(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 198 07 053 B4** 2005.03.17

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **198 07 053.5**
(22) Anmeldetag: **19.02.1998**
(43) Offenlegungstag: **03.12.1998**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **17.03.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G06T 15/00**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
865756 30.05.1997 US

(71) Patentinhaber:
Hewlett-Packard Co. (n.d.Ges.d.Staates Delaware), Palo Alto, Calif., US

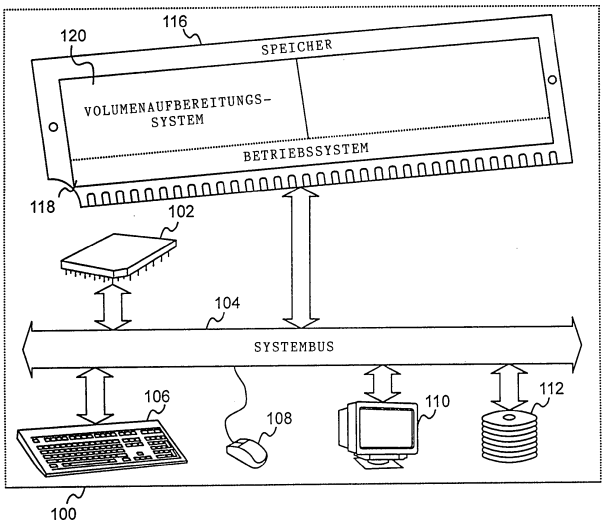
(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(72) Erfinder:
Naqvi, Hasan Shahzad, Fort Collins, Col., US;
Huonder, Russell, Fort Collins, Col., US;
Lichtenbelt, Barthold, Fort Collins, Col., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
US 55 19 401
US 55 15 484
US 53 13 567
FOLEY, J.D. et al.: Computer-Graphics-Principles and Practice, Addison-Wesley, 1996, S.213-217,229-237, 260-267;

(54) Bezeichnung: **Strahltransformationsverfahren für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Betrachtung**

(57) Hauptanspruch: Strahltransformationsverfahren für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht eines Volumendatensatzes (604) zur aufbereiteten Darstellung des Volumendatensatzes auf einer zweidimensionalen Graphikanzeige (110) eines Computersystems (100) mit folgenden Schritten:
(a) Ausdrücken eines Anfangsbestimmungsraumvoxels eines Strahls (814) in homogenen Koordinaten mit einem x-Wert, einem y-Wert, einem z-Wert und einen w-Wert;
(b) Bestimmen eines Abstandswerts für eine Projektionsebene für eine gewünschte perspektivische Ansicht;
(c) Erzeugen einer Strahltransformationsmatrix, die einem Pixelort zugeordnet ist, wobei der Pixelort eine X-Komponente und eine Y-Komponente aufweist, sowie den x-Wert und den y-Wert des Anfangsbestimmungsraumvoxels des Strahls (814), das in homogenen Koordinaten ausgedrückt ist, wobei die Strahltransformationsmatrix ferner einen z-Vektor aufweist, wobei der z-Vektor eine iR-Komponente und eine jR-Komponente aufweist;
(d) Initialisieren (204) aller Werte für die Strahltransformationsmatrix mit Ausnahme der iR-Komponente und der jR-Komponente;
(e) Initialisieren (208) der iR-Komponente und der jR-Komponente des z-Vektors der Strahltransformationsmatrix durch Dividieren der X-Komponente des Pixelorts durch...



Beschreibung

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf Computersysteme und insbesondere auf eine Graphikanzeige diskreter Objekte in Computersystemen. Noch spezieller bezieht sich diese Erfindung auf eine Volumenaufbereitung von Volumendatensätzen für eine Graphikanzeige in Computersystemen und ein Strahltransformationsverfahren für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Betrachtung.

[0002] Die Volumenaufbereitung ist ein wichtiger Zweig von Computergraphiken, der nach der Entwicklung der geometrischen Aufbereitung und der Pixelaufbereitung folgt. Die Volumenaufbereitung bezieht sich auf die direkte Aufbereitung eines Volumendatensatzes, um die Charakteristika des Inneren eines körperlichen Objekts zu zeigen, wenn dasselbe auf einer zweidimensionalen Graphikvorrichtung angezeigt wird. Ein Volumendatensatz ist ein dreidimensionales Array von Voxeln. Voxel wurden als Abtastpunkte, die durch einen finiten Abstand getrennt sind, definiert. Jedes Voxel weist eine Position und einen Wert auf. Die Voxelposition ist ein Drei-Tupel, das eine x-, eine y- und z-Position in dem dreidimensionalen Voxelarray spezifiziert. Der Voxelwert hängt von seinem Format ab. Beispielsweise weist ein Voxel ein Intensitätselement auf und kann ein Indexelement aufweisen. Diese Werte werden bei dem Volumenaufbereitungsverfahren üblicherweise unterschiedlich behandelt. Die Sammlung von Werten für alle Punkte in dem Volumen wird als ein Skalarfeld auf dem Volumen bezeichnet.

[0003] Volumendatensätze können durch zahlreiche Einrichtungen erzeugt werden, jedoch am üblichsten durch irgendein Verfahren einer dreidimensionalen Abtastung oder Probennahme und durch eine numerische Modellierung. Beispielsweise kann ein volumendatensatz durch eine Magnetresonanzbilderzeugung (Magnetic Resonance Imaging), oder MRI, erzeugt werden, bei der die Dichte des menschlichen oder tierischen Gewebes an jedem Punkt eines dreidimensionalen Gitters berechnet wird. Eine Anzeige dieser Informationen könnte die Grenzen der verschiedenen Gewebetypen anzeigen, wie dieselben durch Dichteänderungen angezeigt sind. Die Volumenaufbereitung ist das Verfahren des Anzeigens dieser Daten auf einer zweidimensionalen Graphikvorrichtung.

[0004] Das allererste Voxel in einem Volumendatensatz mit den Koordinaten (0,0,0) wird als der Ursprung des Volumendatensatzes betrachtet. Die drei Koordinaten entsprechen der Reihe nach der Spalte, der Zeile und dem Schnitt des Bilds in dem Volumendatensatz.

[0005] Volumendatensätze können ziemlich groß sein und folglich eine Belastung auf den Systembetriebsmitteln plazieren. Beispielsweise kann ein typischer Volumendatensatz von einer MRI-Abtasteinrichtung 6,7 Millionen Voxel oder mehr enthalten, wohingegen Polygondatensätze für eine geometrische Aufbereitung typischerweise weniger als eine halbe Million Polygone enthalten. Folglich existiert beim Aufbereiten von Volumen ein viel größerer Bedarf nach einer Hardwarebeschleunigung.

[0006] Bei der Volumenaufbereitung besteht eine häufige Notwendigkeit darin, in der Lage zu sein, das aufbereitete Bild von verschiedenen orthographischen und perspektivischen Projektionen zu betrachten. Studien haben gezeigt, daß bei einer Betrachtung derartiger aufbereiteter Anzeigen über lange Zeitdauern perspektivische Ansichten für den Betrachter weniger anstrengend sind als orthographische Ansichten. Überdies geben perspektivische aufbereitete Anzeigen häufig einen besseren visuellen Hinweis für eine räumliche Wahrnehmung als orthographische aufbereitete Anzeigen. Folglich ist ein Schlüsselschritt bei dem Volumenaufbereitungsverfahren die dreidimensionale räumliche Volumentransformation des ursprünglichen Volumendatensatzes für eine orthographische oder perspektivische Aufbereitung. Typische Transformationstypen, die sowohl für eine orthographische als auch eine perspektivische Aufbereitung erforderlich sind, können ein Zoomen, ein Schwenken, eine Drehung und einen geraden Schnitt des Eingangsvolumens für eine Projektion in eine Ausgangsrastertyp-Anzeigevorrichtung umfassen. Sobald eine Transformation durchgeführt wurde, müssen verschiedene Umtasttechniken angewendet werden, beispielsweise eine Interpolation des nächstliegenden Nachbarn oder eine trilineare Interpolation, um Pixelwerte für die Aufbereitung zu bestimmen.

[0007] Typischerweise wird eine perspektivische Ansicht eines Volumendatensatzes realisiert, indem Objekte, die weiter von dem Betrachter entfernt sind, kleiner dargestellt werden, als Objekte, die näher zu dem Betrachter sind. Geometrische Objekte werden perspektivisch aufbereitet, indem x-, y- und z-Orte der Scheitelpunkte des geometrischen Objekts durch w, oder homogene Koordinate, geteilt werden, nachdem eine Modell- und Betrachtungs-Transformation durchgeführt wurde. Überdies moduliert die homogene Koordinate w den Grad der perspektivischen Verzerrung.

[0008] Geometrische Objekte und Volumenvoxel können durch die folgenden Schritte transformiert und in ei-

ner perspektivischen Ansicht dargestellt werden. Zunächst wird ein Quellenraumscheitelpunkt mit den Koordinaten (x, y, z) in homogene Koordinaten umgewandelt, um die nachfolgend gezeigte Matrixmultiplikation zu ermöglichen:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \quad w = 1$$

Quellenraumscheitelpunkt

[0009] Eine orthographische Modellbetrachtungsmatrix wird mit einer perspektivischen Matrix multipliziert, um wie nachfolgend gezeigt ist, eine kombinierte Matrix zu erhalten:

$$\begin{bmatrix} aM & eM & iM & mM \\ bM & fM & jM & nM \\ cM & gM & kM & oM \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} aP & 0 & iP & 0 \\ 0 & fP & jP & 0 \\ 0 & 0 & kP & oP \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & e & i & m \\ b & f & j & n \\ c & g & k & o \\ d & h & l & p \end{bmatrix}$$

orthographische Modellbetrachtungs-matrix | perspektivische Matrix | kombinierte Matrix

[0010] In der perspektivischen Matrix gilt: aP = (2·zNahe)/(rechts-links), fP = (2·zNahe)/(oben – unten), iP = (rechts + links)/(rechts – links), jP = (oben + unten)/(oben – unten), kP = (zFern + zNahe)/(zFern – zNahe), und oP = (2·zFern·zNahe)/(zFern – zNahe). (links, unten, –zNahe) und (rechts, oben, –zNahe) spezifizieren Punkte auf der nahen Schnittebene, die auf die untere linke und die obere rechte Ecke des Fensters abgebildet werden, unter der Annahme, daß sich der Blickpunkt des Betrachters bei (0,0,0) befindet. Der ferne Schnittebenenort ist durch das Zeichen zFern spezifiziert. Sowohl zNahe als auch zFern müssen positiv sein.

[0011] Um den Quellenraumscheitelpunkt von dem Quellenraum in den Bestimmungsraum zu transformieren, wird der Quellenraumscheitelpunkt in Matrixform mit der kombinierten Matrix multipliziert, um wie unten gezeigt den Bestimmungsraumscheitelpunkt zu ergeben:

$$\begin{bmatrix} a & e & i & m \\ b & f & j & n \\ c & g & k & o \\ d & h & l & p \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{bmatrix}$$

kombinierte Matrix | Quellenraum-scheitelpunkt | Bestimmungsraum-scheitelpunkt

[0012] Durch das Durchführen der Matrixmultiplikation werden die Werte für x', y', z' und w' des Scheitelpunkts im Bestimmungsraum wie nachfolgend gezeigt hergeleitet:

$x' = (a \cdot x) + (e \cdot y) + (i \cdot z) + m$

$y' = (b \cdot x) + (f \cdot y) + (j \cdot z) + n$

$z' = (c \cdot x) + (g \cdot y) + (k \cdot z) + o$

$w' = (d \cdot x) + (h \cdot y) + (l \cdot z) + p$

[0013] Als nächstes wird der Scheitelpunkt (x', y', z', w') in dem Bestimmungsraum durch die homogene Ko-

ordinate 'w' dividiert, um die perspektivische Verzerrung zu modellieren, wie nachfolgend gezeigt ist:

$x' = x'/w'$

$y' = y'/w'$

$z' = z'/w'$

$w' = w'/w' = 1$

[0014] Die x'- und die y'-Koordinaten können nun, wenn es erwünscht ist, für eine abschließende Aufbereitung weiter eingestellt werden und zu dem Rahmenpuffer gesendet werden.

