

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4664218号
(P4664218)

(45) 発行日 平成23年4月6日(2011.4.6)

(24) 登録日 平成23年1月14日(2011.1.14)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 6 F 1 7 / 5 0 (2 0 0 6 . 0 1)

G 0 6 F 1 7 / 5 0 6 1 2 J

請求項の数 6 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-52670 (P2006-52670)</p> <p>(22) 出願日 平成18年2月28日 (2006. 2. 28)</p> <p>(65) 公開番号 特開2007-233560 (P2007-233560A)</p> <p>(43) 公開日 平成19年9月13日 (2007. 9. 13)</p> <p>審査請求日 平成19年3月29日 (2007. 3. 29)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成17年9月1日 社団法人精密工学会発行の「2005年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集」に発表</p> <p>特許法第30条第1項適用 2005年9月3日 社団法人精密工学会北海道支部発行の「2005年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 504173471 国立大学法人北海道大学 北海道札幌市北区北8条西5丁目</p> <p>(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号</p> <p>(74) 代理人 100098017 弁理士 吉岡 宏嗣</p> <p>(74) 代理人 100066979 弁理士 鶴沼 辰之</p> <p>(72) 発明者 金井 理 北海道札幌市北区北14条西九丁目 北海道大学 大学院 情報科学研究科内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 メッシュモデル生成システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータ及びコンピュータプログラムにより構成されるメッシュモデル生成システムであって、

入力メッシュモデルから形状特徴であるフィーチャを除去したフィーチャ除去メッシュモデルと、除去したフィーチャのフィーチャメッシュモデルとを生成するフィーチャ認識・除去部と、

前記フィーチャ除去メッシュモデルと前記フィーチャメッシュモデルのそれぞれについてメッシュ数を低減させて、単純化メッシュモデルと単純化フィーチャメッシュモデルを生成するメッシュ単純化部と、

指定されたフィーチャと指定された解像度を有する目的メッシュモデルを、前記単純化メッシュモデルと前記単純化フィーチャメッシュモデルを用いてメッシュ数を増加させて生成するフィーチャ復元・LOD部とを備えてなるメッシュモデル生成システム。

【請求項2】

請求項1に記載のメッシュモデル生成システムにおいて、

前記フィーチャ認識・除去部は、前記入力メッシュモデルから設定された平坦度を有し、かつ設定閾値以上の面積を有する面を基準面として抽出し、該基準面内の凸又は凹の領域を前記フィーチャとして抽出し、該フィーチャの凸又は凹の領域を構成する複数のメッシュを前記フィーチャメッシュモデルとして抽出し、該フィーチャメッシュモデルを前記入力メッシュから除去するとともに、該フィーチャメッシュモデルが除去された前記基準

面の領域に新たなメッシュを生成して前記フィーチャ除去メッシュモデルを生成し、

前記メッシュ単純化部は、前記フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化メッシュモデルを生成するとともに、前記フィーチャメッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化フィーチャメッシュモデルを生成し、

前記フィーチャ復元・LOD部は、指定されるフィーチャに対応する前記単純化フィーチャメッシュモデルを前記単純化メッシュモデルに組み合わせて前記目的メッシュモデルを生成することを特徴とするメッシュモデル生成システム。

【請求項3】

請求項2に記載のメッシュモデル生成システムにおいて、

前記フィーチャ復元・LOD部は、指定される解像度に応じて、前記単純化フィーチャメッシュモデルと前記単純化メッシュモデルのメッシュ数を増加させることを特徴とするメッシュモデル生成システム。

【請求項4】

請求項2に記載のメッシュモデル生成システムにおいて、

前記フィーチャ復元・LOD部は、指定されるフィーチャに対応する前記単純化フィーチャメッシュモデルの境界稜線上の頂点に対応する頂点が前記単純化メッシュモデルに存在しないとき、局所LOD手法により前記単純化フィーチャメッシュモデルの境界稜線上の頂点を該単純化メッシュモデルに復元した後、前記新たなメッシュを取り除いて前記目的メッシュモデルを生成することを特徴とするメッシュモデル生成システム。

【請求項5】

請求項2に記載のメッシュモデル生成システムにおいて、

前記メッシュ単純化部は、前記フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化メッシュモデルを生成するにあたって、除去したフィーチャと前記基準面との境界線上の全ての稜線の単純化を近似誤差が設定閾値以内で実行する第1段階と、前記近似誤差が前記設定閾値を越えたときは目的にあった単純化基準に従って前記稜線の単純化を実行する第2段階とを有することを特徴とするメッシュモデル生成システム。

【請求項6】

請求項2に記載のメッシュモデル生成システムにおいて、

前記メッシュ単純化部は、前記フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化メッシュモデルを生成するにあたって、ユーザが設定する復元フィーチャの寸法閾値と前記復元フィーチャに隣接する前記基準面上のメッシュサイズが同等になるまで、フィーチャと前記基準面との境界線上の全ての稜線の単純化を近似誤差が設定閾値以内で実行し、前記復元フィーチャの寸法閾値よりも前記復元フィーチャに隣接する前記基準面上のメッシュサイズが大きくなったときは目的にあった単純化基準に従って前記稜線の単純化を実行することを特徴とするメッシュモデル生成システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、メッシュモデル生成システムに係り、具体的には、コンピュータを用いて、与えられるメッシュモデルから任意のフィーチャが除去された任意の解像度のメッシュを生成するのに好適なメッシュモデル生成システムに関する。

【背景技術】

【0002】

有限要素法を用いた解析やコンピュータグラフィックスの分野においては、例えば、3次元のソリッドモデルを三角形メッシュ要素で分割したメッシュモデルを生成することが行われている。通常、解析等の対象である3次元ソリッドモデルには、穴や突起などを有する場合が多い。このような穴や突起をメッシュモデリングの技術分野ではフィーチャと

