



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2005 001 755 T5 2007.05.10**

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2006/017580**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2005 001 755.9**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2005/027571**
 (86) PCT-Anmeldetag: **02.08.2005**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **16.02.2006**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **10.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G06T 17/40 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
60/598,098 **02.08.2004** **US**
11/194,252 **01.08.2005** **US**

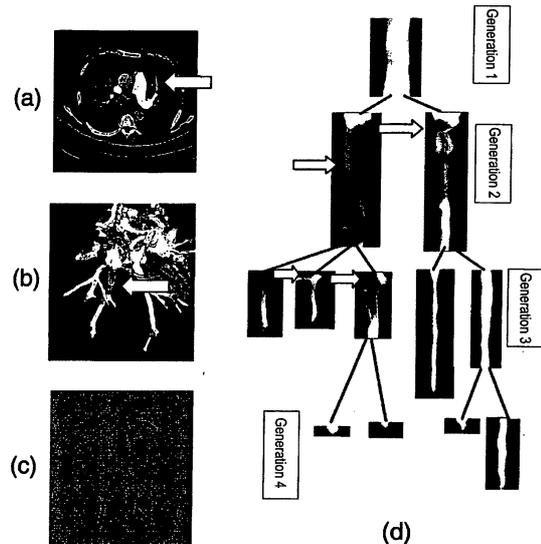
(71) Anmelder:
**Siemens Medical Solutions USA, Inc., Malvern,
 Pa., US**

(74) Vertreter:
Berg, P., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 80339 München

(72) Erfinder:
**Kiraly, Atilla Peter, Plainsboro, N.J., US; Novak,
 Carol L., Newtown, Pa., US**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur, welches umfasst:
 Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur;
 Umwandeln von Zweigen des Baummodells in erste zweidimensionale Zweigbilder; und
 Anordnen der ersten zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein zweites zweidimensionales Bild herzustellen.



Beschreibung

QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNG

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der am 02. August 2004 eingereichten vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 60/598,098, von der eine Kopie durch Querverweis in die vorliegende Anmeldung einbezogen ist.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Technisches Gebiet

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft die Visualisierung und computergestützte Diagnose und Erkennung von Lungenembolie, und spezieller ein System und Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie.

2. Erörterung des Standes der Technik

[0003] Eine Lungenembolie (LE) entsteht, wenn ein Stück eines Blutgerinnsels von einer tiefen Venenthrombose (TVT) abbricht und zu einer Arterie in einer Lunge wandert, wo es die Arterie verstopft, die Lunge schädigt und eine Belastung des Herzens verursacht. Diese kurzzeitige Komplikation ist potentiell lebensbedrohend und tritt bei etwa zehn Prozent der Patienten mit akuten TVT-Ereignissen auf. Sie kann sogar noch verbreiteter sein, als allgemein angenommen, da die Mehrzahl der Embolien ohne Symptome auftritt.

[0004] Obwohl LE eine der häufigsten Ursachen eines unerwarteten Todes in den USA ist, ist sie möglicherweise auch eine der vermeidbarsten. Eine umgehende Behandlung mit Antikoagulantien ist entscheidend, um einen Tod zu verhindern. Eine solche Behandlung birgt jedoch Risiken in sich, weshalb eine korrekte Diagnose von entscheidender Bedeutung ist. Infolgedessen gewinnt Computer-Tomographie-Angiographie (CTA) zunehmend an Akzeptanz als ein Diagnoseverfahren, das eine Sensitivität und Spezifität bietet, die mit anderen Verfahren wie etwa Pulmonalangiographie und Ventilations-Perfusions-Scans vergleichbar oder ihnen überlegen sind.

[0005] Bilder, die von 16-Schicht-Computertomographie-(CT-) Scannern gewonnen werden, welche bei der CTA verwendet werden, liefern Daten mit einer sehr hohen Auflösung, die eine verbesserte Erkennung von Emboli ermöglichen, die sich in subsegmentalen Arterien befinden. Die Analyse der hochauflösenden Daten über zweidimensionale (2D-) Schnitte erfordert die Verfolgung einzelner Gefäße und die Untersuchung von deren Inhalt. Diese Analyse kann jedoch zeitaufwendig sein, insbesondere für periphere Arterien. Zum Beispiel muss ein praktischer Arzt wie etwa ein Radiologe durch einzelne

2D-Schnitte navigieren, während er sich gleichzeitig an die Lage der Gefäße, die verfolgt werden, erinnern muss. Da der Radiologe jedoch jedes Mal nur eine begrenzte Anzahl von Gefäßen verfolgen kann, muss der gesamte Verfolgungsprozess wiederholt werden.

[0006] Die gegenwärtige Forschung auf dem Gebiet der automatisierten Analyse von LE in kontrastmittelverstärkten CT-Bildern betrifft entweder die direkte Erkennung von Gerinnseln innerhalb der Arterien mittels computergestützter Erkennung (Computer Aided Detection, CAD) oder den indirekten Rückschluss auf die Lage von Gerinnseln durch Visualisierung der Gefäße oder Durchblutungsstörungen in betroffenen Lungenbereichen. Wenn unter Anwendung von CAD Gerinnsel in den Arterien detektiert werden, ist im Allgemeinen eine gute Segmentierung der Arterien erforderlich, um die genaue Lage von LE zu erkennen. Nachdem die LE-Kandidaten automatisch identifiziert worden sind, werden sie einem Radiologen zur Überprüfung präsentiert. Da LE-Kandidaten mittels CAD automatisch identifiziert werden, können manche LE-Stellen übersehen werden, und es können "falsche Positive" auftreten. Außerdem erhält der Radiologe normalerweise keine Informationen darüber, warum eine bestimmte LE-Stelle gewählt wurde oder nicht.

[0007] Bei einem anderen Verfahren zur LE-Visualisierung wird die mittlere Dichte von lokalen Bereichen der Lungen berechnet und gerendert, um Durchblutungsstörungen direkt zu visualisieren. Lungenbereiche, die eine geringere als die mittlere Dichte aufweisen, deuten normalerweise auf ein stromaufwärts befindliches Gerinnsel hin; jedoch können auch andere Bedingungen wie etwa ein Emphysem eine Intensität zur Folge haben, die geringer als die mittlere ist. Dieses Verfahren ist mit ähnlichen Anforderungen an die Navigation verknüpft wie das der Betrachtung von 2D-Schnitten, nämlich es ist erforderlich, durch 2D-Schnitte zu scrollen und sich an die Lage gewisser Muster zu erinnern.

[0008] Bei einem weiteren Verfahren zur Visualisierung von LE verwendet ein schattierter dreidimensionaler (3D-) Gefäßbaum innere Dichtebereiche der Gefäße, um die Baumoberfläche zu färben. Dieses Verfahren vereinfacht die Suche nach peripheren LE, da eine Verfolgung von Gefäßen nicht mehr notwendig ist. In dem visualisierten Baum muss jedoch dreidimensional navigiert werden, und da Zweige häufig andere Zweige verdecken, erfordert die Navigation um den Baum herum eine recht umfangreiche Interaktion. Außerdem muss möglicherweise die gesamte Oberfläche jedes Zweiges untersucht werden, was daher eine vollständige Rotationsansicht jedes Zweiges erfordert und einen zeitaufwendigen Prozess zur Folge hat.