[0015] Zwei Abbildungslösungsansätze wurden für derartige Transformationen verwendet. Ein Vorwärtsabbildungslösungsansatz, der in der obigen Beschreibung verwendet wurde, verwendet den Quellenraumscheitelpunkt und transformiert denselben über eine Transformationsmatrix, um in den Bestimmungsraum zu passen. Bei einer Rückwärtsabbildung, oder einem inversen Transformationslösungsansatz, wird jeder Bestimmungsraumscheitelpunkt über ein inverse Transformationsmatrix transformiert und aus dem Quellenraum umgetastet. Die Vorwärtsabbildung unterliegt dem Risiko des Belassens von "Löchern" bei der Aufbereitung, da der Quellenraum manchmal kleiner ist als der Bestimmungsraum. Die inverse Transformation stützt sich selbst auf die Technik des "Strahlwerfens" oder einem Fortschreiten in der z-Richtung, was das "Löcher"-Problem beseitigt, da die Abtastpunkte von dem größeren Bestimmungsraum zurück in den kleineren Quellenraum verwendet werden.

[0016] Das geometrische perspektivische Verfahren des Aufbereitens von Volumendatensätzen in einer perspektivischen Ansicht ist sehr rechenintensiv und am schwierigsten durchzuführen. Aufgrund der typischerweise großen Größe von Volumendatensätzen sind dreidimensionale räumliche Transformationen und perspektivische Aufbereitungen ziemlich beanspruchend für die Systembetriebsmittel. Eine Optimierung des Verfahrens ist folglich ein anhaltender und herausfordernder Bedarf in der Technik. Sowohl Hardware als auch Software-orientierte Optimierungslösungen sind vorteilhaft. Gegenwärtige Verfahren einer dreidimensionalen räumlichen Transformation und einer perspektivischen Aufbereitung, die Gleitkommazahlen verwenden, sind ziemlich aufwendig, speziell wenn Divisionen und häufige Multiplikationen enthalten sind. Wiederholte Berechnungen für jeden Abtastpunkt sind hinsichtlich der Aufbereitungszeit sehr aufwendig.

[0017] Eine dreidimensionale Texturabbildungstechnik unterstützt eine begrenzte Form einer Volumenaufbereitung, die modifiziert werden kann, um perspektivische Ansichten zu ergeben. Jeder aufeinanderfolgende einer Texturabbildung unterzogene Schnitt des Volumens kann durch eine zweidimensionale Skalierungs- oder Zoom-Operation eingestellt werden, um die Größe des Objekts während eines Fortschreitens in der z-Richtung zu reduzieren, um eine Perspektive zu erhalten. Jedoch ist dieser Lösungsansatz nicht sehr genau.

[0018] Es besteht somit in der Technik ein Bedarf nach einem Verfahren für eine dreidimensionale räumliche Transformation und eine Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht, die die Nachteile der klassischen geometrischen perspektivischen und dreidimensionalen Texturabbildungsverfahren überwindet, indem ein Strahltransformationslösungsansatz verwendet wird, der bezüglich der Qualität oder Genauigkeit weniger Kompromisse macht. Es existiert ein Bedarf nach einem Volumenaufbereitungsverfahren für eine perspektivische Ansicht, das die Anzahl von Gleitkommaberechnungen reduziert, die erforderlich sind, um eine perspektivische Ansicht aufzubereiten, speziell von Divisionen und Multiplikationen. Ferner existiert in der Technik ein Bedarf danach, schnellere Ganzzahlberechnungen zu verwenden, beispielsweise Additionen und Subtraktionen, sowie andere einfachere CPU-Befehle, beispielsweise Verschiebungen und Maskierungen. Es existiert ein weiterer Bedarf in der Technik danach, wiederholte Berechnungen aus dem Verfahren zu beseitigen. Überdies existiert ein Bedarf in der Technik, sowohl Hardware- als auch Software-Optimierungstechniken zu verwenden. Ein weiterer Bedarf existiert in der Technik danach, einen inversen Transformationslösungsansatz für eine Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht zu verwenden, um "Löcher" in dem aufbereiteten Bild zu beseitigen. Es ist daher offensichtlich, daß ein Bedarf nach einem verbesserten Verfahren für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht besteht, das diese und weitere Bedürfnisse in der Technik erfüllt.

Stand der Technik

[0019] Das US-Patent 5,313,567 beschreibt eine Anordnung zum Bestimmen und Anzeigen von Volumenda-

ten in einem Abbildungssystem durch Verwenden einer volumetrischen Neuabtastungstechnik mit Interpolation. Mittels dieser Technik wird der Wert aller Abtastpunkt auf einem Weg bestimmt, wobei dieser Weg durch einen Anwender festgelegt ist und sich durch ein Volumenbild erstreckt. Das Volumenbild umfaßt eine Gruppe von vordefinierten Datenwerten, die wiederum Abtastwerte eines kontinuierlichen Volumenobjektes sind. Die grundsätzlichen Schritte zum Anzeigen eines erwünschten Bildes von einer dreidimensionalen Datenbank umfassen zunächst ein Abbilden des Inhalts des Anzeigespeichers auf Orte innerhalb der volumetrischen Datenbank, was durch Transformationsgleichungen erreicht wird, die aufgestellt werden müssen, um einen Quelleingangspunkt für jeden Ausgangsort zu berechnen. Folglich muß für jeden anzuzeigenden Ort eine entsprechende Transformation durchgeführt werden, um einen entsprechenden Quelleingangsort zu bestimmen. Im nächsten Schritt wird entweder eine lineare Interpolation oder eine Interpolation basierend auf der Regel gemäß dem nächsten Nachbarn ausgeführt, um einen genauen Quelldatenort zu erhalten. Im nächsten Schritt werden die erhaltenen Datenwerte kombiniert, um die erwünschte Ausgabe zu erzeugen.

[0020] Foley, J.D.; et. al.: Computer Graphics – Principles and Practice, Addison Wesley, 1996, S. 213–217, 229–237, 260–267 beschreibt allgemeine Hindergrundinformationen über Transformationstechniken für Bildaufbereitungssysteme.

[0021] Das US-Patent US-A-5,515,484 beschreibt ein Verfahren zur Aufbereitung von dreidimensionalen graphischen Objekten in einem zweidimensionalen Anzeigeraum. Ein jeweiliger Wert eines bestimmten Nachbarschaftspunktes wird nur durch Zuordnen des Quellwertes des nächstliegenden Quellraumvoxels erhalten, was durch die jeweilige Interpolationstechnik erhalten wird.

Aufgabenstellung

[0022] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Verfahren zur Volumenaufbereitung einer perspektivischen Ansicht zu schaffen, welches die Anzahl der erforderlichen Gleitkommaberechnungen reduziert, welches schnellere Ganzzahl-Berechnungen und einfache CPU-Befehle verwendet, und ferner die wiederholten Berechnungen für den Prozess eliminiert.

[0023] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0024] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Strahltransformationslösungsansatz für eine dreidimensionale räumliche Transformation und eine Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht zu verwenden.

[0025] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, die Anzahl von Gleitkommaberechnungen zu reduzieren, die erforderlich sind, um eine perspektivische Ansicht aufzubereiten, indem ein 32-Bit-Festkommaformat mit 16 Bits eines Skalarteils und 16 Bits eines Bruchteils, das als 16,16-Format bezeichnet wird, und kein Gleitkommaformat, zum Codieren von Werten von einer kombinierten inversen Matrix und Bestimmungsbildpunkten für eine dreidimensionale räumliche Transformation und eine Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht verwendet wird.

[0026] Noch ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, den nächsten Abtastpunkt entlang einer Strahltransformierten durch das Umwandeln der z-Vektor-Werte i, j und k in dem 16,16-Format in ganze Zahlen zu erhalten, und durch das Durchführen von ganzzahligen Additionen in der z-Richtung fortzuschreiten.

[0027] Noch ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, die Anfangsnachbarschaftsorte in dem Quellenraum zu bestimmen, indem die transformierten Matrixwerte für (x', y', z') um 16 Bit nach unten verschoben werden, was den ganzzahligen Wert in dem Quellenraum ergibt, der die Anfangsnachbarschaftsorte darstellt.

[0028] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, eine Maskierungsoperation auf einem transformierten Matrixwert in dem 16,16-Format zu verwenden, um die 16-Bit-Bruchteilkomponente als einen Index auf eine vorberechnete Nachschlagtabelle, die den Bruchteil-Gleitkommawert enthält, zu verwenden.

[0029] Noch ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, die größeren Cache-Speicher in heutigen CPUs auszunutzen, um Aufrufe in Nachschlagtabellen zu verarbeiten und das Verhalten zu optimieren.

[0030] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, in der Lage zu sein, sowohl Integer- als auch Gleitkomma-Pipelines, die in heutigen CPUs verfügbar sind, durch die Ausnutzung eines mannigfaltigen Lösungsansatzes für die dreidimensionale räumliche Transformation und die Aufbereitung für eine perspektivische An-

sicht auszunutzen.

[0031] Die obigen und weitere Vorteile der Erfindung werden bei einem Strahltransformationsverfahren für eine dreidimensionale räumliche Transformation und eine Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht erreicht. Das Verfahren verwendet die Rückwärtsabbildung, oder den inversen Transformationslösungsansatz, gekoppelt mit einem Werfen von Strahlen. Für die gewünschte perspektivische Ansicht konvergieren Strahlen an dem Projektionsmittelpunkt, oder dem Blickpunkt, von der Projektionsebene. Jeder Strahl wird unabhängig adressiert, wobei derselbe seine eigene eindeutige Transformationsmatrix aufweist, die als Strahltransformierte bezeichnet wird. Jede eindeutige Strahltransformierte wird mit einer Matrix für eine orthographische Modellansicht kombiniert, um eine schnelle orthographische Strahlfortschreitungsvorschrift für die perspektivische Volumenaufbereitung zu erzeugen.

[0032] Zuerst wird ein Anfangsbestimmungsraumvoxel-Abtastpunkt bestimmt. Als nächstes wird die Inverse einer Matrix für eine orthographische Modellansicht mit der Matrix der eindeutigen Strahltransformierten, die dem Pixelort des Anfangsbestimmungsraumvoxel-Abtastpunkts (X, Y) zugeordnet ist, kombiniert, um eine kombinierte inverse Matrix zu erhalten. Als nächstes wird der Abtastpunkt von dem Bestimmungsraum in den Quellenraum transformiert, indem die Bestimmungsraumvoxel-Abtastpunktmatrix mit der kombinierten inversen Matrix multipliziert wird.

[0033] Die transformierten Abtastpunktwerte, die sich aus dieser Matrixmultiplikation ergeben, werden in einem 32-Bit-Festkommaformat codiert, das aus 16 Bit eines Skalarteils und 16 Bit eines Bruchteils bestehen, was als 16,16-Format bezeichnet wird. Fachleute werden erkennen, daß auch ein 48-Bit-Festkommaformat mit 24 Bits eines Skalarteils und 24 Bits eines Bruchteils, oder ein 64-Bit-Festkommaformat mit 32 Bits eines Skalarteils und 32 Bits eines Bruchteils oder eine gemischte Kombination der obigen, beispielsweise 8/24, verwendet werden könnten. Das 16,16-Format ist nachfolgend dargestellt:

16 Bit	16 Bit
Skalarteil	Bruchteil

[0034] Beispielsweise würde die Zahl 8,9 wie folgt codiert und gespeichert werden. 8,9 wird mit 65.536 multipliziert, abzüglich eines beliebigen Bruchteils, und wird in dem 32-Bit-Register gespeichert. Bei diesem Beispiel würde der Abschnitt ",9" als 0,9 × 65. 536 = 58.982 codiert werden und würde in dem tieferen Bruchteilabschnitt der ganzzahligen Zahl erscheinen. Fachleute werden erkennen, daß dieses Strahltransformationsverfahren nicht die Verwendung des 16,16-Formats, um Werte zu codieren, erfordert. Das Stahltransformationsverfahren wird mit der Verwendung einer herkömmlichen Einrichtung funktionieren. Das 16.16-Format wird bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet.

