



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 039 207 A1 2009.02.26

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 039 207.0

(22) Anmeldetag: 20.08.2007

(43) Offenlegungstag: 26.02.2009

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

G06F 17/50 (2006.01)

A61B 19/00 (2006.01)

A61F 2/82 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Egger, Jan, 65549 Limburg, DE; Großkopf, Stefan, Dr., 90408 Nürnberg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

EGGER, J.; MOSTARKIC, Z.; GROBKOPF, S.; FREISLEBEN

, B.: Preoperative measurement of aneurysms and stent simulation for endovascular treatment. 4th IEEE Int. Symposium on Biomedical Imagin

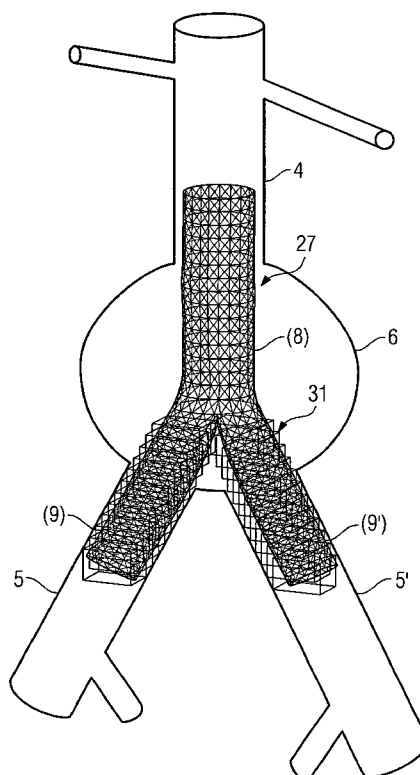
g: From Nano to Macro, 12-15 April 2007, S. 392-395; VAN DEN BERGEN, G.: Efficient Collision Detection of Complex Deformable Models using AABB Trees. Journal of Graphics Tools, 4(2):1-13, 1997; KLOSOWSKI, J.T. u.a.: Efficient collision detection using bounding volume hierarchies of k-DOPs. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume: 4, Issue 1, 1998, S. 21-36; JIMENEZ, P.; THOMAS, F.; TORRAS, C.: 3D collision detection - a survey. Computers & Graphics, Vol. 25, Issue 2, April 2001, S. 269-285;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Berechnungsverfahren zur Detektierung von Kollisionen mittels eines Drahtgittermodells repräsentierter räumlicher Objekte sowie Vorrichtung zur Dimensionierung medizinischer Y-Stents**

(57) Zusammenfassung: Das Berechnungsverfahren detektiert Kollisionen zumindest zweier mittels jeweils eines Drahtgittermodells (27) repräsentierter räumlicher Objekte (9, 9'). Die Drahtgittermodelle (27) umfassen eine Mehrzahl geschlossener und mittels Verbindungslinien (29) miteinander verbundener Linienzüge (28). Zu jeweils zwei benachbarten Linienzügen (28) eines Drahtgittermodells (27) wird ein beide Linienzüge (28) vollständig aufnehmendes Begrenzungsvolumen (31) errechnet. Aus den beiden Linienzügen (28) wird mittels Triangulation eine geschlossene Oberfläche aus Dreiecksflächen (36, 38) gebildet. Für jeden geschlossenen Linienzug (28) eines Drahtgittermodells (27) wird überprüft, ob zumindest einer seiner Punkte (39, 39', 39'') innerhalb eines Begrenzungsvolumens (31) eines Drahtgittermodells (27) eines weiteren Objektes (9, 9') liegt. Für jeden Punkt (39, 39', 39'') eines Drahtgittermodells (27), der in einem Begrenzungsvolumen (31) eines weiteren Drahtgittermodells (27) liegt, wird weiterhin überprüft, ob er auch innerhalb der geschlossenen Oberfläche liegt. Ist dies der Fall, liegt eine Kollision zwischen den beiden Objekten (9, 9') in diesem Punkt (39') vor.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Berechnungsverfahren zur Detektierung von Kollisionen zumindest zweier mittels jeweils eines Drahtgittermodells repräsentierter räumlicher Objekte.

[0002] Mittels eines Drahtgittermodells lässt sich ein reales räumliches Objekt auf einer virtuellen Ebene darstellen. Diese virtuelle Ebene umfasst insbesondere ein Rechnersystem, auf dem eine Software zur Virtualisierung räumlicher Objekte eingerichtet ist. Bei einer derartigen Software handelt es sich beispielsweise um ein für dreidimensionale Darstellungen geeignetes CAD-Programm. Mit Hilfe derartiger Drahtgittermodelle lassen sich technische Bauteile oder technische Elemente auf einer virtuellen Ebene in einfacher Weise nachbilden. Mehrere dieser technischen Bauteile sind virtuell miteinander zu einer komplexen technischen Vorrichtung kombinierbar. Dabei können Bauteile auch aneinander anliegen oder aneinander anstoßen. Für eine realistische Simulation einer komplexen technischen Vorrichtung ist es daher wichtig, die Berührungen der einzelnen Bauteile, sogenannte Kollisionen, untereinander zu erfassen.

[0003] Ziel der Erfindung ist es daher, ein Berechnungsverfahren anzugeben, mit dem sich die Berührungen mittels Drahtgittermodellen repräsentierter räumlicher Objekte möglichst präzise erfassen lassen. Die Erstellung von Drahtgittermodellen ist beispielsweise in dem Fachartikel von Per-Olof Persson und Gilbert Strang, "A Simple Mesh Generator in Matlab", SIAM Review, Volume 46 (2), S. 329–345, Juli 2004, erläutert.

[0004] Die Erfindung macht sich hierbei zunutze, dass die Drahtgittermodelle der räumlichen Objekte jeweils eine Mehrzahl geschlossener und mittels Verbindungslinien miteinander verbundener Linienzüge umfassen.

[0005] In einem ersten Verfahrensschritt wird zu jeweils zwei benachbarten Linienzügen eines Drahtgittermodells ein beide Linienzüge vollständig aufnehmendes Begrenzungsvolumen errechnet. Mit anderen Worten sind beide Linienzüge vollständig in diesem Begrenzungsvolumen enthalten.

[0006] In einem zweiten Verfahrensschritt wird aus den beiden Linienzügen mittels Triangulation eine geschlossene Oberfläche aus Dreiecksflächen gebildet. Diese geschlossene Oberfläche aus Dreiecksflächen liegt vollständig innerhalb des Begrenzungsvolumens und umschließt einen Teilbereich dieses Begrenzungsvolumens. Das von den Dreiecksflächen umschlossene Volumen ist das durch das Drahtgittermodell angenäherte vom räumlichen Objekt zwischen den beiden Linienzügen eingenommene Volu-

men.

[0007] In einem dritten Verfahrensschritt wird für jeden geschlossenen Linienzug eines Drahtgittermodells überprüft, ob zumindest einer seiner Punkte innerhalb eines Begrenzungsvolumens eines Drahtgittermodells eines weiteren Objekts liegt. Derartige Punkte des betrachteten Linienzuges liegen demnach innerhalb des von den Dreiecksflächen umschlossenen Volumens oder in dessen unmittelbarer Nähe. Diese Punkte stellen somit Kandidaten dafür dar, dass an ihrer Position eine Kollision mit einem weiteren räumlichen Objekt erfolgt.

[0008] Für jeden dieser Punkte wird weiterhin in einem vierten Verfahrensschritt überprüft, ob er auch innerhalb der geschlossenen Oberfläche von Dreiecksflächen liegt. Genau in diesem Fall liegt eine Kollision der beiden räumlichen Objekte vor. Die Summe der Punkte, in denen eine Kollision vorliegt, liefert den virtuellen Kollisionsbereich der beiden betrachteten Objekte. Die Kollisionen zwischen mehr als zwei Objekten lassen sich immer ermitteln, indem immer der Reihe nach jeweils die Kollisionen zwischen zwei dieser Objekte betrachtet werden.

[0009] Sämtliche vier Verfahrensschritte beruhen auf einfachen geometrischen Überlegungen, die sich mit den Grundlagen der Vektoranalyse umsetzen lassen. Hierfür ist im Vergleich zu komplexen Berechnungen nur eine vergleichsweise geringe Rechnerleistung notwendig, so dass sich sämtliche vier Verfahrensschritte zeitlich vergleichsweise schnell durchführen lassen.

[0010] Da weiterhin nur für Punkte von Linienzügen, die in Begrenzungsvolumina anderer räumlicher Objekte liegen, überprüft wird, ob sie auch in den zugehörigen von Dreiecksflächen umschlossenen Volumina liegen, lässt sich der rechnerische Aufwand für das Detektieren einer Kollision zweier räumlicher Objekte weiter stark herabsetzen. Die Kollisionen zwischen räumlichen Objekten lassen sich somit rasch und einfach detektieren.

[0011] Die Summe sämtlicher räumlicher Punkte, in denen rechnerisch eine Berührung zweier Objekte erfolgt, ist der virtuelle Kollisionsbereich der beiden Objekte. Da sich mittels der Repräsentation der räumlichen Objekte als Drahtgittermodelle die Realität gut annähern lässt, lässt sich anhand des ermittelten virtuellen Kollisionsbereiches auch auf den tatsächlichen Kollisionsbereich schließen.

[0012] So lässt sich das Risiko einer fehlerhaften Bemaßung einzelner Bauteile einer komplexen Vorrichtung gering halten. Dabei lässt sich ermitteln, ob die einzelnen Bauteile der Vorrichtung maßlich zusammen passen. Eine Anfertigung eines Prototypen, dessen einzelne Bauteile maßlich nicht zusammen

passen und bei dem daher kostspielige und zeitraubende Änderungen vorgenommen werden müssen, ist somit ausgeschlossen. Dies ist beispielsweise bei der Entwicklung eines Kraftfahrzeugmotors, der aus vielen, teilweise sehr komplexen Einzelteilen zusammengesetzt ist, von großem Vorteil. So ist es möglich, den Kraftfahrzeugmotor in sämtlichen Einzelteilen mit Hilfe eines derartigen CAD-Programmes virtuell zusammensetzen. Dabei lässt sich beispielsweise ermitteln, ob der Kraftfahrzeugmotor im zusammengebauten Zustand mit seinen virtuell vorgegebenen Abmessungen in einen Einbauraum einer Kraftfahrzeugkarosserie verbaubar ist. So lassen sich bereits im Vorfeld Anbauten oder Aufbauten des Kraftfahrzeugmotors so gestalten, dass es später beim Einbau zu keinen Schwierigkeiten kommt.

[0013] In der Medizintechnik ist es mit dieser Methode möglich, eine Prothese mit einem derartigen Drahtgittermodell nachzubilden und sie virtuell am Bestimmungsort im Körper eines Patienten einzusetzen. Dazu wird die Körperregion des Patienten, in die die Prothese eingesetzt werden soll, mittels einer medizinischen bildgebenden Vorrichtung, beispielsweise mit einem Computertomographen oder mit einem Ultraschallmessgerät erfasst. Um eine räumliche Information der Körperregion zu erhalten, werden Bildinformationen aus verschiedenen Messpositionen erfasst und miteinander verrechnet. Die erfasste Bildinformation wird anschließend mit dem Computersystem aufbereitet, so dass das Einsetzen der Prothese virtuell nachstellbar ist.