[0009] Dementsprechend besteht Bedarf an einem

Verfahren, welches die Notwendigkeit einer 3D-Navigation zur Betrachtung aller Strukturen eines 3D-Gefäßbaumes verringert oder beseitigt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0010] Die vorliegende Erfindung überwindet die oben genannten und andere Probleme, die bei den bekannten Verfahren auftreten, indem sie ein System und ein Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie bereitstellt.

[0011] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur: Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur; Umwandeln von Zweigen des Baummodells in erste zweidimensionale Zweigbilder; und Anordnen der ersten zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein zweites zweidimensionales Bild herzustellen.

[0012] Die anatomische Baumstruktur wird unter Anwendung eines der folgenden Segmentierungsverfahren segmentiert: Schwellwertverfahren (Thresholding) und größenbasierte Etikettierung (Size-based Labeling), Leitungsfiter-basiertes oder Strukturtenor-basiertes Segmentierungsverfahren.

[0013] Der Schritt des Anpassens des Baummodells umfasst: Definieren einer Wurzelposition für die anatomische Baumstruktur; Berechnen eines Skeletts der segmentierten anatomischen Baumstruktur; Herstellen einer Rohbaumstruktur unter Verwendung des Skeletts; Eliminieren falscher Zweige in der Rohbaumstruktur; Glätten und Zentrieren des Skeletts; und Zuweisen von Richtungsvektoren zu Punkten in der segmentierten anatomischen Baumstruktur.

[0014] Das Baummodell kann auch angepasst werden, indem eines der folgenden Verfahren zur Baummodellberechnung angewendet wird: gefäßbasiertes Verfolgungsverfahren, Skelettierung, Distance Transform (Abstandstransformation) oder Level-Set-basiertes Verfahren zur Baummodellberechnung. Die Zweige des Baummodells werden in die ersten zweidimensionalen Zweigbilder umgewandelt, indem eines der folgenden Verfahren angewendet wird: Ausrollen (Unrolling), Darstellung nebeneinander (Side-by-Side), rotierende Struktur oder zweidimensionales Verfahren der Projektion der maximalen Intensität (Maximum Intensity Projection).

[0015] Die anatomische Baumstruktur ist entweder ein Gefäßbaum wie etwa ein Blutgefäßbaum oder ein Luftwege-Baum wie etwa ein Bronchialbaum. Die anatomische Baumstruktur wird unter Anwendung entweder eines Computertomographie- oder eines Magnetresonanz-Bildgebungsverfahrens erfasst. Die

Anomalie ist entweder eine Lungenembolie oder eine Atemwegstenose oder ein Gehirnaneurysma.

[0016] Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zum Analysieren zweidimensionaler Baumbilder zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur: Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur; Umwandeln jedes Zweiges des Baummodells in ein zweidimensionales Zweigbild, so dass eine Vielzahl von zweidimensionalen Zweigbildern hergestellt wird; und Anordnen der zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein Bild mit zweidimensionaler Darstellung herzustellen.

[0017] Der Schritt des Anpassens des Baummodells umfasst: Definieren einer Wurzelposition für die anatomische Baumstruktur; Berechnen eines Skeletts der segmentierten anatomischen Baumstruktur; Herstellen einer Rohbaumstruktur unter Verwendung des Skeletts; Eliminieren falscher Zweige in der Rohbaumstruktur; Glätten und Zentrieren des Skeletts; und Zuweisen von Richtungsvektoren zu Punkten in der segmentierten anatomischen Baumstruktur.

[0018] Das Verfahren umfasst ferner: Präsentieren des Bildes mit zweidimensionaler Darstellung; Betrachten von Zweigen in dem Bild mit zweidimensionaler Darstellung in einer hierarchischen Reihenfolge; Empfangen einer Zweigauswahl; und Erhalten einer ursprünglichen axialen Ansicht von Bilddaten des Zweiges oder eines dreidimensionalen Renderings des Zweiges. Wenn der ausgewählte Zweig eine Anomalie aufweist, ist die Anomalie entweder eine Lungenembolie oder eine Atemwegstenose oder ein Gehirnaneurysma.

[0019] Bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein System zur Baummodell-Visualisierung zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur: eine Speichervorrichtung zum Speichern eines Programms; einen Prozessor, der mit der Speichervorrichtung kommuniziert, wobei der Prozessor in Verbindung mit dem Programm bewirkt: Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur; Umwandeln von Zweigen des Baummodells in erste zweidimensionale Zweigbilder; und Anordnen der ersten zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein zweites zweidimensionales Bild herzustellen.

[0020] Die anatomische Baumstruktur wird unter Anwendung eines der folgenden Segmentierungsverfahren segmentiert: Schwellwertverfahren (Thresholding) und größenbasierte Etikettierung (Size-based Labeling), Leitungsfiter-basiertes oder Strukturtenor-basiertes Segmentierungsverfahren.

[0021] Der Prozessor bewirkt in Verbindung mit dem Programmcode beim Anpassen: Definieren einer Wurzelposition für die anatomische Baumstruktur; Berechnen eines Skeletts der segmentierten anatomischen Baumstruktur; Herstellen einer Rohbaumstruktur unter Verwendung des Skeletts; Eliminieren falscher Zweige in der Rohbaumstruktur; Glätten und Zentrieren des Skeletts; und Zuweisen von Richtungsvektoren zu Punkten in der segmentierten anatomischen Baumstruktur.

[0022] Das Baummodell kann auch angepasst werden, indem eines der folgenden Verfahren zur Baummodellberechnung angewendet wird: gefäßbasiertes Verfolgungsverfahren, Skelettierung, Distance Transform (Abstandstransformation) oder Level-Set-basiertes Verfahren zur Baummodellberechnung. Die Zweige des Baummodells werden in die ersten zweidimensionalen Zweigbilder umgewandelt, indem eines der folgenden Verfahren angewendet wird: Ausrollen (Unrolling), Darstellung nebeneinander (Side-by-Side), rotierende Struktur oder zweidimensionales Verfahren der Projektion der maximalen Intensität (Maximum Intensity Projection).

[0023] Die anatomische Baumstruktur ist entweder ein Gefäßbaum oder ein Luftwege-Baum. Die anatomische Baumstruktur wird unter Verwendung entweder eines Computertomographen oder eines Magnetresonanztomographen erfasst. Die Anomalie ist entweder eine Lungenembolie oder eine Atemwegstenose oder ein Gehirnaneurysma.

