Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 79 (1988)

Heft: 11

Artikel: Interaktive Bearbeitung und Darstellung medizinischer Volumen-Bilddaten

Autor: Hiltebrand, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904042

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Interaktive Bearbeitung und Darstellung medizinischer Volumen-Bilddaten

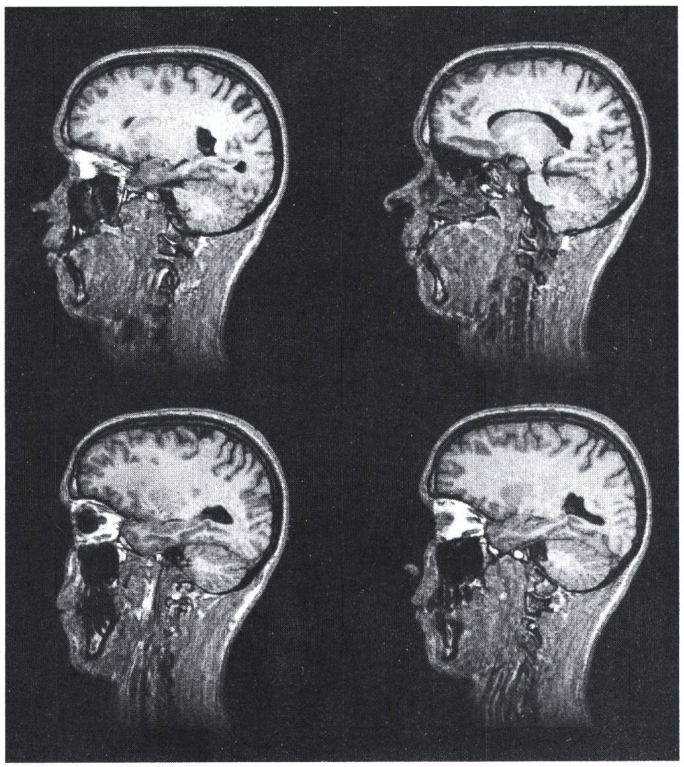
E. Hiltebrand

Die interaktive Darstellung und Manipulation von Volumendaten, wie sie in der medizinischen Diagnostik verwendet werden, ist nur mit sehr leistungsfähigen Rechnersystemen möglich. Es wird ein System mit parallel arbeitenden Transputern beschrieben, das durch die Verwendung kleiner Hardwarezusätze in der Lage ist, die Projektion eines Datenwürfels von 256^3 Volumenelementen innerhalb einer Sekunde zu berechnen.

Pour la représentation et manipulation interactives de données volumétriques comme elles s'utilisent dans la diagnostique médicale, on souhaite des systèmes informatiques très performants. Un système avec transputers travaillant en parallèle est décrit qui, à l'aide de petits compléments de matériel, est à même de calculer en une seconde la projection d'un cube de données composé de 256^3 éléments de volume.

Bei medizinischen diagnostischen Untersuchungen mit Hilfe von Magnetresonanz- (MR) und Computer-Tomographie (CT) fallen grosse dreidimensionale Datensätze (Megabytes) an. Ziel der vorliegenden, vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Arbeit war, aus diesen Datensätzen dreidimensionale Bildschirmabbildungen der Objekte (beliebige Schnittflächen und beliebige Projektionswinkel) zu gewinnen. Eine sehr schnelle Verarbeitung der Daten soll eine interaktive Arbeitsweise ermöglichen. Moderne Magnetresonanz-Messsysteme erlauben heute, ein Volumen mit 256^3 Datenelementen (Voxels) innerhalb weniger Minuten aufzunehmen. Es ist deshalb einfach vorherzusehen, dass die Bedeutung von 3D-Bildoperationen, wie die Darstellung schattierter Oberflächen, Segmentierung und das Legen von Schnittflächen, in naher Zukunft grosse klinische Bedeutung erlangen wird.

