

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6080267号
(P6080267)

(45) 発行日 平成29年2月15日(2017.2.15)

(24) 登録日 平成29年1月27日(2017.1.27)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 J
B 2 9 C 67/00 (2017.01)	B 2 9 C 67/00
A 6 1 B 5/055 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 G
	A 6 1 B 5/05 3 8 0

請求項の数 15 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2014-186299 (P2014-186299)	(73) 特許権者	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(22) 出願日	平成26年9月12日(2014.9.12)	(74) 代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
(65) 公開番号	特開2016-551111 (P2016-551111A)	(74) 代理人	100090468 弁理士 佐久間 剛
(43) 公開日	平成28年4月21日(2016.4.21)	(72) 発明者	佐川 将史 東京都港区赤坂9丁目7番3号 富士フイルム株式会社内
審査請求日	平成28年1月13日(2016.1.13)	審査官	伊知地 和之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元オブジェクト分割出力装置およびその応用

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の端点および分岐点と、前記端点と前記分岐点間を接続するエッジと、2つの前記分岐点間を接続するエッジとで構成される木構造を持つ3次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する抽出部と、

前記3次元オブジェクトの木構造の前記エッジ上で分割した分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する分割位置探索部と、

前記分割候補位置のあるエッジ上の分割位置で前記3次元オブジェクトを前記出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに分割する分割部と、

前記分割オブジェクトを前記3次元造形装置に出力する出力部とを備えた3次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項2】

前記3次元オブジェクトの木構造上の少なくとも1点から前記複数の端点に到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をエッジ毎にカウントして得られる多重度を取得する多重度取得部をさらに備え、

前記分割位置探索部は、前記多重度が最大のエッジから順に、前記分割候補位置を探索する請求項1記載の3次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項3】

前記分割オブジェクトを除いた前記3次元オブジェクトの木構造に対して、前記分割位

置探索部および前記分割部により、新たな分割オブジェクトを繰り返し生成する繰り返し制御部をさらに備えた請求項 1 または 2 記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 4】

前記分割オブジェクトを除いた前記 3 次元オブジェクトの木構造に対して、前記多重度取得部、前記分割位置探索部および前記分割部により、新たな分割オブジェクトを繰り返し生成する繰り返し制御部をさらに備えた請求項 2 記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 5】

前記分割位置探索部は、前記分割オブジェクトに含まれる木構造の端点を用いて得られる包絡面による凸包体に外接する外接直方体が、前記出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する請求項 1 ~ 4 いずれか 1 項記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

10

【請求項 6】

前記外接直方体は、前記凸包体に外接する直方体の体積が最小となる最小直方体である請求項 5 記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 7】

前記出力部は、前記外接直方体の一辺が前記 3 次元造形装置の出力範囲の直方体の一辺と平行になり、かつ、前記外接直方体が前記出力範囲の直方体に収まる向きに前記分割オブジェクトを回転して出力する請求項 5 または 6 項記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 8】

20

前記多重度取得部は、前記 3 次元オブジェクトの木構造の 1 つの端点から前記 1 つの端点以外の他の端点に到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をエッジ毎にカウントして得られる多重度を取得する請求項 2 または 4 項記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 9】

前記多重度取得部は、前記複数の端点のうち特定の 1 つの端点から前記特定の 1 つの端点以外の他の端点へ到達する全ての経路、または、前記複数の端点以外の前記 3 次元オブジェクトの木構造上の特定の 1 点から前記複数の端点へ到達する全ての経路に基づいて、各経路が前記各エッジを通過する回数をカウントして得られる前記多重度を取得する請求項 2 または 4 項記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

30

【請求項 10】

前記多重度取得部は、前記 3 次元オブジェクトの木構造の 2 つの分岐点間を接続するエッジの中から選択された 1 つのエッジ上の 1 点で前記木構造を 2 つに分けた 2 つの部分木構造に対して、前記選択されたエッジ上の 1 点から前記部分木構造の端点に到達する全ての経路に基づいて得られる前記多重度をそれぞれ取得し、前記選択されたエッジの多重度を前記 2 つの部分木構造に対して取得した多重度のうち小さい値の多重度を前記選択されたエッジの多重度とする請求項 2 または 4 記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 11】

前記多重度取得部は、前記複数の端点のうち 1 つの端点から前記 1 つの端点以外の他の端点へ到達する全ての経路に基づいて、各経路が前記各エッジを通過する回数をカウントする処理を、各端点のそれぞれに対して行ってカウントした前記各エッジを通過する回数を全て加算して得られる前記多重度を取得する請求項 2 または 4 記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

40

【請求項 12】

前記分割部は、前記分割オブジェクトが前記出力範囲内の大きさとなり、かつ、前記分割候補位置があるエッジ上で最も太くなる分割位置で分割する請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 13】

前記分割位置探索部は、前記 2 つの分岐点間を接続するいずれかのエッジで分割した時に、前記分割オブジェクトの少なくとも一方が前記出力範囲内の大きさから前記出力範囲

50

を越える大きさに変わるエッジ上の分割候補位置を探索する請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項記載の 3 次元オブジェクト分割出力装置。

【請求項 14】

抽出部と分割位置探索部と分割部と出力部とを備えた 3 次元オブジェクト分割出力装置の作動方法であって、

前記抽出部が、複数の端点および分岐点と、前記端点と前記分岐点間を接続するエッジと、2つの前記分岐点間を接続するエッジとで構成される木構造を持つ 3 次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する抽出ステップと、

前記分割位置探索部が、前記 3 次元オブジェクトの木構造の前記エッジ上で分割した分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが 3 次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する分割位置探索ステップと、

前記分割部が、前記分割候補位置のあるエッジで前記 3 次元オブジェクトを前記出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに分割する分割ステップと、

前記出力部が、前記分割オブジェクトを前記 3 次元造形装置に出力する出力ステップとを備えた 3 次元オブジェクト分割出力装置の作動方法。

【請求項 15】

コンピュータに、

複数の端点および分岐点と、前記端点と前記分岐点間を接続するエッジと、2つの前記分岐点間を接続するエッジとで構成される木構造を持つ 3 次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する抽出ステップと、

前記 3 次元オブジェクトの木構造の前記エッジ上で分割した分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが 3 次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する分割位置探索ステップと、

前記分割候補位置のあるエッジで前記 3 次元オブジェクトを前記出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに分割する分割ステップと、

前記分割オブジェクトを前記 3 次元造形装置に出力する出力ステップとを実行させるための 3 次元オブジェクト分割出力プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、木構造のオブジェクトを 3 次元造形装置に出力する際に、3 次元造形装置の出力範囲に収まるようにオブジェクトを分割して出力する 3 次元オブジェクト分割出力装置およびその応用に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、CT (Computed Tomography) 装置や MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置などで取得された断層画像を基に、患者個人の血管や臓器の 3 次元モデルを作製して、診断や手術の術式の検討などに役立てようとする試みが行われている。

