

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19360070

研究課題名 (和文) X線CTデータによる薄板構造部品の高品質メッシュ生成

研究課題名 (英文) Reconstruction of High Quality Mesh for Thin Plate Structure
from X-Rays CT Data

研究代表者 鈴木 宏正 (SUZUKI HIROMASA)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：40187761

研究成果の概要 (和文)：

産業用 X 線 CT スキャナーの性能が向上し、様々な機械部品の計測に利用可能となってきた。しかしスキャンされたデータを設計や生産準備で活用するためには、スキャンデータを適切に処理する手法が必要である。特に自動車のボディ等に代表される薄板部品は、溶接によって製作され内部構造をもつため X 線 CT の適用が望まれていた。設計・生産のデジタルエンジニアリングの中心的数据表現は CAD モデルに代表されるよう面データであり、X 線 CT スキャナーから得られる 3 次元画像であるボリュームモデルではない。そこで、本研究では、ボリュームモデルからメッシュを生成するためのコンタリング法について、特に薄板構造部品の設計等で有用な中立面を生成できるコンタリング法を実現した。

研究成果の概要 (英文)：

Advancement of industrial X-rays CT scanner has made it possible to scan various mechanical parts. However, in order to utilize scanned data in design and manufacturing processes, image processing methods must be developed to process it. In particular thin plate structures such as automotive body requires CT scanning as they are made by welding sheet metal parts so as to have complex internal structures. The major problem here is that digital engineering systems are based on B-Rep representation of CAD models and thus cannot apply X-CT scanning data directly. This research project developed a contouring method to generate medial surface mesh from X-CT volumetric data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2008 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2009 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：X 線 CT、リバースエンジニアリング、デジタルエンジニアリング、形状モデリング

1. 研究開始当初の背景

産業用 X 線 CT スキャナーの性能が向上し、様々な機械部品の計測に利用可能となってきた。しかしスキャンされたデータを設計や生産準備で活用するためには、スキャンデータを適切に処理する手法が必要であり、その開発が不十分なために CT スキャナーを十分に活用できていない状況にあった。特に自動車のボディ等に代表される薄板部品は、溶接によって製作され内部構造をもつため X 線 CT の適用が望まれていた。

2. 研究の目的

設計・生産のデジタルエンジニアリングの中心となるデータ表現は CAD モデルに代表されるような面データであり、X 線 CT スキャナーから得られる 3 次元画像であるボリウムモデルではない。そこで、本研究では、ボリウムモデルからメッシュを生成するためのコンタリング法について、特に薄板構造部品の設計等で有用な中立面を生成できるコンタリングを実現することを目的とする。

3. 研究の方法

薄板部品のボリウムモデルは CT 値が低くノイズが大きい、部材に相当するボクセル数が少ないなどの悪条件のために、従来の等値面生成のようなコンタリング手法を適用することは難しい。本研究では、応用上の利便性も考えた中立面生成手法と、板厚を求める手法を研究する。また、設計での使用に耐えうるように、メッシュを高品質化する技術として、薄板形状を忠実に再現し、また抽出されたメッシュの形状精度の正しい見積りができ、さらに、自己干渉がなく位相が整合しているなどのメッシュのデータ品質の確保する手法を開発した。

4. 研究成果

(1) 成果概要

機械部品の CT 画像からポリゴンを生成する方法として Marching Cubes などの等値面生成法が知られているが、薄板で構成される機械部品の CT 画像に対しては、物体の中心を通る中立面が生成されることが望ましい。しかし、従来手法（例えば [1]）の多くは、中立面のボクセル表現である中立ボクセルを抽出した後、隣接するボクセルを利用してポリゴンを作成している。この方法は、ジャンクション部において unnecessary ポリゴンを生成しやすいため、CT 画像には存在しない小袋構造ができる場合がある。

ここでは薄板部品の CT 画像を対象とした非多様体メッシュ生成手法を提案する。本手

法は、Ohtake らの提案した点群のサブサンプリングによる 2 多様体メッシュ生成手法を、ボクセルからの非多様体メッシュ生成に応用する。位相を考慮した順番でサブサンプリングすることで、ポリゴン生成時に発生する unnecessary 面の生成を防ぐ。また、サブサンプリングにより、中立ボクセル抽出時に失われた複雑な非多様体特徴を復元したメッシュが生成できた。

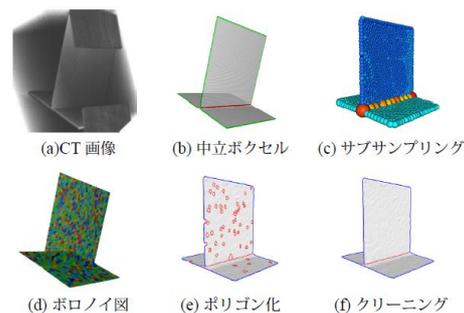


図1 手法の概要. (b) 赤, 緑, 灰色ボクセルは, それぞれジャンクション, 境界, 面ボクセルを表す. (e) (f) の赤青線は, エッジに接続している面数が 3 以上, 1 をそれぞれ表す

(2) アルゴリズム

本手法の概要を図 1 に示す. 本手法は, CT 画像 V (図 1(a)) を入力とし, 中立面に相当するポリゴン P (図 1(f)) を出力する. 本手法は, 大きく分けて以下に分けられる.