Die 3D-Informationen von Untersuchungsmethoden wie MR oder CT fallen typischerweise in der Form einer Serie von ebenen Schnitten durch das zu untersuchende Objekt an (Fig. 1). Stapelt man diese Schnitte aufeinander, so entsteht eine dreidimensionale Datenmatrix. Mögliche Anwendungen für die Darstellung von Volumendaten gibt es viele, unter anderem in der klinischen Diagnostik, Planung von chirurgischen Eingriffen oder in der Strahlentherapie. Frühere Arbeiten [1]



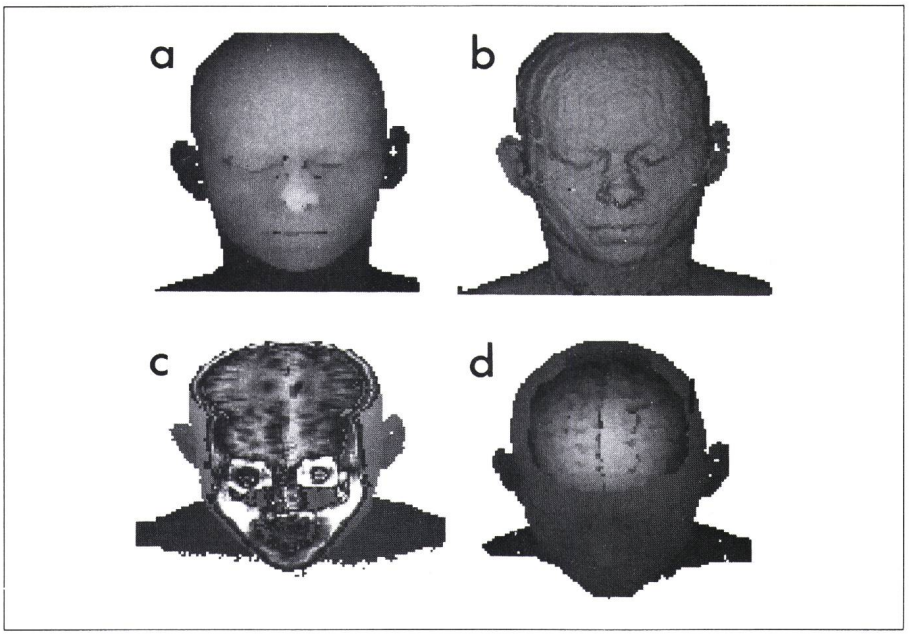
Figur 1
Einzelne Schnitte einer Magnetresonanz-Aufnahme

Adresse des Autors
Edi Hiltebrand, dipl. El.-Ing. ETH, Institut für Elektronik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

befassten sich vor allem mit der softwaremässigen Auswertung der gemessenen Datenpakete auf relativ langsamen Universalrechnern mit Verarbeitungszeiten von Minuten bis Stunden. Selbst mit den schnellsten verfügbaren Einprozessorsystemen dauert die Projektion eines Würfels mit 128^3 Volumenelementen (Voxels) über 5 Sekunden.

Darstellungsalgorithmen

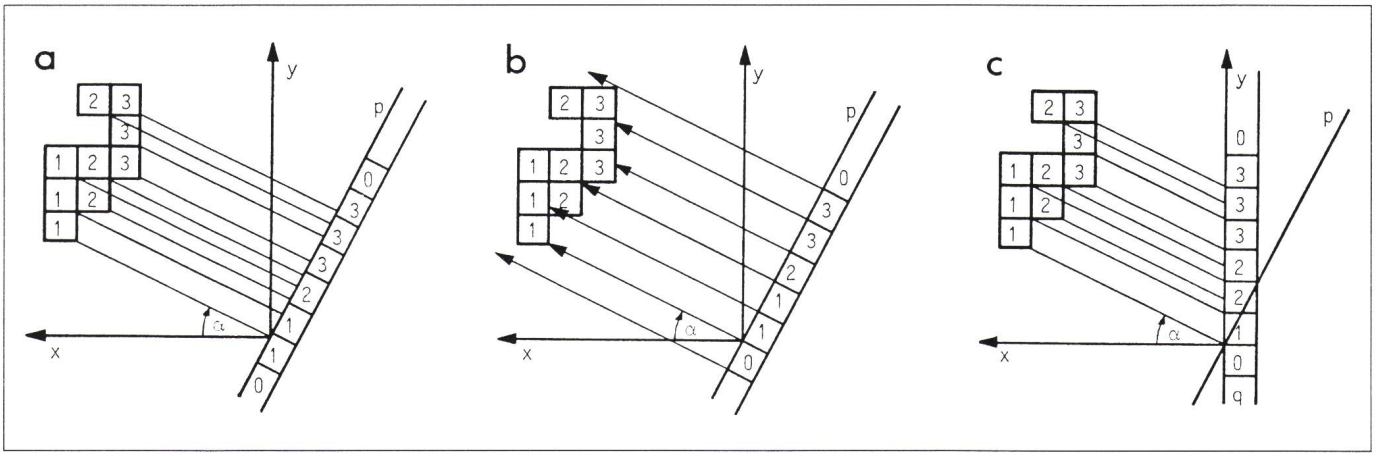
Zum Sichtbarmachen von 3D-Oberflächen (Fig. 2) auf 2D-Bildschirmen müssen die Flächen in irgendeiner Weise schattiert werden. Üblicherweise geschieht dies, indem die Helligkeitswerte aus der Distanz zwischen Original- und Projektionspunkten hergeleitet werden (im einfachsten Fall distanzproportionale Helligkeitswerte). Dieses Verfahren kann mit einer Neigungsschattierung [2] kombiniert werden. Zur Berechnung der Oberflächenelemente aus den Volumendaten finden verschiedene Methoden Verwendung. Die älteste Gruppe extrahiert in einer ersten Stufe die Oberfläche aus den Volumendaten [3] und approximiert diese mit kachelartigen Flächenelementen. Für die Darstellung auf dem Bildschirm können dann Standard-Computergrafik-Algorithmen verwendet werden. Mit diesen Methoden erreicht man eine beachtliche Datenreduktion, bezahlt diese aber mit einem hohen Rechenaufwand bei der Oberflächenextraktion. Will man unerwünschte Teile eines Objekts entfernen, muss zudem der ganze Verarbeitungsschritt erneut ausgeführt werden.