[0035] Für jeden transformierten Abtastpunkt (x', y', z') kann entweder die Umtasttechnik des nächstliegenden Nachbarn oder der trilinearen Interpolation ausgewählt werden, um Pixelwerte für die Aufbereitung festzulegen. Bei jeder Technik besteht der erste Schritt darin, den Anfangsnachbarschafts-Voxelpunkt, der durch (i, j, k) dargestellt ist, zu bestimmen. Dies wird durch eine Verschiebungsoperation auf den transformierten x'-, y'- und z'-Abtastpunktwerten von der kombinierten Matrix und der Anfangspunktberechnung erreicht. Die transformierten x'-, y'- und z'-Abtastpunktwerte werden 16 Bit nach rechts verschoben, was den Bruchteilabschnitt des 16,16-Formats abschneidet. Dies ergibt die ganzzahligen Werte in dem Quellenraum, die den Anfangsnachbarschafts-Voxelpunkt darstellen.

[0036] Für die Technik des nächstliegenden Nachbarn besteht eine Möglichkeit, den nächstliegenden Nachbarvoxelpunkt in dem Quellenraum zu bestimmen, darin, den transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt in ganzzahlige Werte zu runden. Wenn (8,2; 6,5; 9,6) beispielsweise transformierte Abtastpunktwerte für (x',y',z') sind, werden die Werte nach dem Runden zu (8, 7, 10). Jedoch besteht eine effizientere Möglichkeit, das nächstliegende Nachbarvoxel zu bestimmen, darin, 0,5 zu jeder x'-, y'- und z'-Komponente zu addieren und dann die resultierenden x'-, y'- und z'-Werte abzuschneiden. Bei dem obigen Beispiel würde 0,5 zu den ursprünglichen transformierten Abtastpunktwerten von (x', y', z') addiert werden, was (8,7, 7,0, 10,1) ergibt. Das Abschneiden von jedem dieser Werte ergibt wie vorher (8, 7, 10). Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß, statt jeden Abtastpunkt entlang eines Strahls in einer Rundungsoperation auswerten und vergleichen zu müssen, der erste räumliche Ort in einem Strahl um 0,5 versetzt wird. Alle anderen Punkte entlang des Strahls sind relativ zu diesem ersten Punkt, da eine lineare Beziehung existiert. Sobald 0,5 addiert wurde, wird das nächste Nachbarvoxel bestimmt, indem einfach jeder der x'-, y'- und z'-Werte jedes nachfolgenden Abtastpunkts abgeschnitten wird. Dies stellt eine effizientere Weise dar, um die Bestimmung des nächstliegenden Nachbarn zu handhaben.

[0037] Diese Technik wird bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung befolgt, wobei zuerst 0,5 zu jeder transformierten x'-, y'- und z'-Abtastpunktkomponente addiert wird, bevor der Quellenraum-Voxelpunkt des nächstliegenden Nachbarn bestimmt wird. Die acht Quellenraumvoxel, die die Nachbarschaft bilden, die den transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt umgeben, werden ausgewertet, um das Voxel zu erhalten, das nächstliegend zu dem Abtastpunkt ist. Die Werte, die diesem nächstliegenden Nachbarquellenraumvoxel zugeordnet sind, werden verwendet, um den Pixelwert zu bestimmen, der verwendet wird, um den ersten transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt entlang eines Strahls aufzubereiten. Durch ein Fortschreiten in der z-Richtung entlang des Strahls wird der nächste Abtastpunkt bestimmt. Dieses Fortschreitungsverfahren wird erreicht, indem zuerst die z-Vektor-Werte i, j und k von der Matrixberechnung der transformierten Abtastpunkte in dem 16,16-Format in ganze Zahlen umgewandelt werden, und nachfolgend diese ganzzahligen Werte zu dem ersten transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt eines Strahls addiert werden. Dieses Verfahren des Addierens von ganzzahligen Werten zu dem gegenwärtigen transformierten Abtastpunkt wird wiederholt, um den Rest der aufeinanderfolgenden transformierten Abtastpunkte entlang des Strahls zu erhalten. Danach wird der Anfangsbestimmungsraum-Voxelabtastpunkt des nächsten Strahls wie vorher bestimmt. Auf diese Weise werden alle Strahlen für das Volumen zur Aufbereitung verarbeitet.

[0038] Für die trilineare Interpolationstechnik werden die acht Quellenraumvoxel, die die Nachbarschaft, in der der transformierte (x',y',z')-Abtastpunkt enthalten ist, bilden, bestimmt. Als nächstes werden Werte für Delta-x, Delta-y und Delta-z, die durch dx, dy und dz dargestellt sind, berechnet. Diese Deltawerte stellen die Änderung in der x-, der y- und der z-Richtung des transformierten Abtastpunkts in der Nachbarschaft der acht Quellenraumvoxel dar. Diese Werte werden durch das Erhalten der Bruchteilkomponenten des transformierten (x',y',z')-Abtastpunkts durch das Maskieren des tieferen Bruchteilabschnitts der Werte, die in dem 16,16-Format gespeichert sind, und das nachfolgende Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle hergeleitet. Im Anschluß werden Ankerwerte zur Verwendung bei einer Zeigerarithmetik, die das Optimieren des Verfahrens unterstützt, berechnet. Schließlich wird ein trilineares Interpolationsverfahren angewendet, um die Werte von den acht Nachbarschafts-Quellenraumvoxeln, die den transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt enthalten, kombiniert, um einen kombinierten Wert, der bei der Aufbereitung des ersten transformierten Abtastpunkts entlang eines Strahls verwendet werden soll, zu erhalten. Fortschreitend in der z-Richtung entlang des Strahls wird der nächste transformierte Abtastpunkt entsprechend dem gleichen Verfahren, das oben beschrieben wurde, unter Verwendung von ganzzahligen Additionen und dem Anwenden des trilinearen Interpolationsverfahrens ausgewertet. Dieses Verfahren wird für den Rest der Abtastpunkte entlang des Strahls wiederholt. Danach wird wie vorher der Anfangsbestimmungsraum-Voxelabtastpunkt des nächsten Strahls bestimmt. Die ganzzahligen Additionen werden für den Rest der transformierten Abtastpunkte entlang des zweiten Strahls verwendet, wobei die trilineare Interpolation verwendet wird, um Werte für die Aufbereitung zu erhalten. Auf die gleiche Weise werden alle Strahlen für das Volumen zur Aufbereitung verarbeitet.

Ausführungsbeispiel

[0039] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0040] **Fig.** 1 ein Blockdiagramm eines Computersystems, das ein Volumenaufbereitungssystem, das die vorliegende Erfindung verkörpert, aufweist;

[0041] **Fig.** 2 ein Blockdiagramm eines Strahltransformationsverfahrens für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0042] **Fig.** 3 ein Blockdiagramm einer Nachschlagtabelleninitialisierung;

[0043] **Fig.** 4 ein Blockdiagramm der Interpolationstechnik des nächstliegenden Nachbarn;

[0044] **Fig.** 5 ein Blockdiagramm der trilinearen Interpolationstechnik;

[0045] **Fig.** 6 eine zweidimensionale Darstellung eines Volumendatensatzes im Quellenraum;

[0046] **Fig.** 7 eine zweidimensionale Darstellung des Volumendatensatzes von **Fig.** 6 in dem Bestimmungsraum nach der Transformation für eine perspektivische Ansicht;

[0047] **Fig.** 8 eine zweidimensionale Darstellung des Volumendatensatzes von **Fig.** 7 nach der Transformation durch die inverse kombinierte Matrix zurück in den Quellenraum; und

[0048] **Fig.** 9 eine dreidimensionale Darstellung der trilinearen Interpolationstechnik zum Bestimmen von Pixelwerten zur Aufbereitung von Abtastpunkten nach einer dreidimensionalen räumlichen Transformation.

[0049] **Fig.** 1 zeigt ein Blockdiagramm eines Computersystems, das ein Volumenaufbereitungssystem, das die vorliegende Erfindung verkörpert, enthält. Bezugnehmend nun auf **Fig.** 1 enthält ein Computersystem **100** ein Verarbeitungselement **102**. Das Verarbeitungselement **102** steht über einen Systembus **104** mit anderen Elementen des Computersystems **100** in Verbindung. Eine Tastatur **106** ermöglicht, daß ein Benutzer Informationen in das Computersystem **100** eingibt, während eine Graphikanzeige **110** ermöglicht, daß das Computersystem **100** Informationen zu dem Benutzer ausgibt. Ferner ist eine Maus **108** verwendet, um Informationen einzugeben, während eine Speichervorrichtung **112** verwendet ist, um Daten und Programme in dem Computersystem **100** zu speichern. Ein Speicher **116**, der ebenfalls mit dem Systembus **104** verbunden ist, enthält ein Betriebssystem **118** und ein Volumenaufbereitungssystem **120** gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0050] **Fig.** 2 zeigt ein Blockdiagramm des Strahltransformationsverfahrens für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie nun in **Fig.** 2 gezeigt ist, ruft nach dem Eintritt ein Block **202 Fig.** 3 auf, was die Nachschlagtabellen, die durch die Erfindung verwendet werden, initialisiert. Ein Block **204** initialisiert Werte, die in der Strahltransformationsmatrix der vorliegenden Erfindung verwendet werden, wie nachfolgend gezeigt ist:

$$\begin{bmatrix} aR & eR & iR & mR \\ bR & fR & jR & nR \\ cR & gR & kR & oR \\ dR & hR & lR & pR \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & jR & 0 \\ 0 & 1 & jR & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

nicht initialisierte Strahltransformierte — initialisierte Strahltransformierte

[0051] Ein Block **206** erhält den ersten Strahl, der ausgewertet werden soll, von einem Anfangsbestimmungsraum-Pixelort (X, Y). Ein Block **208** initialisiert die iR- und jR-Komponente des z-Vektors der Strahltransformationsmatrix für diesen speziellen 'X'- und 'Y'-Strahl, wobei "Abstand" die nahe Projektionsebene von dem Projektionsmittelpunkt, oder Blickpunkt des Betrachters, beschreibt, wie unten gezeigt ist:

iR = X/Abstand

jR = Y/Abstand

[0052] Ein Block **210** multipliziert dann die inverse Matrix für die orthographische Modellansicht mit der Strahltransformationsmatrix, um eine kombinierte inverse Matrix zu ergeben, wie unten gezeigt ist:

$$\begin{bmatrix} aM & eM & iM & mM \\ bM & fM & jM & nM \\ cM & gM & kM & oM \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & iR & 0 \\ 0 & 1 & jR & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aC & eC & iC & mC \\ bC & fC & jC & nC \\ cC & gC & kC & oC \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

inverse Matrix für orthographische Modellansicht — Strahltransformationsmatrix — kombinierte inverse Matrix

[0053] Ein Block **212** wandelt dann die z-Vektor-Werte von der kombinierten inversen Matrix in ganze Zahlen um. Dies wird erreicht, indem die drei z-Vektor-Komponenten iC, jC und kC in dem Gleitkommaformat mit 65.536 multipliziert werden, was die Werte in das 16,16-Format umwandelt. Diese Werte werden später verwendet, um durch die Durchführung von ganzzahligen Additionen in der z-Richtung fortzuschreiten.

[0054] In einem Block **214** wählt der Benutzer, welche Interpolationstechnik bei der Bestimmung von Pixelwerten verwendet werden soll. Wenn der Benutzer die Technik des nächstliegenden Nachbarn auswählt,

springt die Steuerung zu einem Block **216**, der **Fig.** 4 aufruft, um die Interpolationstechnik des nächstliegenden Nachbarn durchzuführen. Wenn die Interpolationstechnik, die in dem Block **214** ausgewählt wird, die trilineare Interpolation ist, springt die Steuerung zu einem Block **218**, der **Fig.** 5 aufruft, um die trilineare Interpolationstechnik durchzuführen. Danach wird die Steuerung von entweder **Fig.** 4 oder 5 zurückgegeben, wobei die Steuerung zu dem Volumenaufbereitungssystem **120** (**Fig.** 1) zurückkehrt.

[0055] **Fig.** 3 zeigt ein Blockdiagramm einer Nachschlagtabellen-Initialisierung. Bezugnehmend nun auf **Fig.** 3 initialisiert ein Block **302** eine Bruchteilnachschlagtabelle, die bei der Berechnung von dx-, dy- und dz-Werten durch das Volumenaufbereitungssystem (**Fig.** 1) verwendet werden soll. Die Tabelle wird aus dem folgenden Programmiercode in der "C"-Programmiersprache abgeleitet:

```
for(i = 0; i < 65536; i++)
   fixedPointLUT[i] = (float) i / 65536.0;
```

[0056] Beispielsweise würde für i = 1 der Wert, der in der Bruchteilnachschlagtabelle gespeichert wird, 1/65.536 = 0,0000 lauten. Für i = 32.768 würde der Wert, der in der Bruchteilnachschlagtabelle gespeichert wird, 32.768/65.536 = 0,5000 lauten. Für i = 65.535 würde der Wert, der in der Bruchteilnachschlagtabelle gespeichert wird, 65.535/65.536 = 0,9999 lauten.