[0024] Die oben genannten Merkmale sind die von repräsentativen Ausführungsformen und werden dargestellt, um das Verständnis der Erfindung zu erleichtern. Selbstverständlich ist nicht beabsichtigt, dass sie als Einschränkungen der Erfindung betrachtet werden, die durch die Patentansprüche definiert ist, oder als Einschränkungen für Äquivalente zu den Ansprüchen. Daher darf diese Zusammenfassung von Merkmalen nicht als entscheidend für die Bestimmung von Äquivalenten betrachtet werden. Weitere Merkmale der Erfindung werden aus der nachfolgenden Beschreibung, aus den Zeichnungen und aus den Ansprüchen ersichtlich.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0025] [Abb. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines Systems zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0026] [Abb. 2](#) ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschreibt;

[0027] [Abb. 3](#) ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum Anpassen eines Baummodells zur Anwendung bei einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschreibt;

[0028] [Abb. 4](#) ist ein Bild, das eine 3D-Visualisierung eines Lungengefäßbaumes zeigt, der gemäß einem herkömmlichen Verfahren segmentiert wurde;

[0029] [Abb. 5](#) ist eine Reihe von Schemata, die das Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen;

[0030] [Abb. 6](#) ist eine Reihe von Schemata, die alternative Verfahren zum Umwandeln eines 3D-Zweiges in ein 2D-Bild gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen; und

[0031] [Abb. 7](#) ist eine Reihe von Bildern, welche die Ergebnisse des Umwandeln eines Lungengefäßbaumes in ein einziges 2D-Bild gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEISPIELHAFTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0032] [Abb. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines Systems **100** zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0033] Wie in [Abb. 1](#) dargestellt, umfasst das System **100** unter anderem eine Scannvorrichtung **105**, einen Personalcomputer (PC) **110** und ein Bedienpult **115**, die zum Beispiel über ein Ethernet-Netzwerk **120** verbunden sind. Die Scannvorrichtung **105** kann ein Magnetresonanz-(MR-)Tomograph, ein Computertomograph (CT), ein Spiral-CT, eine Positronen-Emissions-Tomographie-(PET) Einrichtung, eine 2D- oder 3D-Einrichtung zur fluoroskopischen Bildgebung, eine 2D-, 3D- oder vierdimensionale (4D-) Einrichtung zur Ultraschallbildgebung oder ein Röntgengerät sein. Die Scannvorrichtung **105** kann auch eine Hybrid-Bildgebungsvorrichtung sein, die in der Lage ist, CT, MR, PET oder andere Bildgebungsverfahren zu realisieren.

[0034] Der PC **110**, welcher eine Workstation, ein tragbarer oder Laptop-Computer, ein Persönlicher Digitaler Assistent (PDA) usw. sein kann, enthält eine Zentraleinheit (Central Processing Unit, CPU) **125** und einen Speicher **130**, welche mit einer Eingabevorrichtung **150** und einer Ausgabevorrichtung **155** verbunden sind. Die CPU **125** enthält ein Baummodell-Visualisierungsmodul **145**, welches ein oder mehrere Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie implementiert.

[0035] Der Speicher **130** umfasst einen Direktzugriffsspeicher (Random Access Memory, RAM) **135** und einen Nur-Lese-Speicher (Read Only Memory, ROM) **140**. Der Speicher **130** kann auch eine Datenbank, ein Plattenlaufwerk, ein Bandlaufwerk usw. oder eine Kombination davon enthalten. Der RAM **135** fungiert als ein Datenspeicher, welcher Daten speichert, die während der Ausführung eines Programms in der CPU **125** verwendet werden, und wird als ein Arbeitsbereich genutzt. Der ROM **140** fungiert als ein Programmspeicher zum Speichern eines Programms, das in der CPU **125** ausgeführt wird. Die Eingabevorrichtung **150** wird von einer Tastatur, Maus usw. gebildet, und die Ausgabevorrichtung **155** wird von einer Flüssigkristallanzeige (Liquid Crystal Display, LCD), einem Kathodenstrahlröhren- (Cathode Ray Tube, CRT-) Display oder einem Drucker gebildet.

[0036] Der Betrieb des Systems **100** wird von dem Bedienpult **115** aus gesteuert, welches ein Steuergerät **165**, zum Beispiel eine Tastatur, und ein Display **160**, zum Beispiel ein CRT-Display, enthält. Das Bedienpult **115** kommuniziert mit dem PC **110** und der Scannvorrichtung **105**, so dass 2D-Bilddaten, die von der Scannvorrichtung **105** gesammelt werden, von dem PC **110** in 3D-Daten gerendert und auf dem Display **160** betrachtet werden können. Selbstverständlich kann der PC **110** auch so konfiguriert sein, dass er von der Scannvorrichtung **105** gelieferte Informationen bearbeitet und anzeigt, wenn das Bedienpult **115** nicht vorhanden ist, indem zum Beispiel die Eingabevorrichtung **150** und die Ausgabevorrichtung **155** verwendet werden, um gewisse Aufgaben zu erfüllen, die von dem Steuergerät **165** und dem Display **160** ausgeführt werden.

[0037] Das Bedienpult **115** enthält ferner ein beliebiges geeignetes System/ein Tool/eine Anwendung zum Image Rendering (Bildberechnung), welche(s) digitale Bilddaten eines erfassten Bilddatensatzes (oder eines Teils davon) verarbeiten kann, um 2D- und/oder 3D-Bilder zu generieren und auf dem Display **160** anzuzeigen. Insbesondere kann das Image-Rendering-System eine Anwendung sein, welche 2D-/3D-Rendering und Visualisierung von medizinischen Bilddaten gewährleistet und welche auf einer universellen oder spezifischen Computer-Workstation ausgeführt wird. Außerdem ermöglicht das Image-Rendering-System einem Benutzer, durch ein 3D-Bild oder eine Vielzahl von 2D-Bildschichten zu navigieren. Der PC **110** kann ebenfalls ein System/ein Tool/eine Anwendung zum Image Rendering enthalten, zum Verarbeiten von digitalen Bilddaten eines erfassten Bilddatensatzes, um 2D- und/oder 3D-Bilder zu generieren und anzuzeigen.

[0038] Wie in [Abb. 1](#) dargestellt, kann das Baummodell-Visualisierungsmodul **145** auch von dem PC **110** verwendet werden, um digitale medizinische

Bilddaten zu empfangen und zu verarbeiten, welche, wie oben vermerkt, in der Form von Rohbilddaten, 2D rekonstruierten Daten (z.B. axialen Schichten) oder 3D rekonstruierten Daten wie etwa volumetrischen Bilddaten oder multiplanaren Reformatierungen vorliegen können, oder in Form irgendeiner Kombination solcher Formate. Die Ergebnisse der Datenverarbeitung können vom PC **110** über das Netzwerk **120** an ein Image-Rendering-System im Bedienpult **115** zum Erzeugen von 2D- und/oder 3D-Renderings von Bilddaten entsprechend den Ergebnissen der Datenverarbeitung ausgegeben werden, wie etwa Segmentierung von Organen oder anatomischen Strukturen, Farb- oder Intensitätsvariationen und so weiter.

[0039] [Abb. 2](#) ist ein Flussdiagramm, das einen Ablauf eines Verfahrens zur Baummodell-Visualisierung zur Erkennung von Lungenembolie gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0040] Wie in [Abb. 2](#) dargestellt, werden CT-Bilddaten eines Lungengefäßbaumes von einem Paar Lungen in einem Patienten erfasst (**210**). Dies geschieht, indem die Scannvorrichtung **105**, in diesem Beispiel ein CT-Scanner, welcher vom Bedienpult **115** aus bedient wird, verwendet wird, um den Brustkorb oder die Lungen des Patienten zu scannen und dadurch eine Reihe von 2D-Bildschichten zu erzeugen, die zu den Lungen gehören. Die 2D-Bildschichten der Lungen werden dann kombiniert, um ein 3D-Bild des Lungengefäßbaumes herzustellen. Selbstverständlich können die CT-Bilddaten, außer von den Lungen, auch von einem Bein, Arm, Gehirn oder anderen Körperteil, das sich verzweigende Blutgefäße oder Luftwege enthält, erfasst werden. Ferner können auch andere Typen von Daten wie etwa MR-Bilddaten gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden.