Figur 2 Darstellungen von 3D-Oberflächen (128^3 Voxels)

a Distanzschattierung
b Neigungsschattierung (Gradientenschattierung)
c Zwei-Schnittebenen-Darstellung: Abbildung der Dichtewerte auf zwei Schnittflächen
d Kopf transparent, Gehirn (segmentiert) opak

Neuere Darstellungsalgorithmen behandeln die Daten immer als Volumenelemente [4]. Die Darstellung einer schattierten Oberfläche kann dabei mit einer Back-to-Front (BTF-) [5] oder mit der Ray-Casting-Methode [6] generiert werden (Fig. 3). Bei der BTF-Methode werden alle Schnitte, Reihen und Kolonnen des Volumens in der Reihenfolge abnehmender Distanz zum Beobachter auf Opakheit (Undurchsichtigkeit) getestet. Alle Voxel, die nicht transparent sind, werden auf die Projektionsebene abgebildet und überschreiben früher bearbeitete Elemente, was die Verdeckung unsichtbarer Teile ergibt. Bei der Ray-Casting-Methode wird entlang von Strahlen von der Projektionsebene auf das Ob-



Figur 3 Verschiedene Darstellungsalgorithmen

Veranschaulicht am Beispiel eines einfachen zweidimensionalen Objekts

1,2,3 Schichtnummern
x,y Hauptachsen
p Projektionsebene
α Neigungswinkel der Projektionsebene zur yz-Ebene
q Prebufferebene

a Back-to Front-Projektion
b Ray-Casting-Projektion
c Prebuffer-Methode

jekt zu gearbeitet, bis das erste opake Voxel getroffen wird. Heutige Implementationen beider Algorithmen sind sehr zeitaufwendig.

