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität

Magdeburg, 2009.

©Kerstin Kellermann

**Automatische Ableitung und Verarbeitung semantischer
Informationen zur Generierung adaptiver
Interventions-Planungs-Visualisierungen**

Diplomarbeit

an der
Fakultät für Informatik
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

von: KERSTIN KELLERMANN
geb. am: 21. Januar 1982
in: Potsdam-Babelsberg
Matrikelnummer: 16 31 06

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. BERNHARD PREIM
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. HOLGER THEISEL

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. BERNHARD PREIM
Dipl. Ing. ALEXANDRA BAER
Dipl. Ing. ROCCO GASTEIGER

Zeit der Diplomarbeit: 03.02.2009 - 17.08.2009

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Kerstin Kellermann (Matrikel-Nr. 165517) die vorliegende Arbeit allein und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen angefertigt zu haben.

Kerstin Kellermann
Magdeburg, den 1. September 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	2
1.2	Aufgabenstellung	2
1.3	Gliederung der Arbeit	3
2	Theoretische Grundlagen und verwandte Arbeiten	5
2.1	Visualisierung medizinischer Volumendaten	5
2.1.1	Oberflächenvisualisierung	7
2.1.2	Volumenvisualisierung	8
2.1.3	Explorationsformen in medizinischen 3D-Visualisierungen	8
2.2	Computergestützte Tumor-Interventionsplanung	11
2.2.1	Medizinischer Hintergrund	12
2.2.2	Computergenerierte medizinische 3D-Visualisierung	19
2.2.3	Anwendungsbeispiele	20
2.2.4	Zusammenfassung	23
2.3	Hervorhebung - medizinische Fokus-Kontext Visualisierungen	23
2.3.1	Fokus-Kontext Definition	24
2.3.2	Hervorhebungstechniken	29
2.4	Sichtbarkeitsansätze	33
2.4.1	Ansichtverändernde Techniken	34
2.4.2	Low-Level Techniken	36
2.4.3	High-Level Techniken – (Smart-Visibility)	38
2.5	Zusammenfassung	41
3	Entwurf eines Systems für adaptive medizinische Oberflächenvisualisierungen	43
3.1	Anforderungsanalyse	43
3.1.1	Analyse der therapeutischen Fragestellungen	44
3.1.2	Analyse des Datensatzes	46
3.1.3	Analyse der 3D-Szene	47
3.1.4	Schlussfolgerungen	49
3.2	Automatische Kategorisierung der Strukturen	51
3.2.1	Metainformations-Parameter	52
3.2.2	Pathologische Parameter	54

3.2.3	Geometrische Parameter	57
3.2.4	Funktionelle Parameter	62
3.2.5	Datenbasis und -verwaltung	62
3.2.6	Kategorisierungsprozess	66
3.3	Parametrierung der Visualisierung	70
3.3.1	Betrachtung visuell hervorzuhebender Informationen	71
3.3.2	Darstellungsformen und Parameterwahl	73
3.4	Sichtbarkeitsansatz	76
3.4.1	Globaler Sichtbarkeitsansatz	76
3.4.2	Lokale Sichtbarkeit	79
3.5	Zusammenfassung	82
4	Implementierung	85
4.1	Entwicklungs Umgebung und verwendete Bibliotheken	85
4.2	Automatische Generierung aufgabenspezifischer Visualisierungen	86
4.2.1	Generierung der Datenbasis - DVM	88
4.2.2	Laufzeit der Datenaquierung	91
4.2.3	Strukturkategorisierung und Parametrierung der Visualisierung	93
4.3	Zusammenfassung	98
5	Ergebnisse	101
5.1	Anwendungsbeispiele	101
5.1.1	Therapieentscheidende Fragestellungen	101
5.1.2	allgemeine Fragestellungen	106
5.1.3	Hilfsmittel	107
5.1.4	Parametrierung der Visualisierungsparameter	108
5.2	Sichtbarkeitsansatz	110
5.3	Zusammenfassung	115
6	Zusammenfassung und Ausblick	117
6.1	Verbesserungsvorschläge und weiterführende Ansätze	118
	Abbildungsverzeichnis	I
	Literaturverzeichnis	III

