

境界線を入力とした可展面パッチ集合による形状設計

大垣 雅人[†] 金森 由博[‡] 三谷 純[‡]筑波大学情報学群情報科学類[†] 筑波大学システム情報系[‡]

1 はじめに

紙に代表される、伸縮しない素材で作る立体は可展面パッチの集合で構成されている必要があり、可展面でない曲面を持つ立体を元に設計する場合は可展面に近似する必要がある。

1枚のパッチを定義する要素は以下の2つである。

- 可展面の形状を定義する測地線
- パッチ間の境界を定義する境界線

図1で示すように、この2つの曲線はそれぞれ3次元曲線である。



図 1: 可展面を定義する曲線。パッチ中央を通過する実線が測地線、パッチの輪郭を通過する破線が境界線。

Rose らの手法[1]では、求める立体の形状特徴を表す立体表面上の曲線のネットワークを入力し、その間を補間するように、三角形メッシュで近似表現された可展面パッチが自動で配置される。出力された立体全体の形状は入力に近いものを得ることができるが、パッチ1枚ごとの測地線の形状や輪郭といった、ユーザの意図が反映されにくい。一方、細田らの手法[2]では、測地線のみを対話的に配置することで、ユーザの意図を反映した出力を得ることができるが、パッチ間の境界は2枚のパッチの交線から得られるため、意図した境界を得るように手動でパッチを編集するのは困難という問題がある。本研究では、一部のパッチの測地線を対話的に入力し、その形状を残りのパッチを自動生成する際に利用することで、パッチ1枚ごとの形状にユーザの意図を反映できるようにした。また、パッチを配置

Design of developable surfaces based on the patch boundaries

Masato OGAKI[†], Yoshihiro KANAMORI[‡] and Jun MITANI[‡]

[†]College of Information Sciences, University of Tsukuba

[‡]Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

する前に境界線を入力することで、細田らの手法で困難であった、パッチ間の境界の設計を容易にすることを実現した。測地線と境界線の入力は、細田らの手法と同様に既存の3Dモデルを参照することで入力の支援を行い、参照モデルを可展面パッチの集合で近似表現する。

2 提案手法

提案手法の概要を説明する前に、本研究で新しい概念として提案する、「境界壁」について説明する。

2.1 境界壁について

境界壁は、ユーザが入力した境界線を参照モデルの外側に向けて掃引して生成される曲面である。提案手法では、境界線と可展面の測地線は独立して入力するため、境界線が可展面上に乗るように配置できない場合がある。そこで、境界線を掃引した曲面(境界壁)を生成し、これを用いて可展面をトリムする。境界壁の具体的な生成方法については後述する。

2.2 提案手法の概要

提案手法による形状設計は大まかに分けて4つのステップからなる(図2)。

Step 1

まず、ユーザは参照モデルを見ながら、全てのパッチの境界線を入力する(図2(a))。参照モデル上をマウスでクリックすることで制御点を入力し、パラメトリック曲線を生成することで境界線とする。ここでは、制御点上を曲線が通過するCatmull-Rom スプライン曲線[3]を用いた。境界線の両端の制御点は他の境界線の端の制御点と共有する。その後、境界線の集合から曲線のネットワークを定義することで、パッチの構造と境界を定義する。全ての切開線を入力後、システムは境界壁を生成する(図2(b))。

Step 2

次に、ユーザは適当な可展面パッチを1つ選び、測地線を入力することで可展面パッチを配置する(図2(c))。入力方法は細田らの手法[2]によるものと同様の方法であるが、測地線を4次B-スプライン曲線に変更することで、より複雑な形状の表現が可能になった。

