

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 25 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420090

研究課題名(和文) デジタルファブリケーションのための3次元曲面モデル生成とデータの軽量化

研究課題名(英文) The generation of 3D curved surface model and data simplification for digital fabrication

研究代表者

徳山 喜政 (Tokuyama, Yoshimasa)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：50350575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：細分割曲面を自由曲面モデルに変換でき、曲面モデルから造形精度に応じて密度が均一な点群を生成し、複数の滑らかな面にまたがったポリゴンの生成が可能となった。3角形ポリゴン大きさと辺のアスペクト比のばらつきが少ないことが特徴である。また、3次元測定器(スキャナー)によって測定された点群の場合、膨大な測定点群を軽量化することで無駄なポリゴン生成を抑制することができた。本研究では位置合わせした非整列な点群の形状特徴を保持したままで軽量化する手法を提案した。なお、ポリゴンモデルから抽出された稜線形状が、積層モデルで再現できるようにするため、稜線列の方向とスライス方向による、稜線の再現性評価法を提案した。

研究成果の概要(英文)：A CG model represented by a subdivision surface can be converted to a curved surface model and a point cloud having uniform density according to manufacturing precision is generated from a curved surface model. It became possible to generate polygons straddling a plurality of smooth surfaces without the limitation of the topology. It is characterized by small variations in triangle polygon size and side aspect ratio. In the case of a point cloud measured by a three-dimensional measuring device (scanner), it is possible to suppress useless polygon generation by simplifying a huge number of measured points. In this research, we proposed a simplification method for aligned point clouds while retaining the shape features. Besides, in order to make it possible to reproduce the edge shape extracted from the polygon model in the laminated model, we proposed a method for evaluating the reproducibility of the edges based on the direction of the edge sequence and the slice direction.

研究分野：工学

キーワード：3Dプリンター 曲面メッシュ ポリゴン 点群 軽量化 積層モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年, 3Dプリンターの小型・軽量・低価格に伴って, 3Dプリンターは個人レベルまで普及しつつあり, ベンチャー企業や個人による, WEBやSNSを介した新しい「ものづくり」の時代が到来すると予測されている。また, 製造業以外の分野(建築, 医療, 教育, 娯楽など)への市場拡大や新規分野の創出も考えられる。一方, 3Dプリンターによるものづくりにおいては, 造形精度, 造形スピード, ランニングコスト(材料費, 保守費用など), などの課題が残っている。

(2) 近年多くの3次元CGシステムは細分割曲面(Subdivision Surfaces)を採用している。細分割曲面とは, ポリゴンメッシュに分割と重み付けの操作を繰り返し適用することで, 滑らかな曲面形状を生成する手法のことである。しかし, 細分割の回数と造形精度との関係が不明なので, 試行錯誤を重ねることがしばしば発生する。そのため, 試行錯誤や無駄な分割によるポリゴン数の増大に伴って造形時間や材料コストがかかる。

2. 研究の目的

(1) 代表者(徳山喜政)は, 曲線メッシュ生成および変形技術を引用文献で提案している。本研究では, 引用文献の技術を拡張して, 細分割曲面から高品質の曲面メッシュを生成する。その後, 精度制御が比較的容易な曲面をベースにして, 造形精度を満たし, かつポリゴン数が最適な形状データを生成する手法を確立する。

(2) 3次元測定器(スキャナー)による形状生成方法において, 点群の位置あわせや測定できない箇所のデータ欠落部分を補間する技術が必要である。また, 巨大なデータを適切なデータサイズに軽量化することも求められる。分担者(今野晃市)は, 3次元計測技術, データ欠落補間技術, 分散軽量技術について研究してきている。本研究では, これらの技術をベースに3Dプリンターに適した点群の軽量化手法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 本研究は, 細分割曲面などのポリゴンメッシュや計測点群を入力として, 造形精度を維持しながら形状を軽量化し, 3Dプリンター用の形状データを再構築する。

(2) 細分割曲面などのポリゴンメッシュの場合には, ポリゴンメッシュから曲面メッシュへの変換手法を拡張して, より一般的な曲面表現が扱えるようにする。そして, 曲面メッシュから精度保証できるような密度が均一な点群を生成する。