1 Einleitung

Mittlerweile haben sich in der bildgebenden Therapieplanung computergestützte Verfahren etabliert, die dem operativ tätigen Arzt 3D-Modelle der zu untersuchenden anatomischen Region zur Verfügung stellen. Gegenüber den, z.B. aus CT oder MRT gewonnenen, schichtweise aufgebauten Volumendaten, unterstützen diese den Anwender bei der Beurteilung wichtiger räumlicher Relationen, wie die Entfernung pathologischer Strukturen zu den Anatomischen. Um möglichst viele Fragestellungen mit Hilfe dieser 3D-Darstellung zu klären, werden für das spezifische Anwendungsszenario sowohl alle global wichtigen Objekte als auch die relevanten Kontextinformationen vordefiniert und dargestellt. Mit zunehmender Komplexität der 3D-Szenen häufen sich die Verdeckungen, welche die Exploration der Daten wiederum erschweren. Um die Sichtbarkeit der, für die Visualisierungsaufgabe, wesentlichen Strukturen zu gewährleisten werden Fokus-Kontext Verfahren eingesetzt. Diese verändern die Darstellung der Fokus verdeckenden Kontextstrukturen dahingehend, dass dieser durch sie hindurch gut zu erkennen ist. Für eine spezifische Fragestellung sind lokal wichtige Strukturen interessant, so dass in diesem Moment etliche überflüssige oder sogar störende Strukturen in der Szene enthalten sind, die vom Anwender meistens mühselig ausgeblendet werden. Das bedeutet einen erhöhten Zeitaufwand, den sich gerade ein Mediziner nicht leisten kann. Durch die Repräsentation einzelner Sequenzen der Visualisierung, z.B. zur gezielten Beurteilung von Infiltrationen einer Struktur, wird dies verhindert. Diese datenreduzierten Darstellungen eignen sich jedoch nur für bestimmte Aufgaben. Zur Lösung unterschiedlicher Problemstellungen müssen verschiedene Visualisierungen bzw. ihre Parametrierung, in einem Vorverarbeitungsschritt festgelegt und bei Bedarf wiederhergestellt werden. Dieser individuelle Vorverarbeitungsschritt ist für jeden einzelnen Datensatz notwendig.

Die Motivation der vorliegenden Arbeit besteht darin, Mediziner bei der Exploration komplexer 3D-Szenen anhand einer einzelnen adaptiven Visualisierung zu unterstützen und auf diese Weise den Zeitaufwand für die Therapieplanung zu reduzieren.

1.1 Zielsetzung

Die bisherige Problematik liegt darin, dass die Wichtigkeit der Strukturen in einem Vorverarbeitungsschritt global definiert und bei einer zielgerichteten Exploration der lokalen Situation nicht automatisch angepasst wird. Für eine konkrete Fragestellung ist oft nur eine Teilmenge der gesamten visuellen Informationen relevant, die aber gut erkennbar sein muss. Das Ziel dieser Arbeit ist, ein System für medizinische Oberflächen-Visualisierungen zu entwickeln, mit dem die gesamte 3D-Darstellung auf diese lokale Fragestellung automatisch angepasst werden kann. So soll nicht nur das überflüssige, manuelle Ein- und Ausblenden relevanter bzw. störender Strukturen während der Exploration vermieden, sondern vielmehr die relevanten Strukturen entsprechend charakteristisch hervorgehoben werden. Mit der visuellen Markierung wichtiger (therapieentscheidender) Informationen soll zum einen die Aufmerksamkeit des Anwenders zügig auf das Wesentliche gelenkt werden und zum anderen soll so vermieden werden, dass "versteckte" wichtige Informationen übersehen werden.

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung gliedert sich in zwei Bereiche:

- die parametrisierte Fokus-Kontext Klassifizierung bezüglich einer spezifischen Fragestellung und
- die automatische Anpassung der Darstellung hinsichtlich dieser Klassifizierung.

Für den ersten Punkt soll die semantische Relevanz einer Struktur bezüglich einer konkreten Fragestellung bestimmt werden. Dazu müssen typische Fragestellungen hinsichtlich der Tumor-Operationsplanung ermittelt werden, die über eine computergestützte 3D-Visualisierung gelöst werden sollen. Die Grundlage dieses Verfahrens bilden semantische Zusammenhänge zwischen den in den Szenen enthaltenen Strukturen, die bezüglich dieser Fragestellungen analysiert und ermittelt werden müssen. Über eine Kombination von Klassifizierungsparametern, die zu erforschen sind, sollen die aktuell relevanten Strukturen extrahiert werden.

Für den zweiten Punkt ist ein semantisches Regelsystem zu entwickeln, das eine konsistente, Anwendungsgebiet übergreifende Darstellung ermöglicht. Ferner soll bei diesem Verfahren die Sichtbarkeit der wichtigen Strukturen, ohne große Einschränkungen für die räumliche Wirkung, ermöglicht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Entwicklung exemplarisch für den Hals- und Leberbereich, mit der Absicht einer prinzipiell anwendungsübergreifenden Nutzbarkeit. Beide Verfahren, die Fokus-Kontext Klassifizierung und das System zur adaptiven Anpassung der Darstellung, werden auf der Basis von MeVisLab umgesetzt. Auf diese Weise wird die Anbindung an das ebenfalls in MeVisLab integrierte *Medical Exploration Toolkit* (METK) ermöglicht.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Diplomarbeit ist folgendermaßen gegliedert:

Kapitel 2 Dieses Kapitel beginnt mit einem Einblick in die Grundlagen der medizinischen Volumenvisualisierung und der Interaktionsformen zur Exploration dieser 3D-Szenen. Daraufhin werden mögliche Fragestellungen bezüglich computergestützter Tumor-Operationsplanung, anhand des medizinischen Hintergrundes, exemplarisch erörtert. Weiterhin werden verwandte Arbeiten zur Fokus-Kontext Visualisierung diskutiert und verschiedene Hervorhebungstechniken und Sichtbarkeitsansätze betrachtet.

Kapitel 3 Dieses Kapitel beinhaltet eine Analyse der Anforderungen, die an das gewünschte System gestellt werden. Anschließend wird ein Systementwurf beschrieben, der diese Anforderungen erfüllt. Dabei wird die Ableitung semantischer Informationen zur Generierung einer Datenbasis auf die die Kategorisierung aufbaut ausführlich erläutert und eine Fokus-Kontext Klassifikation definiert.