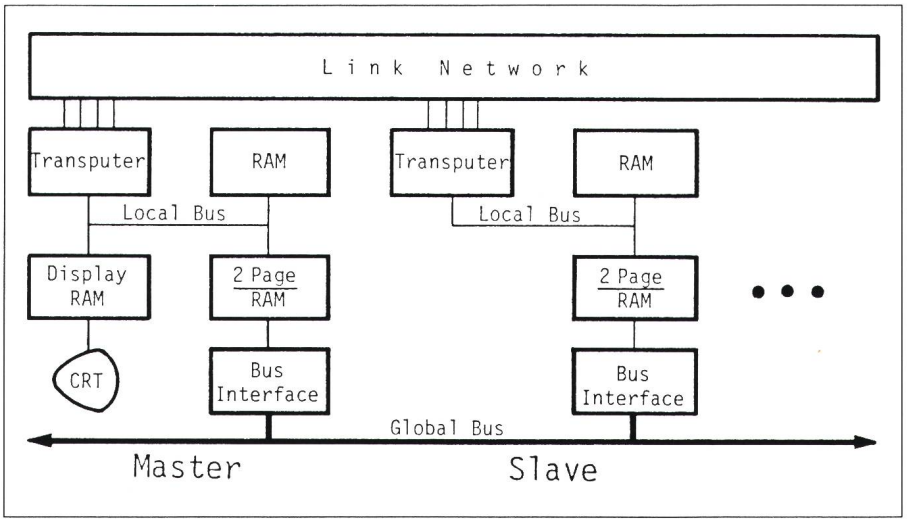
Bei der Prebuffer-(Zwischenspeicher-)Methode[1][7] wird die Berechnung einer Ansicht in zwei Teilschritte zerlegt (Fig. 3c). Zuerst wird eine Projektion auf eine Hauptebene q ausgeführt, und zwar auf die, welche senkrecht zu derjenigen Koordinatenachse steht, die mit der Projektionsrichtung einen Winkel α von weniger als 45 Grad bildet. Die endgültige Distanzbufferinformation wird durch eine 2D-Transformation des Prebuffers berechnet. Der Hauptvorteil der Zerlegung in zwei Schritte liegt in der Grösseninvarianz des Prebuffers, die aus der Parallelität der Projektionsebene mit den Schnitten des Datenvolumens resultiert. Jeder Schnitt wird ohne Veränderung seiner Grösse in den Prebuffer übertragen und dabei um einen winkelabhängigen Bruchteil des Rasterintervalls gegenüber dem dahinterliegenden Schnitt verschoben. Dadurch wird die Berechnung der Voxeladressen sowohl mit der Ray-Castingals auch mit der BTF-Methode sehr einfach und zeitsparend.

Wie die Implementation des BTF-Prebuffer-Algorithmus auf einem Ein-Transputersystem mit einer Speicherkapazität für 128^3 Datensätze gezeigt hat, kann der Prebuffer für eine beliebige Projektionsrichtung in etwa 8 Sekunden generiert werden. Setzt man die Kantenlänge des Datenwürfels gleich n, so ist der Rechenaufwand proportional zu an^3+bn^2+cn, was für grosse Werte von n mit an^3 angenähert werden kann. Die Berechnung der distanzcodierten Schattierung und die 2D-Transformation mit einer aliasingfreien[2] zweistufigen Methode [8] dauert 0,6 bis 1,2 Sekunden, je nach der durch die Projektionsrichtung gegebenen Grösse des Prebuffers und der Objektansicht. Die 2D-Transformation könnte durch den Einsatz eines Warpers[3] wesentlich beschleunigt werden.

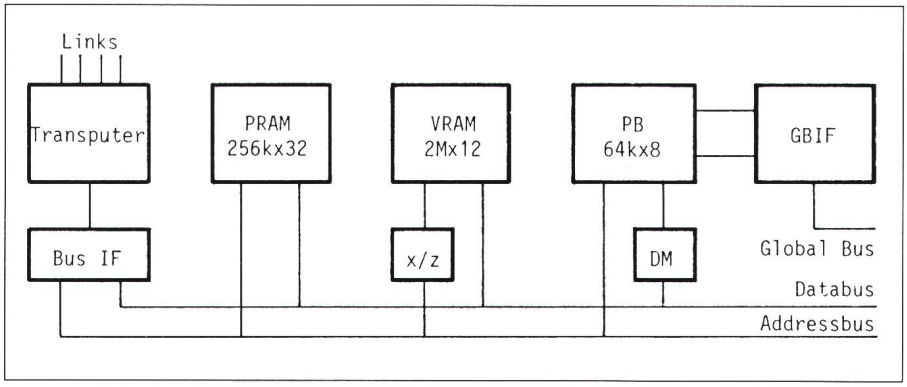
Je nach Qualität der gemessenen Daten sind vor der Segmentierung[4] und Darstellung einige Vorverarbeitungsschritte von Vorteil. Die Datenmatrix wird üblicherweise so interpoliert, dass die örtliche Auflösung in allen Richtungen gleich (isotrop) ist. Standard-Filtrierungsoperationen (z.B. Tiefpassfilter) dienen der Unterdrückung von Störungen und der Steigerung der Oberflächenqualität. Für die Segmentierung wird ein Schwellenentscheid oder eine Methode, die auf Differenzen von Gaussfunktionen [9] basiert, verwendet.