【0003】

例えば、特許文献 1 には、CT 装置や MRI 装置などで撮影された患者個人の断層画像データから目的の部位のデータを抽出して、抽出された断層画像データから模型造形用の断層データを作成したものをを用いて、粉体を積層して精密粉体模型を作製した上で精密粉体模型を鋳型として透明または半透明のシリコンなど柔軟性を持つポリマーで血管や臓器を患者ごとに作製する手法が開示されている。

【0004】

さらに、特許文献 2 には、3 次元ボリュームデータから肝臓領域および肝動脈、肝静脈等の構造物を抽出し、これら構造物のサーフェスデータを生成し、構造物のサーフェスデータを合成して、立体モデルデータを生成した上で、立体モデルを等高面で分けた断面データを用いて 3 次元プリンターで製造する手法が開示されている。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2003-241647号公報

【特許文献2】特開2013-222361号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

3次元プリンターなどの造形装置で高解像度の大きなオブジェクトを出力する場合、オブジェクトの大きさに対応する大規模な3次元プリンターが必要になる。しかし、大規模な3次元プリンターは非常に高価であるため、実際にはオブジェクトをいくつか小さく分割し、小規模な3次元プリンターでそれぞれ出力し、後で接合することにより大きなオブジェクトの全体を製造している。

10

【0007】

また、分割出力する場合、オブジェクトが塊になっている場合はどのように分割しても大した問題にはならないが、血管や気管支のように木構造のオブジェクトの場合、3次元プリンターで出力可能な範囲を表す直方体の形状に当てはめて単純に分割すると、末端の枝の部分が切り取られて小さい枝に分かれてバラバラになってしまい、後に各パーツを組み立てる上で、接合する箇所が増えてしまうため、現実的な分割手法とはいえない。

【0008】

例えば、木構造である気管支を3次元プリンターで出力する場合、解剖学的には葉間膜を横断する箇所でオブジェクトを分割するのが、少ない接合回数で、より大きなオブジェクトを出力するのに好適である。しかし、葉間膜部分でオブジェクトを分割した場合であっても、3次元プリンターの出力範囲を越えることがある。

20

【0009】

このように、血管や気管支のような木構造のオブジェクトを小規模な3次元プリンターで出力するとき小さい断片にならないようにオブジェクトを分割する分割方法が重要になる。

【0010】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、3次元プリンターで出力するとき小さい断片にならないように3次元のオブジェクトを分割して3次元造形装置に出力する3次元オブジェクト分割出力装置およびその応用を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の3次元オブジェクト分割出力装置は、複数の端点および分岐点と、端点と分岐点間を接続するエッジと、2つの分岐点間を接続するエッジとで構成される木構造を持つ3次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する抽出部と、3次元オブジェクトの木構造のエッジ上で分割した分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する分割位置探索部と、分割候補位置のあるエッジ上の分割位置で3次元オブジェクトを出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに分割する分割部と、分割オブジェクトを3次元造形装置に出力する出力部とを備えたものである。

40

【0012】

また、本発明の3次元オブジェクト分割出力装置の作動方法は、抽出部と分割位置探索部と分割部と出力部とを備えた3次元オブジェクト分割出力装置の作動方法であって、抽出部が、複数の端点および分岐点と、端点と分岐点間を接続するエッジと、2つの分岐点間を接続するエッジとで構成される木構造を持つ3次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する抽出ステップと、分割位置探索部が、3次元オブジェクトの木構造のエッジ上で分割した分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する分割位置探索ステップと、分割部が、分割候補位置のあるエッジで3次元オブジェクトを出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに

50

分割する分割ステップと、出力部が、分割オブジェクトを3次元造形装置に出力する出力ステップとを備えるものである。

【0013】

さらに、本発明の3次元オブジェクト分割出力プログラムは、コンピュータに、複数の端点および分岐点と、端点と分岐点間を接続するエッジと、2つの分岐点間を接続するエッジとで構成される木構造を持つ3次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する抽出ステップと、3次元オブジェクトの木構造のエッジ上で分割した分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索する分割位置探索ステップと、分割候補位置のあるエッジで3次元オブジェクトを出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに分割する分割ステップと、分割オブジェクトを3次元造形装置に出力する出力ステップとを実行させるためのものである。

10

【0014】

「木構造」とは、複数の端点および分岐点と、端点と分岐点間を接続するエッジと、2つの分岐点間を接続するエッジとで構成され、分岐点でエッジが分かれた階層構造をもつものをいい、具体的に、「木構造を持つ3次元オブジェクト」には、気管支や血管などがあげられる。

【0015】

「3次元造形装置の出力範囲」とは、3次元造形装置でオブジェクトが出力可能な最大の高さ、幅、奥行きで表されるものであり、「分割オブジェクトの大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる」とは、分割オブジェクトの高さ、幅、奥行きの全てが3次元造形装置の出力範囲の最大の高さ、幅、奥行き以下であって、分割オブジェクトの高さ、幅、奥行きのうちの少なくとも1つが3次元造形装置の出力範囲の最大の大きさになるものをいう。また、「分割オブジェクトの大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる」には、分割オブジェクトを傾けた時の高さ、幅、奥行きのうちの少なくとも1つが3次元造形装置の出力範囲の最大の大きさになるものも含む。

20

【0016】

また、3次元オブジェクト分割出力装置が、3次元オブジェクトの木構造上の少なくとも1点から複数の端点に到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をエッジ毎にカウントして得られる多重度を取得する多重度取得部をさらに備えるように構成して、分割位置探索部が、多重度が最大のエッジから順に、分割候補位置を探索するものであってもよい。

30

【0017】

「3次元オブジェクトの木構造上の少なくとも1点」は、木構造の端点であっても、分岐点であっても、木構造のエッジ上の1点であってもよい。

【0018】

また、3次元オブジェクト分割出力装置が、分割オブジェクトを除いた3次元オブジェクトの木構造に対して、分割位置探索部および分割部により、新たな分割オブジェクトを繰り返し生成する繰り返し制御部をさらに備えるようにしてもよい。

【0019】

あるいは、3次元オブジェクト分割出力装置が、分割オブジェクトを除いた3次元オブジェクトの木構造に対して、多重度取得部、分割位置探索部および分割部により、新たな分割オブジェクトを繰り返し生成する繰り返し制御部をさらに備えるようにしてもよい。

40

【0020】

また、分割位置探索部は、分割オブジェクトに含まれる木構造の端点を用いて得られる包絡面による凸包体に外接する外接直方体が、出力範囲に対して最大となる分割候補位置を探索するものであってもよい。

【0021】

「外接直方体が、出力範囲に対して最大となる」とは、外接直方体の高さ、幅、奥行きの全てが3次元造形装置の出力範囲の最大の高さ、幅、奥行き以下であって、外接直方体の高さ、幅、奥行きのうちの少なくとも1つが3次元造形装置の出力範囲の最大の大きさ