10

20

30

40

50

称している。例えば、フィーチャは、ポケット穴などの底がある止まり穴、貫通穴、ボスなどの突起、等々の形状特徴であり、他の部品に関連する機能的に重要な部分である。

【 0 0 0 3 】

このようなフィーチャを有するメッシュモデルの場合、フィーチャの表現に多くのメッシュ要素を必要とし、かつメッシュサイズが細かくなって複雑になり、有限要素解析や画像表示に時間がかかり、解析効率や表示効率が低下するという問題がある。

【 0 0 0 4 】

ここで、フィーチャの中には、除去したとしても解析結果に与える影響が小さいものがあり、また、画像表示の拡大率によっては、フィーチャを除去しても支障を生じない場合がある。

【 0 0 0 5 】

そこで、非特許文献 1、2 には、ソリッドモデルの微小フィーチャを除去して、メッシュ分割の処理効率を向上させて、表示や解析の効率化を図ることが提案されている。例えば、入力されたメッシュモデルの一部のフィーチャを除去してメッシュモデルを簡略化することにより、画像表示や解析の効率化を図ることができる。又は、入力されたメッシュモデルのメッシュ要素を減らして、つまり面分数を減らしてメッシュモデルを簡略化することにより、モデル表示や解析の効率化を図ることができる。また、面分数を減らしてメッシュモデルを簡略化する方法としては、非特許文献 3 ~ 5 に記載された E C (Edge Collapse) 法が知られている。

【 0 0 0 6 】

【非特許文献 1】A. Sheffer, Model simplification for meshing using face clustering, Computer-Aided Design, 33, pp925-934, 2001

【非特許文献 2】Jihad El-Sana et.al., Topology Simplification for Polygonal Virtual Environments, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 4(2), pp133-144,1998

【非特許文献 3】伊達他、有限要素法解析用多重解像度メッシュモデリングに関する研究、2004年度精密工学会秋季大会論文集、13 - 14、2004年

【非特許文献 4】M. Garland and P.S. Heckbert, Surface Simplification Using Quadratic Error Metrics, Proceedings of SIGGRAPH '97, (1997) pp209-216

【非特許文献 5】Hiroaki Date, Satoshi Kanai, Takeshi Kishinami, Ichiro Nishigaki and Takayuki Tohi, High-Quality and Property Controlled Finite Element Mesh Generation from Triangular Meshes using the Multiresolution Technique, Journal of Computing and Information Science in Engineering, 5(4), (2005) pp266-276

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかし、特許文献 1、2 等で提案されている方法によると、周知のメッシュにより生成された高密度メッシュモデルから、一部のフィーチャを除去したメッシュモデルを生成した後、除去したフィーチャを復活したり、他のフィーチャを除去するには、最初の高密度メッシュモデルから処理を繰り返し行わなければならない。同様に、面分数を変更して所望の解像度のメッシュモデルを生成する場合にも、最初の高密度メッシュモデルに戻って処理を繰り返し行わなければならない。

【 0 0 0 8 】

したがって、フィーチャの除去度合（以下、フィーチャ抑制度という。）を任意に調整するとともに、任意の解像度を有するメッシュモデルを生成するために、最初の高密度メッシュモデルに戻って繰り返し同じような処理をしなければならず、解析やモデル表示に適した所望のメッシュモデルを得るまでに時間がかかるという問題がある。また、単に小さくなった三角形メッシュを抜いてゆく従来のメッシュ低減法によると、工学的に無意味な非多様体を有するメッシュモデルが生成される場合があるという問題がある。

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、フィーチャ抑制制度及び面分数又は解像度を任意に調整でき、解析やモデル表示に適した所望のメッシュモデルを短時間で生成することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記の課題を解決するため、本発明のメッシュモデル生成システムは、コンピュータ及びコンピュータプログラムにより構成されるメッシュモデル生成システムであって、入力メッシュモデルから形状特徴であるフィーチャを除去したフィーチャ除去メッシュモデルと、除去したフィーチャのフィーチャメッシュモデルとを生成するフィーチャ認識・除去部と、前記フィーチャ除去メッシュモデルと前記フィーチャメッシュモデルのそれぞれについてメッシュ数を低減させて、単純化メッシュモデルと単純化フィーチャメッシュモデルを生成するメッシュ単純化部と、指定されたフィーチャと指定された解像度を有する目的メッシュモデルを、前記単純化メッシュモデルと前記単純化フィーチャメッシュモデルを用いてメッシュ数を増加させて生成するフィーチャ復元・LOD部とを備えてなることを特徴とする。

10

【0011】

すなわち、本発明は、入力メッシュモデルからフィーチャを一旦除去してフィーチャ抑制制度の高いフィーチャ除去メッシュモデルを生成する。次いで、そのフィーチャ除去メッシュモデルのメッシュ数を低減する単純化処理を施すことにより、フィーチャ抑制制度が高く、かつメッシュ数を低減した単純化メッシュモデルを生成する。また、これに合わせて、除去されたフィーチャのメッシュモデルについても、メッシュ数を低減した単純化フィーチャメッシュモデルを並行して生成しておく。次に、残すべき所望のフィーチャを指定することにより、指定された単純化フィーチャメッシュモデルが単純化メッシュモデルに組み込まれて、所望のフィーチャを有するメッシュモデルが生成される。これと同時に、面分数（又は解像度）を指定することにより、単純化メッシュモデルと単純化フィーチャメッシュモデルが指定された解像度を有する目的メッシュモデルとして生成される。

20

【0012】

特に、単純化メッシュモデルと単純化フィーチャメッシュモデルを一旦生成することが第1の特徴処理である。そして、これらの単純化されたメッシュモデルを用いて、指定されたフィーチャを復活させて、かつ指定された解像度を有するメッシュモデルを生成することが第2の特徴処理である。この第2の特徴処理は、高密度メッシュよりも少ない面分数を対象とする処理であるから、高速で処理することができる。つまり、本発明によれば、異なるフィーチャを有し、かつ任意の解像度を有するメッシュモデルを生成する場合、その都度、高密度メッシュモデルに戻ってメッシュの除去処理及びメッシュの単純化処理をする必要がないから、処理時間を大幅に短縮することができる。その結果、解析やモデル表示に適した任意の異なるフィーチャを有し、かつ任意の解像度を有するメッシュモデルを短時間で生成することができる。つまり、任意のフィーチャ抑制制度及び面分数を持ったメッシュモデルを高速かつ柔軟に生成可能であり、しかも、後述するように、工学的に無意味な形状である非多様体を有するメッシュモデルの生成を防止できる。