[0014] Der Sitz der Prothese an ihrem Bestimmungsort lässt sich somit an einem Bildschirm unmittelbar von einem befundenden Arzt nachvollziehen. Bei Bedarf können die Parameter der Prothese in einfacher Weise abgeändert werden, bis der Sitz der virtuellen Prothese zufriedenstellend ist. Die tatsächliche Prothese wird anhand der auf diesem Wege ermittelten Parameter gefertigt oder aus einem Satz standardisierter Prothesen ausgewählt. Somit ist bei einem Einsetzen der Prothese in einem operativen Eingriff ein bestmöglicher Sitz der Prothese gewährleistet. Das Risiko einer Nachoperation für ein Ersetzen einer fehlerhaft dimensionierten Prothese ist daher gering.

[0015] In einer zweckmäßigen Weiterbildung wird das die beiden Linienzüge aufnehmende Begrenzungsvolumen nach der AABB-Methode gebildet. AABB steht für "Axis-Aligned Bounding Box" oder zu deutsch achsenorientiertes Begrenzungsvolumen. Die AABB-Methode ist in dem Fachartikel von G. van den Bergen, "Efficient Collision Detection of Complex Deformable Models using AABB Trees", Journal of Graphics Tools, 2(4): 1–14, 1997, beschrieben. Dabei wird der erste Eckpunkt aus den minimalen kartesischen x-, y- und z-Koordinaten beider Linienzüge gebildet. Der zweite Eckpunkt wird aus den maximalen

kartesischen x-, y- und z-Koordinaten beider Linienzüge gebildet. Anschließend werden durch die beiden ermittelten Eckpunkte verlaufende und zu den drei Achsen des kartesischen Koordinatensystems parallele Geraden konstruiert. Die verbleibenden sechs Punkte des Begrenzungsvolumens sind die Schnittpunkte dieser Geraden miteinander. Diese Methode für die Bildung von Begrenzungsvolumina zeichnet sich dadurch aus, dass je Begrenzungsvolumen nur sechs Koordinaten gespeichert werden müssen. Weiterhin ist das Berechnungsverfahren für die Festlegung der beiden Eckpunkte und der weiteren sechs Schnittpunkte sehr einfach. Damit ist eine schnelle und das Rechnersystem hinsichtlich Speicherbedarf oder Prozessorauslastung wenig belastende Errechnung der Begrenzungsvolumina möglich. Weiterhin ist sehr einfach überprüfbar, ob ein Punkt in einem nach der AABB-Methode gebildeten Begrenzungsvolumen enthalten ist. Hierzu werden lediglich die kartesischen Koordinaten des Punktes mit den kartesischen Koordinaten des Begrenzungsvolumens verglichen. Eine rechnerisch aufwändige Umrechnung der Koordinaten des Punktes ist hierzu nicht notwendig.

[0016] In einer zweckmäßigen Weiterbildung wird ein innerhalb eines Begrenzungsvolumens liegender Punkt eines weiteren Drahtgittermodells, der einen Kandidaten für eine in seinen Koordinaten stattfindende Kollision zweier räumlicher Objekte darstellt, mit einem außerhalb dieses Begrenzungsvolumens liegenden weiteren Punkt verbunden. Anhand der Anzahl der Schnittpunkte mit den Dreiecksflächen der geschlossenen Oberfläche wird anschließend entschieden, ob der Punkt innerhalb oder außerhalb der geschlossenen Oberfläche liegt. Ein Verfahren, mit dem entschieden werden kann, ob eine Gerade ein Dreieck schneidet, ist in dem Fachartikel von T. Möller und B. Trumbore, "Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection", Journal of Graphics Tools, 2(1): 21–28, 1997, beschrieben. Das in dem Fachartikel von T. Möller et al. beschriebene Verfahren beruht auf einfachen geometrischen Überlegungen. Es ist daher programmiertechnisch leicht umsetzbar. Mittels der Anzahl der Schnittpunkte dieser Geraden mit Dreiecksflächen der geschlossenen Oberfläche wird somit bestimmt, ob in einem Punkt, der einen Kandidaten für eine Kollision der beiden räumlichen Objekte darstellt, diese Kollision auch tatsächlich stattfindet. Gibt es keinen Schnittpunkt der Geraden mit einer Dreiecksfläche, oder ist die Anzahl der Schnittpunkte gerade, liegt der Punkt außerhalb des von den Dreiecksflächen umschlossenen Volumens. Es liegt in diesem Fall keine Kollision vor. Ist die Anzahl der Schnittpunkte hingegen ungerade, liegt der Punkt innerhalb dieses Volumens und es findet eine Kollision der betrachteten räumlichen Objekte in diesem Punkt statt. Auf diesen Sachverhalt wird in allgemeiner Weise in dem Fachartikel von S. Krishnan et al., "Interactive Boundary Computation of Boolean

Combinations of Sculptured Solids", Computer Graphics Forum 16, 3 (August 1997), S. 67–78, ISSN 1067–7055 hingewiesen.

[0017] Vorteilhaft werden für beide Linienzüge zueinander beabstandete Stützstellen festgelegt und die Stützstellen der beiden Linienzüge wechselseitig zur Triangulation, d. h. zur Bildung der Dreiecksflächen, miteinander verbunden. Ebenfalls vorteilhaft wird für die Triangulation eines geschlossenen Linienzuges dessen Schwerpunkt ermittelt. Anschließend erfolgt die Bildung der Dreiecksflächen durch Verbindungslinien zwischen Punkten des Linienzuges und zwischen dem Schwerpunkt. Auf diese Weise lässt sich das von den Dreiecksflächen umschlossene Volumen in einfacher Weise bilden. Dieses stellt einen Ausschnitt des räumlichen Objekts zwischen den beiden Linienzügen dar.

[0018] Zweckmäßig werden alle Punkte, die innerhalb einer geschlossenen Oberfläche eines anderen Begrenzungsvolumens liegen, zu einem virtuellen Kollisionsbereich zusammengefasst. Im Anschluss wird für den Kollisionsbereich eine Verformung der zu den Punkten gehörigen räumlichen Objekte errechnet. Für sich berührende Punkte ist keine weitere Ausdehnung möglich. Dies wird beispielsweise erreicht, indem eine entsprechende auf die räumlichen Objekte wirkende Kraft simuliert wird. Auf diese Weise wird eine gegenseitige nicht der Realität entsprechende Durchdringung der räumlichen Objekte vermieden. Durch die Simulation einer wechselseitig wirkenden Kraft kommt es vielmehr zu einer realistischen Verformung der räumlichen Objekte bei ihrer Virtualisierung. Dabei lassen sich Werkstoffdaten und Geometrie der räumlichen Objekte bei der Berechnung berücksichtigen.

[0019] In einer vorteilhaften Variante weisen die geschlossenen Linienzüge die Geometrie von Kreisringen auf. Mittels derartiger Kreisringe lassen sich schlauchartige oder kanalartige Strukturen in realistischer Weise nachbilden.

[0020] In einer vorteilhaften Variante handelt es sich bei den durch Drahtgittermodelle repräsentierten räumlichen Objekten um die Schenkel eines Stents. Ein Stent ist ganz allgemein ein medizinisches Implantat, das ein Gittergerüst in Röhrenform aus Metall oder Kunststoff aufweist und als Gefäßprothese dient. So dient ein Stent der Aufweitung einer Gefäßverengung, einer so genannten Stenose. Weiterhin wird ein Stent eingesetzt, um eine Gefäßaufweitung, ein so genanntes Aneurysma, zu überbrücken. Hierzu sind die Maschen des Gittergerüsts mit einem synthetischen Gewebe ausgekleidet. Das Blut fließt nun innerhalb der Wandungen der Gefäßprothese. Das Aneurysma wird nicht mehr mit Blut beaufschlagt. Die Gefahr eines Einreißens des Aneurysmas besteht somit nicht mehr.

[0021] Die medizinischen Hintergründe hierzu sind in der Dissertation von S. Märchen, "Das inflammatorische abdominale Aortenaneurysma: Vergleich der endovaskulären Stent-Graft-Implantation mit der konventionell offenen Ausschaltung", Universität Ulm, 2004, beschrieben. Das Einsetzen eines derartigen Stents erfolgt endoskopisch. Es handelt sich hierbei um ein sogenanntes endovaskuläres Therapieverfahren. Ein Verfahren zum endoskopischen Navigieren innerhalb des Körpers einer Person ist in der WO 200725081 A2 beschrieben.

[0022] Weitere Einzelheiten zur Behandlung eines Aneurysmas mittels eines Stents als Gefäßprothese sind dem Ausführungsbeispiel zu entnehmen.

[0023] Der Stent wird über einen kleinen Schnitt in der Leistengegend im zusammengefalteten Zustand einer Beckenarterie eines Patienten zugeführt. Anschließend wird der Stent mittels des endoskopischen Navigationsverfahrens zum zu therapierenden Aneurysma navigiert und dort expandiert. Er schmiegt sich dabei von innen an die Gefäßwandungen an. Es kommt somit zu einer Kollision zwischen dem Stent und der Gefäßwandung als räumlichen Objekten. Für die Therapie eines Aneurysmas, das im Bereich der Verzweigung der vom Herzen kommenden Aorta descendens zu den beiden Beinarterien, den Arteriae iliacae communes, liegt, wird ein Stent in Y-Form eingesetzt. Bei einem derartigen Stent berühren sich beim Expandieren zudem die beiden Y-Schenkel des Stents. In diesem Fall sind die beiden Y-Schenkel als räumliche Objekte aufzufassen, die miteinander kollidieren. Ermittelt wird daher ein virtueller Kollisionsbereich der beiden Y-Schenkel des Stents. Durch die Berücksichtigung dieser Kollisionen ist es möglich, das Entfalten oder Expandieren des Stents im Körperinneren realistisch nachzubilden. Die Kollisionen zwischen einzelnen Schenkeln des Stents oder zwischen Schenkel und Gefäßwandung beeinflussen die Expansion des Stents. Der Stent kann somit in virtueller Form in das Körperinnere eingeführt werden und seine Expansion bzw. sein anschließender Sitz an seinem Bestimmungsort kann überprüft werden. Aus dem ermittelten virtuellen Kollisionsbereich kann somit der zu erwartende tatsächliche Kollisionsbereich für einen Stent mit diesen Abmessungen ermittelt werden. Aus dem ermittelten Kollisionsbereich der Schenkel des Stents kann nunmehr die wechselseitig auf die Schenkel wirkende Kraft und die daraus resultierende Verformung der Schenkel ermittelt werden.

[0024] Somit ist im Vorfeld eines operativen Eingriffs eine exakte Auslegung und Dimensionierung des Stents möglich. Durch die exakte Dimensionierung lässt sich ein optimaler Sitz des Stents in einem Blutgefäß erreichen. Das Risiko, dass aufgrund einer fehlerhaften Dimensionierung ein Patient einer riskanten Operation zum Ersetzen des fehlerhaften Stents un-

terzogen werden muss, kann somit stark herabgesetzt werden. Bei einem Y-Stent, der als Gefäßprothese zur Überbrückung eines Aneurysmas eingesetzt wird, lässt sich das Ausfallrisiko dieser Gefäßprothese durch ein Herausrutschen aus ihrer Position deutlich reduzieren. Da es in einem derartigen Fall sofort zu einer inneren Blutung kommen kann, die normalerweise nur bei einer sofortigen Intervention nicht zum Tod des Patienten führt, lässt sich mit einer exakten Dimensionierung eines derartigen Stents auch die Mortalitätsrate von Patienten, die an einem derartigen Aneurysma leiden, verringern. Wird weiterhin nach einer derartigen Operation mittels eines bildgebenden Verfahrens erkannt, dass der Stent fehlerhaft dimensioniert war, so muss dieser Stent mittels einer konventionellen Operation am offenen Bauchraum entfernt werden. Auch das Risiko für eine derartige Nachoperation ist durch eine verbesserte Auslegung des Stents somit vermindert.