(3) 計測データの欠落を独自の形状推定手法に基づき補間しながら, 形状モデルを構築す

る。

(4) それぞれの入力手段で入力された形状データを軽量化した後, 3Dプリンターによる造形し, 実物での評価・検証を行う。

4. 研究成果

(1) 市販の3次元形状処理カーネルXVL上に, ポリゴンメッシュ(細分割曲面)を曲面メッシュへ変換するソフトウェアを開発した(図1)。ポリゴンメッシュを2回や3回細分割することで得られた頂点の極限点をベースに境界曲線と曲面のあてはめを行う。境界曲線の表現方法として, 一般的なBezier曲線を用いる。また, 曲面の表現方法として, Gregory Patchを用いる。

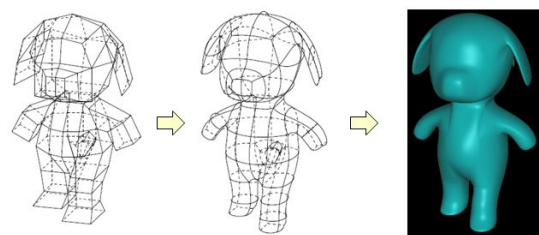


図1 曲面メッシュへの変換

(2) 曲面メッシュは複数の大きさが異なる面によって構成されている。曲面メッシュの位相に制約されることなく, 複数の滑らかな面にまたがった点群を生成するために, 3Dプリンターの造形精度に応じた密度が均一な点群を生成し, 隣り合う点群間に3角形ポリゴン生成手法を新たに開発した。3角形ポリゴン大きさと辺のアスペクト比のばらつきが少ないことが特徴である。図2に入力曲面を示す。また, 比較のため, 図3に一般的なポリゴン分割を示し, 図4に本手法のポリゴン分割を示す。

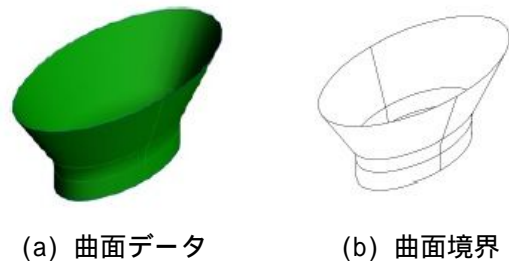


図2 入力曲面

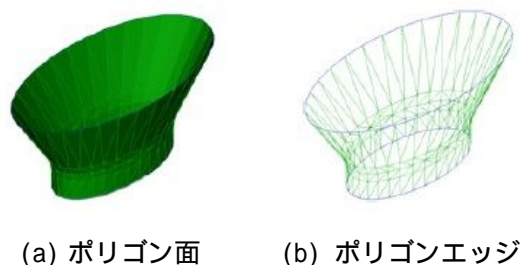
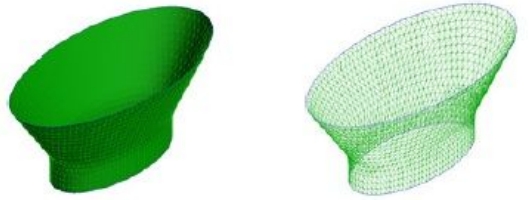


図3 一般的なポリゴン分割



(a) ポリゴン面 (b) ポリゴンエッジ

図4 本手法のポリゴン分割

図3(b)と比較して、図4(b)のポリゴンの大きさが、曲面の大きさに関係なく均一になっていることがわかった。

(3) 本手法を用いて、実際に3Dプリンターで造形を行い、従来手法との比較を行った。従来手法よりも本手法の造形物の表面がきれいことがわかった(図5)。



(a) 一般手法 (b) 本手法

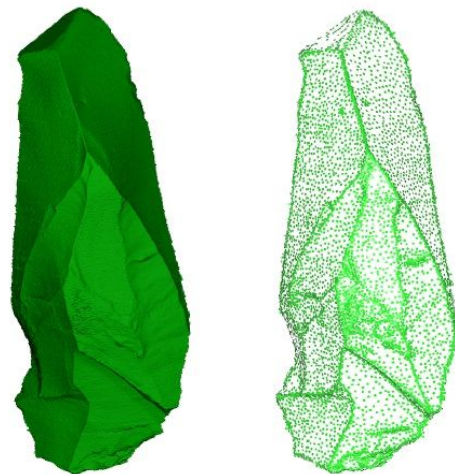
図5 3Dプリンターの出力結果

(4) 3次元測定器で測定した点群は大規模であるため、軽量化することが重要である。そこで、本研究では位置合わせした非整列な点群の形状特徴を保持したままで軽量化する手法を提案した。まず、平均曲率に基づいて点群をクラスタリングし、そして同じクラスター内の点群を軽量化する。図6(a)に元の点群を示し、(b)にクラスタリングした結果を示す。また、図7(a)に元の点群を示し、(b)に軽量化した点群を示す。