Kapitel 4 In diesem Kapitel wird die Realisierung des Systementwurfes auf der Basis von zwei per Pythonskript gesteuerten Makromodule, welche in MevisLab zum Einsatz kommen, erläutert. Es wird auf den Aufbau ihrer inneren Netzwerke und den algorithmischen Abläufen eingegangen. Laufzeiten werden vorgestellt und sich daraus ergebende Schlussfolgerungen diskutiert.

Kapitel 5 Die Ergebnisse in Form von aufgabenspezifischen Visualisierungen werden in diesem Kapitel untersucht. Dabei wird auf die analysierten Fragestellungen und auf allgemeine Aufgaben im Bereich der medizinischen Visualisierung eingegangen. Es werden die verschiedenen Parametrierungen der Visualisierungen und die implementierten Sichtbarkeitsansätze diskutiert.

Kapitel 6 Zum Abschluss wird das entworfene System zusammengefasst und mit der Zielsetzung verglichen. Es werden Möglichkeiten der Verbesserung und Erweiterung besprochen und weitere Projekte aufgezeigt, die sich aus der Zusammenführung mit anderen Arbeiten ergeben.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Implementierung eines semantischen Systems, das die 3D-Darstellung der patientenspezifischen Anatomie automatisch an die aktuelle Explorationsaufgabe im Rahmen der Tumor-Interventionsplanung anpasst. Das Hauptaugenmerk der Aufgabenstellung lag auf der parametrisierten Fokus-Kontext Klassifikation der segmentierten Strukturen. Zudem sollte eine einfache automatische Anpassung der Darstellung auf der Basis dieser Kategorisierung konzipiert und implementiert werden.

Die Problemstellung der Strukturkategorisierung wurde in zwei Hauptbereiche differenziert: die Erzeugung aller notwendigen Informationen über die Relationen und Eigenschaften der segmentierten Strukturen und eine parametrierbare, automatische Zuordnung der jeweiligen Fokus-Kontext Klassen auf der Basis dieser Informationen.

Durch die Analyse des medizinischen Hintergrundes an den exemplarischen Regionen Halsbereich und Leber sowie eines informellen Interviews wurden diverse Aufgabenstellungen und Parameter zu ihrer Lösung ermittelt. Anhand der Analyse der 3D-Szene und des spezifischen METK-Datensatzes wurde ein Konzept zur Ableitung der notwendigen Informationen entworfen, das mit einem eigenständigen Modul umgesetzt wurde. Dieses ist derartig konzipiert, dass es ein weit gefächertes Spektrum an Informationen bezüglich der Tumor-Interventionsplanung akquiriert und dem Benutzer, aber auch anderen Anwendungen, zugänglich macht.

Basierend auf den Erkenntnissen der Anforderungsanalyse wurde ein echtzeitfähiges Verfahren entwickelt, das verschiedene aufgabenspezifische Visualisierungen auf der Grundlage der gewichteten und spezifizierten Parameter generiert. Mit Hilfe der parametrisierten Fragestellungen werden dem Nutzer auf die Parameter beschränkte Freiheitsgrade gewährt, mit denen er das Ergebnis der Kategorisierung selbst bestimmen kann. Das Konzept ist dabei so ausgelegt, dass der explizite Wichtigkeitswert keinen größeren Einfluss auf die Resultate hat und somit vergleichbare und rekonstruierbare Ergebnisse möglich sind. Um den Umgang mit dem System zu erleichtern sind einige Parameter zusammengefasst worden und es werden vor- oder selbstdefinierte Templates zur Verfügung gestellt. Es wurde gezeigt, dass etliche allgemeingültige Parameterkombinationen für verschiedene Regionen und Datensätze in Bezug auf die Interventionsplanung gleichermaßen einsetzbar sind und zu

vergleichbaren Ergebnissen führen. Auch bei komplexen Situationen hat sich das Verfahren bezüglich der Kategorisierung bewährt. Zudem wurde die Problematik der genauen Spezifikation von Kategorisierungsparametern diskutiert.

Weiterhin ist eine adaptive Parametrierung der Visualisierung zur Kennzeichnung therapieentscheidender Merkmale und zur Differenzierung der wesentlichen von unwesentlichen Strukturen, umgesetzt worden. Ein ansichtunabhängiger Low-Level Sichtbarkeitsansatz wurde sowohl für die globale als auch die lokale Sichtbarkeit der Strukturen konzipiert und implementiert. Dieser stößt bei vielen kompakten Strukturen an seine Grenzen, liefert aber dennoch zufriedenstellend bis sehr gute Ergebnisse bezüglich der Sichtbarkeit der wesentlichen Strukturen. Weiterhin ist das Defizit durch eine Reduktion der Strukturen mit Hilfe des Kategorisierungsansatzes leicht auszugleichen.

Beide Teilschritte des Verfahrens, die Generierung der Datenbasis sowie die automatische Kategorisierung und 'Hervorhebung' konnten entsprechend der gestellten Anforderungen bezogen auf Genauigkeit und Laufzeit in MeVisLab umgesetzt werden. Durch die erfolgreiche Integration in das METK können die Ergebnisse für weiterführende Anwendungen im Bereich der Exploration medizinischer Visualisierungen effektiv zu Verfügung gestellt werden.