50

になるものをいう。

【0022】

さらにまた、外接直方体は、凸包体に外接する直方体の体積が最小となる最小直方体であるものが望ましい。

【0023】

また、出力部は、外接直方体の一辺が3次元造形装置の出力範囲の直方体の一辺と平行になり、かつ、外接直方体が出力範囲の直方体に収まる向きに分割オブジェクトを回転して出力するのが望ましい。

【0024】

また、多重度取得部が、3次元オブジェクトの木構造の1つの端点からこの1つの端点以外の他の端点に到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をエッジ毎にカウントして得られる多重度を取得するものであってもよい。

10

【0025】

また、多重度取得部が、複数の端点のうち特定の1つの端点から特定の1つの端点以外の他の端点へ到達する全ての経路、または、複数の端点以外の3次元オブジェクトの木構造上の特定の1点から複数の端点へ到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をカウントして多重度を取得するものであってもよい。

【0026】

また、多重度取得部が、3次元オブジェクトの木構造の2つの分岐点間を接続するエッジの中から選択された1つのエッジ上の1点で木構造を2つに分けた2つの部分木構造に対して、選択されたエッジ上の1点から部分木構造の端点に到達する全ての経路に基づいて得られる多重度をそれぞれ取得し、選択されたエッジの多重度を2つの部分木構造に対して取得した多重度のうち小さい値の多重度を選択されたエッジの多重度とするものであってもよい。

20

【0027】

また、多重度取得部が、複数の端点のうち1つの端点から1つの端点以外の他の端点へ到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をカウントする処理を、各端点のそれぞれに対して行ってカウントされた各エッジを通過する回数を全て加算して得られる多重度を取得するものであってもよい。

【0028】

また、分割部が、分割オブジェクトが出力範囲内の大きさとなり、かつ、分割候補位置があるエッジ上で最も太くなる分割位置で分割するものであってもよい。

30

【0029】

分割位置探索部は、2つの分岐点間を接続するいずれかのエッジで分割した時に、分割オブジェクトの少なくとも一方が出力範囲内の大きさから出力範囲を越える大きさに変わるエッジ上の分割候補位置を探索するものであってもよい。

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、3次元オブジェクトの木構造のエッジ上で分割した分割オブジェクトの大きさが3次元造形装置の出力範囲に対して最大となる分割位置を探索して、3次元オブジェクトを分割した分割オブジェクトを生成して3次元プリンターに出力することにより、3次元オブジェクトが小さい断片にならないように分割して、なるべく少ない回数で3次元プリンターに出力することが可能になり、分割した3次元オブジェクトを組み立てる上で、接合する箇所を少なくすることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本発明の実施形態による3次元オブジェクト分割出力装置を適用した立体モデル製造システムの概略構成を示す図

【図2】本発明の実施形態による3次元オブジェクト分割出力部の機能ブロック図

【図3】本発明の実施形態による立体モデル製造システムの処理の流れを示すフローチャ

50

ート（その１）

【図４】木構造の一例

【図５Ａ】多重度の計算方法を説明するための図（その１）

【図５Ｂ】多重度の計算方法を説明するための図（その２）

【図５Ｃ】多重度の計算方法を説明するための図（その３）

【図５Ｄ】多重度の計算方法を説明するための図（その４）

【図６】多重度の計算結果の一例

【図７Ａ】分割オブジェクトが３次元プリンターの出力範囲内に収まるか否かの判定方法を説明するための図（その１）

【図７Ｂ】分割オブジェクトが３次元プリンターの出力範囲内に収まるか否かの判定方法を説明するための図（その２）

10

【図８】エッジ上の分割候補位置を説明するための図

【図９】本発明の実施形態による立体モデル製造システムの処理の流れを示すフローチャート（その２）

【図１０Ａ】全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする方法を説明するための図（その１）

【図１０Ｂ】全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする方法を説明するための図（その２）

【図１０Ｃ】全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする方法を説明するための図（その３）

20

【図１０Ｄ】全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする方法を説明するための図（その４）

【図１０Ｅ】全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする方法を説明するための図（その５）

【図１０Ｆ】全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする方法を説明するための図（その６）

【図１１】全ての端点からカウントした多重度の一例

【図１２】正規化した多重度の一例

【図１３】木構造上のエッジ上の１点から多重度をカウントする方法を説明するための図

【図１４】分割オブジェクトを出力時に回転させる方法を説明するための図（その１）

30

【図１５】分割オブジェクトを出力時に回転させる方法を説明するための図（その２）

【発明を実施するための形態】

【００３２】

本発明の３次元オブジェクト分割出力装置の実施形態について、図に基づいて説明する。図１は、３次元オブジェクト分割出力装置を設けた立体モデル製造システムの概要を示すハードウェア構成図である。図に示すように、このシステムでは、モダリティ１と、画像保管サーバ２と、画像処理ワークステーション３と、３次元造形装置４が、ネットワーク５を経由して通信可能な状態で接続されている。

【００３３】

モダリティ１には、患者の対象部位を撮影することにより、その部位を表す３次元医用画像の画像データを生成し、その画像データにＤＩＣＯＭ（Digital Imaging and Communications in Medicine）規格で規定された付帯情報を付加して、画像情報として出力する装置が含まれる。具体例としては、ＣＴ、ＭＲＩなどで撮影された画像データが挙げられる。以下、３次元医用画像の画像データをボリュームデータとして説明する。

40

【００３４】

画像保管サーバ２は、モダリティ１で取得されたボリュームデータや画像処理ワークステーション３での画像処理によって生成された画像データを画像データベースに保存・管理するコンピュータであり、大容量外部記憶装置やデータベース管理用ソフトウェア（たとえば、ＯＲＤＢ（Object Relational Database）管理ソフトウェア）を備えている。

【００３５】

50

画像処理ワークステーション3は、ユーザからの要求に応じて、モダリティ1や画像保管サーバ2から取得したボリュームデータに対して画像処理を行うコンピュータであり、CPU (Central Processing Unit)、主記憶装置、補助記憶装置、入出力インターフェース、通信インターフェース、入力装置(マウス、キーボード等)、表示装置(ディスプレイモニター)、データバス等の周知のハードウェア構成を備え、周知のオペレーティングシステム等がインストールされたものである。本発明の3次元オブジェクト分割出力装置は、この画像処理ワークステーション3に実装されており、この処理は、CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)等の記録媒体からインストールされたプログラムを実行することによって実現される。また、プログラムは、インターネット等のネットワーク経由で接続されたサーバの記憶装置からダウンロードされた後にインストールされたものであってもよい。