Step 3

配置された可展面に対して、Step 1で生成した境界壁との交線でトリムを行う(図2(d))。この処理で得られるパッチの境界線を、Step 1で入力し

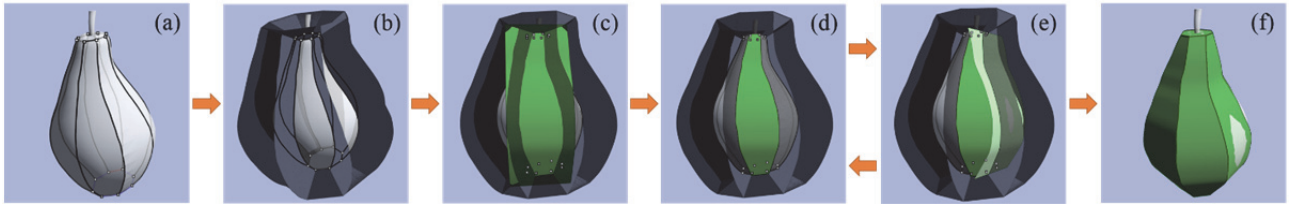


図 2: 提案手法による立体形状設計の流れ。(a) 参照モデルを元にパッチの境界線をユーザが入力する。(b) 入力された境界線より、システムによって境界壁が自動生成される。(c) 測地線の制御点をユーザが入力し、可展面パッチを生成する。(d) 可展面パッチを境界壁との交線(実境界線)によってトリムする。(e) 実境界線の一部を掃引することによって、隣接する可展面パッチを自動生成する。(f) パッチの自動生成とトリム処理の繰り返しによって、出力されたモデル。

た境界線と区別するため、「実境界線」と呼ぶ。

Step 4

続けて Step 2 と同様に可展面パッチを手動で配置すると、隣接するパッチの境界が一致しない問題が発生するため、提案手法では Step 3 でトリムされたパッチの実境界線を掃引することで、隣接するパッチを生成する(図 2(e))。

Step 4 を行った後は Step 3 に戻ってトリム処理を行い、そのパッチから Step 4 で新たなパッチを生成することを繰り返す。

2.3 境界壁の生成方法

境界壁は境界線を掃引して生成されるが、パッチをトリムした際の実境界線による輪郭をユーザが定義した境界線による輪郭に近づけるためには、適切な方向に境界線を掃引する必要がある。そのため、隣接するパッチの形状を考慮して境界壁の生成を行う。

境界壁の生成は以下の 2 つの手順で行う。

1. 掃引によって境界線の交点から移動する点を求める
2. 1. で求めた点群の間を曲線で補間する
ここでは 1. で求める点を、「掃引後の交点」と呼ぶ。境界線のある交点 v に対応する掃引後の交点 v_s は以下の式で求める。 n_p は 1 つのパッチの大まかな向きを表し、交点 v に隣接するパッチの大まかな向きの平均が掃引する方向となる。

$$v_s = v + k \frac{\sum_{p \in p_v} n_p}{\|\sum_{p \in p_v} n_p\|}, n_p = \frac{\sum_{n \in N_p} n}{\|\sum_{n \in N_p} n\|}$$

ここで p_v は交点 v が含まれる境界線に隣接するパッチの集合、 N_p はパッチ p の周囲の境界線が通過する座標に最も近い、リファレンスモデルのメッシュの法線ベクトルの集合である。 k は境界壁の長さを指定する係数である。次に、掃引後の交点群の間を曲線で補間する。曲線には境界線の形状を、境界線の両端の交点間の距離とその 2 点に対応する掃引後の交点 2 点の間の距離との比に応じて拡大縮小したものを用いる。

3 結果

図 2(f) は 2.2 節で示した手順に沿って洋ナシのモデルを参照して立体を設計した結果である。洋ナシの側面に当たる部分は Step 3 と Step 4 の繰り返しで設計したが、底面に関しては手動で制御点を配置してパッチを生成してからその他のパッチとの交線でトリム処理を行った。2.1 節で述べたように、境界線は必ずしも可展面パッチ上には乗らないため、可展面パッチは参照モデルの外側に配置されることになり、出力されたモデルはユーザが入力した境界線による形状よりもやや大きくなる。また、パッチ形状によっては参照モデルが外にはみ出るような箇所も生じる。

4 まとめと今後の課題

本研究では、境界線と一部のパッチの測地線を入力することで、ユーザの意図を反映した可展面パッチの集合が得られることを示した。結果で示したように、提案手法では、1 枚の可展面パッチに隣接する可展面パッチしか生成することはできず、複数のパッチと境界を共有するようなパッチを自動で生成することはできない。このため、穴のない立体を作るためには最低でも 1 枚のパッチは複数のパッチと交わるように手動で配置し、境界壁ではなく、パッチ同士の交線によるトリムを行う必要がある。今後の課題としては、最初にユーザが入力する境界線を、全て可展面パッチ上に乗るようにシステムが変形することが挙げられる。

参考文献

- [1] Rose, Kenneth, et al., "Developable surfaces from arbitrary sketched boundaries." Proc. of 5th Eurographics Symposium on Geometry Processing (SGP'07), 163-172, 2007.
- [2] 細田翔, 三谷純, 金森由博. "可展面間の交差に基づくトリム処理を組み入れた対話的紙模型用形状構築システム", 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, 1, 77-79, 2015.
- [3] Twigg, Christopher. "Catmull-Rom splines." Computer 41, 6, 4-6, 2003.