6.1 Verbesserungsvorschläge und weiterführende Ansätze

Die Aufgaben für weiterführende Arbeiten teilen sich in folgende drei Punkte:

1. Die Optimierung der einzelnen Berechnungsprozesse und Erweiterung der Datenakquirierung und -verarbeitung
2. Ausführliche Evaluierung und Umsetzung der daraus gewonnenen Erkenntnisse
3. Zusammenführung mit anderen Projekten

Ein wesentlicher Ansatzpunkt liegt in der Optimierung der Laufzeit zur Berechnung des Schnittvolumens. Die steht in einem konkreten Zusammenhang mit der exakten Berechnung der minimalen Distanzen. Da für das im Entwurf vorgestellte adäquate Verfahren zur Bestimmung interventionsrelevanter Distanzmaße von RÖSSLING et al. [2009] keine Epsilon-Umgebung berücksichtigt werden muss, würden viele bisher überflüssige Schnittberechnungen wegfallen. Eine bislang aus Zeitgründen nicht erfolgte Implementierung des Verfahrens, sollte die gesamte Laufzeit der Datenerfassung verbessern. Ferner muss die Berechnung des Schnittvolumens bezüglich

der Qualität und der Laufzeit optimiert werden. Die genauere Volumenberechnung der Randvoxel könnte z.B. durch den *Subdivision*-Ansatz von BARTZ et al. [2004] erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Spezialisierung des Moduls `METKStructures-Relations`, indem nur Schnittberechnungen zwischen pathologischen bzw. verdächtigen Strukturen und den anatomischen Strukturen durchgeführt würden. Da das konkrete Schnittvolumen anatomischer Strukturen keinen ersichtlichen Beitrag zur weiteren Strukturkategorisierung oder ähnlichen Anwendungen liefert, hätte das einen geringen Einfluss. Im Gegenzug dazu würde die angestrebte Allgemeingültigkeit des Moduls vermindert. Eine Evaluierung des Bedarfs der Informationen und einer Laufzeitoptimierung sollten diese Entscheidungsfindung für die Weiterentwicklung des Moduls unterstützen.

Zur weiteren Unterstützung der Therapieplanung, sollten die im Rahmen dieser Arbeit erfassten, aber bisher nicht eingearbeitet Parameter, wie Infiltrationen bezüglich der Objektmittellinie oder dem Umschließungsgrad, in das Verfahren integriert werden.

Die Annahmen und Bewertungen wurden subjektiv von der Autorin dieser Arbeit getroffen und bedürfen einer Prüfung in Form einer umfassenden Evaluierung. Die vielen Freiheitsgrade der verschiedenen Parametrierungen (Kategorisierung, Visualisierung und Sichtbarkeit) bieten dafür eine gute Voraussetzung. Viele Freiheitsgrade bedeuten allerdings auch eine komplexe Interaktion. Aus diesem Grund sollten auf der Basis der durchzuführenden Evaluierung die automatische Kategorisierung und Hervorhebung angepasst werden. Zu einer möglichen Evaluierung gehört unter anderem die Prüfung des Effektes der Templates, der Farbkodierungen und der Animationen, zu denen aufgrund der ausstehenden Evaluierung bisher keine Aussagen getroffen werden konnten.

Für eine verbesserte Darstellung der Strukturen bezüglich ihrer Erkennbarkeit und ihrer räumlichen Relationen, sollte ein ansichtabhängiges Sichtbarkeitsverfahren umgesetzt werden. Dazu könnte auf der Grundlage einer Evaluierung das hier bereits angerissene und zum Teil auch implementierte lokale Verfahren weiterentwickelt werden.

Das Hauptziel ist eine Anwendung, die automatisch expressive medizinische Visualisierungen generiert. Dazu liefert das hier konzipierte und implementierte Verfahren die Grundlage, indem es die Strukturen eines medizinischen Datensatzes entsprechend ihrer Relevanz zur aktuellen Aufgabenstellung kategorisiert. Bisher beschränkt sich das hier entwickelte Verfahren auf die Tumor-Interventionsplanung. Allerdings wurde es so konzipiert, dass es mit den entsprechenden Parametern prinzipiell auf andere Anwendungsgebiete erweiterbar ist. Darauf aufbauend können für

eine effektive Informationsvermittlung verschiedene Visualisierungs- bzw. Hervorhebungstechniken oder ihre Kombinationen angewendet werden. Diese Techniken eignen sich unterschiedlich gut für verschiedene Objekt- bzw. Gewebetypen, Trophologien und Aufgaben. Die jeweilige Eignung eines Verfahrens bzw. die Kriterien, die bei bestimmten Szenarien erfüllt werden müssen, sind zu analysieren und zu evaluieren. Basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen könnten semantische Verfahren, wie das von RAUTEK et al. [2008], eine geeignete Technik anhand fallbasierter Semantiken identifizieren und zielgerichtet parametrisiert auf das entsprechende Objekt anwenden. Dies kann mit dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren umgesetzt werden, indem es um die entsprechenden Semantiken erweitert wird. Ferner wäre das hier konzipierte System für einen *Story Telling*Ansatz (vergleiche [WOHLFART und HAUSER, 2007]) einsetzbar, indem die dort verwendeten Storyknotenpunkte mit den entsprechend definierten Templates verbunden werden.