10

【0036】

3次元造形装置4は、出力対象の3次元オブジェクトの等高面のデータ(断面データなど)を作成し、断面データにしたがって、断面形状を積層していくことで立体物を作成する装置である。立体物を作成する方式には、液状の樹脂に紫外線などを照射し少しずつ硬化させていくインクジェット方式、熱で融解した樹脂を少しずつ積み重ねていくFDM (Fused Deposition Modeling, 熱溶解積層法)方式、粉末の樹脂に接着剤を吹きつけていく粉末固着方式などがある。以下、3次元造形装置を3次元プリンターという。

【0037】

図2は、画像処理ワークステーション3の機能のうち、本発明の実施形態となる3次元オブジェクト分割出力部を示すブロック図であり、図3は処理の流れを示すフローチャートである。図2に示すように、本発明の実施形態における3次元オブジェクト分割出力部は、抽出部31、多重度取得部32、分割位置探索部33、分割部34、出力部35、繰り返し制御部36によって実現される。

20

【0038】

以下、図2および図3に従って、3次元オブジェクト分割出力部について詳細に説明する。

【0039】

抽出部31は、木構造を持つ3次元オブジェクトをボリュームデータから抽出する。木構造を持つ3次元オブジェクトには、血管や気管支があるが、本実施形態では、3次元オブジェクトとして気管支を例に、CT装置で撮影されたボリュームデータから抽出する場合について説明する。

30

【0040】

最初に、画像処理ワークステーション3は、立体モデルを作製する患者のボリュームデータVを画像保管サーバ2から検索して受け取る。受け取ったボリュームデータVに対して、抽出部31を用いて患者の気管支の構造を抽出する(#1)。

【0041】

ボリュームデータV中の気管支は、気管支の内部の画素は空気領域に相当するためCT画像上では低いCT値(画素値)を示す領域として表れるが、気管支壁は比較的高いCT値を示す線状の構造物であると考えられる。そこで、領域拡張法により気管支らしい画像値を持つ画素の集合を気管支領域として抽出し、抽出された気管支領域に対して細線化処理を行い、得られた気管支を表す線状構造物を抽出する。

40

【0042】

あるいは、各画素ごとにCT値の分布に基づく形状の構造解析を行なって気管支を抽出する。気管支は多段階に分岐し末端に近づくほど気管支の径は小さくなっていく。異なるサイズの気管支(線状構造物)を検出できるように、予め、ボリュームデータを多重解像度変換したガウシアンピラミッド画像(つまり、異なる解像度の複数の3次元画像)を生成し、生成したガウシアンピラミッドの各画像ごとに検出アルゴリズムを走査することで異なるサイズの線状構造物を検出する。

【0043】

50

このようにして抽出された線状構造物は、全ての線状構造物が繋がった1つの木構造として検出されるとは限らない。そこで、検出された線状構造物の接続関係を再構築する。この再構築により、気管支の木構造の抽出が完了する。抽出した木構造を、端点・分岐点・エッジ(辺)に分類し、端点・分岐点をエッジで連結することによって、気管支を表す木構造データTを得る。必要に応じて、木構造の各位置における気管支の径や各エッジの長さ(気管支の分岐点間の長さ)等の特徴量も木構造データとして格納する。

【0044】

木構造の抽出方法については他の手法を用いて、あるいは他の手法と組み合わせて抽出することが可能であり、本願出願人が出願した特開2010-220742号公報、特開2011-212312号公報、特開2012-200403号公報、特開2012-228396号公報などに記載の木構造の抽出手法を用いてもよい。

10

【0045】

木構造は、複数の端点および分岐点、端点と分岐点間を接続するエッジ、2つの分岐点間を接続するエッジで構成されたものである。図4に気管支を抽出した時の木構造の一例を示す。図4では、分岐点を、端点を、エッジを線で表している。

【0046】

多重度取得部32は、3次元オブジェクトの木構造の上の少なくとも1点から複数の端点に到達する全ての経路が各エッジを通過する回数をエッジ毎にカウントして得られる多重度を取得する(#2)。

【0047】

図5A~5Cの木構造を用いて、多重度の計算方法について具体的に説明する。ここでは、3次元オブジェクトの木構造の1つの端点からこの1つの端点以外の他の端点に到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をエッジ毎にカウントして多重度を取得する。

20

【0048】

図5A~5Cに示すように、気管支の気道部に対応する端点を根として、根Rootから他の端点E1,E2,E3,E4...E17,E18,E19,E20に到達する全ての端点に向かう経路が、各エッジを通過した回数をカウントする。

【0049】

まず、図5Aに示すように、根Rootから端点E1に到達する経路は、根Rootと分岐点B1を接続するエッジ、分岐点B1と分岐点B2を接続するエッジ、分岐点B2と分岐点B3を接続するエッジ、分岐点B3と端点E1を接続するエッジを通過するので、各エッジを通過する回数がそれぞれ1になる。次に、図5Bに示すように、根Rootから端点E2に到達する経路は、根Rootと分岐点B1を接続するエッジ、分岐点B1と分岐点B2を接続するエッジ、分岐点B2と分岐点B3を接続するエッジ、分岐点B3と端点E2を接続するエッジを通過するので、根Rootから分岐点B3までの各エッジを経路が通過する回数が2となり、分岐点B3と端点E2を接続するエッジを経路が通過する回数が1になる。さらに、図5Cに示すように、根Rootから端点E3に到達する経路は、根Rootと分岐点B1を接続するエッジ、分岐点B1と分岐点B2を接続するエッジ、分岐点B2と分岐点B4を接続するエッジ、分岐点B4と分岐点B5を接続するエッジ、分岐点B5と端点E3を接続するエッジを通過するので、根Rootから分岐点B2までの各エッジを経路が通過する回数が3となり、分岐点B2と分岐点B4を接続するエッジ、分岐点B4と分岐点B5を接続するエッジ、分岐点B5と端点E3を接続するエッジを経路が通過する回数が1になる。同様に、図5Dに示すように、根Rootから端点E4に到達する経路は、根Rootと分岐点B1を接続するエッジ、分岐点B1と分岐点B2を接続するエッジ、分岐点B2と分岐点B4を接続するエッジ、分岐点B4と分岐点B5を接続するエッジ、分岐点B5と端点E4を接続するエッジを通過するので、根Rootから分岐点B2までの各エッジを経路が通過する回数が4となり、分岐点B2と分岐点B4を接続するエッジ、分岐点B4と分岐点B5を接続するエッジを経路が通過する回数が2になり、分岐点B5と端点E4を接続するエッジを経路が通過する回数が1になる。

30

40

【0050】

50

上記のように、根Rootから全ての端点E1,E2,E3,E4・・・E17,E18,E19,E20に到達する経路が各エッジを通過した回数をカウントした結果を図6に示す。