30

【0013】

本発明において、前記フィーチャ認識・除去部は、前記入力メッシュモデルから設定された平坦度を有し、かつ設定閾値以上の面積を有する面を基準面として抽出し、該基準面内の凸又は凹の領域を前記フィーチャとして抽出し、該フィーチャの凸又は凹の領域を構成する複数のメッシュを前記フィーチャメッシュモデルとして抽出し、該フィーチャメッシュモデルを前記入力メッシュから除去するとともに、該フィーチャメッシュモデルが除去された前記基準面の領域に新たなメッシュを生成して前記フィーチャ除去メッシュモデルを生成するようすることができる。また、前記メッシュ単純化部は、前記フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化メッシュモデルを生成するとともに、前記フィーチャメッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化フィーチャメッシュモデルを生成するようすることができる。さらに、前記フィーチャ復元・LOD部は、指定されるフィーチャに対応

40

50

する前記単純化フィーチャメッシュモデルを前記単純化メッシュモデルに組み合わせて前記目的メッシュモデルを生成することができるようにすることができる。

【0014】

この場合において、前記フィーチャ復元・LOD部は、指定される解像度に応じて、前記単純化フィーチャメッシュモデルと前記単純化メッシュモデルのメッシュ数を増加させるようにすることができる。

【0015】

また、前記フィーチャ復元・LOD部は、指定されるフィーチャに対応する前記単純化フィーチャメッシュモデルの境界稜線上の頂点に対応する頂点が前記単純化メッシュモデルに存在しないとき、局所LOD(Local-of-Detail)手法と称される詳細度又は詳細度 10
制御の手法により、前記単純化フィーチャメッシュモデルの境界稜線上の頂点を該単純化メッシュモデルに復元した後、前記新たなメッシュを取り除いて前記目的メッシュモデルを生成するようすることができる。

【0016】

また、前記メッシュ単純化部は、前記フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化メッシュモデルを生成するにあたって、除去したフィーチャと前記基準面との境界線上の全ての稜線の単純化を近似誤差が設定閾値以内で実行する第1段階と、前記近似誤差が前記設定閾値を越えたときは目的にあった単純化基準に従って前記稜線の単純化を実行する第2段階とを有して構成することができる。 20

【0017】

また、これに代えて、前記メッシュ単純化部は、前記フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して前記単純化メッシュモデルを生成するにあたって、ユーザが設定する復元フィーチャの寸法閾値と前記復元フィーチャに隣接する前記基準面上のメッシュサイズが同等になるまで、フィーチャと前記基準面との境界線上の全ての稜線の単純化を近似誤差が設定閾値以内で実行する第1段階と、前記復元フィーチャの寸法閾値よりも前記復元フィーチャに隣接する前記基準面上のメッシュサイズが大きくなったときは目的にあった単純化基準に従って前記稜線の単純化を実行する第2段階とを有する構成とすることができる。

【発明の効果】 30

【0018】

本発明によれば、フィーチャ抑制度及び面分数又は解像度を任意に調整でき、解析やモデル表示に適した所望のメッシュモデルを短時間で生成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明を実施形態に基づいて説明する。図1に、本発明の一実施の形態のメッシュモデル生成方法を適用したメッシュモデル生成システムの構成図を示す。図示のように、本実施形態のシステムは、フィーチャ認識・除去部1と、メッシュ単純化部2と、フィーチャ復元・LOD部3とを含んで構成されている。これらの各部は、コンピュータ及びコンピュータプログラムにより実現することができる。 40

【0020】

フィーチャ認識・除去部1は、高密度の入力メッシュモデル4を取り込むとともに、フィーチャ認識パラメータ5を取り込み、フィーチャ認識パラメータ5に該当するフィーチャを認識して除去するようになっている。このとき、フィーチャを除去したフィーチャ除去メッシュモデル6と除去されたフィーチャのフィーチャメッシュモデル7とを生成して、メッシュ単純化部2に出力するようになっている。なお、フィーチャメッシュモデル7には、認識・除去したフィーチャに関する情報が含まれている。また、フィーチャメッシュモデル7はフィーチャ復元・LOD部3にも出力されるようになっている。

【0021】

メッシュ単純化部2は、入力されるフィーチャ除去メッシュモデル6とフィーチャメッ 50

シュモデル7について、メッシュの頂点を統合してメッシュ数を低減させる非特許文献3に記載されたEC (Edge Collapse) 法を適用して、メッシュモデルの単純化処理を行い、単純化メッシュモデル9と単純化フィーチャメッシュモデル10を生成するようになっている。

【0022】

フィーチャ復元・LOD部3は、指定されるフィーチャ寸法閾値11及びメッシュの解像度に相関する目標面分数12を取り込み、例えば指定された閾値以上のフィーチャと、指定された目標面分数に相当する解像度を有する目的メッシュモデル13を生成するようになっている。つまり、メッシュ単純化部2で生成された単純化メッシュモデル9と単純化フィーチャメッシュモデル10を用い、指定されるフィーチャに対応する単純化フィーチャメッシュモデルを単純化メッシュモデルに組み合わせて、指定されたフィーチャを有し、かつ指定された解像度の目的メッシュモデルを生成するようになっている。すなわち、フィーチャ復元・LOD部3は、指定される任意のフィーチャ抑制度を有し、かつ指定される任意の解像度を有する目的メッシュモデル13を生成して、例えば、解析システム等へ出力するようになっている。また、図示していないが、フィーチャ復元・LOD部3は、生成した目的メッシュモデル13を画像表示する表示部を備えている。