Das hier entwickelte System lässt sich gut mit anderen Verfahren zur computer-gestützten Exploration medizinischer 3D-Szenen kombinieren. Als ein konkretes Beispiel sei die automatische Kamerapositionierung von MÜHLER et al. [2007] genannt, die teilweise auf den gleichen Daten basiert. Durch die indirekte Bestimmung der Fokus-Kontext Klasse auf Basis der Objektwichtigkeit ermittelt dieses Verfahren bei höher gewichtetem Wichtigkeitsparameter automatisch eine günstige Kameraposition für das aktuell relevante Objekt. Allerdings wäre eine Erweiterung des Verfahrens zur Bestimmung der charakteristischsten Ansicht bezüglich mehrerer wesentlicher Strukturen notwendig.

Das hier vorgestellte Verfahren zur automatischen Generierung adaptiver Interventions-Planungs-Visualisierung ermöglicht die Abbildung komplexer medizinischer Fragestellungen auf einen wohldefinierten, an die spezifische Anwendung angepassten Satz von Parametern. Aufgrund der praxisnahen Systems wird die Integration in die klinische Anwendung ermöglicht. Dies und die vielfältigen Möglichkeiten einer weiterführenden Entwicklung verdeutlichen, dass ein wichtiger Beitrag für den intuitiven Umgang mit komplexen medizinischen Visualisierungen geschaffen wurde.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Bildgebende Verfahren	6
2.2	Interaktionsmittel zur Exploration	10
2.3	Halsanatomie	14
2.4	Leberphysiologie	17
2.5	Lebersegmente	17
2.6	3D-Visualisierungen zu Ausbildungszwecken	20
2.7	NSP Design	22
2.8	Wichtigkeitsgesteuerte Fokus-Kontext - Darstellung	25
2.9	Adaptive Anpassung an den Fokus	26
2.10	Interaktive hierarchische Visualisierung	28
2.11	Visualisierungen via Ontologien	29
2.12	hybride Volumenvisualisierung	31
2.13	Silhouettendarstellung	32
2.14	Farbkodierungen im NSP	33
2.15	Animierter Fokuswechsel	35
2.16	Verdeckungsmatrix	36
2.17	Kamera-Parameter Einstellungen	37
2.18	Halsausschnitt mit unterschiedlicher Opazität	37
2.19	Smart Visibility Techniken	38
2.20	<i>Cut-Away</i> beim NSP	40
2.21	Clearview beim VisibleHuman	40
3.1	Ausschnitt der Datensatzstruktur	47
3.2	Oberflächenmodelle von Hals und Leber	48
3.3	Aufgabenspezifische Visualisierungen	49
3.4	Konzeptskizze	52
3.5	Hierarchie der gespeicherten Metainformationen	53
3.6	Distanz- und Schnittvolumen-Diagonalmatrix	59
3.7	Verdeckungsmatrix	61
3.8	Kategorisierungsprozess	68
3.9	Bilder des Prototypen	71
3.10	Verschiedene Kontextvisualisierung	73
3.11	globale Transparenz-Verdeckungs -Funktion	77

4.1	Informationsfluss zwischen den Modulen	87
4.2	Internes Netzwerk des Makromoduls METKRelations	88
4.3	Panel des METKStructursRelations -Moduls	91
4.4	Internes Netzwerk von AutoEmphasis	93
4.5	Panel von METKAutoEmphasis	94
4.6	Panel von METKAutoEmphasis 2	95
4.7	Beispielnetzwerk für eine Anwendung	99
5.1	Ausbreitung der Erkrankung	102
5.2	Risiko für oder durch eine Struktur	103
5.3	Risiko einer anatomischen Strukturart	104
5.4	Inraheptische Gefäßsysteme	106
5.5	Kontext zur Lokalisation	109
5.6	Globale Sichtbarkeit: Leber	111
5.7	Globale Sichtbarkeit: Hals	112
5.8	Lokale Sichtbarkeit: Leber und Hals	113
5.9	Transparenz-Transferfunktion für globale Sichtbarkeit.	114