[0057] Ein Block **304** initialisiert eine y-Richtung-Nachschlagtabelle, die bei Pixelortberechnungen verwendet werden soll. Die Tabelle wird aus dem folgenden Programmiercode in der "C"-Programmiersprache abgeleitet:

```
for(i = 0; i < HEIGHT; i++)
   yStrideLUT[i] = i * WIDTH;
```

[0058] Wenn ein Volumendatensatz beispielsweise 256 Voxel breit mal 128 Voxel hoch mal 64 Voxel tief war, würde für i = 1 der Wert, der in der y-Nachschlagtabelle gespeichert wird, 1 256 = 256 lauten. Für i = 64 würde der gespeicherte Wert 64·256 = 16.384 lauten. Für i = 127 würde der gespeicherte Wert 127·256 = 32.512 lauten.

[0059] Ein Block **306** initialisiert eine z-Richtung-Nachschlagtabelle, die bei Pixelortberechnungen verwendet werden soll. Die Tabelle wird aus dem folgenden Programmiercode in der "C"-Programmiersprache hergeleitet:

```
for(i = 0; i < DEPTH; i++)
   zStrideLUT[i] = i * WIDTH * HEIGHT;
```

[0060] Wenn ein Volumendatensatz beispielsweise 256 Voxel breit mal 128 Voxel hoch mal 64 Voxel tief war, würde für i = 1 der Wert, der in der z-Nachschlagtabelle gespeichert wird, 1 256·128 = 32.768 lauten. Für i = 32 würde der gespeicherte Wert 32·256·128 = 1.048.576 lauten. Für i = 65 würde der gespeicherte Wert 65·256·128 = 2.129.920 lauten. Nachdem die Initialisierung abgeschlossen ist, springt die Steuerung von **Fig.** 3 zu **Fig.** 2 zurück.

[0061] **Fig.** 4 zeigt ein Blockdiagramm der Interpolationstechnik des nächstliegenden Nachbarn. Wie nun in **Fig.** 4 gezeigt ist, erhält ein Block **402** den ersten Abtastpunkt entlang des ersten Strahls, der in dem Block **206** (**Fig.** 2) ausgewählt wird. Ein Block **404** verwendet die kombinierte inverse Matrix, die in dem Block **210** (**Fig.** 2) bestimmt wird, um einen ersten transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt eines Strahls in dem Quellenraum aus einem (x,y,z)-Voxelpunkt in dem Bestimmungsraum zu berechnen, indem eine Matrixmultiplikation wie nachfolgend gezeigt durchgeführt wird.

$$\begin{bmatrix} aC & eC & iC & mC \\ bC & fC & jC & nC \\ cC & gC & kC & oC \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix}$$

kombinierte inverse Matrix | Bestimmungsraum-Voxelpunkt | transformierter Abtastpunkt

[0062] 0,5 wird zu jeder x'-, y'- und z'-Komponente addiert. Jede Komponente wird ferner durch Multiplizieren mit 65.536 in das 16.16-Format umgewandelt.

[0063] In einem Block **406** wird der Anfangsnachbarschaftspunkt (i, j, k) im Quellenraum durch Abschneiden des Bruchteilabschnitts der transformierten x'-, y'- und z'-Abtastpunktwerte bestimmt. Dies wird erreicht, indem der 16,16-Format-Wert um 16 Bits nach rechts verschoben wird.

[0064] Ein Block **408** bestimmt den Wert, der bei der Aufbereitung des transformierten Abtastpunkts verwendet werden soll. Dies wird erreicht, indem für den Wert von j auf die y-Richtung-Nachschlagtabelle und für den Wert von k auf die z-Richtung-Nachschlagtabelle zugegriffen wird, und indem der berechnete Wert von i für die x-Komponente und ein Zeiger auf den Quellenvolumendatensatz entsprechend dem folgenden Programmiercode in der "C"-Programmiersprache verwendet wird:

```
result = srcVolume[zStrideLUT[k] + yStrideLUT[j] + i];
```

[0065] "Result" ist der Wert des nächstliegenden Quellenraumvoxels, das bei der Aufbereitung des transformierten Abtastpunkts verwendet wird. Ein Block **410** führt ein Zusammensetzungsverfahren bezüglich des Ergebnisses durch, das für diesen transformierten Abtastpunkt erhalten wird, um die Pixelwerte zu bestimmen, die verwendet werden, um den (X,Y)-Pixelort, der diesem Abtastpunkt entspricht, aufzubereiten. Fachleute werden erkennen, daß das Zusammensetzen durchgeführt werden kann, nachdem alle Abtastpunkte auf einem Strahl ausgewertet wurden, im Gegensatz zu dem Zusammensetzen von jedem Abtastpunkt, während jeder Abtastpunkt verarbeitet wird.

[0066] Ein Block **412** bestimmt, ob weitere Abtastpunkte entlang des Strahls existieren, die ausgewertet werden sollen. Wenn dies der Fall ist, erhält ein Block **414** den nächsten Abtastpunkt entlang des Strahls, der ausgewertet werden soll. Ein Fortschreiten von Abtastpunkt zu Abtastpunkt entlang des Strahls wird durch einfache ganzzahlige Additionen unter Verwendung der Werte, die in dem Block **212** (**Fig.** 2) bestimmt werden, und der x'-, y'- und z'-Werte erreicht. Die Steuerung springt dann zu dem Block **406**. Die Schritte in den Blöcken **406**, **408** und **410** werden nachfolgend wiederholt. Wenn die Antwort in dem Block **412** negativ ist, was anzeigt, daß keine weiteren Abtastpunkte entlang des gegenwärtigen Strahls existieren, springt die Steuerung zu einem Block **416**, der bestimmt, ob weitere Strahlen verarbeitet werden sollen. Wenn die Antwort im Block **416** positiv ist, springt die Steuerung zu dem Block **206** in **Fig.** 2, um den nächsten Strahl zu erhalten. Wenn die Antwort in dem Block **416** negativ ist, was anzeigt, daß keine weiteren Strahlen verarbeitet werden sollen, springt **Fig.** 4 zu **Fig.** 2 zurück.

[0067] **Fig.** 5 zeigt ein Blockdiagramm der trilinearen Interpolationstechnik. Wie nun in **Fig.** 5 gezeigt ist, erhält ein Block **502** den ersten Abtastpunkt entlang des ersten Strahls, der in dem Block **206** (**Fig.** 2) ausgewählt wurde. Ein Block **504** verwendet die kombinierte inverse Matrix, die in dem Block **210** (**Fig.** 2) bestimmt wurde, um den ersten transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt eines Strahls in dem Quellenraum aus einem (x,y,z)-Voxelpunkt in dem Bestimmungsraum zu berechnen, indem die nachfolgend gezeigte Matrixmultiplikation durchgeführt wird:

$$\begin{bmatrix} aC & eC & iC & mC \\ bC & fC & jC & nC \\ cC & gC & kC & oC \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix}$$

kombinierte inverse Matrix	Bestimmungs-raum-Voxelpunkt	transformierter Abtastpunkt

[0068] Jede Komponente wird ferner durch Multiplizieren mit 65.536 in das 16,16-Format umgewandelt.

[0069] In einem Block **506** wird der Anfangsnachbarschaftspunkt (i,j,k) in dem Quellenraum durch Abschneiden des Bruchteilabschnitts der transformierten x'-, y'- und z'-Abtastpunktwerte bestimmt. Dies wird erreicht, indem der Wert mit dem 16,16-Format um 16 Bits nach rechts verschoben wird.

[0070] Ein Block **508** berechnet die Werte von dx, dy und dz, die Delta-Werte sind, die die Änderung in der x-, der y- und der z-Richtung des transformierten Abtastpunktes in der umgebenden Nachbarschaft von acht

Quellenraumvoxeln darstellen. Diese Werte werden durch Maskierung des tieferen Bruchteilabschnitts des 16,16-Formatwerts mittels einer 'Und'-Operation und das nachfolgende Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle wie folgt berechnet:

dx = fixedPointLUT[x' & Oxffff];

dy = fixedPointLUT[y' & Oxffff];

dz = fixedPointLUT[z' & Oxffff];

[0071] Ein Block **510** berechnet Ankerwerte, die auf Daten in dem ursprünglichen Volumendatensatz zeigen. Diese Ankerwerte werden in einer Zeigerarithmetik verwendet, um die Berechnungen zu optimieren und ferner eine einfachere Compilierung zu ermöglichen.

[0072] Ein Block **512** wendet das Verfahren der trilinearen Interpolation von **Fig.** 9 an. Werte von den acht Nachbarschafts-Quellenraumvoxeln, die den transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt enthalten, werden trilinear interpoliert, um einen kombinierten Quellenwert abzuleiten, der verwendet werden wird, um das (X,Y)-Pixel, das dem transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt für den Strahl entspricht, aufzubereiten.

[0073] Ein Block **514** führt ein Zusammensetzungsverfahren auf dem Ergebnis, das für diesen transformierten Abtastpunkt erhalten wird, durch, um die Pixelwerte zu bestimmen, die verwendet werden, um diesen (X,Y)-Pixelort, der diesem Pixelpunkt entspricht, aufzubereiten. Fachleute werden erkennen, daß das Zusammensetzen durchgeführt werden kann, nachdem ale Abtastpunkte auf einem Strahl ausgewertet wurden, im Gegensatz zu dem Zusammensetzen von jedem Abtastpunkt, während jeder Abtastpunkt verarbeitet wird.

[0074] Ein Block **516** bestimmt, ob weitere Abtastpunkte entlang des Strahls, der ausgewertet werden soll, existieren. Wenn dies der Fall ist, erhält ein Block **518** den nächsten Abtastpunkt entlang des Strahls, der ausgewertet werden soll. Ein Fortschreiten von Abtastpunkt zu Abtastpunkt entlang des Strahls wird durch einfache ganzzahlige Additionen unter Verwendung der Werte, die in dem Block **212** (**Fig.** 2) bestimmt wurden, und den Werten x', y' und z' erreicht. Die Steuerung springt dann zu einem Block **506**. Die Schritte in den Blöcken **506**, **508**, **510**, **512** und **514** werden dann wiederholt. Wenn die Antwort in dem Block **516** negativ ist, was anzeigt, daß keine weiteren Abtastpunkte entlang des gegenwärtigen Strahls existieren, springt die Steuerung zu einem Block **520**, der bestimmt, ob weitere Strahlen, die verarbeitet werden sollen, existieren. Wenn die Antwort in dem Block **520** positiv ist, kehrt die Steuerung zu dem Block **206** in **Fig.** 2 zurück um den nächsten Strahl zu erhalten. Wenn die Antwort in dem Block **520** negativ ist, was anzeigt, daß keine weiteren Strahlen, die verarbeitet werden sollen, existieren, springt die Steuerung von **Fig.** 5 zu **Fig.** 2 zurück.

[0075] **Fig.** 6 zeigt eine zweidimensionale Darstellung eines Volumendatensatzes in dem Quellenraum. Wie nun in **Fig.** 6 gezeigt ist, wird eine vereinfachte zweidimensionale Darstellung eines Volumendatensatzes in dem Quellenraum verwendet, um die Transformationsbeziehung für die kombinierte inverse Matrix zwischen Voxeln und Abtastpunkten darzustellen. Das Bezugszeichen **602** stellt die i-, die j- und die k-Richtung in dem Quellenraum dar, wobei sich die j-Richtung senkrecht aus der Papierebene erstreckt. Der Volumendatensatz **604** in dem Quellenraum weist Voxel auf, die sich an den Schnittpunkten der Gitterlinien befinden. Ein Voxel **606** ist veranschaulichend für alle Voxel in dem Volumendatensatz **604**.