[0025] In einer vorteilhaften Weiterbildung wird die Größe der räumlichen Objekte und/oder ihre Position zueinander verändert. So lässt sich auf virtueller Ebene exakt erfassen, wann es zu einer Kollision zweier jeweils mittels eines Drahtgittermodells repräsentierter räumlicher Objekte kommt. Auf diese Weise lassen sich Vorgänge zeitaufgelöst erfassen.

[0026] So lassen sich komplexe robotergesteuerte Fertigungsprozesse, wie beispielsweise das Einsetzen eines Armaturenbrettes durch die Frontöffnung einer Kraftfahrzeugkarosserie mittels eines Roboters, im Vorfeld auf einer virtuellen Ebene durchspielen und anhand der gewonnenen Erkenntnisse die Bewegung des Roboters derart anpassen, dass es bei der eigentlichen Montage nicht zu Kollisionen verschiedener Bauteile untereinander kommt. Auch das Entfalten eines Stents an seinem Bestimmungsort in einzelnen Stufen nach Art eines Trickfilms wiedergeben.

[0027] Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch eine Vorrichtung zur Dimensionierung medizinischer Stents nach einem Verfahren der vorherigen Ansprüche. Dabei sind die auf das Verfahren gerichteten Varianten und deren Vorzüge auf die Vorrichtung sinngemäß zu übertragen.

[0028] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert:

[0029] Fig. 1 die Position der Aorta descendens im Körper einer Person,

[0030] Fig. 2 ein Detail aus Fig. 1,

[0031] Fig. 3 das Detail aus Fig. 2 mit einem Aneurysma,

[0032] Fig. 4 einen Y-Stent mit zwei Y-Schenkeln im Montageendzustand und im zerlegten Zustand,

[0033] Fig. 5 bis Fig. 8 das Einsetzen des Y-Stents in die Aorta im Bereich des Aneurysmas aus Fig. 3,

[0034] Fig. 9 ein Verfahrensschema zur Detektierung von Kollisionen der Y-Schenkel des Y-Stents,

[0035] Fig. 10 ein Drahtgittermodell des Y-Stents,

[0036] Fig. 11 ein Detail der beiden Y-Schenkel aus Fig. 10,

[0037] Fig. 12 schematisch die Ermittlung von Begrenzungsvolumina in zwei Schritten,

[0038] Fig. 13 die Bestimmung der Eckpunkte der Begrenzungsvolumina,

[0039] Fig. 14 das Drahtgittermodell aus Fig. 10 mit Begrenzungsvolumina im Bereich der beiden Y-Schenkel,

[0040] Fig. 15 die Triangulation zweier benachbarter Linienzüge des Drahtgittermodells in drei Schritten,

[0041] Fig. 16 bis Fig. 18 die Überprüfung, ob ein Punkt innerhalb oder außerhalb des von den Dreieckflächen umschlossenen Volumens liegt,

[0042] Fig. 19 das Drahtgittermodell aus Fig. 12 im virtuell in die Aorta eingesetzten Zustand,

[0043] Fig. 20 in insgesamt zwölf Einzelschritten das virtuelle Einsetzen und Expandieren des Y-Stents in die Aorta, sowie

[0044] Fig. 21 das Drahtgittermodell eines Y-Stents, wenn keine Kollisionen der Y-Schenkel berücksichtigt werden.

[0045] Fig. 1 zeigt den Rumpf **1** einer Person mit dem in etwa mittig in seiner oberen Hälfte angeordneten Herzen **2**. Vom Herz **2** aus erstreckt sich in vertikaler Richtung **3** nach unten in Richtung zu den nicht dargestellten Beinen die Aorta descendens **4**. Im unteren Bereich des Körperrumpfes **1** verzweigt sich die Aorta descendens **4** in die beiden Beinarterien, die so genannten Arteriae iliacae communes **5, 5'**. Die beiden Arteriae iliacae communes **5, 5'** versorgen die beiden Beine der Person mit sauerstoffhaltigem Blut.

[0046] Fig. 2 zeigt den Bereich der Verzweigung der Aorta descendens **4** in die beiden Arteriae iliacae communes **5, 5'**.

[0047] Fig. 3 zeigt eine krankhafte Ausweitung der Aorta descendens **4** im Bereich der Verzweigung zu

den Arteriae iliacae communes **5**, **5'**, ein so genanntes Aneurysma **6**. Die folgende medizinische Betrachtung ist insbesondere aus der bereits in der Beschreibung zitierten Dissertation von S. Märchen entnommen. Ein Aneurysma kommt durch eine krankhafte, eine angeborene oder eine erworbene Veränderung der Wandung der Aorta descendens **4** zustande. Im Bereich des Aneurysmas **6** ist durch die Aufweitung der Aorta descendens **4** die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes stark herabgesetzt. Dadurch steigt gemäß der Bernoullischen Gesetze das Risiko einer Ruptur der Aortenwand. Die Folge ist ein sehr rascher Blutverlust in den Bauchraum hinein, der einer sofortigen ärztlichen Behandlung bedarf. Jedoch kommt es auch bei einer sofortigen ärztlichen Intervention sehr oft zum Tod des Patienten. Kommt es aufgrund eines spezifischen Beschwerdebildes zu einer Diagnose eines Aneurysmas **6**, beispielsweise durch ein bildgebendes Verfahren, wie die Computertomographie oder ein Ultraschallmessverfahren, so lassen sich gegen ein Reißen der Gefäßwand operative Maßnahmen ergreifen.

[0048] Eine derartige Maßnahme besteht im Einsetzen einer Gefäßprothese. Bei der so genannten konventionellen Operationsmethode wird zunächst der Bauchraum geöffnet. Anschließend wird eine Gefäßprothese in Y-Form in den Bereich zwischen der Aorta descendens **4** und den beiden Arteriae iliacae communes **5** eingesetzt. Dabei greift das eine Ende der Gefäßprothese in die Aorta descendens **4** und die beiden Y-Schenkel greifen in die beiden Arteriae iliacae communes **5**. Die aus einem Kunststoff bestehende Gefäßprothese wird in ihrer Position durch Festrähen fixiert. Die Operationsmethode ist beispielsweise in der Dissertation von S. Märchen, die bereits in der Beschreibung zitiert wurde, beschrieben. Eine derartige Operation am offenen Bauchraum geht mit einer hohen Belastung für den Patienten einher. Daher hat sich in den vergangenen Jahren eine alternative Operationsmethode entwickelt.

[0049] Hierbei wird ein in der **Fig. 4** auf der linken Seite im Montageendzustand dargestellter Y-Stent **7** anstelle der konventionellen Gefäßprothese auf endovaskulärem Wege eingesetzt. Dieser Y-Stent **7** weist eine Y-Basis **8** auf, die sich in zwei Y-Schenkel **9**, **9'** verzweigt. Die Y-Basis **8** und die beiden Y-Schenkel **9**, **9'** bestehen aus einem Gittergerüst **10**, dessen Zwischenräume mit einem Kunststoff verfüllt sind. Das Gittergerüst **10** des Y-Stents **7** ist dabei derart zusammenlegbar, dass sich der Y-Stent **7** im zusammengelegten Zustand durch die Blutgefäße des Patienten hindurch schieben lässt. Hierzu wird der Y-Stent über einen kleinen Schnitt in der Leistengegend in eine der beiden Arteriae iliacae communes **5**, **5'** eingesetzt. Das Einsetzen des Y-Stents **7** soll nur knapp beschrieben werden. Für eine einfachere Montage ist der Y-Stent **7** zweiteilig ausgeführt. Die rechte Seite der **Fig. 4** zeigt den Y-Stent **7** im zerleg-

ten Zustand. Der erste größere Teil umfasst die Y-Basis **8** und den ersten Y-Schenkel **9**, während der zweite Teil lediglich den zweiten Y-Schenkel **9'** umfasst.

[0050] Gemäß **Fig. 5** wird ein Navigierungsdraht **11** durch eine der beiden Arteriae iliacae communes **5** durchgefädelt und in Richtung der Aorta descendens **4** gezogen. An dem Navigierungsdraht **11** ist ein Ballonkatheter **12** befestigt, über den der größere Teil des Y-Stents **7** mit der Y-Basis **8** und einem der beiden Y-Schenkel **9** geschoben ist. Mittels eines Kontrollsystems, wie es beispielsweise in der WO 2007/025081 A2 beschrieben ist, wird ständig die Lage des Y-Stents **7** kontrolliert. Sobald die Y-Basis **8** in die Aorta descendens **4** und der Y-Schenkel **9** in die Arteria iliaca communis **5** greift, erfolgt eine Betätigung des Ballonkatheters **12**. Das Gittergerüst **10** von Y-Basis **8** und Y-Schenkel **9** weitet sich auf. Gemäß **Fig. 7** ist die Y-Basis **8** in der Aorta descendens **4** und der Y-Schenkel **9** in der Arteria iliaca communis **5** fixiert. Bereits vor dem Expandieren des Ballonkatheters **12** wurde ein zweiter Navigierungsdraht **11'** mit einem zweiten Ballonkatheter **12'** von der zweiten Arteria iliaca communis **5'** her durch die Aorta descendens **4** gezogen. Über den Ballonkatheter **12'** ist das zweite Teil des Y-Stents **7**, das lediglich den zweiten Y-Schenkel **9'** umfasst, geschoben. Sobald der Y-Schenkel **9'** mit seinem einen Ende an die Y-Basis **8** anschließt und mit seinem zweiten Ende in die zweite Arteria iliaca communis **5'** eingreift, erfolgt eine Betätigung des Ballonkatheters **12'** zum Fixieren des zweiten Y-Schenkels **9'** in der zweiten Arteria iliaca communis **5'**.

[0051] **Fig. 8** zeigt den Y-Stent **7** im Montageendzustand. Der Y-Stent wird nun durch den Federdruck seines Gittergerüsts **10** in seiner Position gehalten und fixiert. Da die Öffnungen des Gittergerüsts mit einem Kunststoff verfüllt sind, strömt das Blut nun an den Innenwandungen des Y-Stents **7** entlang. Das Aneurysma **6** wird somit durch den Y-Stent **7** gleichsam überbrückt. Somit ist, einen festen Sitz des Y-Stents **7** an seiner Position vorausgesetzt, keine Operation am offenen Bauchraum notwendig. Es ist anschaulich klar, dass der Y-Stent **7** um so besser in seiner Position gehalten wird, je besser er an die anatomischen Voraussetzungen des Patienten angepasst ist. Dies betrifft insbesondere die Durchmesser der Y-Basis **8** und der beiden Y-Schenkel **9**, **9'** sowie deren Länge. Bei der Auslegung des Y-Stents **7** ist zu beachten, dass sich die beiden Y-Schenkel **9**, **9'** an ihrem zur Y-Basis **8** ansetzenden Verzweigungspunkt in einem Kollisionsbereich **13** berühren. Dieser Kollisionsbereich **13** muss unbedingt bei der Auslegung des Y-Stents berücksichtigt werden, da dadurch im Montageendzustand der Durchmesser der beiden Y-Schenkel **9**, **9'** beeinflusst ist.