Literaturverzeichnis

- [BADE et al. 2004a] BADE, Ragnar ; MIRSCHEL, Sebastian ; HAASE, Tina ; KRÜGER, Arno ; HINDENNACH, Milo ; OLDHAFFER, Karl J. ; PREIM, Bernhard: Visualisierungstechniken für die Fallbasierte Chirurgieausbildung. In: *Rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme in der Medizin*, Shaker-Verlag, 2004, S. 13–24
- [BADE et al. 2004b] BADE, Ragnar ; MIRSCHEL, Sebastian ; OLDHAFFER, Karl J. ; PREIM, Bernhard: Ein fallbasiertes Lernsystem für die Behandlung von Lebertumoren. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*, Springer, 2004 (Informatik aktuell), S. 438–442
- [BADE 2008] BADE, Ragner: *Interaktive und dynamische Visualisierung für die chirurgische Ausbildung und Interventionsplanung*. Aachen, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Dissertation, Juni 2008. – Magdeburger Schriften zur Visualisierung Band 2
- [BALABANIAN et al. 2008] BALABANIAN, Jean-Paul ; YSTAD, Martin ; VIOLA, Ivan ; LUNDERVOLD, Arvid ; HAUSER, Helwig ; GRÖLLER, Meister E.: Hierarchical Volume Visualization of Brain Anatomy. In: OLIVER DEUSSEN, Dietmar S. (Hrsg.): *VMV 2008, Vision, Modeling and Visualizatio*. Konstanz, Deutschland : Published in the Proceedings of the Fall Workshop on Vision, Modeling and Visualization (VMV 2008), Oktober 2008, S. 313–322
- [BALDOCK und BURGER 2005] BALDOCK, Richard ; BURGER, Albert: Anatomical ontologies: names and places in biology. In: *Genome Biology 2005*, 6 (2005), März, Nr. 108, S. 108.1 – 108.6
- [BARTZ et al. 2004] BARTZ, D. ; ORMAN, J. ; GÜRUIT, Ö.: Accurate Volumetric Measurements of Anatomical Cavities. In: *Methods of Information in Medicine (Special Issue Advances in Biomedical Image Analysis 43)* (2004), Nr. 4, S. 331–335
- [BISMUTH 1982] BISMUTH, Henri: Surgical anatomy and anatomical surgery of the liver. In: *World Journal of Surgery* 6 (1982), Nr. 1, S. 3 –9
- [BLOOMENTHAL 1994] BLOOMENTHAL, Jules: An implicit surface polygonizer. (1994), S. 324–349

- [COUINAUD 1957] COUINAUD, Claude: *Le foie; études anatomiques et chirurgicales*. Paris : Masson, 1957
- [DIEPSTRATEN et al. 2002] DIEPSTRATEN, J. ; WEISKOPF, D. ; ERTL, T.: Transparency in interactive technical illustrations. In: *Proceedings of Eurographics' 02*, 2002, S. 317–326
- [DIEPSTRATEN et al. 2003] DIEPSTRATEN, J. ; WEISKOPF, D. ; ERTL, T.: Interactive cutaway illustrations. In: *Proceedings of Eurographics' 03*, 2003, S. 523–532
- [FEINER und SELIGMANN 1992] FEINER, S. ; SELIGMANN, D.: Cutaways and ghosting: Satisfying visibility constraints in dynamic 3D illustrations. In: *Visual Computer: International Journal of Computer Graphics* 8 (1992), S. 292–302
- [FRAUNHOFER MEVIS 2009] FRAUNHOFER MEVIS: *MeVisLab Home Page*. 2009. – URL <http://www.mevislab.de/mevislab/features/>. – letzter Zugriff am 12.07.2009
- [HÖHNE et al. 2003] HÖHNE, Karl H. ; PFLESSER, Bernhard ; POMMERT, Andreas ; PRIESMEYER, Kay ; RIEMER, Martin ; SCHIEMANN, Thomas ; SCHUBERT, Rainer ; TIEDE, Ulf ; FREDERKING, Hans ; GEHRMANN, Sebastian ; NOSTER, Stefan ; SCHUMACHER, Udo: *VOXEL-MAN 3D-Navigator: Inner Organs - Regional, Systemic and Radiological Anatomy*. DVD-ROM. 2003
- [HÖHNE et al. 1995] HÖHNE, Karl H. ; PFLESSER, Bernhard ; POMMERT, Andreas ; RIEMER, Martin ; SCHIEMANN, Thomas ; SCHUBERT, Rainer ; TIEDE, Ulf: A new representation of knowledge concerning human anatomy and function. In: *Nature Medicine* (1) 1 (1995), Nr. 6, S. 506–511
- [HÖHNE et al. 2001] HÖHNE, K.H. ; PETERSIK, A. ; PFLESSER, B. ; POMMERT, A. ; PRIESMEYER, K. ; RIEMER, M. ; SCHIEMANN, T. ; SCHUBERT, R. ; TIEDE, U. ; FREDERKING, h. ; GEHRMANN, S. ; NOSTER, S. ; SCHUHMANCHER, U.: *Voxelmann 3D-Navigator: Brain and skull . Regional, Functional and Radiological Anatomie*. Heidelberg : Springer Electronic Media, 2001
- [JANKE et al. 2006] JANKE, Claudia ; TIETJEN, Christian ; BAER, Alexandra ; ZWICK, Carola ; PREIM, Bernhard ; HERTEL, Ilka ; STRAUSS, Gero: Design und Realisierung eines Softwareassistenten zur Planung von Halsoperationen. In: *Mensch & Computer 2006: Mensch und Computer im StrukturWandel*, Oldenbourg Verlag, 2006, S. 373–378
- [KRÜGER et al. 2005] KRÜGER, Arno ; TIETJEN, Christian ; HINTZE, Jana ; PREIM, Bernhard ; HERTEL, Ilka ; STRAUSS, Gero: Interactive Visualization for Neck-Dissection Planning. In: *EuroVis*, 2005, S. 295–302

