

Harry: ペーパークラフトからの3次元モデル生成

三浦 元喜* 山本 将史†

概要. 一般に、3Dのモデリングを行うためにはマウスやキーボードを駆使した操作が求められるため敷居が高い。そこで我々はペーパークラフト（紙工作）から3Dモデルを手軽に構築する手法 Harry を提案する。体験者がペーパークラフトを作成する際、紙から形状を切り取る前に、形状の輪郭線をデジタルペンで入力する。その後、紙を組み合わせた時や接着した箇所をペンでなぞることによって、形状同士の接続点や折れ線を計算機に入力する。入力された輪郭線や接続点を考慮した物理演算を行うことにより、3次元形状を構築する。システムを構築し、ラフな3Dモデルが手軽に作成できることを確認した。

1 はじめに

多くの人にとって、紙は最も身近で扱いやすい記録・表現媒体である。装飾や加工が容易であることから、幼児期から塗り絵や折り紙、切り紙や工作等の立体物を含む創作活動に用いられることが多い。また、紙での創作活動を拡張するための計算機支援研究やシステムも提案されている。例えば colAR App[2] は塗り絵をタブレットのカメラで取り込むと、3Dのコンピュータグラフィックスに変換して、アニメーション表示するアプリケーションである。また三谷は2次元バーコードが両面に印刷された紙を用いた、紙の折り畳み構造を推定・認識する手法を構築している [3]。

一般に、3DCGを製作するためのモデリングソフトやCADシステムは高機能である反面、操作が複雑であるため、マウスやキーボードを駆使した操作が必要である。このため、PC操作に慣れていないユーザにとって、3Dのモデルを自在に作成することは困難である。我々はより多くの人々が3DCG製作に関わりをもてるようにするために、紙工作を作成する過程においてデジタルペンによる筆記情報を追加することで、3Dモデルを生成する手法 Harry を提案する。

2 提案手法 Harry

我々が提案する3Dモデリング手法 Harry は、ペーパークラフトを実際に作成する過程において、紙のパーツの輪郭やパーツの接続点をデジタルペンによって指定することにより、パーツの空間的な関係を記述し、3Dモデルを生成するものである。すなわち、紙に対して閉曲線を記述すれば、計算機上には同じような形をした閉曲面を出力し、紙の上の任意の二点を指定すれば、計算機上ではその2点をつ

ないだ立体モデルを出力する。このように、デジタルペンをペーパーカッターやステープラに見立てた操作を行うと、計算機上に紙を模した平面あるいは曲面のポリゴンモデルを出力する。平面または曲面の形状は、現実世界の紙の挙動を模した物理演算によって推定する。コンピュータ上へ出力する面は、紙のような、曲げに対しての抵抗（ハリ）がある材質を想定している。そのため、平面上の2点をつなぐといった操作のみで、立体的なモデルを生成することができる。図1に、提案手法の概略図を示す。

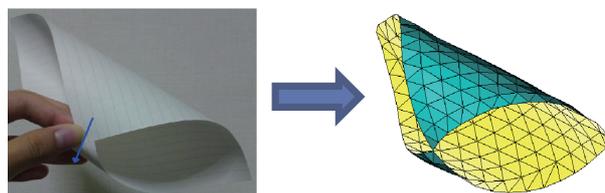


図1. 提案手法の概略：デジタルペンで紙の切り取り形状と接続点を指定すると、対応する3Dモデルを生成

2.1 作成手順

モデル作成者は、最初にアノト方式のデジタルペンで紙にパーツの輪郭を自由な閉曲線で記入する。すると図2左に示すような平面モデルが画面に表示される。次にモデル作成者がペンで紙上の2点をタップ操作で指定するか、紙を重ねた状態で接続部分をなぞる操作（スキャン）を行うと、図2右に示すように指定部分を接続した3Dモデルが画面に表示される。なお画面の平面モデルに対してマウスで接続点を追加したり、削除することも可能である。

2.2 提案手法の利点と欠点

紙に対してペンで記述するという作業は単純であり、かつ3Dモデリングに関する複雑な知識を必要としない。そのため、コンピュータに不慣れな人も

Copyright is held by the author(s).