[0052] **Fig. 9** zeigt ein Berechnungsverfahren zum virtuellen Einsetzen eines Y-Stents **7**. Kern des Ver-

fahrens ist hierbei die Detektierung von Kollisionen der beiden Y-Schenkel **9, 9'** des Y-Stents **7** miteinander.

[0053] Hierzu werden zunächst mittels einer medizinischen Diagnosevorrichtung **14** Bildinformationen BI des Aneurysmas **6** und der an das Aneurysma **6** angrenzenden Abschnitte der Aorta descendens **4** und der beiden Arteriae iliacae communes **5, 5'** erfasst. Bei der medizinischen Diagnosevorrichtung **14** handelt es sich beispielsweise um einen Computertomographen, einen Angiographen oder ein Ultraschallmessgerät. Wichtig ist dabei, dass die erfassten Bildinformationen BI kontrastreich sind und eine möglichst hohe Ortsauflösung aufweisen.

[0054] Die Bildinformationen BI werden einer Verarbeitungseinheit **15** eines Rechnersystems **16** übergeben. Die Verarbeitungseinheit **15** bereitet die Bildinformationen BI zur Anzeige an einem Monitor ausgebildeten Anzeigeelement **17** auf. Weiterhin veranlasst die Verarbeitungseinheit **15** die Speicherung der Bildinformationen BI in einem Datenspeicher **18**. Die am Anzeigeelement **17** angezeigten Bildinformationen BI werden von einem befundenden Arzt mittels einer Bildanalyseeinrichtung **19** analysiert. Dabei handelt es sich insbesondere um ein am Rechnersystem **16** installiertes Computerprogramm zur Bildanalyse. Der Zugriff auf diese Bildanalyseeinrichtung **19** geschieht mittels einer Benutzerschnittstelle **20**. Unter der Benutzerschnittstelle **20** sind sämtliche Eingabelemente, wie eine Computermaus oder eine Computertastatur, umfasst, mittels derer ein Zugriff auf die Bildanalyseeinrichtung **19** möglich ist. Mittels der Bildanalyseeinrichtung **19** lassen sich Länge und maximaler Durchmesser des Aneurysmas **6** sowie die Durchmesser der an das Aneurysma **6** angrenzenden Aorta descendens **4** und der beiden Arteriae iliacae communes **5, 5'** ermitteln. Aus den ermittelten Messdaten lässt sich der Y-Stent **7** insbesondere hinsichtlich des Durchmessers und der Länge seiner Y-Basis **8** und seiner beiden Y-Schenkel **9, 9'** dimensionieren.

[0055] Aus den über die Benutzerschnittstelle **20** vorgegebenen Daten wird für den Y-Stent **7** in einem Verfahrensschritt **21** ein Drahtgittermodell errechnet, das eine Mehrzahl geschlossener und mittels Verbindungslinien miteinander verbundener Linienzüge umfasst. In einem Verfahrensschritt **22** wird zu jeweils zwei benachbarten Linienzügen des Drahtgittermodells ein beide Linienzüge vollständig aufnehmendes Begrenzungsvolumen errechnet. In einem weiteren Verfahrensschritt **23** wird aus den beiden Linienzügen mittels Triangulation eine geschlossene Oberfläche aus Dreiecksflächen gebildet. Anschließend wird in einem Verfahrensschritt **24** für jeden geschlossenen Linienzug eines Y-Schenkels **9, 9'** überprüft, ob zumindest einer seiner Punkte innerhalb eines Begrenzungsvolumens des Drahtgittermodells

des jeweils anderen Y-Schenkels **9, 9'** liegt. In einem weiteren Verfahrensschritt **25** wird für jeden Punkt eines Y-Schenkels **9, 9'**, der in einem Begrenzungsvolumen des jeweils anderen Y-Schenkels **9, 9'** liegt, weiterhin überprüft, ob er auch innerhalb der geschlossenen Oberfläche liegt. Falls sich beide Y-Schenkel **9, 9'** des Y-Stents **7** berühren, so wird für den Kollisionsbereich **13** die Verformung der beiden Y-Schenkel **9, 9'** in einem Verfahrensschritt **26** bestimmt. Die Bildinformation BI/S des Y-Stents **7** wird angepasst und von der Verarbeitungseinheit **15** gemeinsam mit der Bildinformation BI der medizinischen Diagnosevorrichtung **14** am Anzeigeelement **17** dargestellt.

[0056] Mit dieser Vorgehensweise lässt sich das Entfalten des Y-Stents **7** der beiden Ballonkatheter **12, 12'** stufenweise nach Art eines Trickfilms simulieren. Für jeden Iterationsschritt t_1, t_2, \dots, t_N wird die Größe des Drahtgittermodells an die simulierte Expansion des Y-Stents **7** angepasst.

[0057] In der Folge werden die Verfahrensschritte **21** bis **26** näher erläutert.

[0058] Fig. 10 zeigt ein Drahtgittermodell **27**, wie es für einen Y-Stent **7** in Verfahrensschritt **21** errechnet wird. Das Drahtgittermodell **27** umfasst geschlossene kreisförmige Linienzüge **28**, die mittels Verbindungslinien **29** miteinander verbunden sind. Die Linienzüge **28** und die Verbindungslinien **29** sind insbesondere in der Fig. 11 erkennbar, die den mittleren Bereich des Drahtgittermodells **27** des Y-Stents **7** zeigt. Das Drahtgittermodell **27** stellt ein vektorisiertes Abbild des Y-Stents **7** dar. Mit ihm lassen sich die geometrischen Verhältnisse des Y-Stents **7**, insbesondere die Länge und der Durchmesser der Y-Basis **8** und der beiden Y-Schenkel **9, 9'** in einer Speicherplatz sparenden Weise wiedergeben. Zur besseren Orientierung sind die Bezugszeichen für die Y-Basis **8** sowie die beiden Y-Schenkel **9, 9'** in der Fig. 10 mit Klammern versehen.

[0059] Die Fig. 10 zeigt das Drahtgittermodell **27** des Y-Stents **7** im vollständig mittels der beiden Ballonkatheter **12, 12'** expandierten Zustand. Wie insbesondere der Fig. 11 zu entnehmen ist, berühren sich die beiden Y-Schenkel **9, 9'** in ihrem Mündungsbereich in die Y-Basis **8** an ihren einander zugewandten Seiten in einem virtuellen Kollisionsbereich **30**. In diesem Kollisionsbereich **30** üben die beiden Y-Schenkel **9, 9'** einen Druck aufeinander aus, der zu einer leichten Deformation der beiden Y-Schenkel **9, 9'** führt. Für die grafische Darstellung des Drahtgittermodells **27** ist hierbei bereits die Abfolge der Verfahrensschritte **22** bis **26** berücksichtigt.

[0060] Fig. 12 zeigt auf der linken Seite einen Ausschnitt des Drahtgittermodells **27** eines der beiden Y-Schenkel **9, 9'**. Der besseren Übersicht halber sind

lediglich die Linienzüge **28**, nicht aber die die Linienzüge **28** miteinander verbindenden Verbindungslinien **29** dargestellt. Zu jeweils zwei benachbarten Linienzügen **28** des Drahtgittermodells **27** wird nunmehr im Verfahrensschritt **22** ein beide Linienzüge **28** vollständig aufnehmendes Begrenzungsvolumen **31** errechnet. Fig. 12 zeigt auf der rechten Seite nochmals die vier Linienzüge **28** mit den sie jeweils paarweise aufnehmenden drei Begrenzungsvolumina **31**.

[0061] Die Begrenzungsvolumina **31** werden nach der so genannten AABB-Methode als so genannte achsenorientierte Begrenzungsvolumina gebildet. In der Fig. 13 ist ein einzelnes derartiges Begrenzungsvolumen **31** dargestellt. Der Übersicht halber sind die Linienzüge **28** in der Fig. 13 nicht mit eingezeichnet. Für jeden der beiden Linienzüge **28** wird hinsichtlich der kartesischen x-, der y- sowie der z-Koordinate jeweils deren minimaler Wert für beide Linienzüge **28** ermittelt. Auf diese Weise erhält man den ersten Eckpunkt **32** des Begrenzungsvolumens **31**. Analog wird für beide Linienzüge **28** der maximale Wert bezüglich der kartesischen x-, der y- und der z-Koordinate betreffend beide Linienzüge **28** gebildet. Auf diese Weise erhält man den zweiten Eckpunkt **32'** des Begrenzungsvolumens **31**. Nun werden durch beide Eckpunkte **32, 32'** jeweils drei Geraden gelegt, die parallel zu den Achsen des kartesischen Koordinatensystems **33** ausgerichtet sind. Es ergeben sich insgesamt auf diese Weise sechs Schnittpunkte **34**, die gemeinsam mit den beiden Eckpunkten **32, 32'** die insgesamt acht Ecken des Begrenzungsvolumens **31** bilden. Die AABB-Methode ist in der bereits in der Beschreibung zitierten Schrift von G. van den Bergen ausführlich beschrieben.

[0062] Fig. 14 zeigt das Drahtgittermodell **27** mit übereinander getürmten Begrenzungsvolumina **31** an beiden Y-Schenkeln **9, 9'**. Für die Ermittlung des Kollisionsbereiches **30** werden nur die beiden Y-Schenkel **9, 9'** betrachtet. Die Y-Basis **8** des Y-Stents kann ungehindert expandieren und wird in ihrer Expansion nicht durch ein weiteres räumliches Objekt **9, 9'**, sondern nur durch die Wandung der Aorta descendens **4** eingeschränkt.

[0063] In Verfahrensschritt **23** wird aus den beiden in einem Begrenzungsvolumen **31** enthaltenen Linienzügen **28** eine geschlossene Oberfläche gebildet. Hierzu werden, wie es in der linken Schemazeichnung der Fig. 15 zu sehen ist, zunächst für beide Linienzüge **28** zueinander beabstandete Stützstellen **35** festgelegt. Diese Stützstellen **35** werden anschließend, wie es die mittlere Schemazeichnung der Fig. 15 zeigt, wechselseitig zur Bildung von Dreiecksflächen **36** miteinander verbunden. Da es sich bei den geschlossenen Linienzügen **28** um Kreisringe handelt, erhält man einen Zylindermantel.

[0064] In der rechten Schemazeichnung der Fig. 15

schließlich wird zunächst für jeden der beiden geschlossenen Linienzüge **28** dessen Schwerpunkt **37** ermittelt. Anschließend werden durch die Verbindung der Stützstellen **35** mit dem Schwerpunkt **37** Dreiecksflächen **38** gebildet. Weisen, wie im Beispiel, die geschlossenen Linienzüge **28** die Geometrie von Kreisringen auf, so bildet die Gesamtheit aller Dreiecksflächen **38** für einen Linienzug **28** eine Kreisscheibe. Durch die Gesamtheit der Dreiecksflächen **36** und **38** ist eine geschlossene Oberfläche **36, 38** gebildet, die nunmehr einen Teil des Begrenzungsvolumens **31** umschließt. Dies ist schematisch den Fig. 16 bis Fig. 18 zu entnehmen. Dieses von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossene Volumen nähert das vom Y-Schenkel **9, 9'** eingenommene Volumen zwischen den beiden Linienzügen **28** an.