【0023】

このように構成される本実施形態の基本動作について、図2を参照して説明する。図2の横軸はフィーチャ抑制度を表し、縦軸は解像度(面分数)を表している。本実施形態は、図1のフィーチャ認識・除去部1において、入力メッシュモデル4からフィーチャを一旦除去してフィーチャ抑制度の高いフィーチャ除去メッシュモデル6を生成する。次いで、メッシュ単純化部2において、フィーチャ除去メッシュモデル6のメッシュ数を低減する単純化処理を施すことにより、フィーチャ抑制度が高く、かつメッシュ数を低減した単純化メッシュモデル9を生成する。また、これに合わせて、除去されたフィーチャのメッシュモデルについても、メッシュ数を低減した単純化フィーチャメッシュモデル10を並行して生成する。これにより、図2に示した矢印21の経路を通過して、フィーチャ抑制度が高く、かつ、解像度が低いフィーチャ除去単純化メッシュ20が生成される。そして、図1のフィーチャ復元・LOD部3では、指定されるフィーチャ寸法閾値11と目標面分数12に基づいて、図2の矢印22に示すように、フィーチャ除去単純化メッシュ20から任意のフィーチャ抑制度を有し、かつ任意の解像度を有する目的メッシュモデル13を生成する。

【0024】

すなわち、本実施形態によれば、フィーチャ抑制度が高く、かつ、解像度が低いフィーチャ除去単純化メッシュ20を一旦生成し、これを用いて指定されたフィーチャを有し、かつ指定された解像度を有するメッシュモデルを生成するようになっているのである。したがって、本実施形態によれば、異なるフィーチャを有し、かつ任意の解像度を有するメッシュモデルを生成する場合、その都度、解像度が高い高密度の入力メッシュモデル4に戻ってメッシュの除去処理及びメッシュの単純化処理をする必要がないから、処理時間を大幅に短縮することができる。その結果、解析やモデル表示に適した任意の異なるフィーチャを有し、かつ任意の解像度を有するメッシュモデルを短時間で生成することができる。

【0025】

以下、各部の詳細構成を動作とともに説明する。

[フィーチャ認識・除去部1]

本実施形態で認識対象とするフィーチャは、例えば、図3に示すように、止まり穴(ポケット)、貫通穴、突起(ボス)とする。この認識対象は、フィーチャ認識パラメータとして入力設定されるようになっている。この認識パラメータの設定によって、大きなフィーチャについては、認識及び除去しないようにすることができる。

【0026】

また、フィーチャが定義されている基準面は、略平面に近いと仮定する。各フィーチャは、それぞれ除去及び復元の対象の選択に利用される寸法に関する管理属性と、フィーチャ

10

20

30

40

50

ャ構成面（FCT）からなる。フィーチャ構成面は、止まり穴は側面と底面、貫通穴は側面、突起は側面と上面である。また、管理属性は、止まり穴と貫通穴は幅（W）と高さ（d）、突起は幅（W）と高さ（h）である。ここで、幅（W）は、断面形状の長手方向の寸法とする。なお、図3の例は、いずれも断面が矩形のフィーチャ例を示しているが、本発明はこれに限らず、断面が円形、長円形、その他の形状に適用できることは言うまでもない。

【0027】

図4に示すように、各フィーチャ構成面は、基準面内部の特徴稜線によって境界付けられる領域である三角形の面分要素の集合とみなせる。このような領域を効率よく抽出するために、本実施形態では、次のステップS1～S3に示すメッシュ領域分け処理を用いる。

10

【0028】

ステップS1：基準面の抽出

図4に示す手順によって基準面を抽出する。つまり、入力メッシュモデルから設定された平坦度を有し、かつ設定閾値以上の面積を有する面を基準面として抽出する。この基準面の抽出法は、互いに隣接する2つの面分がなす角度（二面角）が設定閾値を超える面分間の稜線を、いわゆる角部に相当する特徴稜線として抽出し、抽出した特徴稜線に囲まれる領域を認識する。そして、特徴稜線に囲まれる領域の面積が設定閾値より小さな領域内の三角形はどの領域内にも属さないとする。このような処理の結果として得られる領域が基準面である。

20

【0029】

ステップS2：特徴稜線の修正とフィーチャ構成面の抽出

ステップS1の処理で、どの基準面にも属さない三角形に挟まれる稜線を全て非特徴稜線とする。そして、基準面の外側境界線（OBE）を抽出し、それを構成している全ての稜線を非特徴稜線とする。そして、最後に残っている特徴稜線を用いて、ステップS1と同様の領域分けを行う。得られた領域のうち、基準面を含まない領域がフィーチャ構成面（FCT）として抽出される。つまり、止まり穴の側面と底面、貫通穴の側面、突起の側面と上面がフィーチャ構成面（FCT）として抽出される。基準面内の凸又は凹の領域をフィーチャ構成面（FCT）として抽出する。

30

【0030】

ステップS3：フィーチャ種類の識別と管理属性値の算出

図5に示すように、1つの連続する凸境界線ループを持つフィーチャ構成面は止まり穴であると識別する。また、2つの連続する凸境界線ループを持つフィーチャ構成面は貫通穴であると識別する。さらに、1つの連続する凹境界線ループを持つフィーチャ構成面は突起であると識別する。また、止まり穴の深さ（d）は、止まり穴のフィーチャ構成面に属する三角メッシュの頂点と境界線との間の最大垂直方向距離として算出する。貫通穴の深さ（d）は2つの境界線間の基準面垂直方向の距離として算出する。突起の高さ（h）は、フィーチャ構成面に属する三角メッシュの頂点と境界線との間の最大垂直方向距離として算出する。各フィーチャの幅（W）は、図5に示すように、フィーチャ構成面の境界線の頂点集合の主軸（長手）方向の最大寸法とする。

40

【0031】

フィーチャ認識・除去部1は、図6に示すように、上記のようにして認識した止まり穴と貫通穴と突起のフィーチャ構成面（FCT）10を、入力メッシュモデル4から除去する。そして、フィーチャ構成面（FCT）10を除去して生じた基準面上の穴を、単純な三角形分割により生じる新たな面分（FRT）11で埋めて、フィーチャ除去メッシュモデル6を生成する。また、除去したフィーチャ構成面（FCT）は、フィーチャメッシュモデル7とする。