[0041] Nachdem die CT-Bilddaten des Lungengefäßbaumes erfasst worden sind, wird der Gefäßbaum segmentiert (**220**). Selbstverständlich kann die Gefäßsegmentierung unter Anwendung eines beliebigen geeigneten Verfahrens zur Gefäßsegmentierung durchgeführt werden. Zum Beispiel können Verfahren zur Gefäßsegmentierung wie etwa Schwellwertverfahren (Thresholding) und größenbasierte Etikettierung (Size-based Labeling), Leitungsfilter-basierte oder Strukturtensor-basierte Segmentierung angewendet werden. Außerdem könnte selbstverständlich ein beliebiges Verfahren zur Erstellung eines Baummodells für Gefäße bei der vorliegenden Erfindung angewendet werden. Hierzu gehören zum Beispiel Verfahren zur Verfolgung von Gefäßen, welche keine Gefäßsegmentierung erfordern, und wenn solche Verfahren angewendet werden, sind die Schritte **220** und **230** (die weiter unten erläutert werden) nicht erforderlich. Bei solchen Verfahren wird das Baummodell direkt aus dem ursprünglichen Bild erhalten. Der Vollständigkeit halber wird im Folgenden ein Verfah-

ren zur Gefäßsegmentierung zur Anwendung bei der vorliegenden Erfindung erläutert.

[0042] Zuerst wird eine Maske der Lungen des Patienten mittels eines Region Growing mit hohem Schwellwert von einem Saatpunkt in der Luftröhre aus erzeugt. Danach wird an dem segmentierten Gefäßbaum eine Dilatation, gefolgt von Erosion, durchgeführt, um von Gefäßen verursachte leere Räume auszufüllen. Selbstverständlich ist der Erosionsoperator etwas größer als der Dilatationsoperator, um zu verhindern, dass die Rippen und andere Strukturen in der Nähe der Brustwand mit in der Maske enthalten sind. Die Lungengefäße werden anschließend segmentiert, indem alle Voxel oberhalb eines Schwellwertes in der Lungenmaske einbezogen werden. Der Schwellwert kann so festgelegt werden, dass er ausreichend niedrig ist, um sowohl mit Kontrastmittel gefüllte als auch nicht mit Kontrastmittel gefüllte Blutgefäße zu erfassen, einschließlich derjenigen, welche vollständig durch Emboli verschlossen sind.

[0043] Ein Beispiel der soeben erläuterten gerenderten Segmentierung zeigt Bild (a) von [Abb. 4](#). In diesem Bild ist, abgesehen davon, dass es das Segmentierungsmodell veranschaulicht, die Oberfläche durch den inneren Inhalt schattiert. Dieses Bild ist außerdem aus einer Ansicht eines schattierten 3D-Gefäßbaumes entnommen. Ein weiteres Beispiel der gerenderten Segmentierung ist in Bild (a) von [Abb. 5](#) dargestellt, wo der dunkle kreisförmige Bereich **510** im rechten Zweig eine LE darstellt.

[0044] Wenn die Segmentierung gegeben ist, wird anschließend ein Baummodell an das segmentierte Bild angepasst (**230**). Selbstverständlich können in diesem Schritt vielfältige Verfahren zum Anpassen eines Baummodells an das segmentierte Bild angewendet werden. Außerdem können algorithmische Verfahren, die auf einer Verfolgung von Gefäßen basieren, angewendet werden, um ein Baummodell anzupassen oder, anders ausgedrückt, zu erhalten. Ein Baumanpassungsmodell zur Anwendung bei der vorliegenden Erfindung wird in der Arbeit von A.P. Kiraly et al., "Three-Dimensional Path Planning for Virtual Bronchoscopy", IEEE Transactions on Medical Imaging, Bd. 23, Nr. 11, S. 1365-1379, Nov. 2004, erörtert, von der eine Kopie durch Querverweis in die vorliegende Anmeldung einbezogen ist. Ein Beispiel des darin erörterten Baumanpassungsmodells wird nun unter Bezugnahme auf [Abb. 3](#) erörtert.

[0045] Wie in [Abb. 3](#) dargestellt, beginnt eine Baumberechnung mit der Skelettierung von zuvor segmentierten Gefäßen und läuft in mehreren Schritten ab. Zuerst wird eine Wurzelposition r_A für die Wurzel des Baumes definiert (**310**). Das Skelett des segmentierten Bildes wird berechnet, indem Distance Transforms (Abstandstransformationen) verwendet werden, um Endpunkte zu erfassen, gefolgt von einer

die Homotopie erhaltenden Elimination von Voxeln zur Ausdünnung (**320**). Anschließend wird unter Verwendung des Skeletts eine Rohbaumstruktur hergestellt, obwohl sie falsche Zweige enthalten kann (**330**). Die Baumstruktur und das segmentierte Bild werden dann verwendet, um gewisse Kriterien zur Elimination falscher Zweige zu messen (**340**). Das Skelett wird danach geglättet und genauer zentriert (**350**). Schließlich werden jedem Punkt in der Baumstruktur Richtungsvektoren zugewiesen (**360**), um abgeleitete Renderings zu ermöglichen, wie etwa ausgerollte Ansichten, orthogonale und parallele Ebenen sowie endoskopische Ansichten innerhalb des Gefäßbaumes.

[0046] In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Gefäßsegmentierung kann der Gefäßbaum eine oder mehrere zusammenhängende Komponenten umfassen. Daher sollten Wurzelpositionen für jede einzelne Komponente gewählt werden. Es ist klar, dass Stellen, die sich möglichst nahe am Herz des Patienten befinden, normalerweise eine gute Wahl für Wurzelpositionen sind. Ein beispielhaftes Ergebnis des Schrittes der Baumanpassung ist in Bild (b) von [Abb. 5](#) dargestellt. Genauer, in Bild (b) ist das Baummodell an die Baumstruktur von Bild (a) von [Abb. 5](#) angepasst. Wie Bild (b) zeigt, stellen die dicken, dunklen Mittellinien **520-540** das Baummodell dar, welche danach verwendet werden, um Zweige zusammen mit ihrer Hierarchie zu identifizieren.

[0047] Insbesondere beschreibt das resultierende Modell den Gefäßbaum als eine Reihe von zusammenhängenden Zweigen, wobei jeder Zweig als eine Menge von Punkten entlang der Mittelachse definiert ist. Nachdem dieses Modell erhalten worden ist, können die einzelnen Zweige in einer hierarchischen Reihenfolge dargestellt werden, zum Beispiel mit Angabe einer Eltern-Kind-Beziehung zwischen Zweigen. Diese Darstellung ermöglicht es, Probleme bei der Navigation, die bei Verfahren zur 3D-Visualisierung auftreten, zu vermeiden, da die Zweige systematisch gescannt werden können.

