

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21784

研究課題名（和文）ポリゴンデータの位相を保存した可展形状近似

研究課題名（英文）Topology-Preserving Developable Approximation of Mesh Data

研究代表者

山口 泰（Yamaguchi, Yasushi）

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：80210376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では与えられたポリゴンデータの位相を保存したまま可展形状近似することを目指した。つまり入力ポリゴンデータの各要素が一对一に対応するように、パーツを稜線に沿って分割するとともに位相を保存したまま可展形状に変換する。このためには元のポリゴンデータの形式のまま、可展性の判定や近似を行う必要がある。そこで、可展性の評価にあたって頂点周りの角の総和という離散幾何学的な特徴を用いることとした。またパーツを稜線に沿って分割する際には、パーツ数を可能な限り抑えることを目指した。この処理においても、ポリゴンデータ、すなわち離散曲面の特徴量を利用する方法が必要となり、手法の開発・検証を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3Dスキャナの発展に伴い、3次元形状表現としてのポリゴンデータが広く社会に浸透してきている。ポリゴンデータの実体化にあたって、紙や金属板などのシート材を用いる場合には、ポリゴンデータを可展形状として近似することが必要不可欠である。従来の研究では、ポリゴンデータを柱面や錐面などの可展面やストリップと呼ばれる帯型形状からなるパーツによって可展形状としての近似を実現していた。しかし、元のポリゴンデータとは位相構造がまったく異なってしまうため、近似誤差を議論することやパーツ数を制御することが困難になっていた。本研究のアプローチによって、位相を保存したまま可展形状として近似することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to approximate a developable shape preserving the topology of the given polygon data. The polygon data is divided into parts along edges so that each element of the input polygon data corresponds to each element of divided parts, and the parts are converted to a developable shape while preserving the topology of the original polygon data. For this purpose, the discrete geometrical feature of the sum of angles around a vertex is used to evaluate the developability of the part. In addition, we aimed to minimize the number of parts when dividing the parts along the edges. This process also requires the use of polygon data, i.e., features of discrete surfaces, and we developed and verified a method.

研究分野：形状処理，画像処理

キーワード：ポリゴンデータ 可展形状

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィックス技術の発達により、様々な場面で3次元形状をコンピュータで表現・処理する機会が増えている。3次元ポリゴンデータはその表現手法のひとつであり、滑らかな曲面形状も、非常に多くの三角形の集合として近似表現するものである。

一方、コンピュータ上で表現された立体形状を物理的に具現化する方法のひとつとして紙や金属板などのシート材で作成することが考えられる。紙であればペーパークラフトの一種となるし、金属板であれば建築や機械部品としての応用も可能である。しかし、ポリゴンデータで表現された様々な形状をシート材で実現するための問題として、表現できる形状が対象となる立体形状の可展性に依存することが挙げられる。特に紙の場合には伸縮しないという性質から、可展性の制約は非常に強いものとなる。

立体形状をシート材で再現するためには、対象となる立体形状を一平面に展開した展開図が必要である。この展開図を得るために、様々な手法が提案されているが、一般的に多く採られる手法は、ポリゴンデータを小領域のパーツに分割し、それぞれの分割したパーツを可展形状に近似する、というものである。その際、対象となる立体形状を高精度に近似しつつも、組み立てやすさの観点からパーツ数が少ないことが望ましい。しかし、従来手法では可展性の制約を満たすために、柱面や錐面などの可展面やストリップと呼ばれる帯型形状がパーツ形状として用いられていた。結果としてパーツの位相が元のポリゴンデータとはまったく異なってしまい近似精度の評価やパーツ数の制御が困難になっていた。

2. 研究の目的

本研究では近似の精度を維持しながら、チャート数を削減することを最終的な目的として、パーツの分割や可展形状への近似を行う。その際に、与えられたポリゴンデータの位相を保存して入力形状と近似形状の各要素を一対一に対応することで、精度の評価やパーツ数の制御を可能とする。そこで入力されたポリゴンデータの稜線に沿ってパーツを分割するとともに、位相を保存したまま可展形状に変換することを目指した。そのためには、元のポリゴンデータの形式のまま、可展性の判定や近似を行う必要がある。そこで、可展性の評価にあたって頂点周りの角の総和という離散幾何学的な特徴を用いることとした。また分割するパーツ数を可能な限り抑えるためにも、離散幾何学的な特徴を利用する方法が必要となる。