[メッシュ単純化部2]

メッシュ単純化部2は、フィーチャ除去メッシュモデル6とフィーチャメッシュモデル7に対して、面分数を減らすメッシュの単純化処理を施して、単純化メッシュモデル（M

50

RM)を生成する。ここで、メッシュモデルの単純化処理は、非特許文献3に記載されたEC(Edge Collapse)法により行うことができる。本実施形態では、フィーチャ復元・LOD部3で、除去したフィーチャを粗い単純化メッシュ上で適切な詳細度で復元可能にするとともに、微小な面分が粗い単純化メッシュで残らないようにするため、2段階に分けて単純化することを特徴とする。

【0032】

すなわち、図7(a)に示す入力メッシュモデル4から、同図(b)に示すフィーチャ除去メッシュモデル6が得られた場合、同図(b)(c)に示すように、初めはフィーチャ境界線(FBE)の形状を考慮しながら単純化して、単純化メッシュモデル8を生成する(第1段階)。そして、ある段階から図7(c)(d)に示すように、フィーチャ境界線(FBE)を考慮しないで単純化して、単純化メッシュモデル9を生成する(第2段階)。このとき、フィーチャメッシュモデル7であるフィーチャ構成面(FCF)についても同様に単純化して単純化フィーチャメッシュモデル10を生成する。

【0033】

具体的には、第1段階の単純化処理では、フィーチャ境界線(FBE)は、稜線形状に対する近似誤差の評価手法(非特許文献3参照)を用いて単純化における近似誤差を評価し、その近似誤差がユーザ設定のトレランス(許容誤差)を満たす場合のみ単純化する。一方、フィーチャ構成面(FCF)及びフィーチャ除去により生じた基準面上の穴を埋めた新たな面分(FRT)は、目的にあった単純化基準に従って単純化する。

【0034】

ここで、目的にあったとは、ユーザが狙いとする目的メッシュモデル13のフィーチャ抑制度と解像度を満たし、かつ形状近似誤差を抑えるといったメッシュモデルの品質に関する目的をいう。単純化基準とは、EC法を用いた単純化の場合、(1)稜線へのEC適用可能性と、(2)稜線へのEC適用順序とを判断するための基準である。例えば、「形状近似誤差を抑えたい」という目的の場合の単純化基準は、非特許文献4に記載された手法によることができる。これは、EC適用後の頂点位置とEC適用前の面分間の自乗距離を単純化誤差と定義し、この誤差が最小となる稜線から順にECを適用する手法である。

【0035】

また、例えば、「メッシュの品質を高く保ちたい」という目的の場合の単純化基準としては、非特許文献5に記載された手法によることができる。この手法では、EC適用により変化する局所メッシュが、指定したトレランスや品質(ストレッチ)下限値を満足する稜線にのみECを適用するとして、EC適用順序は、メッシュ品質を高く維持できる部分からとする手法である。

【0036】

このようにして、第1段階の処理で、フィーチャ境界線(FBE)上の全ての稜線の単純化が、設定されたトレランス以上の近似誤差を生ずるようになった段階で、フィーチャ境界線(FBE)を目的にあった単純化基準に従って単純化する第2段階に移行する(図7(c)(d))。これにより、フィーチャが存在していた部分に微小な面分が残らない適切な単純化を行うことができる。本実施形態の単純化規則は、ECを用いたどのようなメッシュ単純化手法にも適用することができる。

【0037】

図8を参照して、図7におけるFBE(フィーチャ境界線)に対する単純化の処理例を説明する。図8(a)は、FBEの近似(単純化)誤差の算出方法を説明する図であり、FBEに対しては、FBEの成す直線31とEC適用後の新しい頂点位置 P_k との間の距離 d_k の自乗の総和(近傍の全FBEについての和)を近似誤差として定義する。この近似誤差を、第1段階の処理におけるFBE上の全ての稜線の単純化が、設定されたトレランス以上の近似誤差を生ずるようになったか否かの評価に利用している。

【0038】

図8(b)は、FBEに対するEC適用の追加規則を説明する図である。規則1は、FBEは元々ループを形成しており、単純化後もそのループを保つための規則である。規則

10

20

30

40

50

2は、FBEの形状をより高く保つための規則である。同図(b)は、ハーフエッジコラプス(Half Edge Collapse)と呼ばれるECで統合する2頂点のうち一方の頂点位置を、EC適用後の新しい頂点の位置とする方法である。図8において、 P_i 、 P_j はEC適用の候補頂点の位置であり、 P_k は P_i と P_j 統合後の頂点位置である。eはFBE上のある稜線である。

【0039】

上記実施形態では、第1段階から第2段階に移行する規準として、フィーチャ境界線(FBE)上の全ての稜線の単純化が、設定されたトレランス以上の近似誤差を生ずるようになった段階に移行する例を説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、ユーザが設定するフィーチャ寸法閾値(幅(W)等)と、そのフィーチャ周辺のメッシュの大きさが同等になった場合に、第2段階に移行するようにすることができる。つまり、フィーチャ除去メッシュモデルを設定された許容近似誤差の範囲内で単純化処理して単純化メッシュモデルを生成するにあたって、ユーザが設定する復元フィーチャの寸法閾値と復元フィーチャに隣接する基準面上のメッシュサイズが同等になるまで、フィーチャと前記基準面との境界線上の全ての稜線の単純化を近似誤差が設定閾値以内で実行する第1段階と、復元フィーチャの寸法閾値よりも前記復元フィーチャに隣接する前記基準面上のメッシュサイズが大きくなったときは目的にあった単純化基準に従って稜線の単純化を実行する第2段階に分けることができる。

[フィーチャ復元・LOD部3]

フィーチャ復元処理では、復元したいフィーチャをフィーチャの管理属性値(寸法閾値等)をユーザが入力することにより、又はフィーチャリストを画面に表示してユーザが選択するようにする。