[0076] **Fig.** 7 zeigt eine zweidimensionale Darstellung des Volumendatensatzes von **Fig.** 6 in dem Bestimmungsraum, oder Betrachtungsraum, nach der Transformation für eine perspektivische Aufbereitung. Bezugnehmend nun auf **Fig.** 7 wurde ein Operator der kombinierten Matrix auf den Volumendatensatz **604** (**Fig.** 6) angewendet, was eine Änderung der Ausrichtung, die für den Volumendatensatz **604** in dem Bestimmungsraum, oder Betrachtungsraum, gezeigt ist, für eine perspektivische Aufbereitung zur Folge hat. Das Bezugszeichen **702** stellt die x-, die y- und die z-Richtung in dem Bestimmungsraum, oder Betrachtungsraum, dar, wobei sich die y-Richtung senkrecht aus der Papierebene erstreckt. Als ein Ergebnis des Operators der kombinierten Matrix wird für die perspektivische Ansicht, die durch den Benutzer erwünscht ist, ein Projektionsmittelpunkt **704** festgelegt. Ein Betrachtungsvektor **708** ist veranschaulichend für viele Betrachtungsvektoren, die von dem Projektionsmittelpunkt **704** ausgehen.

[0077] **Fig.** 8 zeigt eine zweidimensionale Darstellung des Volumendatensatzes von **Fig.** 7 zurück in dem Quellenraum nach der Transformation durch die kombinierte inverse Matrix. Wie nun in **Fig.** 8 gezeigt ist, wurde ein Operator der kombinierten inversen Matrix auf den Volumendatensatz **604** angewendet. Das Bezugszeichen **602** stellt die i-, die j- und die k-Richtung in dem Quellenraum dar, wobei sich die k-Richtung senkrecht

aus der Papierebene erstreckt. Eine Bildebene **710** (**Fig.** 7) wurde ebenfalls in den Quellenraum gebracht, wobei die Beziehung, die dieselbe in dem Bestimmungsraum, oder Betrachtungsraum, mit dem Volumendatensatz **604** hatte, bewahrt wird. Strahlen werden von dem Projektionsmittelpunkt **704** durch Pixelorte entlang der Bildebene **710** geworfen. Ein Pixel **812** und ein Strahl **814** sind veranschaulichend für die Pixel entlang der Bildebene **710** und die Strahlen, die von denselben geworfen sind, die von dem Projektionsmittelpunkt **704** ausgehen.

[0078] Entlang des Strahls **814** sind Abtastpunkte **816**, **818**, **820** und **822** angeordnet, die in den Volumendatensatz **604** fallen. Eine Interpolationstechnik einer bestimmten Art muß angewendet werden, um Werte für die Abtastpunkte **816**, **818**, **820** und **822** aus den Nachbarschaftsvoxeln, die jeden Abtastpunkt umgeben, abzuleiten. Die Interpolation des nächstliegenden Nachbarn und die trilineare Interpolation sind zwei derartige Techniken, die für dreidimensionale räumliche Transformationen verwendet werden. Abtastpunkte entlang weiterer Strahlen werden in gleicher Weise verarbeitet. Fachleute werden erkennen, daß die Grundsätze, die in den **Fig.** 6 bis 8 bei einer zweidimensionalen Darstellung gezeigt sind, ebenso in drei Dimensionen gelten.

[0079] **Fig.** 9 zeigt eine dreidimensionale Darstellung der trilinearen Interpolationstechnik zum Bestimmen von Pixelwerten zum Aufbereiten von Abtastpunkten nach einer dreidimensionalen räumlichen Transformation. Wie nun in **Fig.** 9 gezeigt ist, stellt ein Bezugszeichen **932** die i-, die j- und die k-Richtung im Quellenraum dar. Ein Transformationsabtastpunkt **918** ist ein (x',y',z')-Abtastpunkt in dem Quellenraum. **902**, **904**, **906**, **908**, **910**, **912**, **914** und **916** stellen acht Voxel in dem Quellenraum dar, die einen transformierten (x',y',z')-Abtastpunkt **918** enthalten. Der Abstand dx **934** wird durch Maskieren des tieferen Bruchteilabschnitts des Werts x' mit dem 16,16-Format und ein Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle **302** (**Fig.** 3) bestimmt. Der Abstand dy **936** wird durch Maskieren des tieferen Bruchteilabschnitts des Werts y' mit dem 16,16-Format und ein Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle **302** (**Fig.** 3) bestimmt. Der Abstand dz **938** wird durch Maskieren des tieferen Bruchteilabschnitts des Werts z' mit dem 16,16-Format und ein Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle **302** (**Fig.** 3) bestimmt.

[0080] Die Interpolation beginnt durch das Auswerten eines ersten Schnitts, der durch die Ebene definiert ist, die die Punkte **902**, **904**, **906** und **908** enthält. Der Wert des Punkts **920** wird interpoliert, indem die Differenz zwischen den Voxeln **904** und **902** gebildet wird, mit dem Wert des Abstands dx **934** multipliziert wird, und indem nachfolgend dieses Produkt zu dem Wert des Voxels **902** addiert wird, was durch die folgende Gleichung dargestellt ist, wobei P920, P904, usw., den Wert jedes Punkts an diesem Ort darstellen:

$$P920 = ((P904 - P902)\cdot dx) + p902$$

[0081] In gleicher Weise wird der Wert des Punkts **922** durch das Bilden der Differenz zwischen dem Voxel **906** und **908**, das Multiplizieren mit dem Wert des Abstands dx **934** und das nachfolgende Addieren dieses Produkts zu dem Wert des Voxels **908** bestimmt.

[0082] In gleicher Weise wird der Wert des Punkts **924** durch das Bilden der Differenz zwischen den Punkten **922** und **920**, das Multiplizieren mit dem Wert des Abstands dy **936** und das nachfolgende Addieren dieses Produkts zu dem Wert des Punkts **920** bestimmt.

[0083] Die gleiche, oben angegebene Prozedur wird für den nächsten Schnitt verfolgt, der durch die Ebene definiert ist, die die Voxel **910**, **912**, **914** und **916** enthält. Die Werte der Punkte **926**, **928** und **930** werden auf die gleiche Weise bestimmt, wie oben die Punkte **920**, **922** und **924** bestimmt wurden.

[0084] Der schließliche Wert, der verwendet wird, um das Pixel, das dem transformierten Abtastpunkt **918** entspricht, aufzubereiten, wird bestimmt, indem die Differenz zwischen den Punkten **930** und **924** gebildet wird, mit dem Wert des Abstands dz **938** multipliziert wird, und nachfolgend dieses Produkt zu dem Wert des Punkts **924** addiert wird. Dieses Verfahren wird für jeden Abtastpunkt entlang eines Strahls und für alle Strahlen in dem Volumen, das aufbereitet werden soll, wiederholt.

Patentansprüche

1. Strahltransformationsverfahren für eine schnelle Volumenaufbereitung für eine perspektivische Ansicht eines Volumendatensatzes (**604**) zur aufbereiteten Darstellung des Volumendatensatzes auf einer zweidimensionalen Graphikanzeige (**110**) eines Computersystems (**100**) mit folgenden Schritten:
(a) Ausdrücken eines Anfangsbestimmungsraumvoxels eines Strahls (**814**) in homogenen Koordinaten mit einem x-Wert, einem y-Wert, einem z-Wert und einen w-Wert;

(b) Bestimmen eines Abstandswerts für eine Projektionsebene für eine gewünschte perspektivische Ansicht;
(c) Erzeugen einer Strahltransformationsmatrix, die einem Pixelort zugeordnet ist, wobei der Pixelort eine X-Komponente und eine Y-Komponente aufweist, sowie den x-Wert und den y-Wert des Anfangsbestimmungsraumvoxels des Strahls (**814**), das in homogenen Koordinaten ausgedrückt ist, wobei die Strahltransformationsmatrix ferner einen z-Vektor aufweist, wobei der z-Vektor eine iR-Komponente und eine jR-Komponente aufweist;
(d) Initialisieren (**204**) aller Werte für die Strahltransformationsmatrix mit Ausnahme der iR-Komponente und der jR-Komponente;
(e) Initialisieren (**208**) der iR-Komponente und der jR-Komponente des z-Vektors der Strahltransformationsmatrix durch Dividieren der X-Komponente des Pixelorts durch den Abstandswert für die iR-Komponente und Dividieren der Y-Komponente des Pixelwerts durch den Abstandswert für die jR-Komponente;
(f) Erzeugen einer inversen Matrix für eine orthographische Modellansicht, wobei die inverse Matrix für eine orthographische Modellansicht homogene Koordinaten aufweist;
(g) Multiplizieren (**210**) der inversen Matrix für eine orthographische Modellansicht mit der Strahltransformationsmatrix, was eine kombinierte inverse Matrix ergibt;
(h) Multiplizieren (**404**, **504**) des Anfangsbestimmungsraumvoxels, das in homogenen Koordinaten ausgedrückt ist, mit der kombinierten inversen Matrix, was einen inversen transformierten Abtastpunkt (**918**) ergibt, wobei der inverse transformierte Abtastpunkt einen x'-Koordinatenwert, einen y'-Koordinatenwert und einen z'-Koordinatenwert aufweist;
(i) Addieren (**404**) von 0,5 sowohl zu dem x'-Koordinatenwert, dem y'-Koordinatenwert als auch dem z'-Koordinatenwert des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**);
(j) Bestimmen (**406**) eines Anfangsnachbarschaftspunkts, durch
Codieren des x'-Koordinatenwerts, des y'-Koordinatenwerts und des z'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) in ein Festkommaformat, wobei das Festkommaformat einen Skalarabschnitt mit einer ersten vorbestimmten Anzahl von Bits und einen Bruchteilabschnitt mit einer zweiten vorbestimmten Anzahl von Bits aufweist, und
Verschieben (**406**, **506**) sowohl des x'-Koordinatenwerts, des y'-Koordinatenwerts als auch des z'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) um die vorbestimmte Anzahl von Bits nach rechts, was den Anfangsnachbarschaftspunkt ergibt, wobei der Anfangsnachbarschaftspunkt eine ganzzahlige Komponente i, eine ganzzahlige Komponente j und eine ganzzahlige Komponente k aufweist;
(k) Bestimmen einer Nachbarschaft von acht Quellen raumvoxeln, die den Anfangsnachbarschaftspunkt umgeben;
(l) Bestimmen eines nächstliegenden Nachbarschafts-Quellenraumvoxels aus der Nachbarschaft der acht Quellenraumvoxel relativ zu dem Anfangsnachbarschaftspunkt, wobei das nächstliegende Nachbarschafts-Quellenraumvoxel einen Quellenraumwert aufweist;
(m) Zuweisen (**408**) des Quellenraumwerts des nächstliegenden Nachbar-Quellenraumvoxels zu dem inversen transformierten Abtastpunkt (**918**), wobei der Quellenraumwert bei dem weiteren Aufbereitungsverfahren für den inversen transformierten Abtastpunkt verwendet wird;
(n) falls ein weiterer Abtastpukt auf dem Strahl existiert, Erhöhen des x'-Koordinatenwerts, des y'-Koordinatenwerts und des z'-Koordinatenwerts jeweils um vorbestimmte WERTE; und Wiederholen der Schritte (k) bis (m); und
(o) falls ein weiterer Strahl existiert, Erhalten (**206**, **402**) eines nächsten Anfangsbestimmungsraumvoxels eines nächsten Strahls und Wiederholen der Schritte (a) bis (n).