[0048] Es wird erneut auf [Abb. 2](#) Bezug genommen; jeder Zweig wird, bevor er in einer hierarchischen Reihenfolge dargestellt wird, in eine 2D-Darstellung umgewandelt, wie die Beispiele in Bild (c) von [Abb. 5](#) zeigen (**240**). Bei einem Verfahren kann ein Zweig in einer hierarchischen Reihenfolge dargestellt werden, indem der Zweig **540** ausgerollt wird, wie durch **540c-2** in Bild (c) dargestellt. Bei diesem Verfahren werden Strahlen in einer kreisförmigen Weise senkrecht zur Zweigrichtung für jede einzelne Stelle innerhalb des Zweiges ausgesendet. Eine Funktion der Voxel entlang des Strahls gibt die Farbe für diesen speziellen Strahl an. Die Farbergebnisse für jeden Strahl werden dann für jedes Pixel horizontal gespeichert, so dass ein 2D-Bild zur Präsentation hergestellt wird, wie durch **540d-2** in Bild (d) von [Abb. 5](#)

dargestellt (**250**). Anstatt einen Zweig auszurollen, kann er auch als eine Projektion seines inneren Inhalts dargestellt werden, wie durch **540c-1** in Bild (c) von **Abb. 5** dargestellt. Ein Beispiel hierfür wird später beschrieben.

[0049] Wie Bild (d) zeigt, braucht, wenn diese 2D-Darstellung einem Benutzer zum Beispiel des Systems **100** präsentiert wird, der Benutzer nur ein einziges 2D-Bild zu betrachten. Wenn das Bild dem Benutzer präsentiert wird, kann der Benutzer über eine Benutzeroberfläche Punkte in den 2D-Bildern **520d-540d-2** von Bild (d) anklicken, und die Punkte können dann in einer entsprechenden 3D-Darstellung oder einem axialen Schnitt zur weiteren Interpretation und Überprüfung angegeben werden.

[0050] Es wird nochmals auf Schritt **240** Bezug genommen; selbstverständlich können gemäß der vorliegenden Erfindung verschiedene weitere Verfahren zum Umwandeln jedes Zweiges des Baummodells in ein 2D-Bild angewendet werden. Die Verfahren können einen beliebigen Typ von Funktion oder Funktionen beinhalten, welche einen Weg durch eine 3D rohrähnliche Struktur nehmen und den Weg als ein 2D-Bild einem Benutzer zur Betrachtung präsentieren.

[0051] Bei einer alternativen Ausführungsform zum Umwandeln jedes Zweiges des Baummodells in ein einziges 2D-Bild zeigt Bild (a) von **Abb. 6** zwei Renderings **610a** und **610b** von Zweigen, die nebeneinander angezeigt werden, wobei ein Rendering von der "Vorderseite" **610a** und das andere von der "Rückseite" **610b** erhalten wurde. Dieses Verfahren ermöglicht einen vollständigen Blick um die zu betrachtenden Zweige. Dieses Rendering kann auch erfolgen, indem eine Oberflächenschattierung der inneren Bereiche vorgenommen wird, wie Bild (a) von **Abb. 6** zeigt.

[0052] Bei einem anderen Verfahren, das in Bild (b) von **Abb. 6** dargestellt ist, kann jeder Zweig als eine rotierende Struktur **620** innerhalb eines animierten 2D-Bildes dargestellt werden, was somit eine Visualisierung aller Seiten ohne Verzerrung ermöglicht. Auch dieses Rendering kann erfolgen, indem eine Oberflächenschattierung der inneren Bereiche vorgenommen wird, wie Bild (a) von **Abb. 6** zeigt, oder durch eine Projektion der Daten. Bei einem weiteren Verfahren kann eine 2D-Projektion der maximalen Intensität, die auf die Voxel innerhalb der Segmentierung begrenzt ist, berechnet werden, wie durch **630** in Bild (c) von **Abb. 6** dargestellt. Dieses Verfahren ermöglicht, dass sämtliche Voxel innerhalb des Gefäßes die Ansicht beeinflussen, wodurch eine Visualisierung von Merkmalen innerhalb des Gefäßes ermöglicht wird und die Notwendigkeit entfällt, Wege von der Mittellinie zur Oberfläche zu berechnen.

[0053] **Abb. 7** soll den Prozess und die Ergebnisse der Umwandlung des Gefäßbaumes in ein einziges 2D-Bild veranschaulichen. In Bild (a) von **Abb. 7** ist ein axialer Schnitt dargestellt, wobei ein Pfeil auf eine LE zeigt. In Bild (b) von **Abb. 7** ist eine Visualisierung eines 3D-Lungengefäßbaumes dargestellt. Der Pfeil in Bild (b) zeigt auf die Wurzel des Teilbaumes, der in Bild (c) von **Abb. 7** dargestellt werden soll. In Bild (c) ist das berechnete Baummodell für einen Abschnitt des Gefäßbaumes in Bild (b) dargestellt, und in Bild (d) von **Abb. 7** ist die endgültige 2D-Visualisierung des Gefäßbaumes von Bild (c) dargestellt. In Bild (d) ist nur ein Teilbaum dargestellt, da der gesamte Baum zu umfangreich ist, um auf einer Druckseite dargestellt zu werden. Wie bei einer Betrachtung von Bild (d) festgestellt werden kann, sind die dunklen Bereiche, die auf Gerinnsel oder LE hinweisen (durch die Pfeile bezeichnet), klar sichtbar, und die hierarchische Beziehung der Arterien ist ebenfalls klar erkennbar (z.B. Generationen 1-4). Außerdem kann der Umfang der Gerinnsel ebenfalls aus dieser Ansicht bestimmt werden.

[0054] Somit wird gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Darstellen von in einem 3D CT-Bild des Brustkorbes enthaltenen Gefäßen in einem einzigen 2D-Bild für die Zwecke der Visualisierung von LE bereitgestellt. Insbesondere berechnet das Verfahren zuerst ein Baummodell für alle Gefäßbaumstrukturen. Nachdem dieses Modell erhalten worden ist, werden die einzelnen Zweige desselben in einer hierarchischen Reihenfolge dargestellt. Dies ermöglicht eine vollständige Betrachtung aller Seiten der Gefäße bei Erhaltung der hierarchischen Struktur des Baumes. Außerdem kann jeder Zweig als eine rotierende Struktur oder flach als ein 2D-Bild dargestellt werden. Beim letzteren Schema entfällt die Notwendigkeit einer 3D-Navigation. Ferner ermöglichen die Schemata der Darstellung der vorliegenden Erfindung einem praktischen Arzt, eine Stelle anzuklicken und die ihr entsprechende Position sowohl in den ursprünglichen CT-Daten als auch in der 3D-Visualisierung zu finden, wodurch die Diagnose und Erkennung von LE noch weiter verbessert wird.

[0055] Ferner kann die vorliegende Erfindung selbstverständlich in verschiedenen Formen von Hardware, Software, Firmware, Spezialprozessoren oder Kombinationen davon implementiert werden. Bei einer Ausführungsform kann die vorliegende Erfindung softwaremäßig als ein Anwendungsprogramm implementiert werden, das physisch durch eine Programmspeichereinrichtung verkörpert wird (z.B. Diskette, RAM, CD-ROM, DVD, ROM und Flash-Speicher). Das Anwendungsprogramm kann auf eine Maschine, die eine beliebige geeignete Architektur aufweist, hochgeladen und von dieser ausgeführt werden.