3. 研究の方法

研究の目的にも書いたように、本研究では可展性の評価にあたってポリゴンデータの離散幾何学的な特徴を用いる。この制約はメッシュ上の頂点 v_i について、その周りで隣り合う2辺のなす角を $\theta_{i,k}$ とした場合に可展となる頂点が次式を満たすというものである(図1)。

$$2\pi - \sum_{k=1}^{m_i} \theta_{i,k} = 0$$

なお、ここで m_i は頂点 v_i 周りの角の総数を表す。この角度による可展制約は折り目を許容するため、パーツは折り目を含んだ離散曲面となる。さらに、この角度による可展制約はパーツの可展化にも利用可能である。

提案手法はポリゴンデータの分割と可展化の大きく2つの処理から成る。分割は可展制約を大まかに満たすようにパーツに分割する処理で、可展化は分割されたパーツが正確に可展制約を満たすようにパーツを変形する処理である。提案手法の流れを図2に示す。

まず、ポリゴンデータの初期分割を行なう(図2(a))。角度の可展制約に基づいて、最も可展性の高い頂点を起点として、可能な限りパーツを拡大する。残された頂点に同様の操作を繰り返し適用することで、入力形状は複数のパーツに分割される。

次にパーツの淘汰を行なう(図2(b))。初期分割では評価関数の閾値によって、各パーツの拡

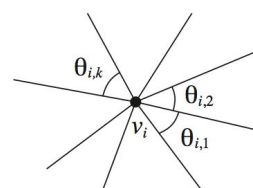


図1 可展制約

大を停止する判定を行なう．作成されるパーツ数は結果的に定まるため初期分割の後にユーザが指定した数になるまでパーツを減らす．その際に各パーツができるだけ均等な大きさになるようにする．

パーツの淘汰後，パーツの可展化を施す（図 2 (c)）．ここでは形状全体を可展形状の集合に変形する．そのためにパーツ境界上にある頂点（以下，境界頂点）を除いたパーツ内部にある頂点（以下，内部頂点）が角度による可展制約を満たすように形状全体の頂点座標を調整する．境界頂点には可展性の制約を与えず，内部頂点と一緒に移動することで，パーツ間の接続を維持しつつ形状全体が可展化される．

可展化されたパーツに切れ目の閉鎖処理を行なう（図 2 (d)）．パーツ分割時に作成された切れ目のうち，閉鎖した際の可展性への影響が小さいものを閉じる．切れ目の効果を適切に評価することで，本当に必要な切れ目が残される．さらに切れ目の閉鎖処理によって可展性を失ったメッシュを再度可展化し（図 2 (e)），最後に各チャートを展開することで最終的な展開図を得る（図 2 (f)）．

