

Christoph Gieß
Dr. sc. hum.

Neue Verfahren für die computergestützte Operationsplanung: Haptisches Rendering und Verteilte Bildverarbeitung

Geboren am 13.02.1973 in Leipzig
Reifeprüfung am 29.06.1991 in Geithain
Studiengang der Fachrichtung Medizinische Informatik vom WS 1992 bis WS 1997
Vordiplom am 25.11.1994 an der FH Heilbronn/Universität Heidelberg
Diplom am 13.11.1997 an der FH Heilbronn/Universität Heidelberg

Promotionsfach: Medizinische Informatik
Doktorvater: Prof. Dr. H.-P. Meinzer

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Integration haptischer Eingabegeräte in Systeme für die Operationsplanung. Dabei wurden neue Verfahren auf dem Gebiet der verteilten Bildverarbeitung, des haptischen Renderings sowie der hybriden Visualisierung entwickelt.

Anhand eines Forschungsprototypen wurden in einem ersten Schritt die Schwachstellen bestehender haptisch steuerbarer Applikationen identifiziert und daraus Anforderungen für den Einsatz haptischer Geräte im Bereich der Operationsplanung definiert. Zu diesen Anforderungen gehört die Ausführung von haptischem Rendering und der graphischen Darstellung auf verschiedenen Rechnern, die Entwicklung von Verfahren der Kraftberechnung auf unsegmentierten Volumendaten sowie die Beschleunigung der graphischen Darstellung.

Das dem haptischen Rendering unterliegende Modell verwendet dreidimensionale medizinische Datensätze zur Kraftberechnung. Um auf diese Daten von verschiedenen Rechnern zugreifen zu können, wurde ein verteiltes Bildverarbeitungssystem als Erweiterung der klassischen Client/Server-Architektur entwickelt. Zu dessen Implementierung wurde CORBA verwendet, in dessen Gesamtkonzept sich das System nahtlos einbettet. Aus Geschwindigkeitsgründen ist es jedoch notwendig, Methodenaufrufe und Bildobjekte in einem Server zusammenzufassen. Das dabei entwickelte Verfahren läßt sich bei der verteilten Manipulation von beliebigen großen Datenstrukturen anwenden. Verwendung findet desweiteren ein verteiltes Reference-Counting Schema, das an den Datenfluß angepaßt wurde und gleichzeitig der Speicherbereinigung dient.

Für das haptische Rendering wurden zwei Verfahren entwickelt, die Kraftberechnungen auf Volumendaten durchführen. Das eine Verfahren kann auf unsegmentierte Datensätze angewandt werden und ermöglicht eine mit der direkten Volumenvisualisierung kohärente taktile Wahrnehmung. Das zweite Verfahren läßt sich zur haptischen Darstellung feiner Strukturen verwenden, wie sie beispielsweise Gefäßbäume darstellen. Ausgangspunkt dieses Verfahrens bilden vorsegmentierte Daten, die mittels zweier Distanztransformationen bearbeitet werden. Die darauf berechneten Kräfte geben dem Anwender eine präzise Führung im Inneren von Strukturen.

Implementiert wurden beide Verfahren als Erweiterung von GHOST, einer kommerziellen Bibliothek für das haptische Rendering. Diese Bibliothek wurde mittels CORBA-Wrapper gekapselt, um deren Funktionalität über das Netzwerk bereitzustellen. Durch die Integration in das Bildverarbeitungssystem können Clients auf das haptische Rendering und die Bildverarbeitungsfunktionen in einheitlicher Weise zugreifen.

Für die graphische Darstellung der Daten wurde ein hybrides Rendering gewählt, bei dem die medizinischen Daten mittels Volumenrendering und virtuelle Objekte mittels

Oberflächenrenderings visualisiert werden. Die Implementierung erfolgte plattformunabhängig mit OpenGL. Auf Graphikworkstations lassen sich mit diesem Verfahren akzeptable Bildwiederholraten erzielen, auf PC-Systemen sind sie jedoch unzureichend für interaktive Applikationen. Zur Optimierung wurden 42 Funktionen zum Schreiben der 6 OpenGL-Buffer auf 8 verschiedenen Systemen getestet. Durch Auswahl der optimalen Funktion konnte die Darstellung bis zu Faktor 100 beschleunigt werden. Die damit erzielbaren Bildwiederholraten sind jedoch noch nicht ausreichend. Aus diesem Grund wurden zwei Verfahren entwickelt, welche die darzustellende Datenmenge reduzieren und damit die erforderlichen Bildwiederholraten ermöglichen.

Bei den durchgeführten Tests zeigten unerfahrene Anwender deutliche Probleme bei der Interaktion mit der dreidimensionalen virtuellen Umgebung, in der sie ihre genaue Position nicht lokalisieren konnten. Aus der Wahrnehmungstheorie ist bekannt, daß sich durch den Einsatz von Schatten die räumliche Orientierung verbessern läßt. In einem Versuch mit 32 Personen wurde untersucht, ob dies auch für Interaktion mittels haptischer Eingabegeräte gilt. Dabei konnte nachgewiesen werden, daß die Bearbeitungszeit der Versuche signifikant reduziert wurde, wenn die Darstellung mit Schatten erfolgte.

Die Anwendung der entwickelten Verfahren wurde an mehreren Applikationen demonstriert. Diese bestehen aus einem konturbasierten und einem regionenorientierten Segmentierungsverfahren sowie zwei Planungssystemen aus der Herz- und Leberchirurgie. Letztere zeigen die Einsetzbarkeit bei klinischen Fragestellungen. Die Flexibilität der zugrundeliegenden Architektur beweisen zudem Programme zur internetbasierten Volumenvisualisierung und der Generierung graphischer Benutzerschnittstellen. Desweiteren läßt sich das gesamte Systems mittels verschiedener Skriptsprachen steuern.

Mit den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren bieten sich somit neue Möglichkeiten für die Erstellung von Operationsplanungssystemen der nächsten Generation.