- [KRÜGER et al. 2006] KRÜGER, Jens ; SCHNEIDER, Jens ; WESTERMANN, Rüdiger: ClearView: An Interactive Context Preserving Hotspot Visualization Technique. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 12 (2006), Nr. 5, S. 941–948
- [LANG und NAGEL 2006] LANG, H. ; NAGEL, E.: *Pichlmayrs Chirurgische Therapie Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie*. in Springer e-books. 2006
- [LAYER 2008] LAYER, G.: Radiologische „Überdiagnostik“ in der Onkologie. In: *Der Onkologe* 14 (2008), Juli, Nr. 7, S. 675–690
- [LAYER und GALLKOWSKI 2008] LAYER, G. ; GALLKOWSKI, U.: *Lebertumoren*. Kap. 5, S. 87–119, Springer Berlin Heidelberg, 2008
- [LORENSEN und CLINE 1987] LORENSEN, William E. ; CLINE, Harvey E.: Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In: *SIGGRAPH '87: Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM, 1987, S. 163–169
- [MEISSNER et al. 1999] MEISSNER, Michael ; HOFFMANN, Ulrich ; STRASSER, und W.: Enabling Classification and Shading for 3D Texture Mapping Based Volume Rendering. In: *VISUALIZATION '99: Proceedings of the 10th IEEE Visualization 1999 Conference (VIS '99)*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1999, S. 207–214
- [MÜHLER et al. 2006] MÜHLER, Konrad ; BADE, Ragnar ; PREIM, Bernhard: Adaptive script based animations for intervention planning. In: *Proc. of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*, Springer, 2006 (Lecture Notes in Computer Science), S. 984–991
- [MÜHLER et al. 2007] MÜHLER, Konrad ; NEUGEBAUER, Mathias ; TIETJEN, Christian ; PREIM, Bernhard: Viewpoint Selection for Intervention Planning. In: MUSETH, K. (Hrsg.) ; MÖLLER, T. (Hrsg.) ; YNNERMAN, A. (Hrsg.): *IEEE/Eurographics Symposium on Visualization (EuroVis)*, 2007, S. 267–274
- [MÜHLER et al. 2008] MÜHLER, Konrad ; TIETJEN, Christian ; RITTER, Felix ; PREIM, Bernhard: The Medical Exploration Toolkit -An efficient support for visual computing in surgical planning and training / Otto-von-Guericke Universität. Magdeburg, 2008. – Forschungsbericht
- [NEUGEBAUER 2006] NEUGEBAUER, Mathias: *Entwicklung eines Verfahrens zur parametrisierbaren Kamerapositionierung in medizinischen Visualisierungen*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diplomarbeit, 2006

- [POMMERT et al. 2001] POMMERT, Andreas ; HÖHNE, Karl H. ; PFLESSER, Bernhard ; HEINZ, Karl ; PFLESSER, Höhne B. ; RICHTER, Ernst ; RIEMER, Martin ; SCHIEMANN, Thomas ; SCHUBERT, Rainer ; SCHUMACHER, Udo ; TIEDE, Ulf: Creating a high-resolution spatial/symbolic model of the inner organs based on the Visible Human. In: *Medical Image Analysis* 5 (2001), Nr. 2, S. 221–228
- [PREIM und BARTZ 2007] PREIM, Bernhard ; BARTZ, Dirk: *Visualization in Medicine: Theory, Algorithms, and Applications (The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics)*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2007
- [PREIM und PEITGEN 2004] PREIM, Bernhard ; PEITGEN, Heinz-Otto: Medizinische Visualisierung: Methoden und Anwendungen in der Ausbildung und Therapieplanung. In: *it - Information Technology* 46 (2004), Nr. 3, S. 123–128
- [PREIM und RITTER 2002] PREIM, Bernhard ; RITTER, Felix: Techniken zur Hervorhebung von Objekten in medizinischen 3d-Visualisierungen. In: *SimVis2002*, 2002, S. 187–200
- [PREIM et al. 2001] PREIM, Bernhard ; SONNET, Henry ; SPINDLER, Wolf ; PEITGEN, Heinz-Otto: Interaktive und automatische Vermessung in medizinischen 3d-Visualisierungen. In: SCHULZE, Thomas (Hrsg.) ; SCHLECHTWEIG, Stefan (Hrsg.) ; HINZ, Volkmar (Hrsg.): *SimVis*, SCS Publishing House e.V., 2001, S. 361–374
- [PREIM et al. 2003] PREIM, Bernhard ; TIETJEN, Christian ; HINDENNACH, Milo ; PEITGEN, Heinz-Otto: Integration automatischer Abstandsberechnungen in die Interventionsplanung. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*, 2003, S. 259–263
- [PREIM et al. 2002] PREIM, Bernhard ; TIETJEN, Christian ; SPINDLER, Wolf ; PEITGEN, Heinz O.: Integration of measurement tools in medical 3d visualizations. In: *VIS '02: Proceedings of the conference on Visualization '02*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2002, S. 21–28
- [RAUTEK et al. 2008] RAUTEK, Peter ; BRUCKNER, Stefan ; GRÖLLER, M. E.: Interaction-Dependent Semantics for Illustrative Volume Rendering. In: *Eurographics/ IEEE-VGTC Symposium on Visualization 2008* 27 (2008), Nr. 3, S. 8
- [REINELT 1994] REINELT, Gerhard: *Lecture Notes in Computer Science*. Bd. 840: *The Traveling Salesman - Computational Solutions for TSP Applications*. Kap. Construction Heuristics, S. 73–99. Heidelberg : Springer Berlin, 1994
- [REZK-SALAMA et al. 2000] REZK-SALAMA, C. ; HASTREITER, P. ; SCHERER, J. ; GREIMER, G.: Automatic Adjustment of Transferfunctions for 3D Volume Visualisation. In: *Vision, modeling, and visualization 2000: proceedings*. Saarbrücken : IOS Press, November 2000, S. 357 – 364