【0040】

フィーチャ復元は、ユーザが指定した管理属性値を閾値として、その閾値を超えるフィーチャ又はリストで選択されたフィーチャについて行う。フィーチャの復元処理は、フィーチャ除去により生じた基準面上の穴を埋めた新たな面分(FRT)と、フィーチャ構成面(FCT)であるフィーチャメッシュモデル7を単純化した単純化フィーチャメッシュモデル10とを置き換えることにより行う。この置き換えの条件は、基準面上の穴を埋めた新たな面分(FRT)とフィーチャ構成面(FCT)との境界が一致していることである。つまり、選択されたフィーチャのフィーチャ境界線(FBE)上のメッシュの頂点(FBV)が現在の単純化メッシュモデル9上に存在することである。図9(a)に示すように、FBE上のメッシュの頂点(FBV)が現在の単純化メッシュモデル9上に存在しない場合は、頂点階層を用いた局所LOD法を用いて、図9(b)に示すように、メッシュの頂点(FBV)を単純化メッシュモデル9上に復元する。そして、図9(c)に示すように、基準面上の穴を埋めた新たな面分(FRT)とフィーチャ構成面(FCT)とを交換する。このようにして、図9(a)の最も粗い単純化メッシュモデル9上でフィーチャが復元され、図9(c)に示す最も粗いメッシュのメッシュモデルが得られる。さらに、最も粗いメッシュのメッシュモデルにLOD法を適用し、図9(d)に示す任意の解像度を有する目的メッシュモデル13を得ることができる。

【0041】

ここで、図10を参照して、局所LOD法について簡単に説明する。局所LOD法は、ECによる単純化で統合された2つの頂点を子とし、新しく生成された頂点を親とする2分木構造を用いて単純化の履歴を保持する(図10(a)、(b))。そして、要求に応じて2分木構造をたどりながらVS(Vertex Split、ECの逆操作)を行って、任意の要素をメッシュ上に復元し(図10(c))、局所的に詳細度を制御する方法である。

【0042】

以上説明したように、本実施形態によれば、単純化メッシュモデル9と単純化フィーチャメッシュモデル10を一旦生成し、これらを用いて指定されたフィーチャを有し、かつ指定された解像度を有する目的メッシュモデル13を生成していることから、異なるフィーチャを有し、かつ任意の解像度を有する他の目的メッシュモデル13を生成する場合、

10

20

30

40

50

その都度、入力メッシュモデル4に戻ってメッシュの除去処理及びメッシュの単純化処理をする必要がないから、処理時間を大幅に短縮することができる。その結果、解析やモデル表示に適した任意の異なるフィーチャを有し、かつ任意の解像度を有するメッシュモデルを短時間で生成することができる。つまり、任意のフィーチャ抑制制度及び面分数を持ったメッシュモデルを高速かつ柔軟に生成可能であり、しかも、工学的に無意味な形状である非多様体を有するメッシュモデルの生成を防止できる。

【0043】

ここで、本発明の手法によれば、非多様体が生成されない理由について、図11を参照して説明する。本発明の手法によれば、フィーチャの除去を、部分メッシュの除去と、除去で生じた穴の穴埋めにより行う。穴の穴埋めは、部分メッシュの除去で生じたメッシュ境界となるループ内を単純な三角形分割で埋める処理で行っているから、稜線に3つ以上の面が接続する、又は、複数のメッシュ表面を繋ぐ頂点が存在する、といった非多様体状態は処理上生ずることがない。また、単純化では、稜線を1つの頂点に縮退するECを利用しており、ECを用いた単純化手法は、メッシュ表面に沿ったメッシュの接続性(要素)操作であるから、非多様体状態は生じないことが保証される(図11(a)参照)。これに対して、例えば、非特許文献1では、特定の空間内にある複数のメッシュの頂点を一つに統合する単純化手法を用いているから、単純化と同時にフィーチャを除去できるが、図11(b)に示すような非多様体の状態が生ずることになる。

【実施例1】

【0044】

図12に、複数の穴や突起を含む機械部品の高密度メッシュモデルに、上述した実施形態を適用した実施例のメッシュの変化を示す。同図(a)は、入力メッシュを示している。同図(b)は、フィーチャ認識結果を示し、同図(c)は指定されるフィーチャを除去したフィーチャ除去メッシュモデルを示している。このフィーチャ除去メッシュモデルに対し、前述の2段階の単純化処理を施した結果の単純化メッシュモデルを、同図(d)に示す。このように生成された単純化メッシュモデルに、指定されるフィーチャを復活するとともに、指定される解像度の最終メッシュモデルを、同図(e)、(f)に示す。同図(e)、(f)は、フィーチャ寸法閾値で指定される復活するフィーチャが異なり、かつ、指定される目標面分数に応じてメッシュ数が異なっている。このように、一度、フィーチャ除去とメッシュ単純化を適用した後は、任意のフィーチャが復元された任意解像度のメッシュモデルがリアルタイムで得られることを確認できた。

【実施例2】

【0045】

図13に、解析用メッシュモデル生成に、上述した実施形態を適用した実施例のメッシュの変化を示す。同図(a)は高品質の入力メッシュモデルである。同図(b)はフィーチャを除去して単純化したフィーチャ除去単純化メッシュである。同図(c)はフィーチャ復元・LODにより生成された最終メッシュモデルである。本実施例では、フィーチャ除去により生成された基準面上の穴を埋めた新たな面分(FRT)に対し、LOD処理により局所的なメッシュ品質改善を適用し、高品質のフィーチャ除去メッシュを得ることができた。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】本発明の一実施形態のメッシュモデル生成方法を実施するメッシュモデル生成システムの構成図である。