[0056] Ferner ist darauf hinzuweisen, dass, da einige der Systembestandteile und Verfahrensschritte, die in den beigefügten Zeichnungen dargestellt sind, softwaremäßig implementiert sein können, die tatsächlichen Verbindungen zwischen den Systemkomponenten (oder den Prozessschritten) unterschiedlich sein können, in Abhängigkeit von der Art und Weise, wie die vorliegende Erfindung programmiert ist. Ausgehend von den Lehren der vorliegenden Erfindung, die hier dargelegt wurden, ist ein Durchschnittsfachmann in der Lage, diese und ähnliche Implementierungen oder Konfigurationen der vorliegenden Erfindung in Erwägung zu ziehen.

[0057] Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass die obige Beschreibung nur für beispielhafte Ausführungsformen gilt. Zur Erleichterung für den Leser konzentrierte sich die obige Beschreibung auf ein repräsentatives Muster möglicher Ausführungsformen, ein Muster, welches die Prinzipien der Erfindung veranschaulicht. In der Beschreibung wurde nicht der Versuch unternommen, alle möglichen Varianten erschöpfend aufzuzählen. Dass alternative Ausführungsformen für einen speziellen Teil der Erfindung möglicherweise nicht dargestellt wurden, oder dass weitere, nicht beschriebene Alternativen für einen Teil vorhanden sein können, ist nicht als ein Verzicht auf diese alternativen Ausführungsformen zu betrachten. Andere Anwendungen und Ausführungsformen können implementiert werden, ohne den Rahmen und Schutzbereich der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0058] Daher soll die Erfindung nicht auf die beschriebenen speziellen Ausführungsformen beschränkt sein, da zahlreiche Permutationen und Kombinationen des Obigen sowie Implementierungen, welche nichtfinderische Substitutionen für Obiges beinhalten, geschaffen werden können; die Erfindung ist jedoch entsprechend den nachfolgenden Patentansprüchen zu definieren. Es ist klar, dass viele von jenen nicht beschriebenen Ausführungsformen dem wörtlichen Sinn der nachfolgenden Ansprüche entsprechen, und dass andere dazu äquivalent sind.

Zusammenfassung

[0059] Ein System und ein Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur sind vorgesehen. Das Verfahren umfasst dabei: Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur (**230**); Umwandeln von Zweigen des Baummodells in erste zweidimensionale Zweigbilder (**240**); und Anordnen der ersten zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein zweites zweidimensionales Bild herzustellen (**250**).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Baummodell-Visualisierung zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur, welches umfasst:
Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur;
Umwandeln von Zweigen des Baummodells in erste zweidimensionale Zweigbilder; und
Anordnen der ersten zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein zweites zweidimensionales Bild herzustellen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die anatomische Baumstruktur segmentiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die anatomische Baumstruktur unter Anwendung eines der folgenden Segmentierungsverfahren segmentiert wird: Schwellwertverfahren (Thresholding) und größenbasierte Etikettierung (Size-based Labeling), Leitungsfilter-basiertes oder Strukturtenor-basiertes Segmentierungsverfahren.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Anpassens des Baummodells umfasst:
Definieren einer Wurzelposition für die anatomische Baumstruktur;
Berechnen eines Skeletts der segmentierten anatomischen Baumstruktur;
Herstellen einer Rohbaumstruktur unter Verwendung des Skeletts;
Eliminieren falscher Zweige in der Rohbaumstruktur;
Glätten und Zentrieren des Skeletts; und
Zuweisen von Richtungsvektoren zu Punkten in der segmentierten anatomischen Baumstruktur.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Baummodell angepasst wird, indem eines der folgenden Verfahren zur Baummodellberechnung angewendet wird:
gefäßbasiertes Verfolgungsverfahren, Skelettierung, Distance Transform (Abstandstransformation) oder Level-Set-basiertes Verfahren zur Baummodellberechnung.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Zweige des Baummodells in die ersten zweidimensionalen Zweigbilder umgewandelt werden, indem eines der folgenden Verfahren angewendet wird: Ausrollen (Unrolling), Darstellung nebeneinander (Side-by-Side), rotierende Struktur oder zweidimensionales Verfahren der Projektion der maximalen Intensität (Maximum Intensity Projection).

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die anatomische Baumstruktur entweder ein Gefäßbaum oder ein Luftwege-Baum ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die anatomo-

mische Baumstruktur unter Anwendung entweder eines Computertomographie- oder eines Magnetresonanz-Bildgebungsverfahrens erfasst wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Anomalie entweder eine Lungenembolie oder eine Atemwegstenose oder ein Gehirnaneurysma ist.

10. Verfahren zum Analysieren zweidimensionaler Baumbilder zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur, welches umfasst:

Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur;

Umwandeln jedes Zweiges des Baummodells in ein zweidimensionales Zweigbild, so dass eine Vielzahl von zweidimensionalen Zweigbildern hergestellt wird; und

Anordnen der zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein Bild mit zweidimensionaler Darstellung herzustellen.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Schritt des Anpassens des Baummodells umfasst:

Definieren einer Wurzelposition für die anatomische Baumstruktur;

Berechnen eines Skeletts der segmentierten anatomischen Baumstruktur;

Herstellen einer Rohbaumstruktur unter Verwendung des Skeletts;

Eliminieren falscher Zweige in der Rohbaumstruktur; Glätten und Zentrieren des Skeletts; und

Zuweisen von Richtungsvektoren zu Punkten in der segmentierten anatomischen Baumstruktur.

12. Verfahren nach Anspruch 10, welches ferner umfasst: Präsentieren des Bildes mit zweidimensionaler Darstellung.

13. Verfahren nach Anspruch 12, welches ferner umfasst:

Betrachten von Zweigen in dem Bild mit zweidimensionaler Darstellung in einer hierarchischen Reihenfolge.

14. Verfahren nach Anspruch 13, welches ferner umfasst:

Empfangen einer Zweigauswahl; und

Erhalten einer ursprünglichen axialen Ansicht von Bilddaten des Zweiges oder eines dreidimensionalen Renderings des Zweiges.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei, wenn der ausgewählte Zweig eine Anomalie aufweist, die Anomalie entweder eine Lungenembolie oder eine Atemwegstenose oder ein Gehirnaneurysma ist.

16. System zur Baummodell-Visualisierung zum Erkennen einer Anomalie in einer anatomischen Baumstruktur, welches umfasst:

eine Speichervorrichtung zum Speichern eines Pro-

gramms;

einen Prozessor, der mit der Speichervorrichtung kommuniziert, wobei der Prozessor in Verbindung mit dem Programm bewirkt:

Anpassen eines Baummodells an eine anatomische Baumstruktur;

Umwandeln von Zweigen des Baummodells in erste zweidimensionale Zweigbilder; und

Anordnen der ersten zweidimensionalen Zweigbilder in einer hierarchischen Reihenfolge, um ein zweites zweidimensionales Bild herzustellen.