* 九州工業大学 基礎科学研究系

† 九州工業大学 工学府 先端機能システム工学専攻

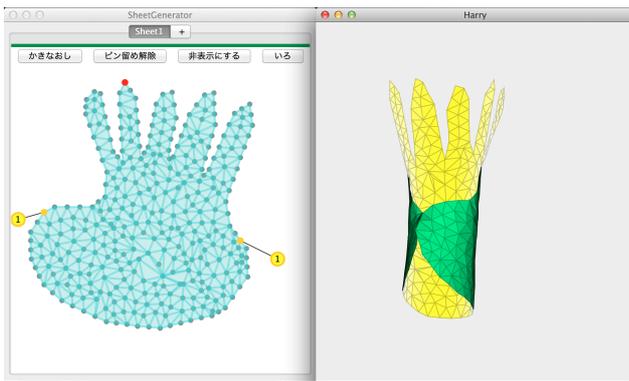


図 2. 平面モデル (左) と、立体モデル (右)

含めた多くの人が馴染みのある容易な作業であると思われる。このことから、この手法では幅広いユーザが、比較的容易にモデルを制作できるものと思われる。

また紙とペンを使用することによる利点もある。ペンデバイスは、マウスと比べると人間が正確に操作することができるものである。このことから、閉曲面の形状を指定する操作において、ユーザはより正確に、不快感なくイメージした形状を表現できると考えられる。特に、複雑な凹凸を持つような閉曲面の形状を入力する際に、デジタルペンはマウスよりも容易に入力が行えるという利点がある。記述対象が紙であり、破棄・交換が容易に可能であるため、実際に曲げる・折るといった試行錯誤が容易に行えると言った長所もある。さらに、紙という実物体を操作する感覚を伴うため、タンジブルかつ直感的なメディアという優位性もある。

その反面、提案手法では、折り方の詳細（山折り、谷折り）や曲率の設定といった、複雑な立体形状を制作するには不向きである。おおまかな形状を作成する段階では紙とペンを用い、細かな調整についてはマウスを用い、画面の変化を観察しながら操作する方法が適切であると考えている。

3 関連研究

三谷 [3] は、折りたたまれた紙を撮影したデジタル画像から折りたたみ構造を認識し、計算機内にモデル化する手法を提案している。2次元バーコードを表裏に格子状に複数印刷した紙を用い、折る操作を行うたびに撮影することによって、紙の構造を認識している。紙の状態を逐次記録し、3Dモデル構成のための入力に用いるという点は類似性がある。ただし我々の手法は紙が重力で折れ曲がるといった、曲面を含むような形状についても構成できるという点が異なる。

五十嵐らの Teddy[1] は、初心者でも容易に 3Dモデルを作成することができる手軽な 3Dモデリン

グツールである。画面に対して輪郭形状を描くことで、計算機が適切な 3Dモデルを推測し出力する。3Dモデルの出力はリアルタイムに行われ、視点の変更や、追記を行うことができ、対話的にモデリングが行えるツールとなっている。提案手法は実在する「紙」に触れ、操作しながらモデリングを行えるという点が異なる。

入力デバイスを改良することによって、直感的なモデリングを可能にする研究として、脇田らが提案した pSurface[4] を挙げることができる。pSurfaceは、自由曲面のモデリングを行うことができる布製デバイスである。実際に手で変形させることで、その形状を入力することができる。また、マウス操作等によってモデルに行った修正を、実物体上にフィードバックすることもできる。pSurfaceも実体の操作により 3Dモデルを操作することができる点は類似性があるが、センサやアクチュエータの制約により、作成可能な形状は本提案手法に比べると限定される。

4 まとめと今後の課題

紙の特性とデジタルペンを利用した 3Dモデリング手法を提案した。紙とペンという慣れ親しんだ要素を用いることにより、これまでよりも幅広い方々に 3Dモデリング環境を提供する基盤を提供できるシステムを構築し、ラフな 3Dモデルが手軽に作成できることを確認した。本研究で述べた内容は、紙とペンの特性を利用した簡便な入力手法の 1つの適用例であるが、汎用性が高いため他の創作支援や学習支援にも適用可能であると考えている。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費（課題番号 23680078）の支援によるものです。

参考文献

- [1] T. Igarashi, S. Matsuoka, and H. Tanaka. Teddy: a sketching interface for 3D freeform design. In *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '99)*, pp. 409–416, New York, NY, USA, 1999. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [2] Puteko Limited. colAR App. <http://colarapp.com/> (2013 年 10 月 18 日確認).
- [3] 三谷 純. 2次元バーコードを用いた紙の折りたたみ構造の認識とそのモデル化. 情報処理学会論文誌, 48(8):2859–2867, Aug. 2007.
- [4] 脇田 玲, 上野 道彦, 中野 亜希人. pSurface: 自由曲面モデリングとアニメーションのための布製入力デバイス. 情報処理学会 インタラクシオン 2011, Feb. 2011.