【図2】本発明のメッシュモデル生成の原理の概要を説明する図である。

【図3】フィーチャの種類とフィーチャ構成面と管理属性を説明する図である。

【図4】フィーチャの除去手順を説明する図である。

【図5】フィーチャの種類と識別基準及び属性値の算出基準を説明する図である。

【図6】フィーチャの認識、除去、フィーチャ部の穴埋めまでの手順を説明する図である。

【図7】フィーチャの除去及び単純化処理の手順を説明する図である。

【図8】メッシュ単純化処理のEC法を説明する図である。

【図9】単純化されたフィーチャ除去メッシュモデルに任意のフィーチャを復元する手順を説明する図である。

【図10】局所LOD法を説明する図である。

【図11】本発明によれば、非多様体を有するメッシュモデルが生成されない理由を説明する図である。

【図12】本発明を適用して高密度メッシュモデルのフィーチャ除去、単純化及び復元処理をした一実施例のメッシュの変化を示す図である。

【図13】本発明を適用して高密度メッシュモデルのフィーチャ除去、単純化及び復元処理をするとともに、局所的なメッシュの品質改善をした一実施例のメッシュの変化を示す図である。

10

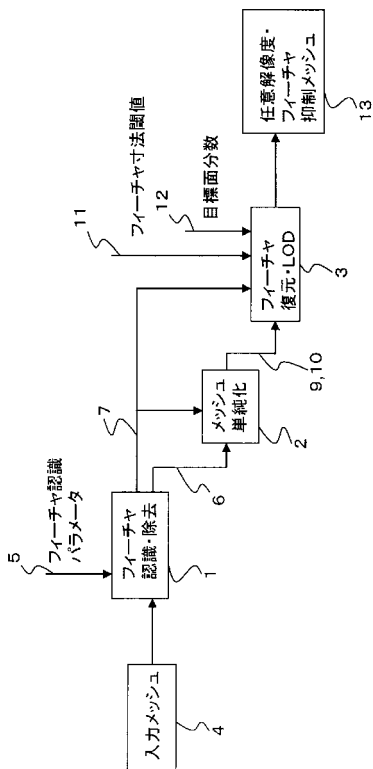
【符号の説明】

【0047】

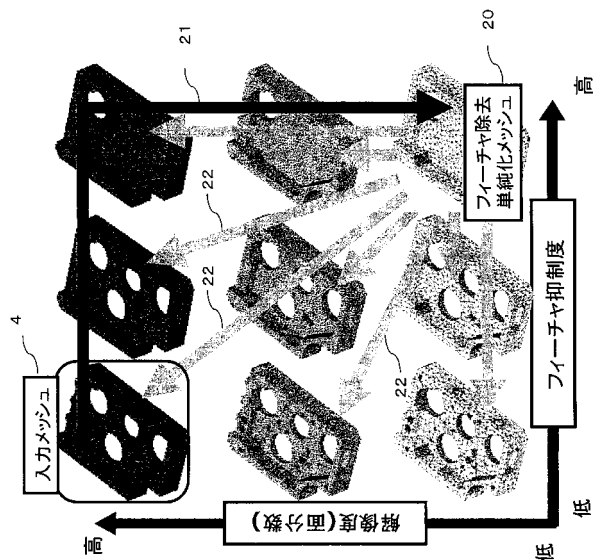
- 1 フィーチャ認識・除去部
- 2 メッシュ単純化部
- 3 フィーチャ復元・LOD部
- 4 入力メッシュモデル
- 6 フィーチャ除去メッシュモデル
- 7 フィーチャメッシュモデル
- 9 単純化メッシュモデル
- 10 単純化フィーチャメッシュモデル
- 13 目的メッシュモデル

20

【図1】



【図2】

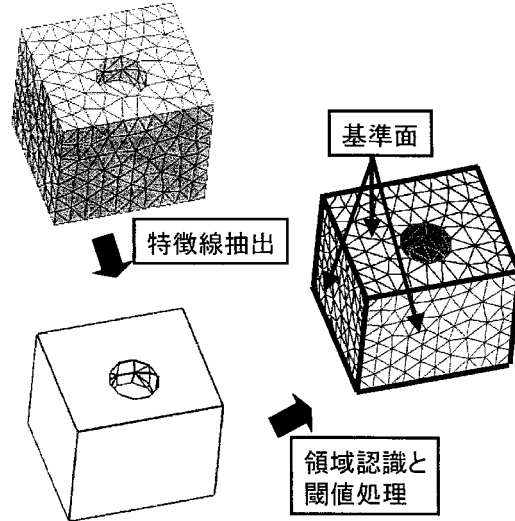


【 図 3 】

タイプ	止まり穴 (ポケット)	貫通穴	突起 (ポス)
図例と基準面			
フィーチャ構成面 (FCT)	側面と底面	側面	側面・上面
管理属性	幅(w)・深さ(d)	幅(w)・深さ(d)	幅(w)・高さ(h)

*基準面は平面と仮定する

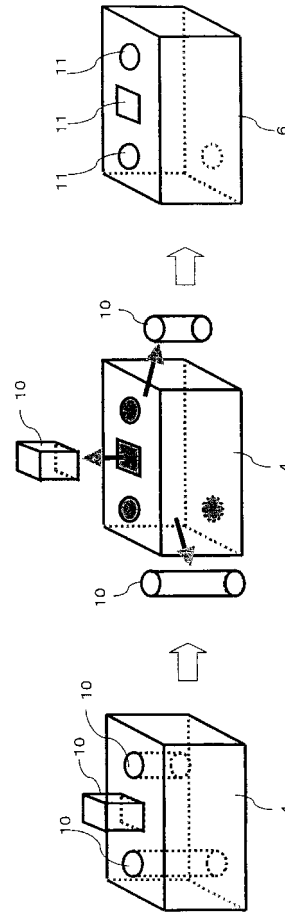
【 図 4 】



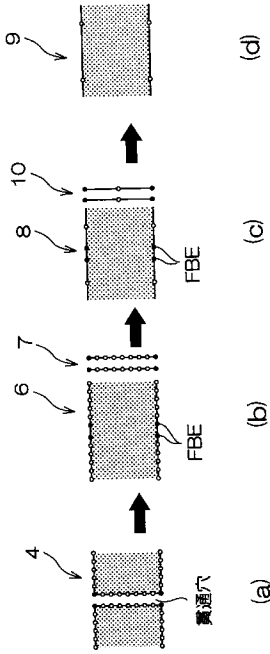
【 図 5 】

タイプ	止まり穴 (ポケット)	貫通穴	突起 (ポス)
図例と基準面			
タイプ識別	フィーチャ構成面が1つの連続する凸境界ループを持つ	フィーチャ構成面が2つの連続する凸境界ループを持つ	フィーチャ構成面が1つの連続する凹境界ループを持つ
属性値算出	深さ (高さ)	基準面とフィーチャ構成面内の頂点間の基準面垂直方向最大距離	基準面とフィーチャ構成面内の頂点間の基準面垂直方向最大距離
	幅	フィーチャ構成面境界線の頂点集合の主軸方向の最大寸法	