中立ボクセル M の生成 (図 1(b)): これは, 既存手法により計算されているものとする. 各ボクセルには, 表面までの最短距離 $d(v)$ が格納されている.

サブサンプリング (図 1(c)): 中立ボクセルの位相タイプによって決定される優先順位に基づいて M に含まれるボクセル s_i をサブサンプリングする. s_i を中心とした球を配置し, 球に含まれるボクセルはサブサンプリングから除外する. これを M が球によって完全に被覆されるまで繰り返す.

ボロノイ図の構築 (図 1(d)): s_i を母点としたボロノイ図を M 上で計算し, その隣接関係から (s_i, s_j) にエッジを構築する.

ポリゴンの作成. (図 1(e)): お互いに隣接している (s_i, s_j, s_k) を見つけて三角形を作成する. ジャンクション以外で非多様体エッジが存在する場合は, 2 多様体になるように位相をクリーニングする (図 1(f)).

以下, 詳細を述べる.

① サブサンプリング

サブサンプリングは, 被覆球の配置と内部に

含まれる中立ボクセルの除外を繰り返すことで行う。各被覆球の中心 s_i は中立ボクセルの1つである。ここで問題となるのは、サブサンプリングの順番と被覆球の半径である。Ohtake らの手法では、順番をランダムに決定している。これは、出力を二多様体限定すると問題ないが、非多様体形状に対しては、小袋が生成される危険がある。これは、ジャンクションや境界などの特異点がサンプリングされていないためである。逆に、このような点を先にサンプリングできれば、正しくポリゴン化される。本手法では、特異点が先にサンプリングされるような順序決定手法を導入する。

1. ボクセルの位相: ジャンクション, 境界, 面ボクセルの順番で選択する。

2. 距離値: 形状の表面から離れているものから選択する。

ジャンクションボクセルが最優先なのは、小袋の生成を防ぐためである。境界ボクセルを次に選択するのは、サンプリングされることで発生する境界部の縮退を防ぐためである。また、距離値による順序付けは、ジャンクションや境界線がジグザグが発生させないために用いている。実装では、位相分類をおこなうために、Malandain らによる位相分類法を中立ボクセルに適用する。これにより、中立ボクセルは、ジャンクション, 境界, 面ボクセルのいずれかに分類される(図1(b))。また、最近境界面までの距離は、距離場を用いる。

被覆球の半径球の半径は、 $\alpha d(s_i)$ で与える。 α は、ユーザ指定のパラメータであり、1 より大きな値を与える。

② ボロノイ図の構築

前項でサンプリングした s_i を母点として、ボロノイ図を中立ボクセル M 上で計算する(図1(d))。各母点のコストを0としそれ以外を無限大とする。26 隣接のボクセルについて、 L_2 距離をノード間の重みとして、領域拡張法を用いて伝播させる。計算されたボロノイ図の隣接関係からサンプリング間の隣接関係を構築する。ボロノイ図を計算した後、26 近傍で隣接する2つ領域の母点間にエッジを作成する。

③ ポリゴン化

ポリゴン化は、お互いにエッジで接続されているようなサンプリング点 s_i, s_j, s_k に三角形を作成することで行う。この手法で生成したポリゴンは、ジャンクションをまたぐような三角形を含まないもの、多様体部分にジャンクションが生成される場合がある(図1(e))。これは、26 近傍でグラフのエッジを構築した結果、余分なエッジが生成されたためである。このような場合は、Ohtake らが用いた位相クリーニング法を多様体頂点に対して行うことで、不必要な三角形を除去す

る(図1(f))。多様体頂点の判定は、ボクセルの位相が面ボクセルか否かで行った。

(3) 実験結果

図2に本手法を適用した結果を示す。中立面のジャンクション部分を赤、境界部分を青で表示することで、全ての例題でジャンクション部分で問題となるような小袋が作成されていないことが確認できる。

現在の実装では計算時間に改善の余地が残っている。最大のボトルネックは、ボロノイ図の構築のために領域拡張法を用いている点であり、 $1000 \times 1000 \times 1000$ 程度のボリュームデータでは1日以上かかっている。並列化などによる高速化が求められる。