[0065] In Verfahrensschritt **24** wird überprüft, ob ein Punkt **39, 39', 39''** eines zu einem Y-Schenkel **9, 9'** gehörigen Linienzuges **28** in einem Begrenzungsvolumen **31** des jeweils anderen Y-Schenkels **9, 9'** liegt. In den Fig. 16 bis Fig. 18 ist jeweils ein Punkt **39, 39', 39''** dargestellt, der im Begrenzungsvolumen **31** liegt. Nur derartige Punkte **39, 39', 39''** werden einer weiteren Untersuchung unterzogen. Grob gesprochen liegen derartige Punkte **39, 39', 39''**, in der Nähe des jeweils anderen Y-Schenkels **9, 9'** und sind damit Kandidaten für eine Kollision der beiden Y-Schenkel **9, 9'**. Aufgrund der kartesischen Koordinaten der Begrenzungsvolumina **31** ist eine derartige Prüfung sehr rasch möglich.

[0066] Im Verfahrensschritt **25** wird nun überprüft, ob derartige Punkte **39, 39', 39''**, die Kandidaten für eine Berührung der beiden Y-Schenkel **9, 9'** darstellen, auch innerhalb des von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossenen Volumens liegen. Hierzu wird der zu untersuchende Punkt **39, 39', 39''** über eine Gerade **40, 40', 40''** mit einem außerhalb des Begrenzungsvolumens **31** liegenden Hilfspunkt **41** verbunden. In der Folge wird die Anzahl der Dreiecksflächen **36, 38** ermittelt, die von der Geraden **40, 40', 40''** geschnitten werden.

[0067] In Fig. 16 schneidet die Gerade **40** keine der Dreiecksflächen **36, 38**. Anschaulich ist daher auch klar, dass der Punkt **39** außerhalb des von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossenen Volumens liegt und es somit an dieser Stelle zu keiner Kollision der beiden Y-Schenkel **9, 9'** kommt.

[0068] In Fig. 17 schneidet die Gerade **40'** eine der Dreiecksflächen **36, 38**, nämlich die Dreiecksfläche **36'**. Somit liegt der Punkt **39'** im Inneren des von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossenen Volumens. Daher kommt es zu einer Kollision der beiden Y-Schenkel **9, 9'**.

[0069] In Fig. 18 schneidet die Gerade **40''** zwei der Dreiecksflächen **36, 38**, nämlich die beiden Dreiecks-

flächen **36''**. Dabei durchdringt die Gerade **40** eine der beiden Dreiecksflächen **36''** von außen und anschließend die zweite der beiden Dreiecksflächen **36''** von innen. Der Punkt **39''** liegt daher außerhalb des von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossenen Volumens.

[0070] Allgemein liegt der Punkt **39, 39''** für eine gerade Anzahl der Schnittstellen einschließlich der Null außerhalb des von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossenen Volumens. Weiterhin liegt der Punkt **39'** für eine ungerade Anzahl von Schnittpunkten im Inneren des von den Dreiecksflächen **36, 38** umschlossenen Volumens. Nur in diesem letzten Fall berühren sich die beiden Y-Schenkel **9, 9'** des Y-Stents **7**.

[0071] Sämtliche ermittelten Punkte **39**, in denen die beiden Y-Schenkel **9, 9'** miteinander kollidieren, bilden miteinander den virtuellen Kollisionsbereich **30** der beiden Y-Schenkel **9, 9'**. Anhand dieses ermittelten virtuellen Kollisionsbereichs **30** lässt sich im Verfahrensschritt **26** errechnen, inwieweit sich die beiden Y-Schenkel **9, 9'** infolge einer gegenseitigen Berührung deformieren. Hierzu wird zunächst die Kraft ermittelt, die die beiden Y-Stents **9, 9'** aufeinander ausüben. Anhand der geometrischen Merkmale und der Werkstoffdaten der beiden Y-Schenkel **9, 9'** lässt sich deren Deformation errechnen. An diese errechnete Deformation der beiden Y-Schenkel **9, 9'** wird das Drahtgittermodell **27** des Y-Stents **7** dementsprechend angepasst. Die entsprechende Bildinformation BI/S des Y-Stents **7** wird an die Verarbeitungseinheit **15** übergeben und am Anzeigeelement **17** angezeigt.

[0072] **Fig. 19** zeigt das Drahtgittermodell **27** des Y-Stents **7** im noch nicht vollständig expandierten Zustand.

[0073] Das Drahtgittermodell **27** ist hierbei virtuell an seinen Bestimmungsort im Körper eines Patienten eingesetzt. Die Anatomie des Bestimmungsortes wurde als Bildinformation BI mit der medizinischen Diagnosevorrichtung **14** erfasst. Dabei greift die Y-Basis **8** des Y-Stents **7** in die Aorta descendens **4**. Die beiden Y-Schenkel **9, 9'** greifen in die beiden Arteriae iliacae communes **5, 5'**.

[0074] Das Verfahren nach **Fig. 19** erlaubt die Betrachtung des Expansion des Y-Stents **7** mittels des Drahtgittermodells **27**. Dabei werden die Durchmesser der Y-Basis **8** und der beiden Y-Schenkel **9, 9'** sukzessive erhöht. Dies ist in den insgesamt zwölf Phasenbildern der **Fig. 20** gezeigt. Jedes dieser Phasenbilder zeigt einen bereits eingesetzten Y-Stent gemäß **Fig. 19**. Die einzelnen Y-Stents **7** nehmen von links nach rechts und von oben nach unten im Durchmesser von Y-Basis **8** und Y-Schenkel **9, 9'** zu. Für jedes einzelne der gezeigten Phasenbilder werden die Verfahrensschritte **21** bis **26** durchlaufen. Am Ende eines jeden Durchlaufs wird der virtuelle

Kollisionsbereich **30** zwischen den beiden Y-Schenkeln **9, 9'** ermittelt. Daraus ergibt sich die momentane Verformung der beiden Y-Schenkel **9, 9'**. Das Phasenbild rechts unten in der **Fig. 20** zeigt den Y-Stent **7** im vollständig expandierten Zustand. Ein befundender Arzt kann nun am Anzeigeelement **17** kontrollieren, ob der Y-Stent **7** einen optimalen Sitz aufweist und ob die Durchmesser von Y-Basis **8** der Aorta descendens **4** und den beiden Y-Schenkeln **9, 9'** den Arteriae iliacae communes **5, 5'** so entsprechen, dass ein ungehinderter Blutfluss über die Kanalstruktur des Y-Stents **7** möglich ist. Nur in diesem Fall lässt sich das Aneurysma **6** nämlich sicher überbrücken, so dass die Gefahr eines Einreißen des Aneurysmas **6** und eines Einblutens in den Bauchraum des Patienten sicher vermieden ist.

[0075] Der virtuelle Kollisionsbereich **30** entspricht dabei dem zu erwartenden Kollisionsbereich **13**, wenn man einen Y-Stent **7** mit den vorgegebenen Eigenschaften als Gefäßprothese in das Aneurysma einsetzt.

[0076] Wird bei der simulierten Expansion des Y-Stents **7** festgestellt, dass dessen Sitz nicht optimal ist, so werden mittels der Benutzerschnittstelle **20** leicht veränderte Parameter für den Y-Stent **7** vorgegeben. Diese Prozedur wird so lange wiederholt, bis ein optimaler Sitz des Y-Stents am Anzeigeelement **17** feststellbar ist. Für die Operation wird im Anschluss ein Y-Stent **7** mit den ermittelten Stent-Parametern eingesetzt.

[0077] **Fig. 21** zeigt einen Y-Stent **7'**, bei dem der Kollisionsbereich zwischen seinen beiden Schenkeln **9''** und **9'''** nicht berücksichtigt wurde. Die beiden Y-Schenkel **9'', 9'''** greifen an ihren Ansatzpunkten an die Y-Basis **8'** ineinander und überlappen sich. Der Y-Stent **7'** wird somit mit einem Fehler dargestellt. Es besteht daher die Gefahr, dass ein befundender Arzt für die Behandlung einen nicht optimal für den Anwendungsfall passenden Stent wählt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 200725081 A2 [0021]
- WO 2007/025081 A2 [0050]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Per-Olof Persson und Gilbert Strang, "A Simple Mesh Generator in Matlab", SIAM Review, Volume 46 (2), S. 329-345, Juli 2004 [0003]
- G. van den Bergen, "Efficient Collision Detection of Complex Deformable Models using AABB Trees", Journal of Graphics Tools, 2(4): 1-14, 1997 [0015]
- T. Möller und B. Trumbore, "Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection", Journal of Graphics Tools, 2(1): 21-28, 1997 [0016]
- S. Krishnan et. al., "Interactive Boundary Computation of Boolean Combinations of Sculptured Solids", Computer Graphics Forum 16, 3 (August 1997), S. 67-78, ISSN 1067-7055 [0016]
- S. Märchen, "Das inflammatorische abdominale Aortenaneurysma: Vergleich der endovaskulären Stent-Graft-Implantation mit der konventionell offenen Ausschaltung", Universität Ulm, 2004 [0021]

Patentansprüche

1. Berechnungsverfahren zur Detektierung von Kollisionen zumindest zweier mittels jeweils eines Drahtgittermodells (27) repräsentierter räumlicher Objekte (9, 9'),

– wobei die Drahtgittermodelle (27) eine Mehrzahl geschlossener und mittels Verbindungslinien (29) miteinander verbundener Linienzüge (28) umfassen, – wobei zu jeweils zwei benachbarten Linienzügen (28) eines Drahtgittermodells (27) ein beide Linienzüge (28) vollständig aufnehmendes Begrenzungsvolumen (31) errechnet wird, – wobei aus den beiden Linienzügen (28) mittels Triangulation eine geschlossene Oberfläche aus Dreiecksflächen (36, 38) gebildet wird, – wobei für jeden geschlossenen Linienzug (28) eines Drahtgittermodells (27) überprüft wird, ob zumindest einer seiner Punkte (39, 39', 39'') innerhalb eines Begrenzungsvolumens (31) eines Drahtgittermodells (27) eines weiteren Objektes (9, 9') liegt, und – wobei für jeden Punkt (39, 39', 39'') eines Drahtgittermodells (27), der in einem Begrenzungsvolumen (31) eines weiteren Drahtgittermodells (27) liegt, weiterhin überprüft wird, ob er auch innerhalb der geschlossenen Oberfläche liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das die beiden Linienzüge (27) aufnehmende Begrenzungsvolumen (31) nach der AABB-Methode gebildet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, – wobei ein innerhalb eines Begrenzungsvolumens (31) liegender Punkt (39, 39', 39'') eines weiteren Drahtgittermodells (27) mit einem außerhalb dieses Begrenzungsvolumens (31) liegenden weiteren Punkt (41) über eine Gerade (40, 40', 40'') verbunden wird und – wobei anhand der Anzahl der Schnittpunkte der Geraden (40, 40', 40'') mit Dreiecksflächen (36', 36'') der geschlossenen Oberfläche entschieden wird, ob der Punkt (39, 39', 39'') innerhalb oder außerhalb der geschlossenen Oberfläche liegt.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, – wobei für beide Linienzüge (27) zueinander beabstandete Stützstellen (35) festgelegt werden und – wobei die Stützstellen (35) der beiden Linienzüge (27) wechselseitig zur Bildung der Dreiecksflächen (36) miteinander verbunden werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, – wobei für die Triangulation eines geschlossenen Linienzuges (27) dessen Schwerpunkt (37) ermittelt wird und – wobei die Bildung der Dreiecksflächen (38) durch Verbindungslinien dem Linienzug (27) und dem Schwerpunkt (37) erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, – wobei alle Punkte (39'), die innerhalb einer geschlossenen Oberfläche eines anderen Begrenzungsvolumens (31) liegen, zu einem virtuellen Kollisionsbereich (30) zusammengefasst werden und – wobei die Verformung der zu den Punkten (39') gehörigen räumlichen Objekte (9, 9') ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die geschlossenen Linienzüge (27) die Geometrie von Kreisringen aufweisen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die durch Drahtgittermodelle (27) repräsentierten räumlichen Objekte die Schenkel (9, 9') eines Y-Stents (7) sind.