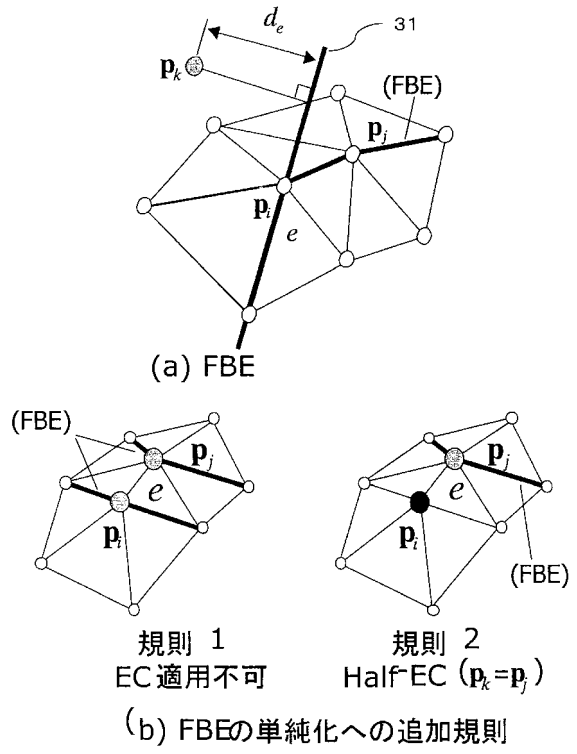
【 図 6 】



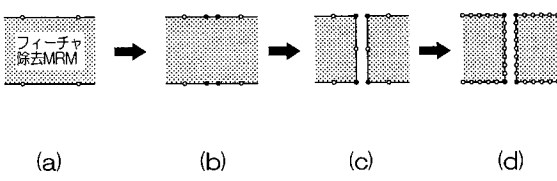
【図7】



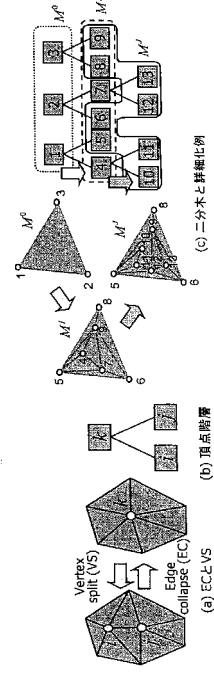
【図8】



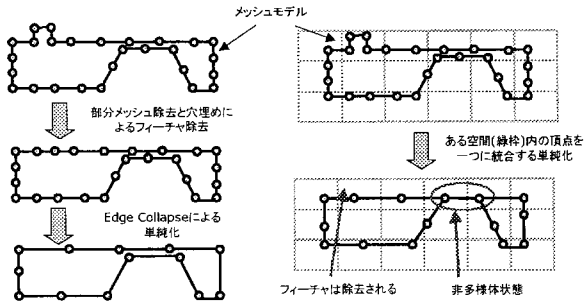
【図9】



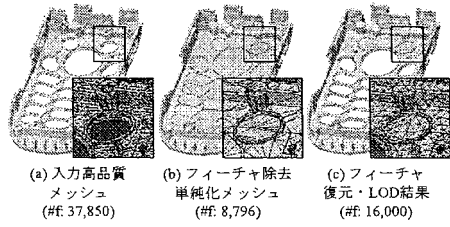
【図10】



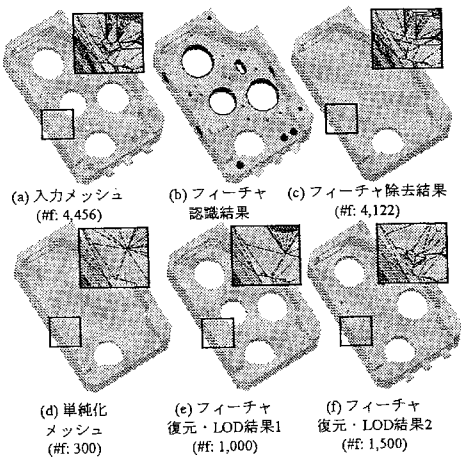
【図 1 1】



【図 1 3】



【図 1 2】



フロントページの続き

- (72)発明者 岸浪 建史
北海道札幌市北区北14条西九丁目
科内 北海道大学 大学院情報科学研究
- (72)発明者 伊達 宏昭
北海道札幌市北区北14条西九丁目
科内 北海道大学 大学院情報科学研究
- (72)発明者 西垣 一朗
茨城県ひたちなか市堀口832番地2
内 株式会社日立製作所 機械研究所

審査官 加舎 理紅子

- (56)参考文献 特開2001-092805(JP,A)
特開2000-331194(JP,A)
再公表特許第2005/086034(JP,A1)
伊達宏昭 他,有限要素解析のための多重解像度メッシュモデリングに関する研究 - 非多様体メッシュの解像度制御 -, 2005年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2005年3月1日, p.195-196
Hiroaki Date et al., Mesh Simplification and Adaptive LOD for Finite Element Mesh Generation, Proceedings of the Ninth International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics(CAD&CG2005), 2005年12月, p.339-344

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/50
IEEE Explore
Cinii
J-STAGE