Voxelbasierter Darstellungsprozessor

Der im Institut für Elektronik an der ETH Zürich entwickelte, voxelbasierte Darstellungsrechner (VDP) erlaubt eine interaktive Manipulation und Darstellung von Objekten in einer kubischen Datenmatrix mit sehr kurzen Antwortzeiten. Seine Architektur ist modular und weitgehend regulär, was eine VLSI-Implementation erlauben würde. Dank dem Prebufferalgorithmus werden nur einfache Operationen wie Addition und Vergleich für die Berechnung des Prebuffers (aus dem 3D-Datensatz) benötigt. Die Projektion wird durch zwei Tabellen, die die Koordinatenoffsets der einzelnen Schnitte im Prebuffer enthalten, ge-



Figur 4 Blockschaltbild des Darstellungsrechners



Figur 5 Detailliertes Blockschaltbild eines Slaveprozessors

PRAM	Programmspeicher	x/z	Adressumschalter
VRAM	Volumendatenspeicher	GBIF	Parallelbus Interface
PB	Prebuffer	DM	Datenmanipulator

[1] Mit Prebuffer ist hier der Prebufferinhalt gemeint.

[2] Aliasing = Verletzen des Abtasttheorems

[3] Spezieller Transformationsrechner

[4] Zusammenfassung von Elementen mit gleichen Eigenschaften

steuert. Die Entwurfsziele des VDP waren folgende:

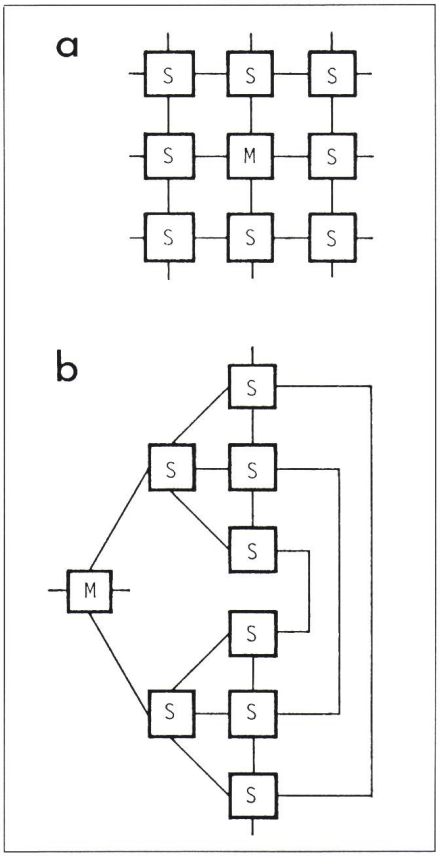
- die interaktive Darstellung segmentierter 3D-Objekte auf einem 2D-Schirm mit einer kurzen Antwortzeit des Systems,
- das interaktive Entfernen von verdeckenden Teilen mit beliebigen ebenen oder gekrümmten Flächen zur Untersuchung der internen Struktur eines Objekts,
- eine möglichst kleine Anzahl von Vorverarbeitungsschritten für die Darstellung eines 3D-Objekts,
- die Möglichkeit für eine gemischte Darstellung von schattierten Oberflächen und gemessenen Daten,
- die Möglichkeit, gemessene Daten auf beliebigen ebenen Schnitten darzustellen,
- die Möglichkeit, berechnete Ansichten zur Verstärkung des räumlichen Eindrucks als Filmsequenz abzurufen.

Überlegungen beim Systementwurf

Da die Zugriffsgeschwindigkeit der dynamischen Speicherbausteine ziemlich bescheiden ist, drängt sich die Verwendung mehrerer parallel arbeitender Subsysteme mit lokalem Volumendatenspeicher auf. Die Aufteilung des Prebufferspeichers vermeidet Zugriffskonflikte und vereinfacht die Elimination verdeckter Objektteile beim BTF-Projektionsalgorithmus. Nachfolgend werden die vielversprechendsten Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistung des VDP aufgelistet:

- Parallelisierung des Algorithmus,
- Verwendung spezialisierter Hardware
- Verwendung von Mehrprozessorsystemen,
- Verwendung von Pipelining,
- Verwendung einer schnelleren Technologie (ECL).

Eine erste Realisierungsabsicht zielte auf die Verwendung einer Kombination von anwendungsspezifischer Hardware, einer parallelen Version des Algorithmus, sowie von Pipelining beim Generieren des Prebuffers [10] ab. Sie hätte zu einer sehr schnellen Implementation des Darstellungsalgorithmus geführt, wäre aber anderseits für die Segmentierung der Volumendaten nicht besonders geeignet gewesen. Dies, die ungenügende Flexibilität für zukünftige Anforderungen und die Verfügbarkeit des auf parallele Verarbeitung ausgerichteten Transputers [11; 12] führte zum Entwurf eines universell einsetzbaren Mehrprozessorsystems.