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Größe und/oder die Position der räumlichen Objekte (9, 9') verändert wird.

10. Vorrichtung zur Dimensionierung medizinischer Y-Stents (7) nach einem Verfahren der vorherigen Ansprüche.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

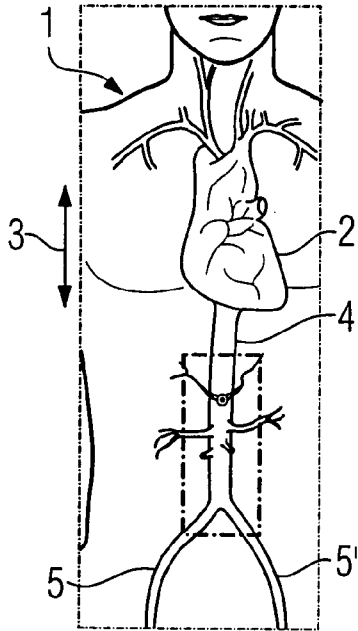


FIG 2

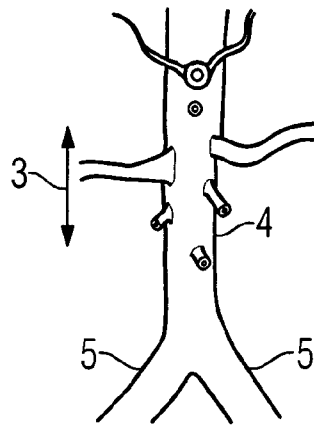


FIG 3

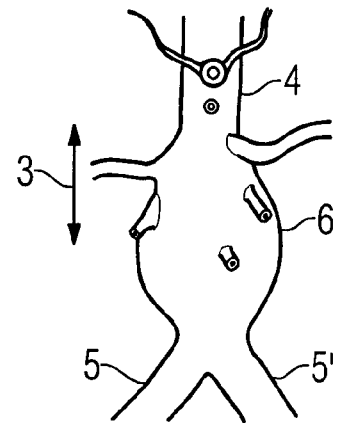
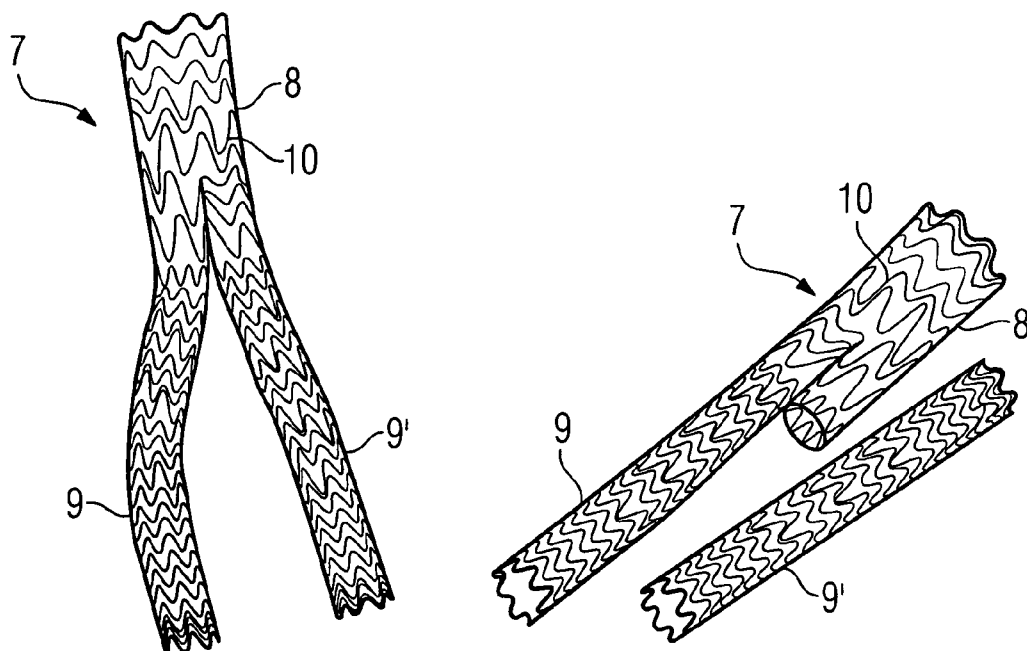


FIG 4



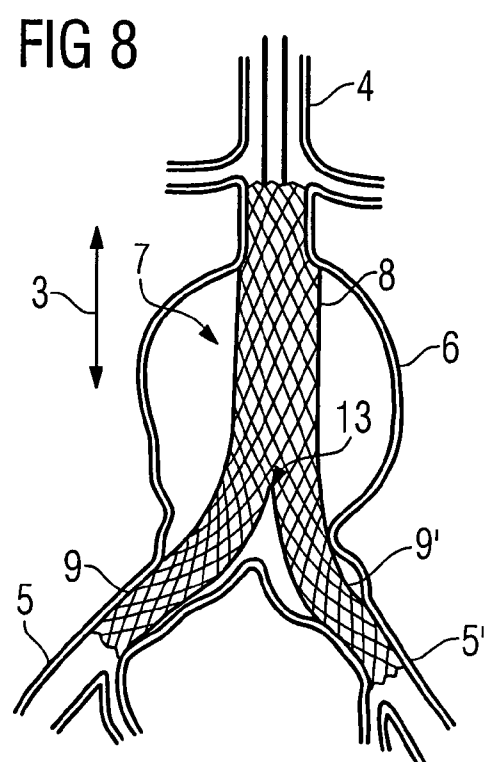
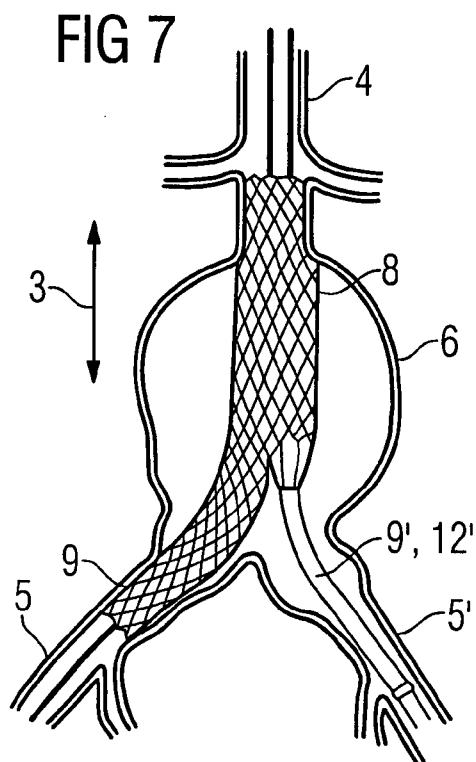
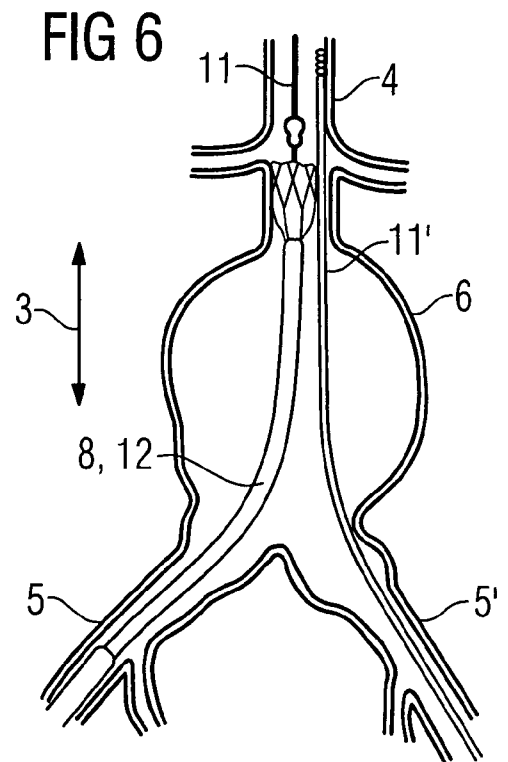
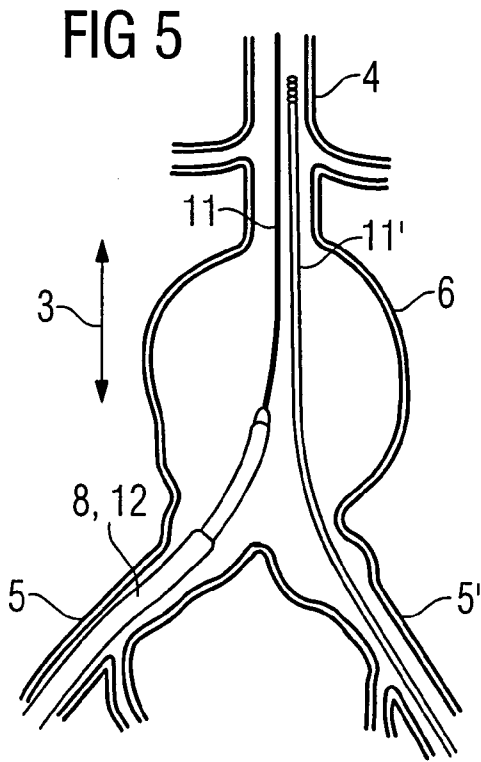