【0051】

分割位置探索部33は、3次元オブジェクトの木構造のうち2つの分岐点間を接続するエッジ上で分割した2つの分割オブジェクトの少なくとも一方の大きさが3次元プリンター4の出力範囲に収まる大きさであって、その分割オブジェクトがなるべく大きくなるように分割候補位置を探索する。具体的には、2つの分岐点間を接続するいずれかのエッジ上で分割した時に、2つに分割された分割オブジェクトの少なくとも一方が出力範囲内の大きさから出力範囲を越える大きさに変わるエッジ上の分割位置を分割候補位置として探索する。

10

【0052】

ここで、分割オブジェクトが3次元プリンター4の出力範囲内に収まるか否かの判定方法について説明する。

【0053】

あるエッジで分割した分割オブジェクトに含まれる木構造の端点に対して凸包を計算するアルゴリズムを適用して、図7Aに示すような包絡面による凸包体を求めて、この凸包体が3次元プリンター4の出力範囲に収まる大きさであるか否かについて判定する。3次元プリンター4の出力範囲は直方体で定義されるので、図7Bに示すように、分割オブジェクトを包む凸包体に外接する外接直方体を取得して、外接直方体の3辺(縦、横、高さ)と3次元プリンター4の出力範囲の直方体とを比較することで、3次元プリンター4の出力範囲に収まるか否かを判定することができる。3次元オブジェクトをなるべく少ない数に分割するために、外接直方体が出力範囲に対して最大になるか否かについて判定する。つまり、外接直方体の高さ、幅、奥行き全てが3次元プリンター4の出力範囲の最大の高さ、幅、奥行き以下であって、外接直方体の高さ、幅、奥行きのうちの少なくとも1つが3次元プリンター4の出力範囲の最大の大きさになるものを見つけるようにする。

20

【0054】

また、凸包体に外接する直方体は多数見つけることができるが、外接する直方体のうち体積が最小になる最小直方体が3次元プリンター4の出力範囲に収まるか否かを判定する。これにより、3次元オブジェクトをより少ない数に分割して、3次元プリンター4に少ない出力回数で効率よく3次元オブジェクト全体を出力することが可能になる。

30

【0055】

全てのエッジで、各エッジ上で分割した時に作成される2つの分割オブジェクトのうち一方が出力範囲内の大きさから出力範囲を越える大きさに変わるか否かを判定して、分割候補位置があるエッジを探索してもよいが、効率的に分割候補位置を探索するために、上記で取得した多重度を用いる。

【0056】

分割位置探索部33は、多重度が最大のエッジから順に、分割候補位置を探索し、エッジ上で3次元オブジェクトを分割した分割オブジェクトの一方が3次元プリンター4の出力範囲内に収まるか否かの判定を行う(#3)。

【0057】

図6に示す例では、根Rootと分岐点B1を結ぶエッジが最も多重度(20)が大きい、このエッジの長さが3次元プリンター4の出力範囲を越えていなければ、次に多重度が高いエッジで分割候補位置を捜す。次に多重度が高いエッジは分岐点B1、B2を接続するエッジ(多重度が10)、または分岐点B1、B6を接続するエッジ(多重度が10)である。多重度が同じエッジがある場合には、所定の規則を設けて順番に評価を行う。例えば、先に分岐点B1、B2を接続するエッジのB1側で分割した時に、図6のB1より右にある分割オブジェクトとB1より左にある分割オブジェクトのどちらかが3次元プリンター4の出力範囲内に収まるか否かを判定する。どちらも出力範囲内に収まらなければ分岐点B2側で分割した時に、左右の分割オブジェクトのどちらかが3次元プリンター4の出力範囲内に収まるか否かを判定する。分岐点B2でもどちらも出力範囲内に収まらなければ、分岐点B1、B6を接

40

50

続するエッジについて判定を行う。分岐点B1、B6を接続するエッジの分岐点B1側で分割した時に分割オブジェクトのどちらかが出力範囲に収まるか否かを判定し、出力範囲に収まらなければ、分岐点B6側で分割した時に分割オブジェクトのどちらかが出力範囲に収まるか否かを判定する。分岐点B6でもどちらの分割オブジェクトも出力範囲内に収まらなければ、分岐点B2、B4を接続するエッジ（多重度が8）について判定を行う。このように多重度の大きいエッジから順に判定を行い、多重度の大きいエッジの両端で分割した時に、エッジの一方の分岐点で分割した時は出力範囲を越えているが、エッジのもう一方の分岐点で分割した時には出力範囲に収まるエッジを探索する。

【0058】

例えば、分岐点B7、B8を接続するエッジの分岐点B7で分割した下側の分割オブジェクトは出力範囲を超えるが、分岐点B8で分割した下側の分割オブジェクトは出力範囲に収まる場合には、分岐点B7、B8を接続するエッジ上で出力範囲に対して分割オブジェクトが最も大きくなる分割候補位置を捜す。図8に示すように、分岐点B7、B8を接続するエッジ上で出力範囲に対して分割オブジェクトが最も大きくなる位置Pが分割候補位置となる。

【0059】

分割部34は、分割候補位置のあるエッジ上で分割して3次元オブジェクトを出力範囲内の大きさとなる分割オブジェクトに分割する(#4)。気管支のようなオブジェクトを分割した場合、分割オブジェクトを後で結合するためには、なるべく気管支が太いところで分割した方がよい。そこで、分割候補位置ではなくその位置の近くでなるべく気管支が太いところで分割するのが好ましい。例えば、分割候補位置Pから分岐点B8の間のエッジ上で最も太くなる分割位置で分割する。気管支の場合、通常は分割候補位置があるエッジの中で根に近い位置が実際の分割位置になる場合が多い。木構造を持つ3次元オブジェクトが血管である場合には、一部が狭くなっている血管もあるので、最も太くなる分割位置を探して分割をおこなうのが望ましい。

【0060】

出力部35は、生成された分割オブジェクトを3次元プリンター4に出力する(#5)。分割オブジェクトを出力する際には、図14に示すように、分割オブジェクトが3次元プリンター4の出力範囲R内に収まるか否かの判定方法で説明した分割オブジェクト内の木構造の端点で構成した凸包体O1が3次元プリンター4の出力範囲Rに収まる方向に分割オブジェクトを回転（図14の矢印）させて出力する。

【0061】

あるいは、図15に示すように、凸包体に外接する外接直方体O2の一辺が3次元プリンター4の出力範囲の直方体の一辺と平行になるように回転（図15の矢印）させる方向を、分割オブジェクトを回転させる方向として決定することができる。回転させる方向によっては、外接直方体が3次元プリンター4の出力範囲Rの直方体に収まらないので、外接直方体が3次元プリンター4の出力範囲Rの直方体に収まる向きに分割オブジェクトを回転して出力するようにする。