17. System nach Anspruch 16, wobei die anatomische Baumstruktur segmentiert wird.

18. System nach Anspruch 17, wobei die anatomische Baumstruktur unter Anwendung eines der folgenden Segmentierungsverfahren segmentiert wird: Schwellwertverfahren (Thresholding) und größenbasierte Etikettierung (Size-based Labeling), Leitungsfilter-basiertes oder Strukturtenor-basiertes Segmentierungsverfahren.

19. System nach Anspruch 17, wobei beim Anpassen des Baummodells der Prozessor in Verbindung mit dem Programmcode bewirkt:

Definieren einer Wurzelposition für die anatomische Baumstruktur;

Berechnen eines Skeletts der segmentierten anatomischen Baumstruktur;

Herstellen einer Rohbaumstruktur unter Verwendung des Skeletts;

Eliminieren falscher Zweige in der Rohbaumstruktur; Glätten und Zentrieren des Skeletts; und

Zuweisen von Richtungsvektoren zu Punkten in der segmentierten anatomischen Baumstruktur.

20. System nach Anspruch 16, wobei das Baummodell angepasst wird, indem eines der folgenden Verfahren zur Baummodellberechnung angewendet wird:

gefäßbasiertes Verfolgungsverfahren, Skelettierung, Distance Transform (Abstandstransformation) oder Level-Set-basiertes Verfahren zur Baummodellberechnung.

21. System nach Anspruch 16, wobei die Zweige des Baummodells in die ersten zweidimensionalen Zweigbilder umgewandelt werden, indem eines der folgenden Verfahren angewendet wird: Ausrollen (Unrolling), Darstellung nebeneinander (Side-by-Side), rotierende Struktur oder zweidimensionales Verfahren der Projektion der maximalen Intensität (Maximum Intensity Projection).

22. System nach Anspruch 16, wobei die anatomische Baumstruktur entweder ein Gefäßbaum oder ein Luftwege-Baum ist.

23. System nach Anspruch 16, wobei die anatomo-

mische Baumstruktur unter Verwendung entweder eines Computertomographen oder eines Magnetresonanztomographen erfasst wird.

24. System nach Anspruch 16, wobei die Anomalie entweder eine Lungenembolie oder eine Atemwegstenose oder ein Gehirnaneurysma ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