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Schritte ((i) bis (m) durch folgende Schritte (i) bis (n) ersetzt sind:
(i) Bestimmen (**506**) eines Anfangsnachbarschaftspunkts, durch
Codieren des x'-Koordinatenwerts, des y'-Koordinatenwerts und des z'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) in ein Festkommaformat, wobei das Festkommaformat einen Skalarabschnitt mit einer ersten vorbestimmten Anzahl von Bits und einen Bruchteilabschnitt mit einer zweiten vorbestimmten Anzahl von Bits aufweist, und
Verschieben (**406**, **506**) sowohl des x'-Koordinatenwerts, des y'-Koordinatenwerts als auch des z'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) um die vorbestimmte Anzahl von Bits nach rechts, was den Anfangsnachbarschaftspunkt ergibt, wobei der Anfangsnachbarschaftspunkt eine ganzzahlige Komponente i, eine ganzzahlige Komponente j und eine ganzzahlige Komponente k aufweist;
(j) Bestimmen einer Nachbarschaft von acht Quellenraumvoxeln, die den Anfangsnachbarschaftspunkt umgeben, wobei jedes der Nachbarschaft von acht Quellenraumvoxeln einen Quellenraumwert aufweist;
(k) Bestimmen (**508**) eines Delta-x-Werts;
(l) Bestimmen (**508**) eines Delta-y-Werts;
(m) Bestimmen (**508**) eines Delta-z-Werts; und

(n) Bestimmen (**512**) eines kombinierten Quellenraumwerts für den inversen transformierten Abtastpunkt (**918**) durch eine trilineare Interpolation der Quellenraumwerte der Nachbarschaft von acht Quellenraumvoxeln, dem Delta-x-Wert, dem Delta-y-Wert und dem Delta-z-Wert, wobei der kombinierte Quellenraumwert für den inversen transformierten Abtastpunkt bei dem weiteren Aufbereitungsverfahren für den inversen transformierten Abtastpunkt verwendet wird.
(o) falls ein weiterer Abtastpukt auf dem Strahl existiert, Erhöhen des x'-Koordinatenwerts, des y'-Koordinatenwerts und des z'-Koordinatenwerts jeweils um vorbestimmte Werte, und Wiederholen der Schritte (k) bis (n); und
(p) falls ein weiterer Strahl existiert, Erhalten (**206**, **402**) eines nächsten Anfangsbestimmungsraumvoxels eines nächsten Strahls und Wiederholen der Schritte (a) bis (o).

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die erste vorbestimmte Anzahl von Bits und die zweite vorbestimmte Anzahl von Bits sechzehn ist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, das ferner folgenden Schritt (a1), der vor dem Schritt (a) durchgeführt wird, und folgenden Schritt (m1), der nach dem Schritt (m) durchgeführt wird, aufweist:
(a1) Erzeugen (**202**) einer y-Richtung-Nachschlagtabelle und einer z-Richtung-Nachschlagtabelle; und
(m1) Zusammensetzen (**410**) des Quellenraumwerts, der dem inversen transformierten Abtastpunkt (**918**) zugeordnet ist.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei dem der Schritt (**1**) ferner folgenden Schritt (**11**) aufweist:
(l1) Bestimmen des nächstliegenden Nachbarquellenraumvoxels durch Zugreifen auf die y-Richtung-Nachschlagtabelle und die z-Richtung-Nachschlagtabelle.

6. Verfahren gemäß Anspruch 2, das ferner folgenden Schritt (a1), der nach dem Schritt (a) durchgeführt wird, und folgenden Schritt (n1), der nach dem Schritt (n) durchgeführt wird, aufweist:
(a1) Erzeugen (**202**) einer Bruchteilnachschlagtabelle, einer y-Richtung-Nachschlagtabelle und einer z-Richtung-Nachschlagtabelle; und
(n1) Zusammensetzen (**514**) des kombinierten Quellenraumwerts für den invertierten transformierten Abtastpunkt (**918**).

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, bei dem die Schritte (k), (l), (m) und (n) ferner folgende Schritte (k1), (l1), (ml) und (n1) aufweisen:
(k1) Bestimmen (**508**) des Delta-x-Werts durch Maskieren des x'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) und durch Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle;
(l1) Bestimmen (**508**) des Delta-y-Werts durch Maskieren des y'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) und Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle;
(m1) Bestimmen (**508**) des Delta-z-Werts durch Maskieren des z'-Koordinatenwerts des inversen transformierten Abtastpunkts (**918**) und Zugreifen auf die Bruchteilnachschlagtabelle; und
(n1) Bestimmen (**512**) des kombinierten Quellenwerts durch Zugreifen auf die y-Richtung-Nachschlagtabelle und die z-Richtung-Nachschlagtabelle, um die trilineare Interpolation zu unterstützen.

8. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem der Schritt (n) folgende Schritte aufweist:
Isolieren (**212**) einer z-Vektor-Komponente der kombinierten inversen Matrix, wobei die z-Vektor-Komponente einen iC-Wert, einen jC-Wert und einen kC-Wert aufweist, und Umwandeln der z-Vektor-Komponente der kombinierten inversen Matrix in ganzzahlige Werte durch Multiplizieren sowohl des iC-Werts, der jC-Werts als auch des kC-Werts mit 65.536, was einen iF-Wert, einen jF-Wert und einen kF-Wert ergibt; und
Ableiten (**414**) des nächsten transformierten Abtastpunktes entlang des Strahls (**814**) durch Addieren des iF-Werts zu dem x'-Koordinatenwert, Addieren des jF-Werts zu dem y'-Koordinatenwert und Addieren des kF-Werts zu dem z'-Koordinatenwert.

9. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem der Schritt (o) folgende Schritte aufweist:
Isolieren (**212**) einer z-Vektor-Komponente der kombinierten inversen Matrix, wobei die z-Vektor-Komponente einen iC-Wert, einen jC-Wert und einen kC-Wert aufweist, und Umwandeln der z-Vektor-Komponente der kombinierten inversen Matrix in ganzzahlige Werte durch das Multiplizieren sowohl des iC-Werts, des jC-Werts als auch des kC-Werts mit 65.536, was einen iF-Wert, einen jF-Wert und einen kF-Wert ergibt; und
Ableiten (**518**) des nächsten transformierten Abtastpunktes entlang des Strahls (**814**) durch Addieren des iF-Werts zu dem x'-Koordinatenwert, Addieren des jF-Werts zu dem y'-Koordinatenwert und Addieren des kF-Werts zu dem z'-Koordinatenwert.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