【0062】

さらに、出力部35は、回転後の分割オブジェクトを等高面で分けた断面データを生成して、3次元プリンター4に出力する。

【0063】

分割オブジェクトを出力後、出力した分割オブジェクトを除いた残りの3次元オブジェクトが3次元プリンター4の出力範囲を越える場合には再度分割する(#6-N0)。

【0064】

そこで、繰り返し制御部36は、#3に処理を戻して、再度、分割位置探索部33は、多重度が最大のエッジから順に分割候補位置を探索して、分割候補位置のあるエッジ上で3次元オブジェクトを分割して分割オブジェクトを生成し(#4)、分割オブジェクトを3次元プリンター4に出力する(#5)処理を、出力した分割オブジェクトを除いた残りの3次元オブジェクトが3次元プリンター4の出力範囲に収まるようになるまで繰り返す。出力した分割オブジェクトを除いた残り3次元オブジェクトが3次元プリンター4の出力範囲に

10

20

30

40

50

なると(#6-YES)、3次元プリンター4が残りの3次元オブジェクトを出力して終了する(#7)。

【0065】

ここでは、出力した分割オブジェクトを除いた残りの3次元オブジェクトに対して多重度を計算し直さないで多重度を1回のみ計算する場合について説明したが、図9のフローチャートの#11~#17に示すように、分割オブジェクトを除いた残りの3次元オブジェクトが3次元プリンター4の出力範囲を越えている場合には、#12で残りの3次元オブジェクトに対して再度多重度を計算するようにしてもよい。

【0066】

上述では、木構造の複数の端点のうち特定の1つの端点(根となる端点)から特定の1つの端点以外の他の端点へ到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をカウントして多重度を取得する場合について説明したが、全端点から、自身の端点以外の他の端点へ到達する全ての経路に基づいて、各経路が各エッジを通過する回数をカウントして多重度を取得するようにしてもよい。図10~12を用いて、具体的に説明する。

【0067】

図10に示すような根を持たない木構造の場合には、全ての端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする。図10A~図10Fの各数字は、1つのエッジから他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントしたものである。図10Aは、数字「34」が付されている1番目の端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントした数字を表すものである。図10Bは、1番目の端点の右隣の2番目の端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントした数字を表すものであり、図10Cは、2番目の端点の右隣の3番目の端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントした数字を表すものである。同様に右回りの方向に次の端点を進んで行き、各端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントしていく。図10Dは3番目の端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントした数字を表すものであり、図10Eは3番目の端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントした数字を表すものであり、図10Fは3番目の端点から他の端点へ向かう経路上で各エッジを経路が通過した回数をカウントした数字を表すものである。

【0068】

1番目~34番目の各端点から他の端点へ向かう経路上でカウントした各エッジを経路が通過した回数を全て加算したものを図11に示す。図11の数字が、各エッジの多重度を表している。さらに、図12は、端点に接続するエッジの多重度が1になるように、正規化した時の多重度を表している。

【0069】

上述では、端点から他の端点へ向かう全ての経路で多重度をカウントする場合について説明したが、木構造の端点を除いた3次元オブジェクトの木構造上の特定の1点から木構造の複数の端点へ到達する経路に基づいて多重度を取得するようにしてもよい。具体的には、図13に示すように、木構造の2つの分岐点間を接続するエッジの中から選択された1つのエッジ上の1点Qで木構造を2つに分けた2つの部分木構造に対して、点Qから左右の部分木構造の端点に到達する全ての経路に基づいて得られる多重度をそれぞれの部分木構造に対して取得する。選択されたエッジ(点Qのあるエッジ)の多重度は、2つの部分木構造に対して取得した多重度のうち小さい値の多重度を選択されたエッジの多重度とする。図13の例では、点Qのあるエッジの多重度は17になる。

【0070】

上述のような根を持たない木構造は、血管などに多く表れる。

【0071】

また、上述では、分割オブジェクトに含まれる木構造を包む凸包体を求めて、この凸包

10

20

30

40

50

体が3次元プリンター4の出力範囲に収まる大きさであるか否かについて判定する手法について説明したが、単純に、分割オブジェクトの高さ、幅、奥行きの高さが3次元プリンター4の出力範囲に収まる大きさであるか否かについて判定するようにしてもよい。

【0072】

あるいは、分割オブジェクトの2つの端点間の長さが最も長い2つの端点を探し、その2つの端点を結ぶ直線に対して垂直な2つの軸方向に分割オブジェクトが広がっている距離をみて、3次元プリンター4の出力範囲に収まるか否かを判定するものであってもよい。

【0073】

上述の出力部35では、単純に3次元オブジェクトを分割した分割オブジェクトを出力する場合について説明したが、分割オブジェクトに切断した切断面を結合することができるように、分割した両方の切断面に嵌め込み可能な形状の接続部を設けた上で3次元プリンター4に出力するのが望ましい。

【0074】

気管支や血管をエッジ(枝)で分割した切断面は円に近い形状になるが、接続部に円形の接続部を設けると、接続したときに枝が回転して本来の枝が接続されるべき向きとは違う向きに接続される場合がある。そこで、接続部の形状は、不等辺三角形や台形など形状にして嵌め込む向きが一意に決まる様な形状にするのが望ましい。さらに、複数の分割オブジェクトに分割したときには、接続部を間違えて結合することがないように、それぞれ接続部の形状を異なる形状あるいは異なる大きさにするのが望ましい。

【0075】

なお、本実施形態に限定されず、3次元オブジェクト分割出力部の一部または全部は、1台のコンピュータにより実行されるものであってもよく、ネットワークを介して接続された一台以上のコンピュータ、サーバ、記憶装置によって構成されたもので実行されるものであってもよい。なお、各機器は、CD-ROM等の記録媒体からインストールされた本明細書の3次元オブジェクト分割出力部のプログラムによって制御される。また、プログラムは、インターネット等のネットワーク経由で接続されたサーバの記憶装置からダウンロードされた後にインストールされたものであってもよい。

【符号の説明】

【0076】

- 1 モダリティ
- 2 画像保管サーバ
- 3 画像処理ワークステーション
- 4 3次元プリンター
- 5 ネットワーク
- 31 抽出部
- 32 多重度取得部
- 33 分割位置探索部
- 34 分割部
- 35 出力部
- 36 制御部
- V ポリウムデータ