Figur 6 Zwei mögliche Topologien des Linknetzwerks

a Gitterstruktur
b Baumähnliche Struktur
M Master
S Slaves

Mehr-Transputer-Darstellungsrechner

Nachfolgend wird das Konzept eines 9-Transputer-VDP-Systems erläutert (Fig. 4). Der Masterprozessor, der über einen Link mit einem Tischcomputer verbunden ist, nimmt die Benutzereingaben entgegen, berechnet globale Steuerinformationen, verteilt über das Linknetzwerk Aufträge an die Slaveprozessoren (Fig. 5), sammelt die Teilprojektionen (Prebuffer) ein und fügt diese im Bildspeicher zusammen. Der Tischcomputer dient lediglich als Terminal, Massenspeicher und Netzteil.

Die Prozessorknoten sollten so verbunden sein, dass die Teilprebuffer für alle Projektionsrichtungen effizient zusammengefügt werden können. Zwei mögliche Topologien für die Linkverbindungen sind in Figur 6 gezeigt. Das Zusammenfügen (vorzugsweise vor der Transformation) kann durch einen Prozessor sequentiell oder durch mehrere Prozessoren, die teilweise parallel arbeiten, in mehreren Stufen erfolgen. Falls ein einzelner Transputer den Prebuffer zusammensetzt, muss ein Teil der Prebuffer durch einen andern Prozessor transferiert werden, da nur vier Links pro Transputer vorhanden sind. Verwendet man einen mehrstufigen Algorithmus, so müssen, abhängig von der Projektionsrichtung, sehr viele (24) Reihenfolgen des Zusammenfügens der Teilprojektionen unterschieden werden.

Versuche zeigten, dass das Übertragen der Prebuffer über die seriell arbeitenden Links (400 kbyte/s) unverhältnismässig lange dauert. Daher wird im vorliegenden System ein globales paralleles, 8 Bit breites Bussystem für den Transport grosser Datenblöcke verwendet, wie es in [13] vorgeschlagen wurde. Es verbindet die Prozessoren mit einer Datenrate vom 12 Mbyte/s. Die Buszuteilung durch den Masterprozessor (jeweils für ein Datenpaket) und die Synchronisation der Übertragung erfolgt über die seriellen Links. Die Quellen- und Zieladressen werden vom Businterface (GBIF) generiert, und die Daten werden in einem Wechselpuffer (enthalten im PB), der vom lokalen Bus des jeweiligen Prozessors getrennt ist, gespeichert. Nach der vollständigen Übertragung werden die zwei Bereiche des Wechselpuffers getauscht und die Information steht dem Zielprozessor zur Weiterverarbeitung zur Verfügung[5]. Dieses System eignet sich nicht nur für die beschriebene Applikation, sondern ist auch für andere Anwendungen in der Bildverarbeitung sehr nützlich.

Um die Darstellung einer beliebigen Ansicht in einer Sekunde zu berechnen, muss die innerste (am häufigsten ausgeführte) Schleife des Programms durch spezialisierte Schaltungen im Datenpfad der Slaveprozessoren (Fig. 6) beschleunigt werden. Dabei wird die Eigenschaft des Transputers, Datenpakete mit der maximalen Geschwin-

[5] Der Wechselpuffer besitzt 2 Bereiche, so dass gleichzeitig eine Datenmanipulation und eine Datenübermittlung stattfinden kann.