FIG 9

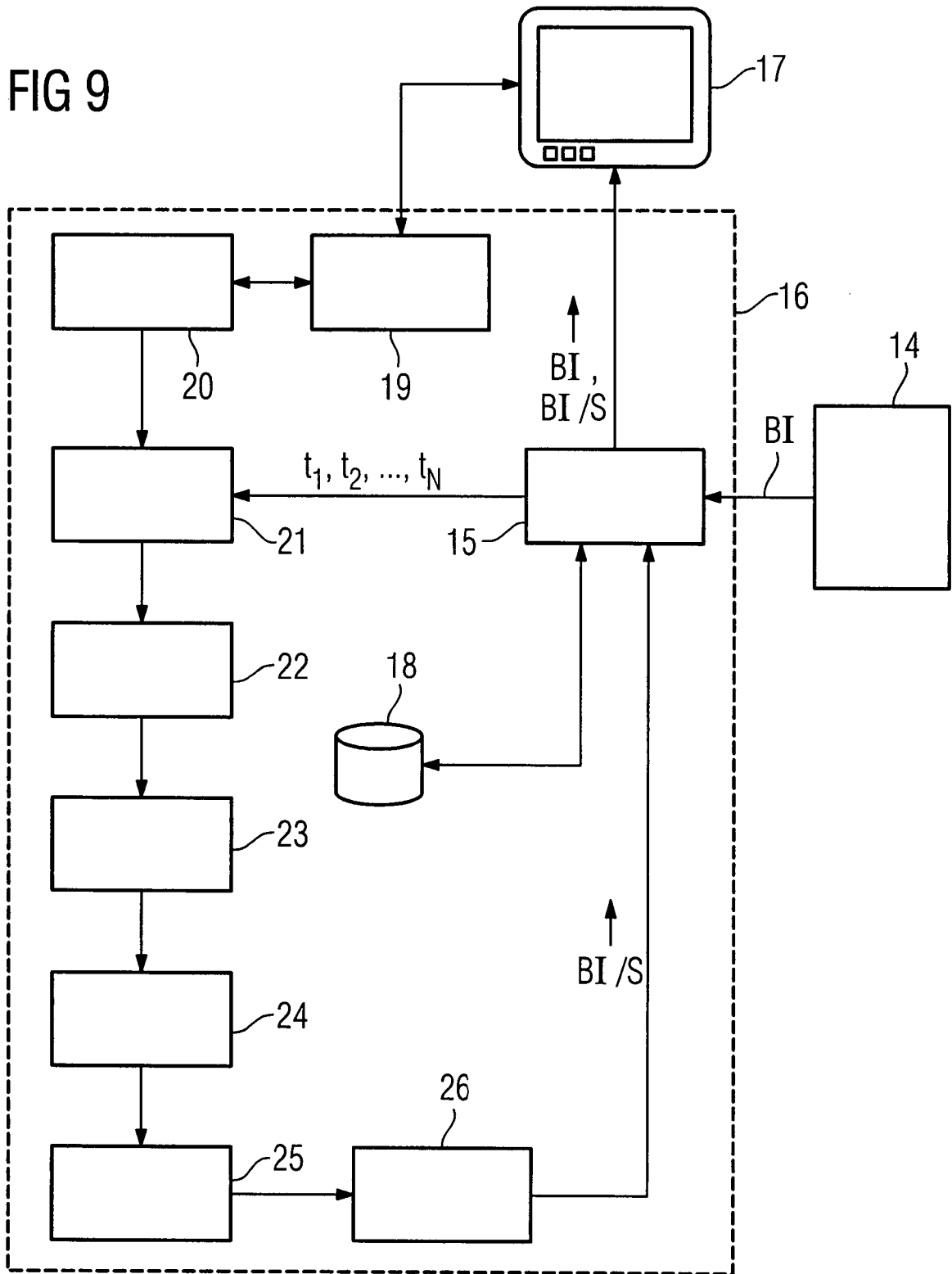


FIG 10

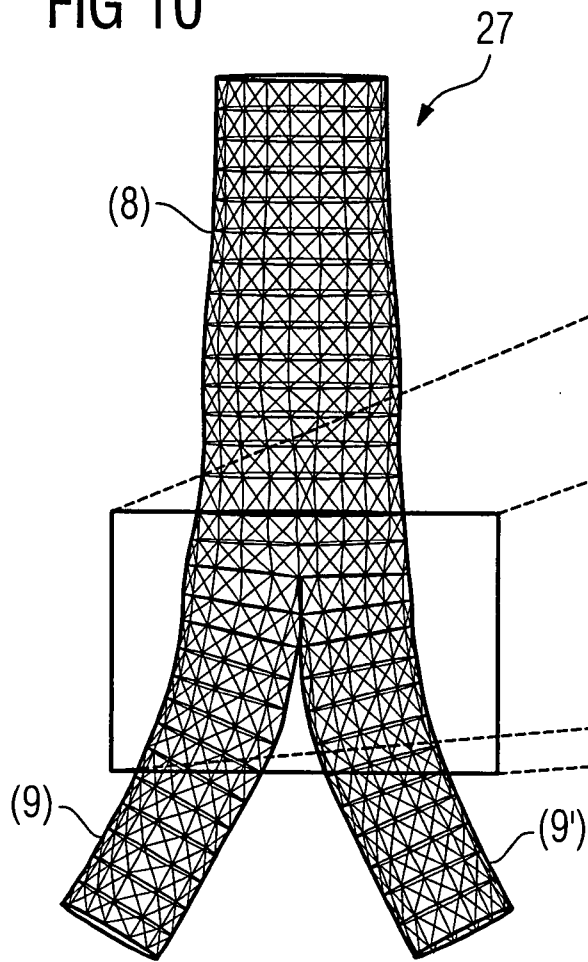


FIG 11

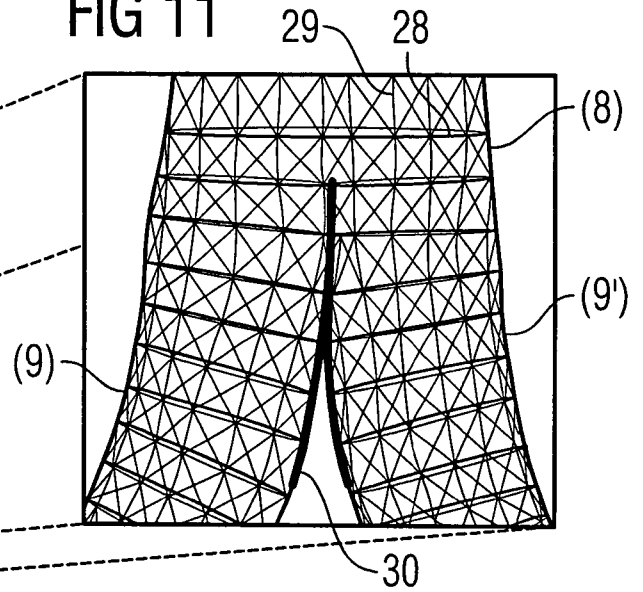


FIG 12

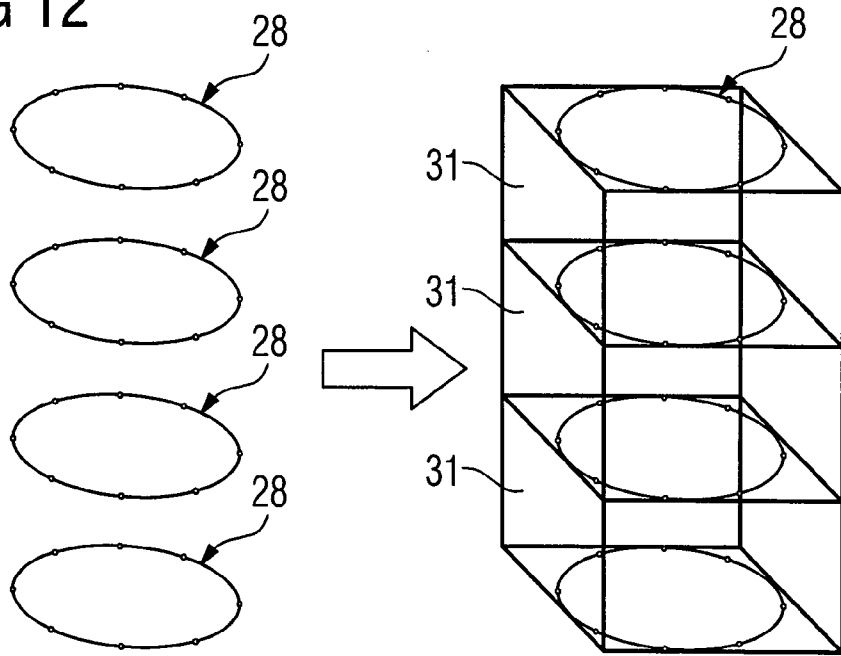


FIG 13

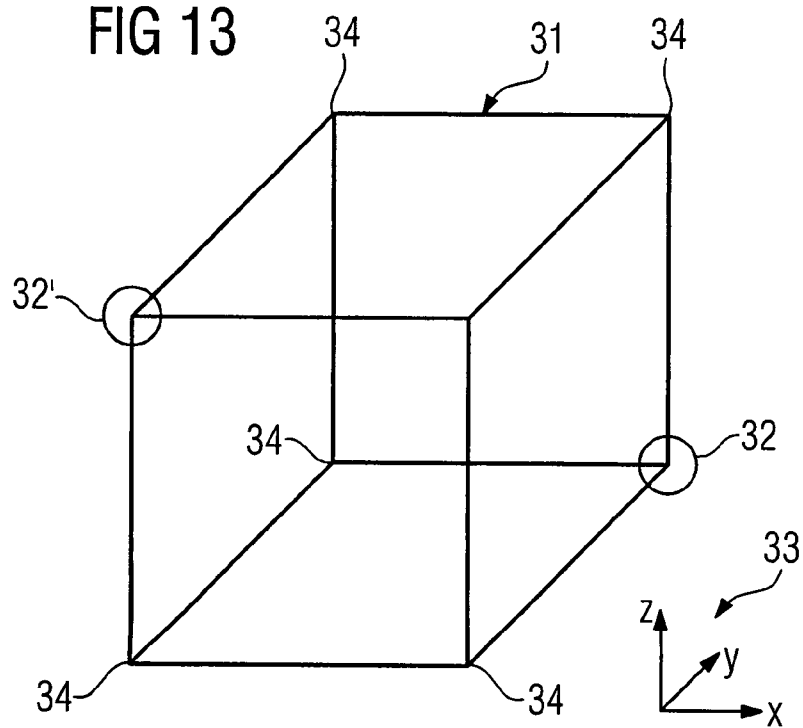


FIG 14

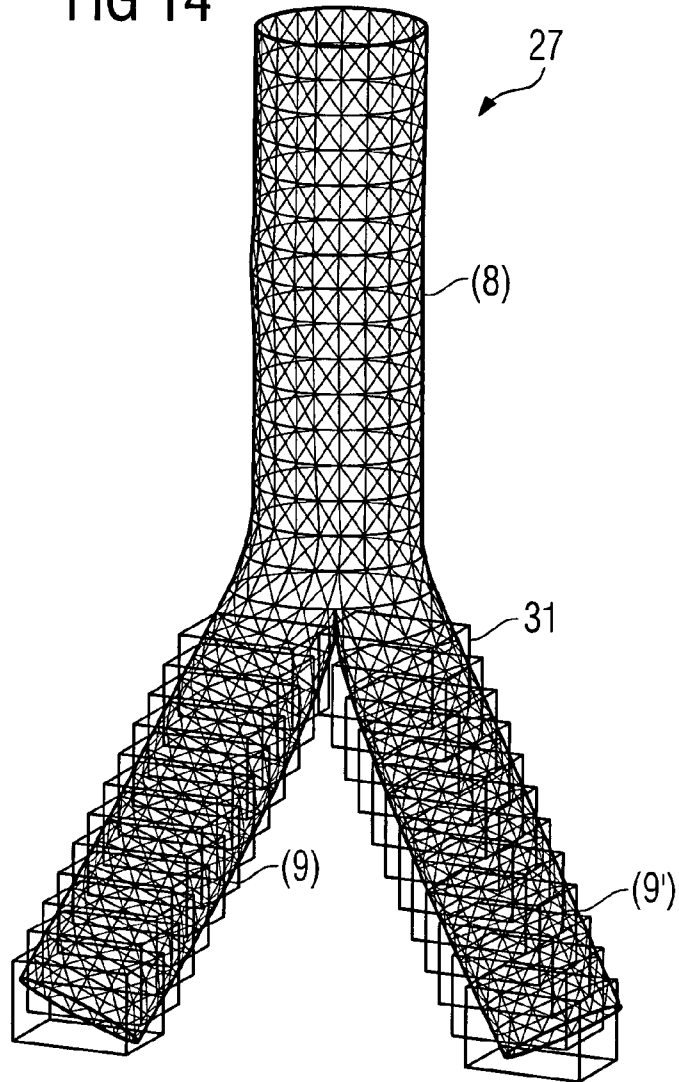
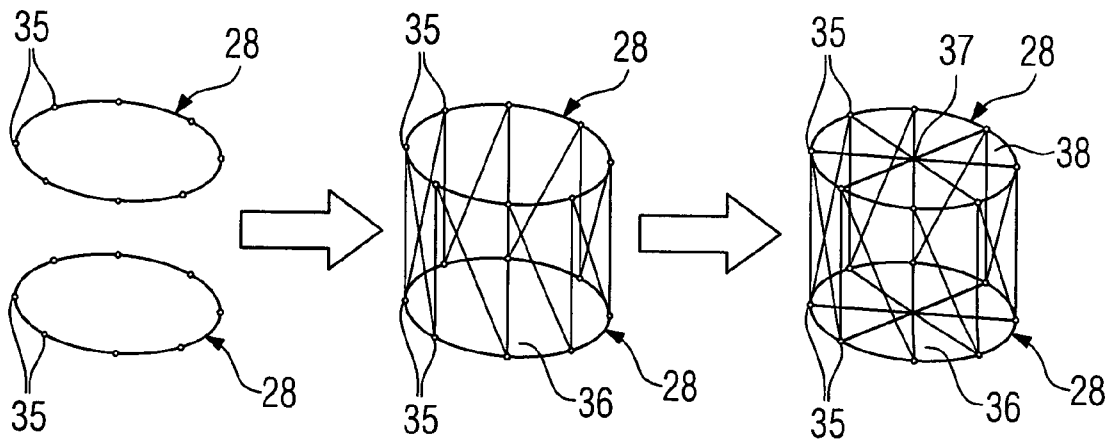