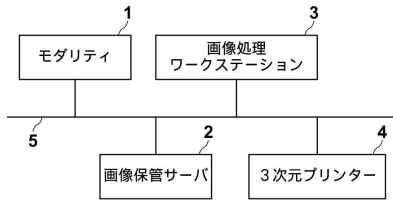
10

20

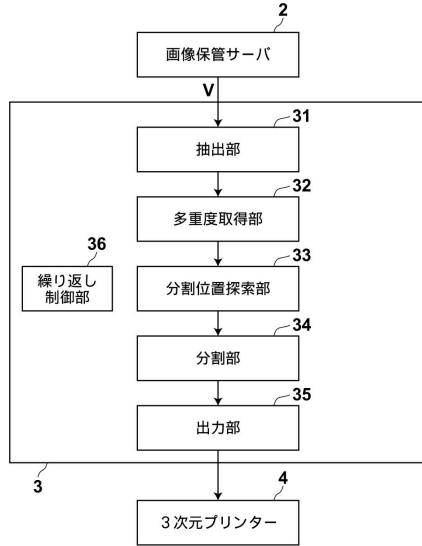
30

40

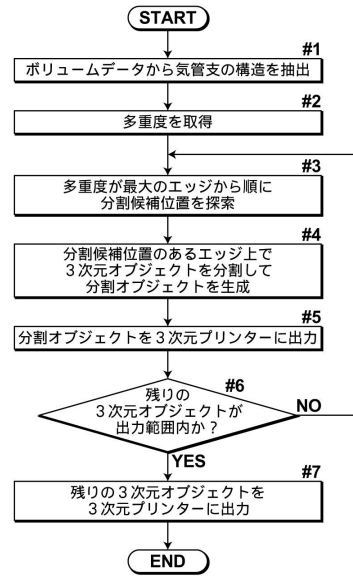
【図1】



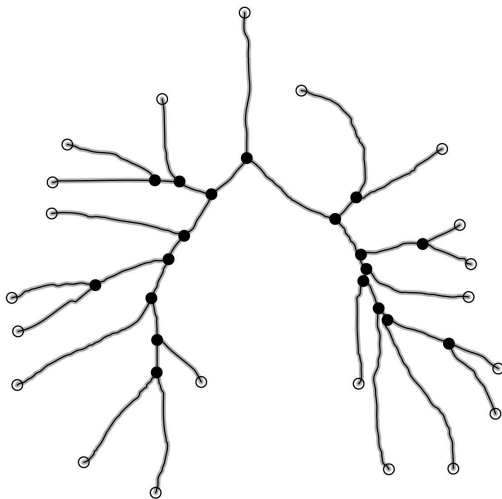
【図2】



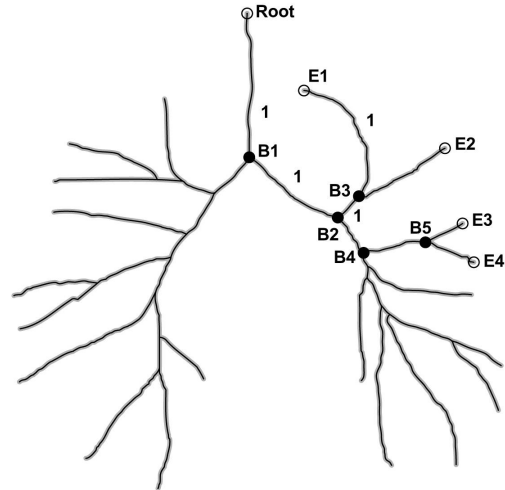
【図3】



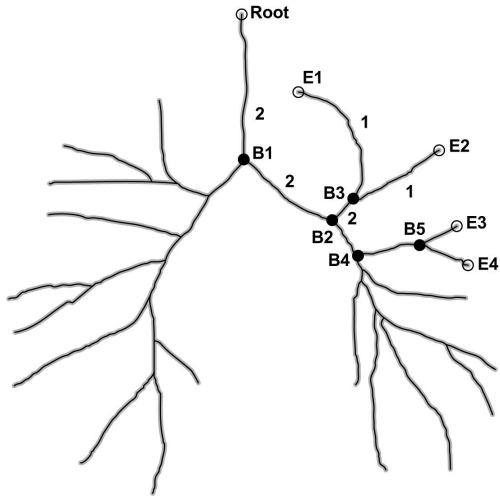
【図4】



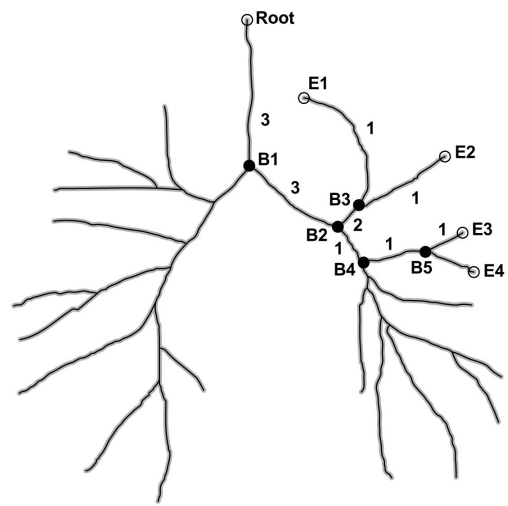
【図5 A】



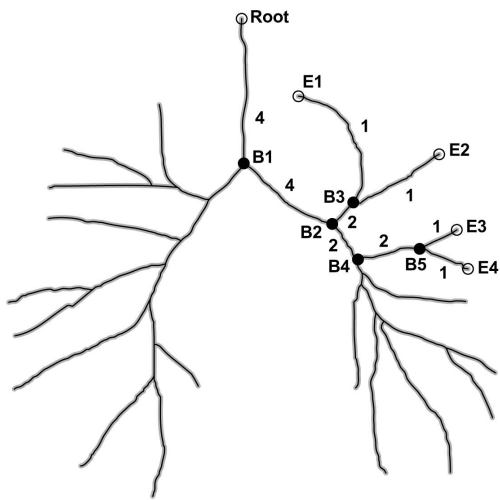
【 図 5 B 】



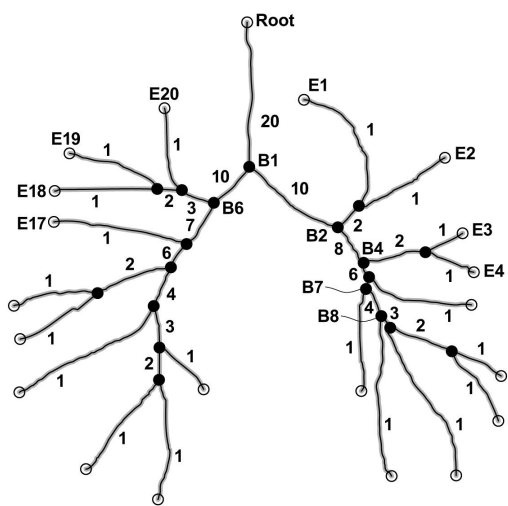
【 図 5 C 】



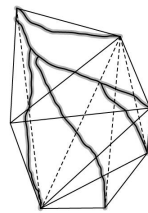
【 図 5 D 】



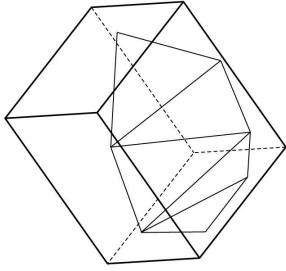
【 図 6 】



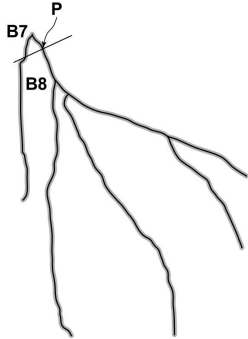
【 図 7 A 】



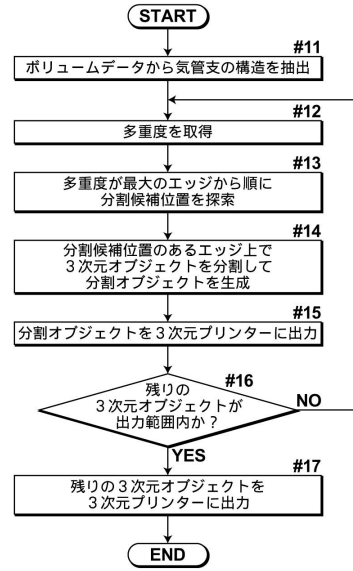
【図7B】



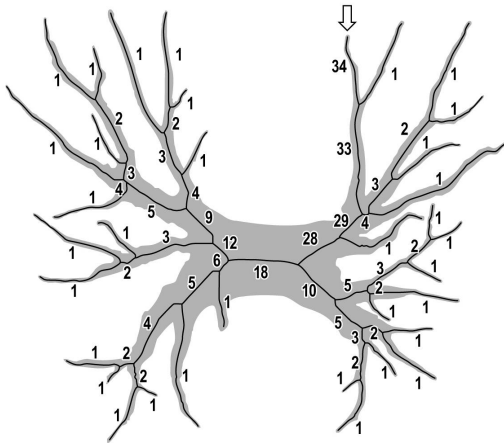
【図8】