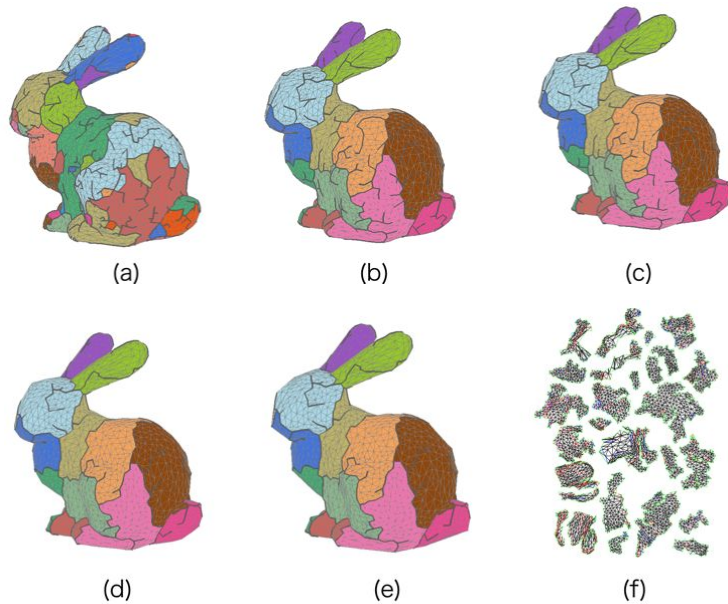


図 2 提案手法の流れ

4．研究成果

提案手法によって与えられたポリゴンデータの位相を保存したまま形状を可展近似すること，また同時にパーツ数を制御することが可能となった．図 3 は同じ形状に対して，異なるパーツ数を指定した結果であり，それぞれのパーツ数は (a) は 5 ,(b) は 10 ,(c) は 20 である．図から見てとれるように，パーツ数の多い方が高い精度で近似できていることがわかる．

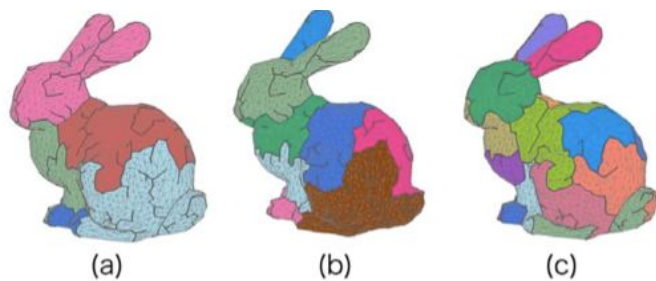


図 3 パーツ数の効果

また，本手法では機械形状のように平面や円柱面などを多く含む形状に対しても有効である．図 4 は Fan Disk と呼ばれる形状に対して開発した手法を適用した結果である．結果から見て取れるようにシャープなエッジ部分にパーツの切れ目や折れ目が入ることで，5 つというパーツ数ながらかなり精度良く近似できていることがわかる．

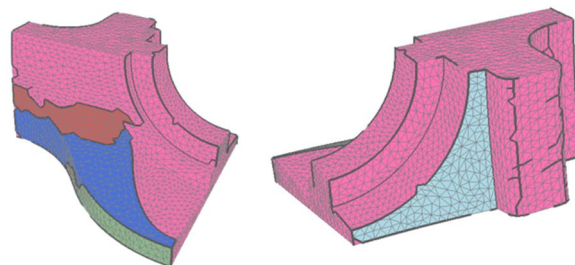


図 4 機械部品への適用例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Adachi Akito, Tachi Tomohiro, Yasushi Yamaguchi	4. 巻 26
2. 論文標題 Cylindrical Dual Tiling Origami	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal for Geometry and Graphics	6. 最初と最後の頁 185-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Zhou Mengyuan, Yamaguchi Yasushi	4. 巻 -
2. 論文標題 An Interactive Tuning Method for Generator Networks Trained by GAN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of Smart Tools and Apps in Graphics	6. 最初と最後の頁 151-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2312/STAG.20221269	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shi Rui, Li Tianxing, Yamaguchi Yasushi	4. 巻 124
2. 論文標題 Output-targeted baseline for neuron attribution calculation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Image and Vision Computing	6. 最初と最後の頁 104516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.imavis.2022.104516	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Sripian Peeraya, Ijiri Takashi, Yamaguchi Yasushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Binoculars' Illusion - Linear Perspective Perception in Binoculars on Ground	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 13th Asian Forum on Graphic Science	6. 最初と最後の頁 34-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yatagawa Tatsuya, Yamaguchi Yasushi, Morishima Shigeo	4. 巻 36
2. 論文標題 LinSS: linear decomposition of heterogeneous subsurface scattering for real-time screen-space rendering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Visual Computer	6. 最初と最後の頁 1979-1992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00371-020-01915-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shi Rui, Li Tianxing, Yamaguchi Yasushi	4. 巻 129
2. 論文標題 Group visualization of class-discriminative features	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 75-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2020.05.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Akito Adachi, Tomohiro Tachi, Yasushi Yamaguchi
2. 発表標題 Cylindrical Dual Tiling Origami
3. 学会等名 SIAM Conference on Geometric and Physical Modeling (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 SHI Rui, LI Tianxing, YAMAGUCHI Yasushi
2. 発表標題 Class-Discriminative Feature Group and its Visualization
3. 学会等名 Visual Computing 2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------