digkeit des angeschlossenen Speichers zu verschieben, ausgenützt. Die Volumendaten werden sequentiell gelesen und in den Prebuffer kopiert, wobei der Datenmanipulator (DM) die Sichtbarkeit jedes Voxels durch einen Schwellenvergleich unter Berücksichtigung der Information von Schnittebenen berechnet. Wenn ein Voxel opak ist, wird sein Abstand von der Projektionsebene in den Prebuffer geschrieben. Der x/z-Adressumschalter vertauscht die Adressleitungen des VRAM entsprechend den x- und z-Achsen des Datenwürfels, was eine Spiegelung des Datenwürfels bewirkt. Dies ist bei bestimmten Projektionsrichtungen notwendig, damit unabhängig von der Projektionsrichtung immer aufeinanderfolgend adressierte Voxel eingelesen werden. Die skizzierte Methode ergibt eine Verarbeitungsrate von 3 Millionen Voxeln pro Sekunde und Prozessor und benötigt nur wenige Schaltkreise, wie Register, Komperatoren und einen Addierer, falls nicht die Schichtnummer, sondern die wirkliche Entfernung zur Projektionsebene in den Prebuffer geschrieben wird. Vergleichen mit einer reinen Softwarelösung bringt dies eine Steigerung der Verarbeitungsleistung um einen Faktor 10 beim Prozess der Datenreduktion vom Volumen auf die Ebene (Prebuffer). Die entsprechenden Projektionszeiten für drei verschiedene Grössen des Datenvolumens und für eine unterschiedliche Anzahl von Slaveprozessoren sind in der Tabelle I zusammengefasst.

Volumen [Voxel]	Slaves 1	4	8
256^3	5,5	2,0	1,0
128^3	0,8	0,3	0,2
64^3	0,2	0,2	0,1

Tabelle I Zeiten für die Berechnung des Gesamtprebuffers

Zeitangabe in Sekunden

Diskussion und Ausblick

Die beschriebene Multi-Transputer-Variante des voxelbasierten Darstellungsrechners (VDP) wurde als Prototyp mit einem Master- und einem Slaveprozessor realisiert. Das System ist sehr leistungsfähig, flexibel und komfortabel, da es in der speziell für den Transputer geschaffenen Hochsprache Occam [14] programmiert wird. Durch die Verwendung von höchstintegrierten verbrauchsarmen CMOS-Schaltkreisen resultierte eine zuverlässige, kompakte und preisgünstige Arbeitsstation für den Mediziner. In einer momentan laufenden Projektphase werden neue Funktionen in die Darstellungssoftware integriert und an gemessenen CT- und MR-Daten erprobt. Gleichzeitig wird auch an automatischen Segmentierungsalgorithmen für 3D-Daten gearbeitet, die eine Trennung von Gefässen, Weichteilen und Knochen erlauben sollen.

Literatur

[1] *G. T. Herman* and *H. K. Liu:* Three-dimensional display of human organs from computed tomograms. Computer Graphics and Image Processing 9(1979)1, p. 1...21.

[2] *D. Gordon* and *R. A. Reynolds:* Image space shading of 3-dimensional objects. Computer Vision, Graphics, and Image Processing 29(1985)3, p. 361...376.

[3] *J. K. Udupa:* Display of 3D information in discrete 3D scenes produced by computerized tomography. Proc. IEEE 71(1983)3, p. 420...431.

[4] *S. M. Goldwasser* and *R. A. Reynolds:* Real time display and manipulation of 3D medical objects: The voxel processor architecture. Computer Vision, Graphics and Image processing 39(1987)1, p. 1...27.

[5] *G. Frieder, D. Gordon* and *R. A. Reynolds:* Back-to-front display of voxel-based objects. IEEE Computer Graphics and Applications 5(1985)1, p. 52...60.

[6] *H. K. Tuy* and *L. T. Tuy:* Direct 2D display of 3D objects. IEEE Computer Graphics and Applications 4(1984)10, p. 29...33.

[7] *F. Klein* and *O. Kübler:* A prebuffer algorithm for instant display of volume data. Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) 596(1986).

[8] *K. M. Fant:* A nonaliasing, real-time spatial transform technique. IEEE Computer Graphics and Applications 6(1986)1, p. 71...80.

[9] *O. Kübler, J. Yla-Jaaski* and *E. Hiltebrand:* 3D segmentation and real time display of medical volume images. Proceedings of the International Symposium on Computer-Assisted Radiology (CAR), 1987, Berlin, p. 637...641.

[10] *E. Hiltebrand:* Hardware architecture with transputers for fast manipulation of volume data. Proceedings of the International Conference on Parallel Processing for Computer Vision and Display. University of Leeds, UK, January 1988.

[11] Transputer reference manual. Bristol, Inmos Ltd., October 1986.

[12] IMS T800 architecture. Technical note 6. Bristol, Inmos Ltd, 1986.

[13] *J. L. Gaudiot* a. o.: The TX16: A highly programmable multi-microprocessor architecture. IEEE Micro 6(1986)5, p. 18...31.

[14] *P. G. Kropf:* Paralleles Rechnen mit Transputern. Bull. SEV/VSE 79(1988)7, S. 356...361.