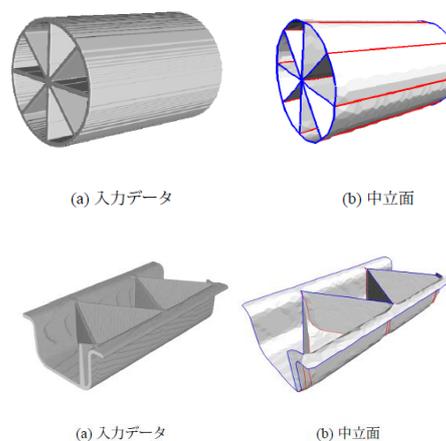


図2 実験例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① M. Haitham Shammaa, Hiromasa Suzuki, Yutaka Ohtake, Extraction of Isosurfaces from Multi-Material CT Volumetric Data of Mechanical Parts, J. Computer-Aided Design, Vol. 42, No. 2, pp.118-128, 2009
- ② Yukie Nagai, Yutaka Ohtake, and Hiromasa Suzuki, Smoothing of Partition of Unity Implicit Surfaces for Noise Robust Surface Reconstruction, J. Computer Graphics Forum, Volume 28 (2009), Number 5, Pages 1339 - 1348, 2009
- ③ Takashi Michikawa and Hiromasa Suzuki, Spherical Distance Transforms, J. Computer Science and Software Technology, vol 2, no.2, 2009, in press
- ④ 道川隆士, 中崎瞬, 鈴木宏正, 大規模 CT データからの中立ボクセル抽出法, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 756,

pp.2165 - 2170, 2009

- ⑤ M. Haitham Shammaa, Hiromasa Suzuki and Takashi Michikawa, Registration of CAD mesh models with CT volume data of Assembly of Machine Parts, J. Visual Computer, Vol. 23, No.12, pp.965-974, 2007
- ⑥ Hiromasa Suzuki, Tomoyuki Fujimori, Takashi Michikawa, Yasuhiko Miwata and Noriyuki Sadaoka, Skeleton Surface Generation from Volumetric Models of Thin Plate Structures for Industrial Applications, Mathematics of Surfaces XII, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4647, Springer, pp. 442-464, 2007

[学会発表] (計7件)

- ① Takashi Michikawa, Shun Nakazaki, Hiromasa Suzuki, Efficient Medial Voxel Extraction for Large Volumetric Models, Proc. WSCG 2009 conference, 2009, pp.189-196
- ② Hiroyuki Hishida, Takashi Michikawa, Hiromasa Suzuki, Yutaka Ohtake, A method for calculating volume for casting defects using X ray CT data, ASPEN 2009
- ③ Takashi Michikawa, Hiromasa Suzuki, An Out-of-Core Framework for Volume Processing and Its Applications, Proc. Korea-Japan Design Engineering Workshop 2008, pp. 13-16, Seoul, July 9-10, 2008
- ④ Takashi Michikawa and Hiromasa Suzuki, Spherical Distance Transforms, in Proc. The 2008 International Conference on Computational Science and Applications, 2008
- ⑤ Haitham Shanmma, Hiromasa Suzuki, Yutaka Ohtake, Isosurfaces Extraction from Multi-Material CT Volumetric Data of Mechanical Parts, Proc. ACM Solid and Physical Modeling Symposium 2008, pp.213-220, (regular paper), ACM, Stony Brook, NY, USA, June 2-4, 2008
- ⑥ Yukie Nagai, Yutaka Ohtake, Kiwamu Kase, Hiromasa Suzuki, Polygonizing Skeletal Sheets of CT-Scanned Objects by Partitioin of Unity Approximations, Shape Modeling International (SMI 2008), pp.265-266, 2008
- ⑦ Takashi Michikawa, Ken'ichiro Tsuji, Tomoyuki Fujimori and Hiromasa Suzuki, Out-of-Core Distance Transforms, in Proceedings of ACM Symposium on Solid and Physical Modeling 2007, pp.151-158, 2007

- ⑧ Takashi Michikawa, Ken'ichiro Tsuji and Hiromasa Suzuki, Computing Geodesics for Large Volumetric Models, in Proceedings of NICOGRAPH International 2007. pp.13-18, 2007

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.den.rcast.u-tokyo.ac.jp/~suzuki>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 宏正 (SUZUKI HIROMASA)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：40187761

(2) 研究分担者

道川 隆士 (MICHIKAWA TAKASHI)

東京大学・先端科学技術研究センター・助教

研究者番号：60435683

(H19)

(3) 連携研究者

該当無し