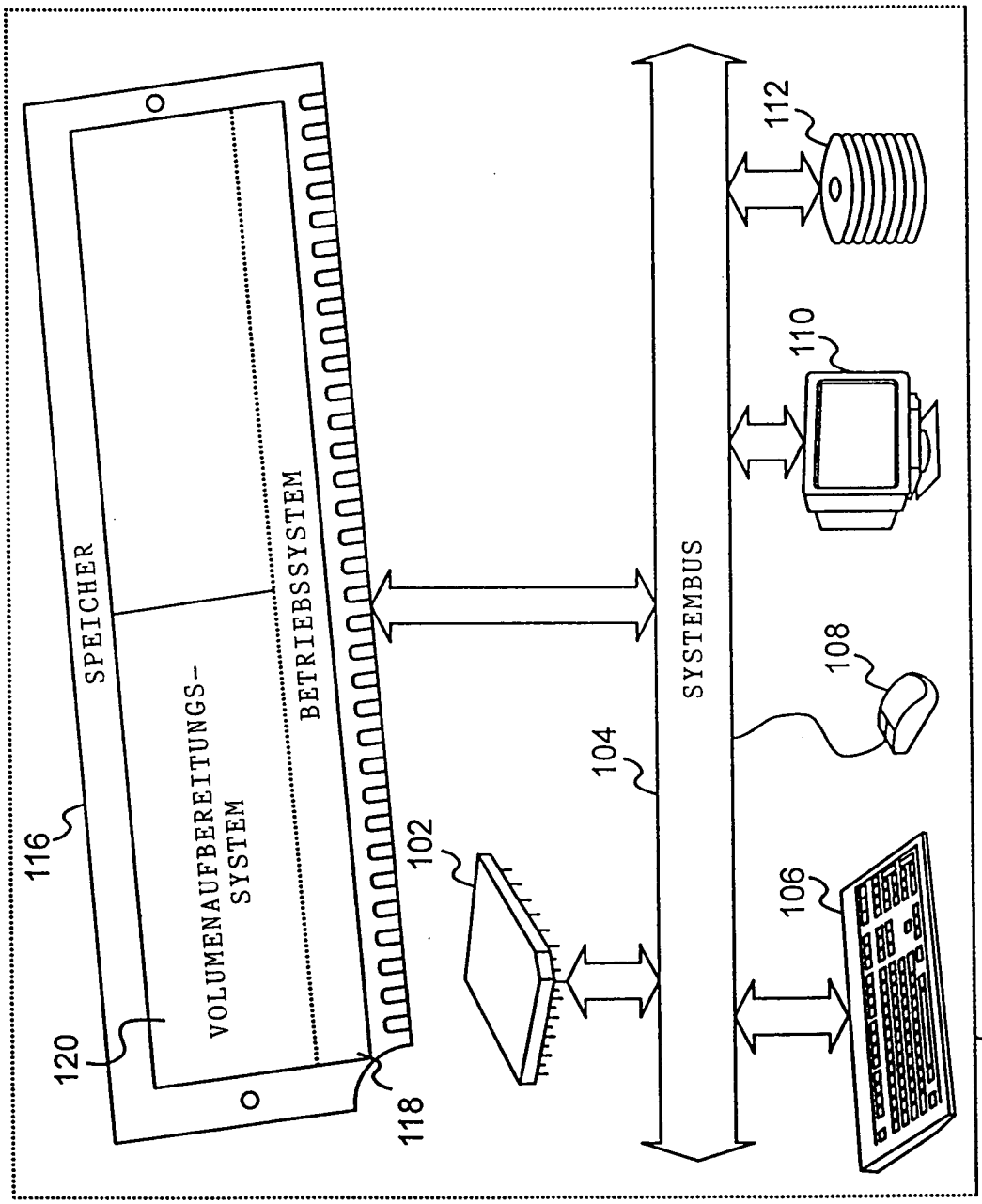


FIG. 1

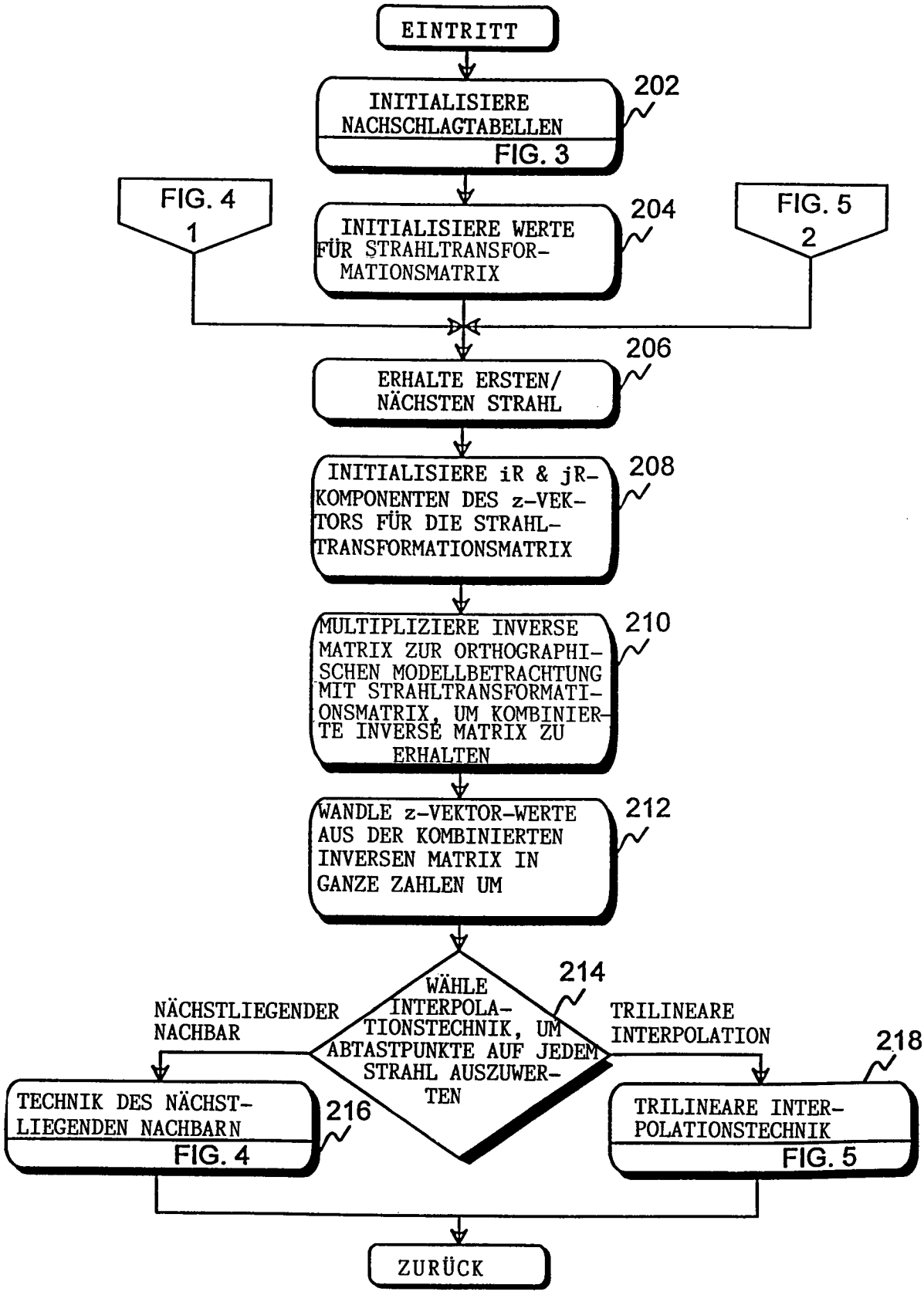

EINTRITT
INITIALISIERE NACHSCHLAGTABELLEN
FIG. 3
202
FIG. 4
1
INITIALISIERE WERTE FÜR STRAHLTRANSFORMATIONSMATRIX
204
FIG. 5
2
ERHALTE ERSTEN/ NÄCHSTEN STRAHL
206
INITIALISIERE iR & jR-KOMPONENTEN DES z-VEKTORS FÜR DIE STRAHLTRANSFORMATIONSMATRIX
208
MULTIPLIZIERE INVERSE MATRIX ZUR ORTHOGRAPHISCHEN MODELLBETRACHTUNG MIT STRAHLTRANSFORMATIONSMATRIX, UM KOMBINIERTE INVERSE MATRIX ZU ERHALTEN
210
WANDLE z-VEKTOR-WERTE AUS DER KOMBINIERTEN INVERSEN MATRIX IN GANZE ZAHLEN UM
212
WÄHLE INTERPOLATIONSTECHNIK, UM ABTASTPUNKTE AUF JEDEM STRAHL AUSZUWERTEN
214
NÄCHSTLIEGENDER NACHBAR
TRILINEARE INTERPOLATION
TECHNIK DES NÄCHSTLIEGENDEN NACHBARN
FIG. 4
216
TRILINEARE INTERPOLATIONSTECHNIK
FIG. 5
218
ZURÜCK

FIG. 2

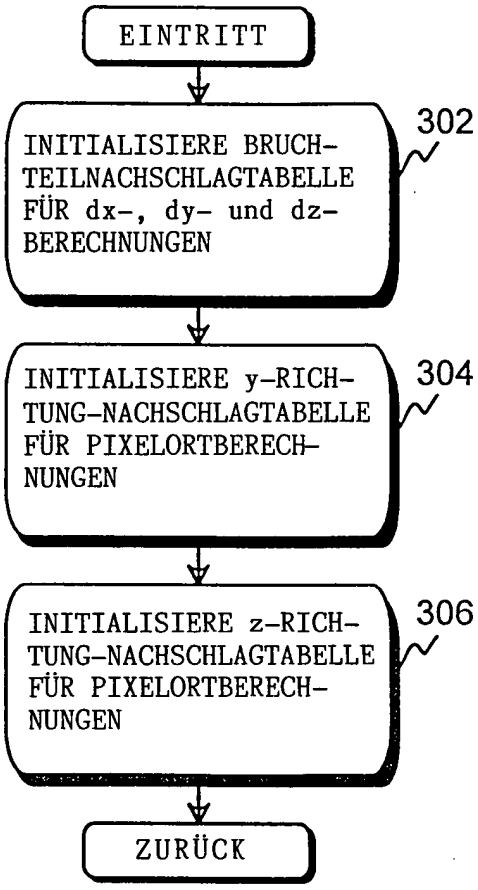

EINTRITT
INITIALISIERE BRUCH-TEILNACHSCHLAGTABELLE FÜR dx-, dy- und dz-BERECHNUNGEN
302
INITIALISIERE y-RICH-TUNG-NACHSCHLAGTABELLE FÜR PIXELORTBERECH-NUNGEN
304
INITIALISIERE z-RICH-TUNG-NACHSCHLAGTABELLE FÜR PIXELORTBERECH-NUNGEN
306
ZURÜCK

FIG. 3

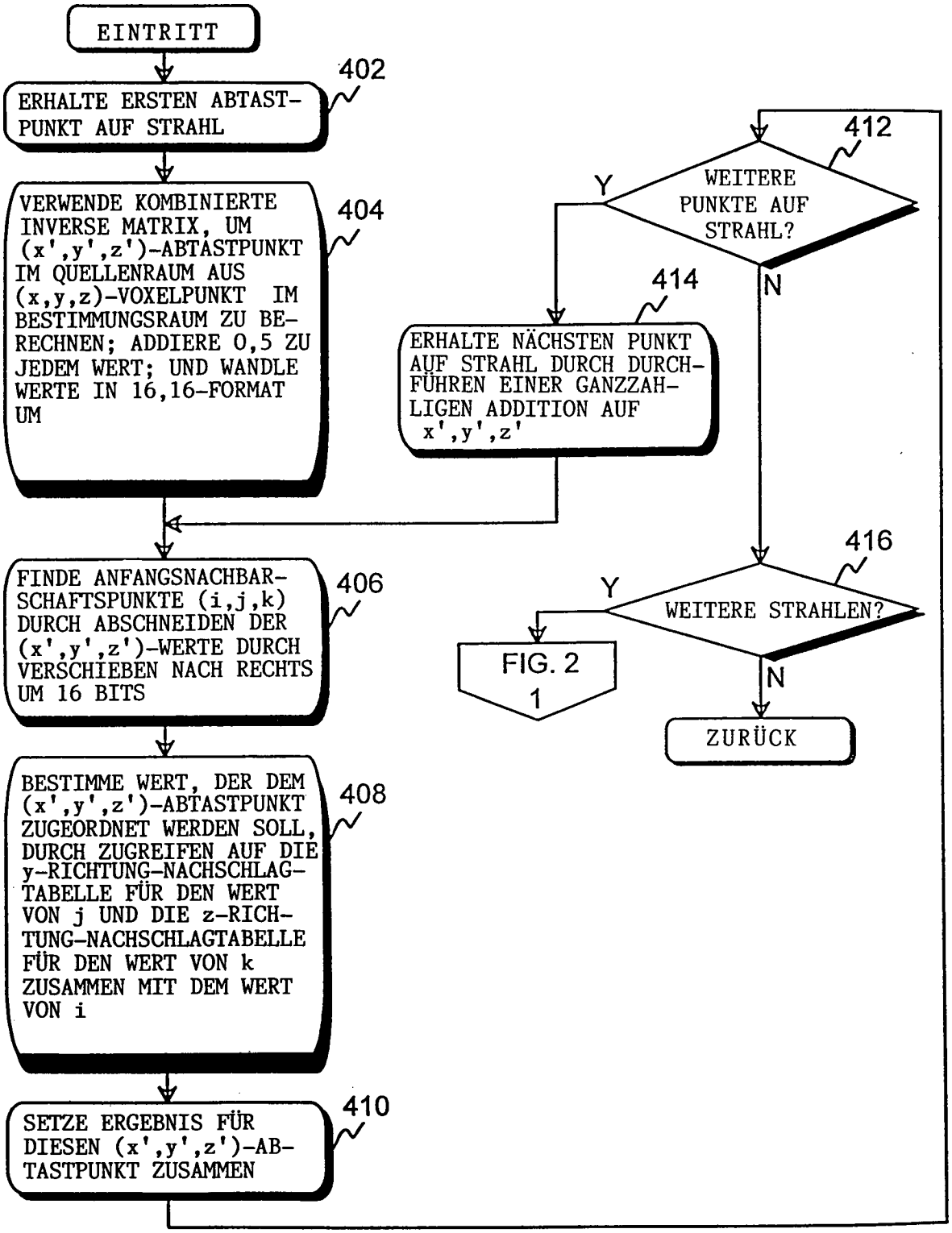

EINTRITT
402
ERHALTE ERSTEN ABTAST-PUNKT AUF STRAHL
404
VERWENDE KOMBINIERTE INVERSE MATRIX, UM (x',y',z')-ABTASTPUNKT IM QUELLENRAUM AUS (x,y,z)-VOXELPUNKT IM BESTIMMUNGSRAUM ZU BE-RECHNEN; ADDIERE 0,5 ZU JEDEM WERT; UND WANDLE WERTE IN 16,16-FORMAT UM
406
FINDE ANFANGSNACHBAR-SCHAFTSPUNKTE (i,j,k) DURCH ABSCHNEIDEN DER (x',y',z')-WERTE DURCH VERSCHIEBEN NACH RECHTS UM 16 BITS
408
BESTIMME WERT, DER DEM (x',y',z')-ABTASTPUNKT ZUGEORDNET WERDEN SOLL, DURCH ZUGREIFEN AUF DIE y-RICHTUNG-NACHSCHLAG-TABELLE FÜR DEN WERT VON j UND DIE z-RICH-TUNG-NACHSCHLAGTABELLE FÜR DEN WERT VON k ZUSAMMEN MIT DEM WERT VON i
410
SETZE ERGEBNIS FÜR DIESEN (x',y',z')-AB-TASTPUNKT ZUSAMMEN
412
WEITERE PUNKTE AUF STRAHL?
Y
N
414
ERHALTE NÄCHSTEN PUNKT AUF STRAHL DURCH DURCH-FÜHREN EINER GANZZAH-LIGEN ADDITION AUF x',y',z'
416
WEITERE STRAHLEN?
Y
N
FIG. 2
1
ZURÜCK