FIG 15



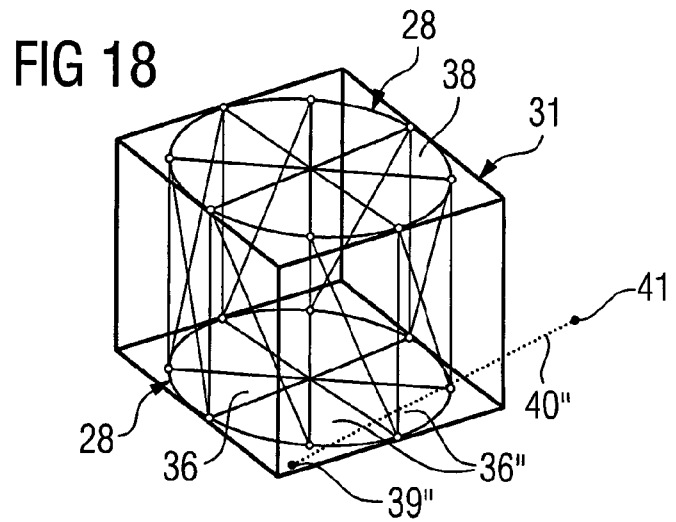
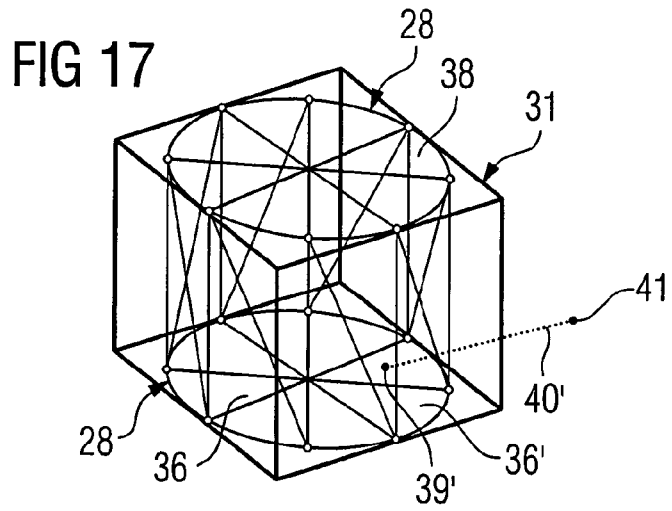
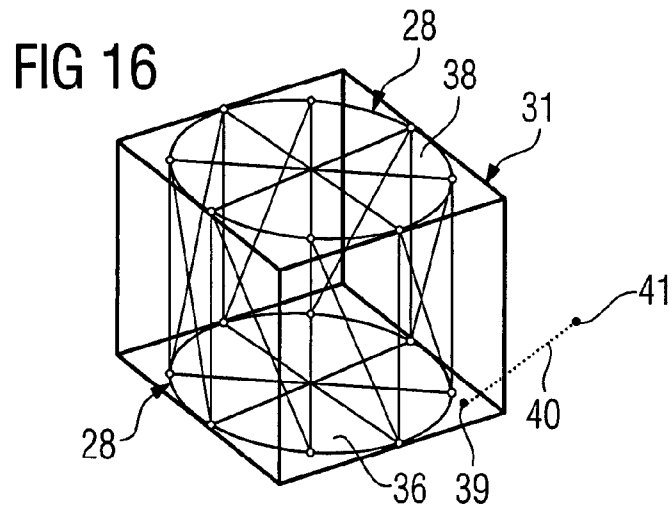


FIG 19

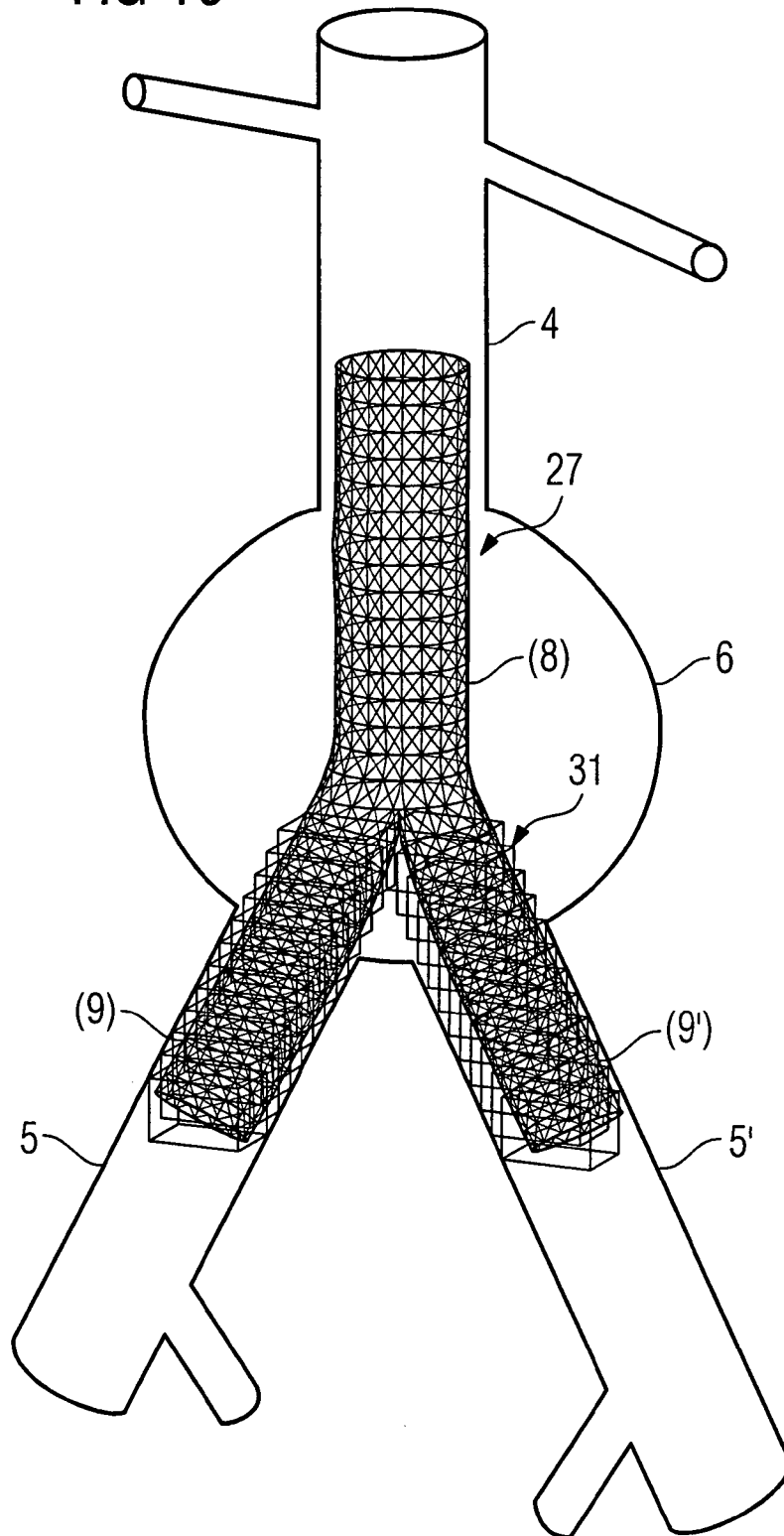


FIG 20

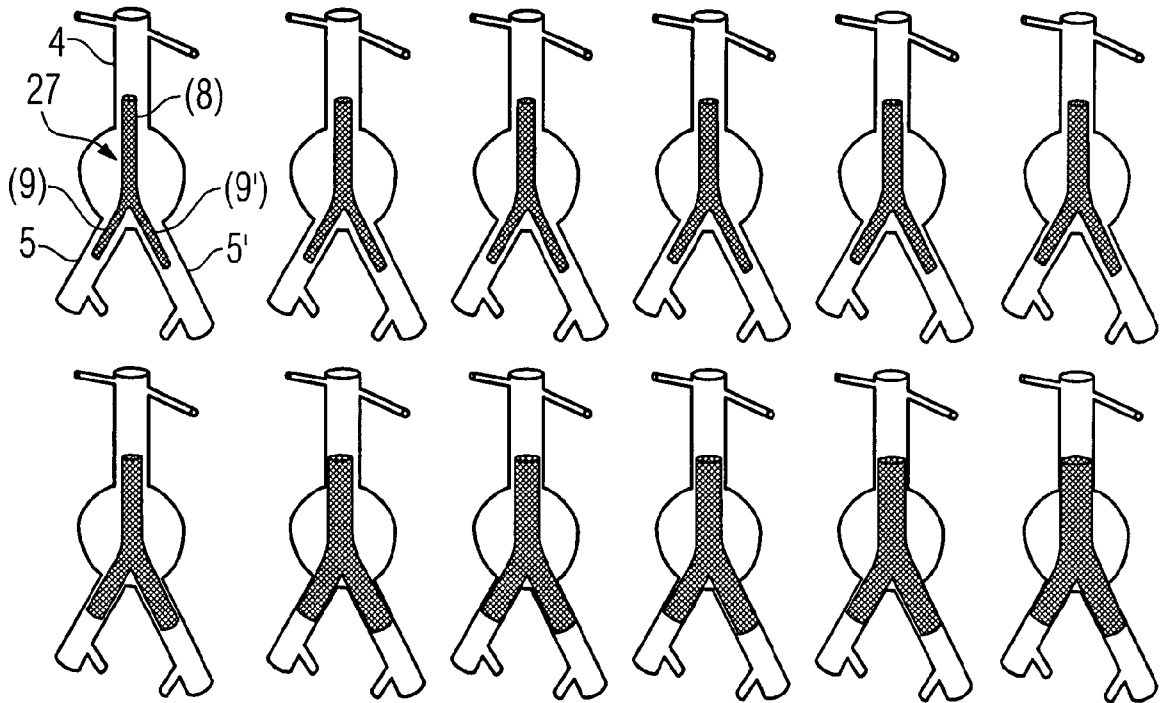


FIG 21