- [RITTER 2005] RITTER, Felix: *Interaktives Illustrieren von Informationsräumen - Räumliche und funktionale Zusammenhänge spielerisch begreifen*. Germany, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Dissertation, 2005
- [ROBBINS et al. 1991] ROBBINS, K.T. ; MEDINA, J.E. ; WOLFE, G.T. ; LEVINE, P.A. ; R.B.SSESSIONS ; PRUET, C.W.: Standardizing neck dissection terminology. Official report of the Academy's Committee for Head and Neck Surgery and Oncology. In: *Archives of otolaryngology-head & neck surgery* 117 (1991), Nr. 6, S. 601–605
- [RÖSSLING et al. 2009] RÖSSLING, Ivo ; DYRUS, C. ; DORNHEIM, Lars ; PREIM, Bernhard: *Bildverarbeitung für die Medizin 2009*. Kap. Effiziente automatische Bestimmung interventionsrelevanter Entfernungsmaße, S. 66–70. Heidelberg : Springer Verlag, März 2009
- [SALAH et al. 2008] SALAH, Z. ; CUNNINGHAM, D. ; STRASSER, W. ; BARTZ, D.: Perceptually Emphasized Illustrative Visualization for Multiple Objects. In: WILHELM-SCHICKARD-INSTITUT (Hrsg.): *WSI-TechReports WSI-2008-07*. Tübingen : Universitätsbibliothek Tübingen, Juli 2008, S. 1–12
- [SCHUBERT und HÖHNE 1998] SCHUBERT, Rainer ; HÖHNE, Karl H.: Partonomies for interactive explorable 3D-Models of Anatomy. In: *Paradigm Shift in Health Care Information Systems: Clinical Infrastructures for the 21st Century, Proc. 1998 AMIA Annual Fall Symposium*, Hanley & Belfus, 1998, S. 433–437
- [SEEMANN et al. 2001] SEEMANN, M.D. ; GEBICKE, K. ; LUBOLDT, W. ; ALBES, J.M. ; VOLLMAR, J. ; SCHÄFER, J.F. ; BEINERT, T. ; ENGLMEIER, K.-H. ; BITZER, M. ; CLAUSSEN, C.D.: Hybrid rendering of the chest and surface-based virtual bronchoscopy in the operative and interventional therapy control. In: *RoFo Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Bildgebenden Verfahren* 173 (7), 173 (2001), Nr. 7, S. 650–657
- [STROTHOTTE und SCHLECHTWEG 2002] STROTHOTTE, Thomas ; SCHLECHTWEG, Stefan: *Non-photorealistic computer graphics: modeling, rendering, and animation*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2002
- [TIETJEN et al. 2005] TIETJEN, Christian ; ISENBERG, Tobias ; PREIM, Bernhard: Combining Silhouettes, Surface, and Volume Rendering for Surgery Education and Planning. In: *Euro Vis*, 2005, S. 303–310
- [TIETJEN et al. 2006] TIETJEN, Christian ; PREIM, Bernhard ; HERTEL, Ilka ; STRAUSS, Gero: A Software-Assistant for Pre-operative Planning and Visualization of Neck Dissections. In: *CURAC*, Oktober 2006, S. 176–177

- [VIOLA et al. 2006] VIOLA, Ivan ; FEIXAS, Miquel ; SBERT, Mateu ; GRÖLLER, Meister E.: Importance-Driven Focus of Attention. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 12 (2006), Oktober, Nr. 5, S. 933–940
- [VIOLA und GRÖLLER 2005] VIOLA, Ivan ; GRÖLLER, Meister E.: Smart Visibility in Visualization. In: NEUMANN, L. (Hrsg.) ; SBERT, M. (Hrsg.) ; GOOCH, B. (Hrsg.) ; PURGATHOFER, W. (Hrsg.): *Proceedings of EG Workshop on Computational Aesthetics Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*. Girona, Spain : European Association for Computer Graphics, Eurographics Association, 5 2005, S. 209–216
- [VIOLA et al. 2005] VIOLA, Ivan ; KANITSAR, Armin ; GRÖLLER, Meister E.: Importance-Driven Feature Enhancement in Volume Visualization. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 11 (2005), Nr. 4, S. 408–418
- [WALDEYER und MAYET 1987] WALDEYER, Anton ; MAYET, Anton: *Anatomie des Menschen*. 15. Walter de Gruyter & Co, 1987
- [WITTEKIND et al. 2005] WITTEKIND, Ch. ; SOBIN, L. H. ; KLIMPFINGER, M.: *TNM-Atlas*. Springer Berlin Heidelberg, 2005
- [WOHLFART und HAUSER 2007] WOHLFART, Michael ; HAUSER, Helwig: Story Telling for Presentation in Volume Visualization. In: *EuroVis*, 2007, S. 91–98