(a) 元の点群 (b) クラスタリング

図6 クラスタリングした結果

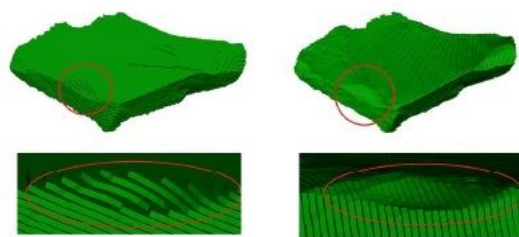


(a) 元の点群 (b) 軽量化した点群

図7 本手法による軽量化の結果

様々なモデルについて本手法を適用した結果、軽量化した点の数は元の点の数の3%~8%と、非常に高い圧縮率が達成できたことがわかった。

(5) 3Dプリンターの造形において、スライス方向が重要である。スライス方向を適切に決定することができれば、形状データを精度よく再現することが可能である。そこで、本研究では、ポリゴンモデルから抽出された稜線形状が、積層モデルで再現できるようにするため、稜線列の方向とスライス方向による、稜線の再現性評価法を提案した。図8のモデルにおいて、元のモデルを全く回転させずに生成した積層モデルと、稜線列をもとに導かれた最適な姿勢で生成した積層モデルを、それぞれ図8(a)と図8(b)に示す。



(a) 回転させない (b) 本手法

図8 実験結果の比較

元々のモデルが持つ稜線形状を再現した積層モデルが生成されることを確認することができた。

<引用文献>

徳山喜政, 今野晃市, 曾根順治, R.P.C. Janaka Rajapakse, 曲線メッシュをベースにした細分割曲面の局所変形, 芸術科学会論文誌, vol.9, no.1, pp. 1-10,

2010.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

X. Yang, K. Matsuyama, K. Konno, Y. Tokuyama: “ A Feature Preserving Simplification of Point Cloud by Using Clustering Approach Based on Mean Curvature ” , The Journal of Art and Science, 査読有, Vol.14, No.4, pp.117-128, 2015.

<http://www.art-science.org/journal/v14n4/index.html>

佐々木舜, 松山克胤, 今野晃市, 徳山喜政: “ 積層法における稜線形状の再現性評価による打製石器モデルの空間姿勢決定法 ” , 芸術科学会論文誌, 査読有, Vol.14, No.3, pp.57-65, 2015 .

<http://www.art-science.org/journal/v14n3/index.html>

[学会発表] (計 4 件)

T. Kinoshita, K. Konno, Y. Tokuyama: “ An Examination of Optimization of Triangulation for Additive Manufacturing ” , IWAIT 2016, CD-ROM, 1月 8-10 日, ペナン(マレーシア), (2017).

木下勉, 今野晃市, 徳山喜政: “ 積層造形法のためのポリゴン分割最適化手法 ” , 芸術科学会, NICOGRAPH 2016 Autumn, CD-ROM, 11月4-6日, 富山大学(富山県)(2016).

X. Yang, K. Matsuyama, K. Konno, Y. Tokuyama: “ A Feature Preserving Simplification of Point Cloud by Using Clustering Approach Based on Mean Curvature ” , NICOGRAPH 2014, pp.9-16, 11月 2-4 日, 愛知工業大学(愛知県), 2014 .

佐々木舜, 松山克胤, 今野晃市, 徳山喜政: “ 積層法における稜線形状の再現性評価による打製石器モデルの空間姿勢決定法の検討 ” , NICOGRAPH 2014, pp.1-8, 11月 2-4 日, 愛知工業大学(愛知県), 2014 .

6 . 研究組織

(1)研究代表者

徳山 喜政 (TOKUYAMA, Yoshimasa)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号 : 50350575

(2)研究分担者

今野 晃市 (Konno, Kouichi)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号 : 90333476