FIG. 4

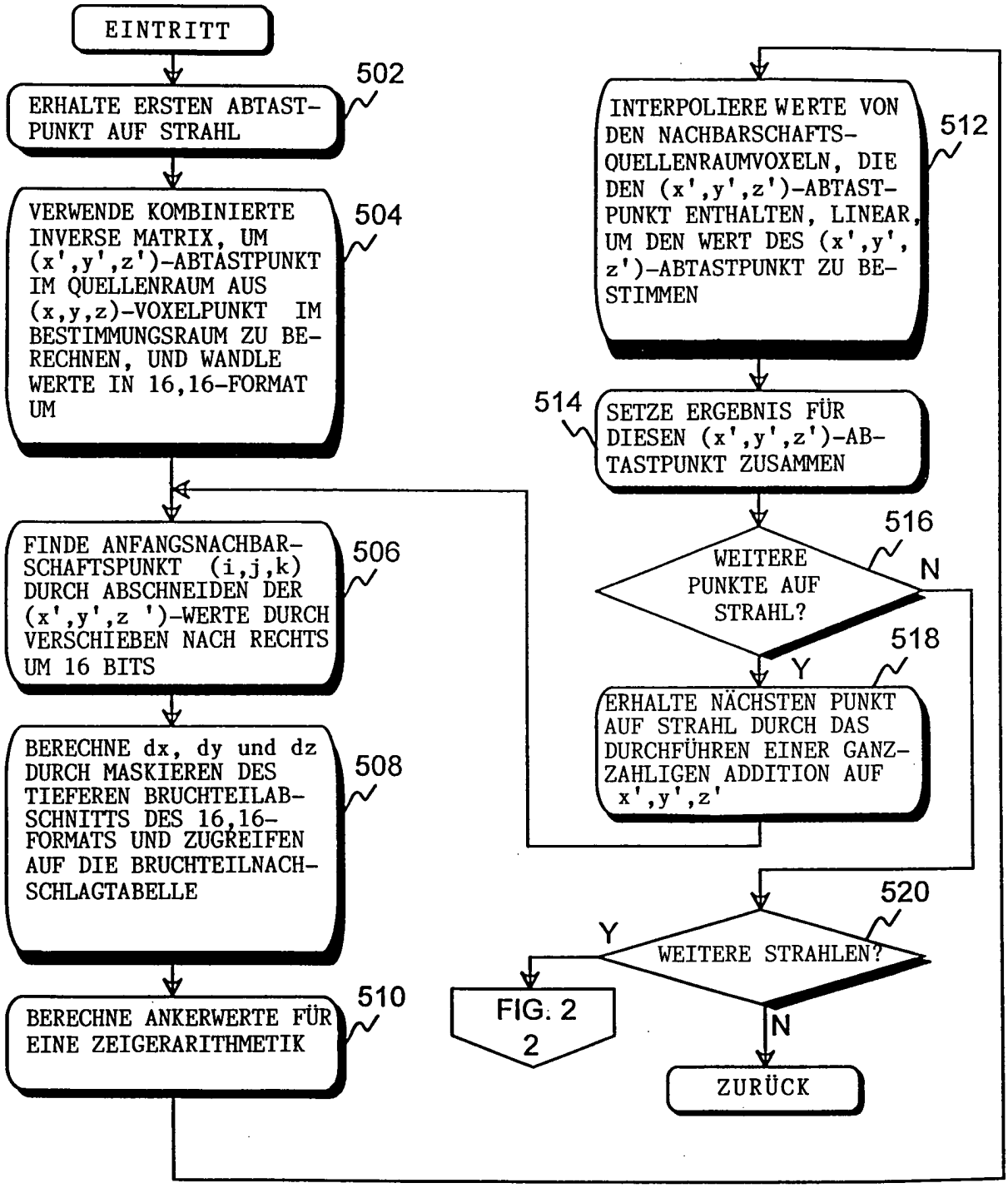

EINTRITT
ERHALTE ERSTEN ABTAST-PUNKT AUF STRAHL
502
VERWENDE KOMBINIERTE INVERSE MATRIX, UM (x',y',z')-ABTASTPUNKT IM QUELLENRAUM AUS (x,y,z)-VOXELPUNKT IM BESTIMMUNGSRAUM ZU BE-RECHNEN, UND WANDLE WERTE IN 16,16-FORMAT UM
504
FINDE ANFANGSNACHBAR-SCHAFTSPUNKT (i,j,k) DURCH ABSCHNEIDEN DER (x',y',z ')-WERTE DURCH VERSCHIEBEN NACH RECHTS UM 16 BITS
506
BERECHNE dx, dy und dz DURCH MASKIEREN DES TIEFEREN BRUCHTEILAB-SCHNITTS DES 16,16-FORMATS UND ZUGREIFEN AUF DIE BRUCHTEILNACH-SCHLAGTABELLE
508
BERECHNE ANKERWERTE FÜR EINE ZEIGERARITHMETIK
510
INTERPOLIERE WERTE VON DEN NACHBARSCHAFTS-QUELLENRAUMVOXELN, DIE DEN (x',y',z')-ABTAST-PUNKT ENTHALTEN, LINEAR, UM DEN WERT DES (x',y',z')-ABTASTPUNKT ZU BE-STIMMEN
512
SETZE ERGEBNIS FÜR DIESEN (x',y',z')-AB-TASTPUNKT ZUSAMMEN
514
WEITERE PUNKTE AUF STRAHL?
516
N
Y
ERHALTE NÄCHSTEN PUNKT AUF STRAHL DURCH DAS DURCHFÜHREN EINER GANZ-ZAHLIGEN ADDITION AUF x',y',z'
518
WEITERE STRAHLEN?
520
Y
N
FIG. 2
2
ZURÜCK

FIG. 5

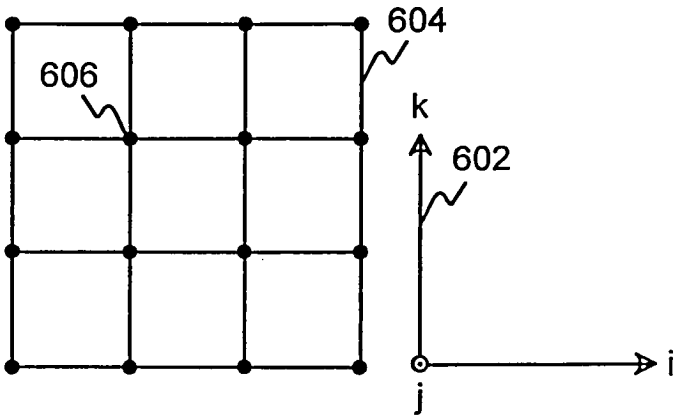


FIG. 6

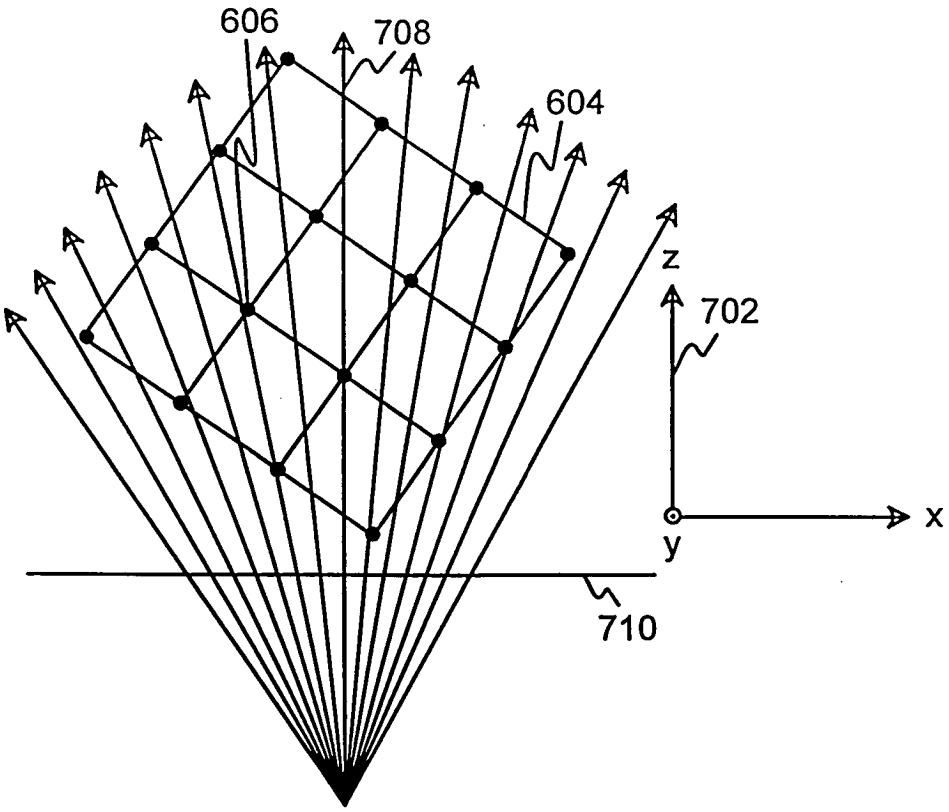


FIG. 7

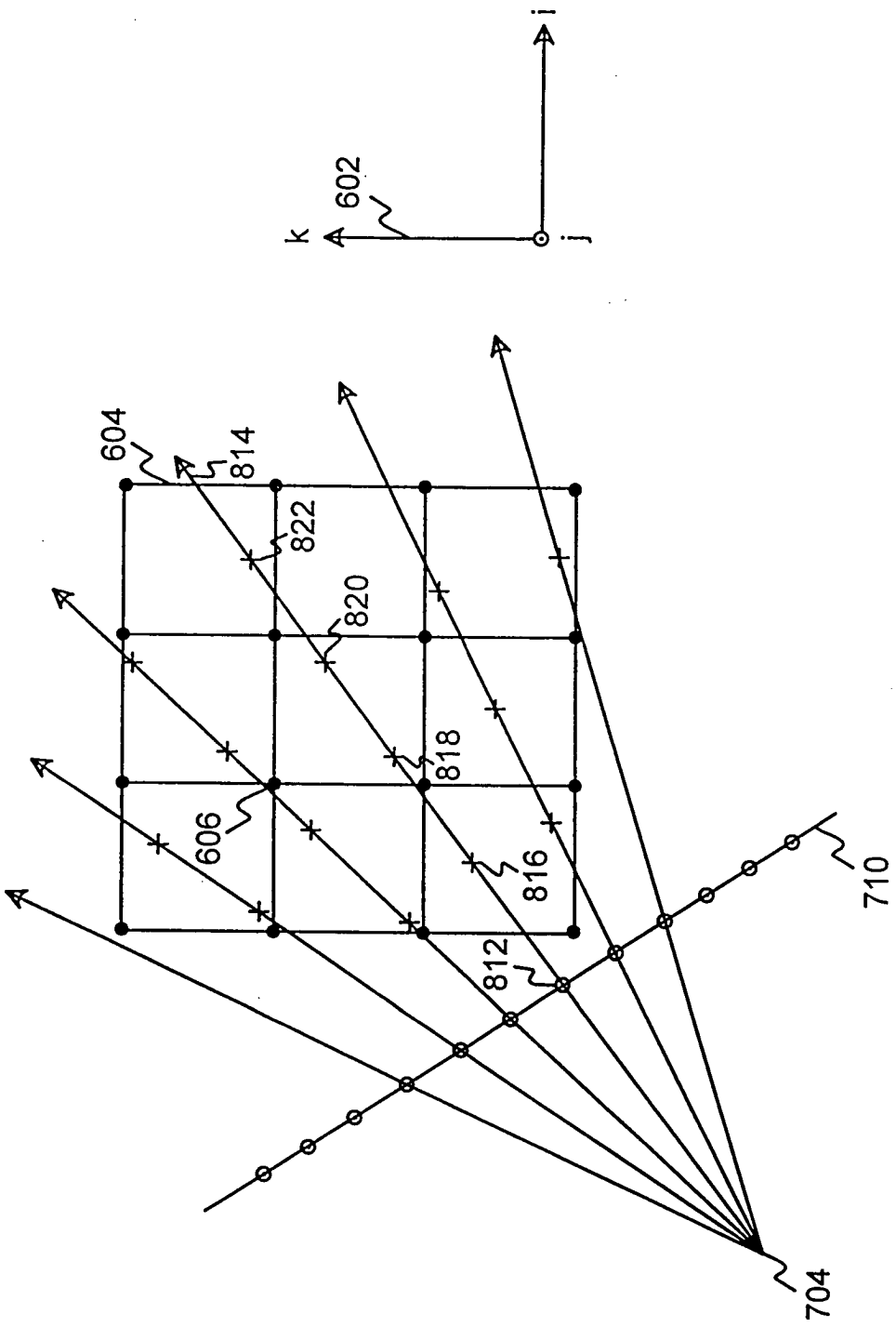


FIG. 8

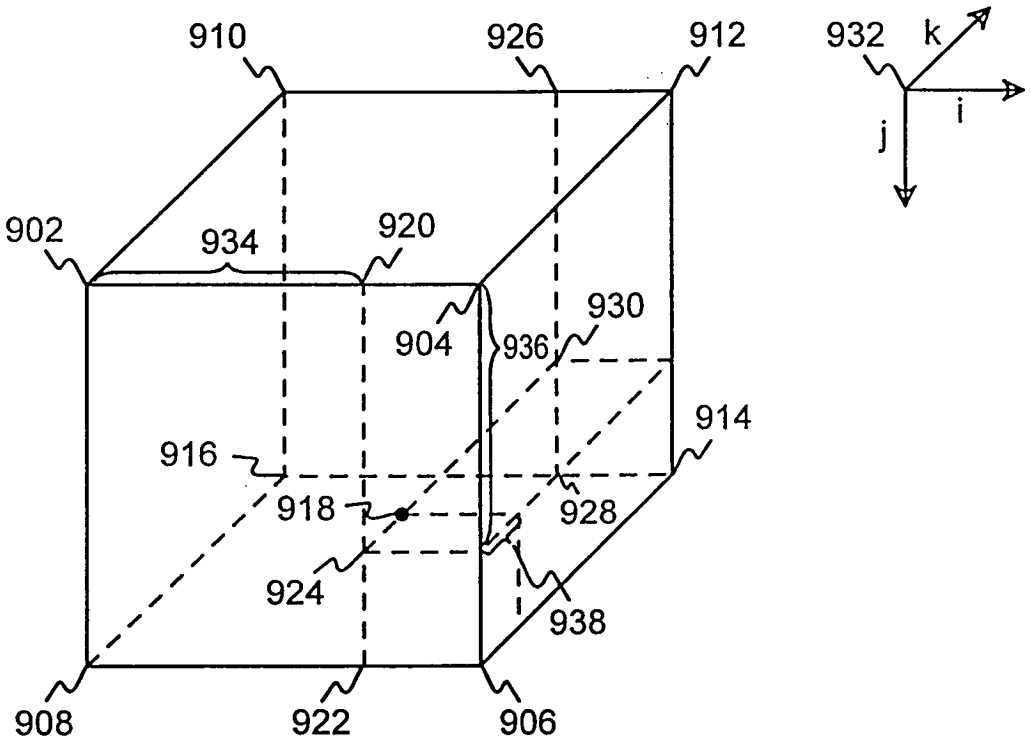

910
926
912
932
k
i
j
902
934
920
904
930
936
914
916
918
928
924
938
908
922
906

FIG. 9