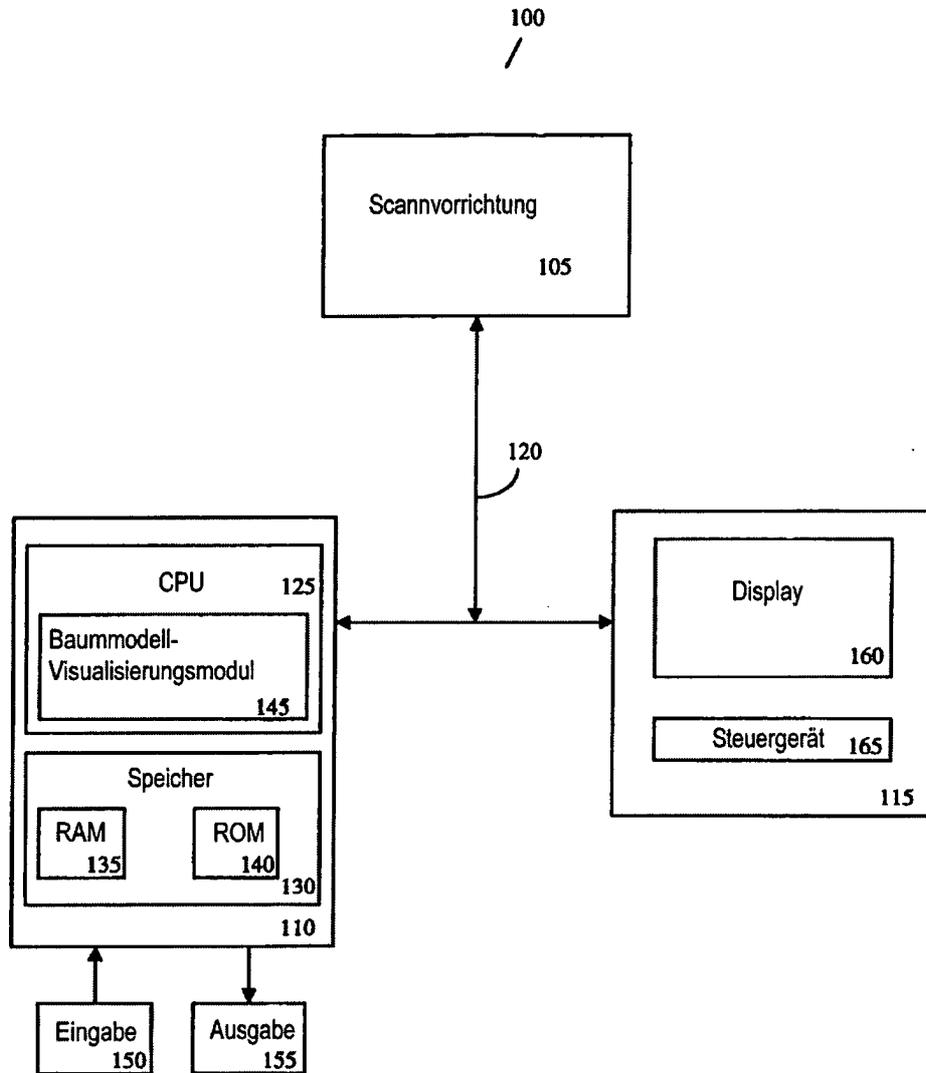


Abb. 1

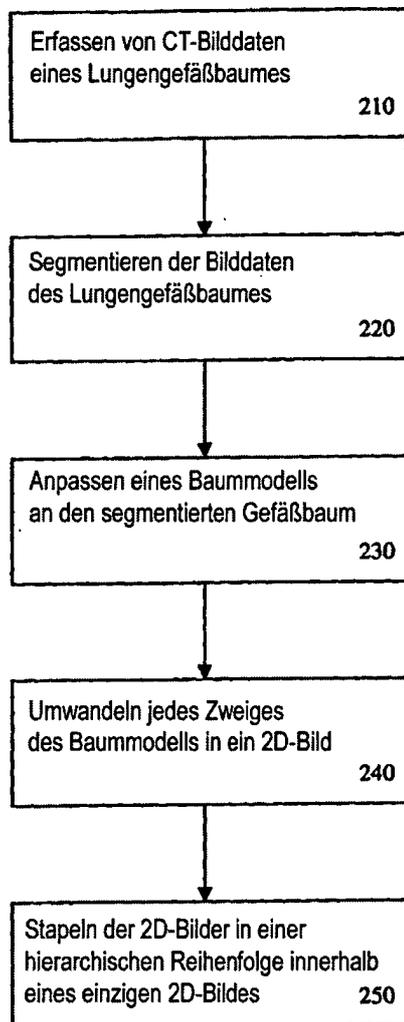


Abb. 2

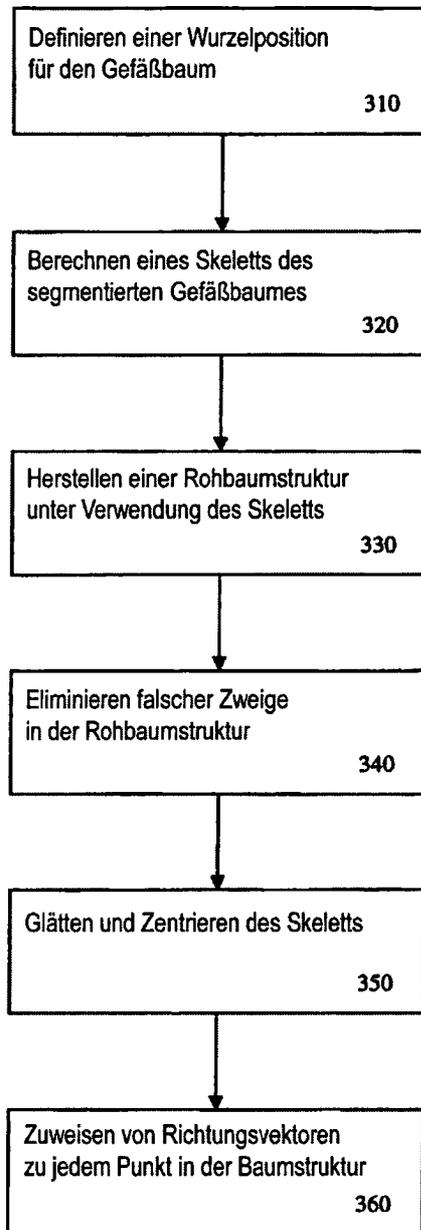
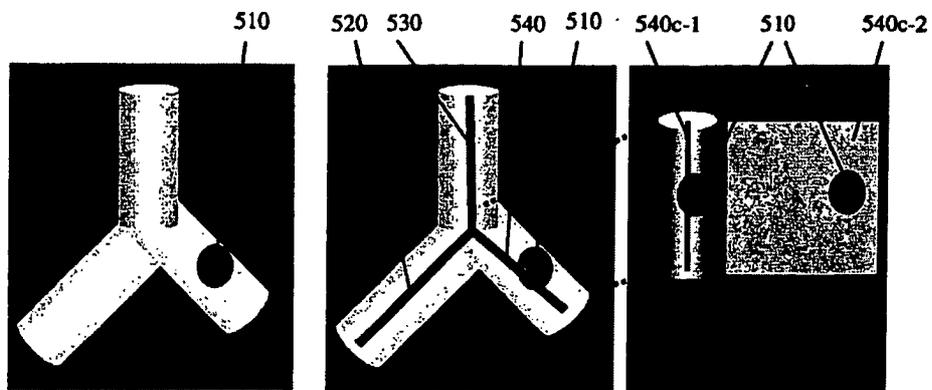


Abb. 3



(a)

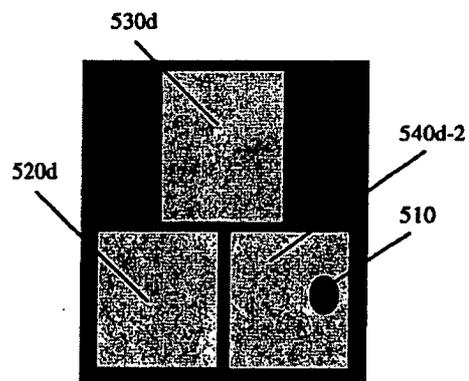
Abb. 4



(a)

(b)

(c)



(d)

Abb. 5

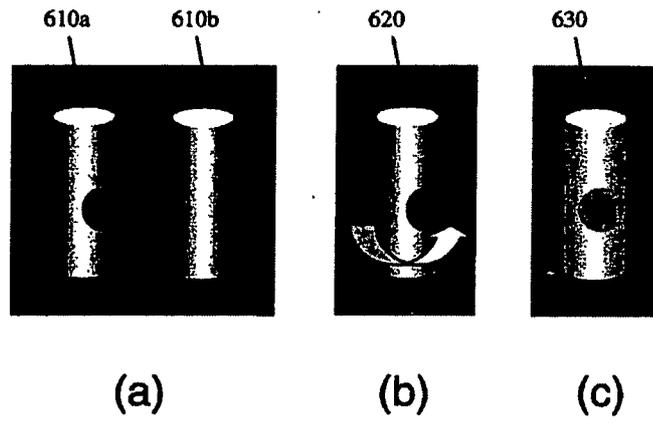


Abb. 6

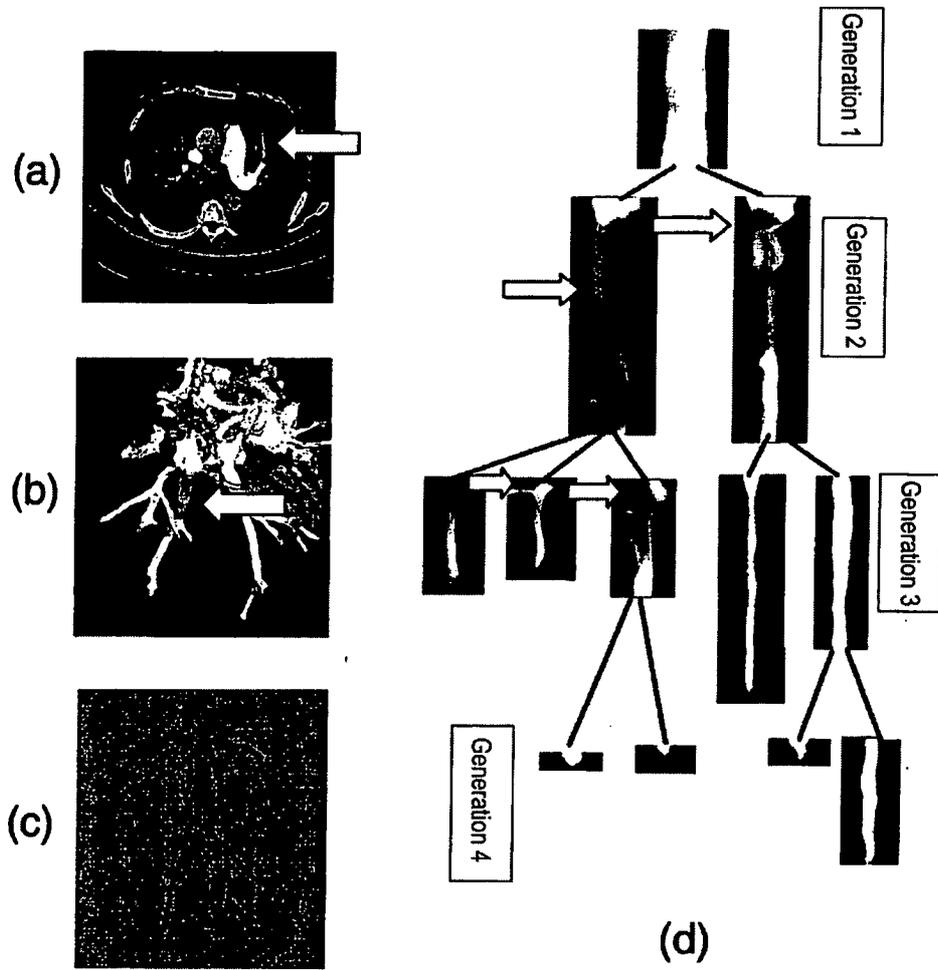


Abb. 7