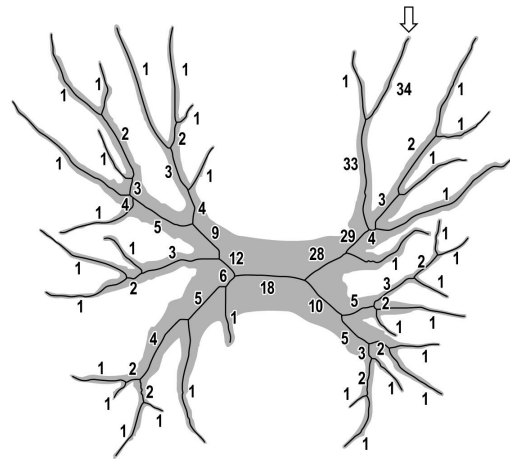
【図9】



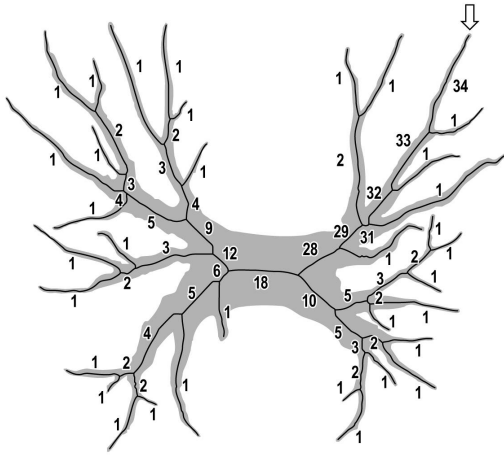
【図10A】



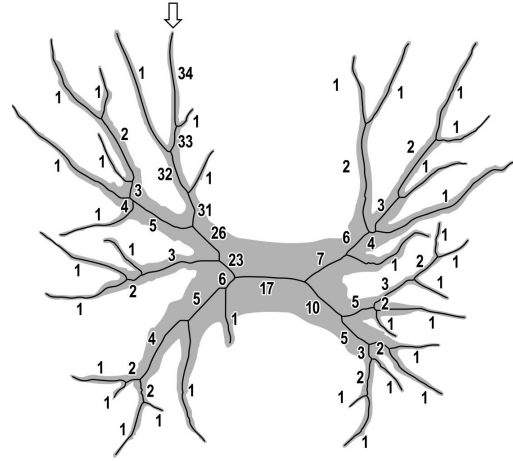
【図10B】



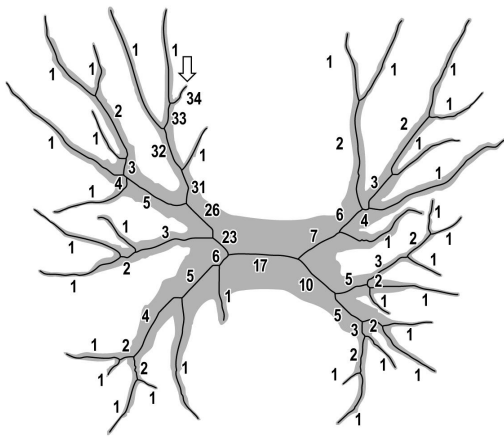
【 10 C】



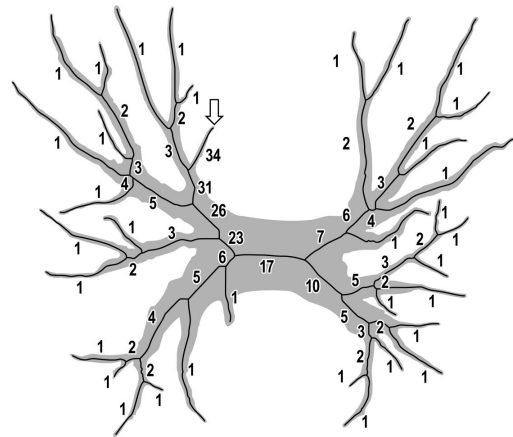
【 10 D】



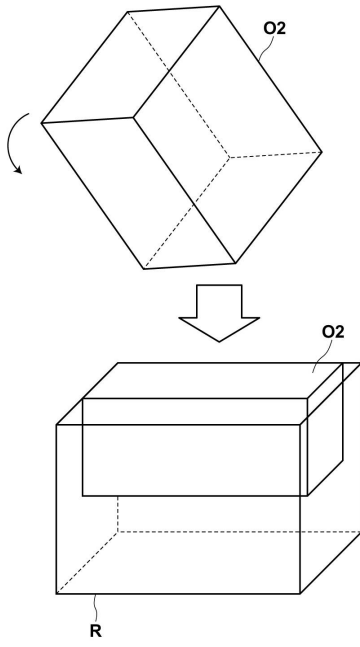
【 10 E】



【 10 F】



【 図 15 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2009-539540(JP,A)
特開2002-251209(JP,A)
特開2013-222361(JP,A)
国際公開第2007/144815(WO,A2)
米国特許出願公開第2015/0029184(US,A1)
国際公開第2003/016031(WO,A1)
米国特許出願公開第2006/0094951(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 6/00 - 6/14
G06F 17/50
G06T 1/00
G06T 15/00 - 19/20
G03B 23/00 - 29/14
B29C 67/00
CSDB(日本国特許庁)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)