

3D データを使用した入力線画に基づくワイヤーアート製作支援 Support for the Production of Wire Art Based on Input Line Drawing Using 3D Data

大谷 優志[†] 倉田 沙織[†] 東海林 健二[†] 森 博志[†] 外山 史[†]
Yushi Otani Saori Kurata Kenji Shouji Hiroshi Mori Fubito Toyama

1. はじめに

ワイヤーアートは手芸や美術工芸分野における一つの技法であり、針金を用いてイラストや物を表現する。近年では部屋の装飾品として市販されているものも多く、インテリアとしての需要が高い。ワイヤーアートには大きく分けて平面（2次元）のものと、立体（3次元）のものがある。平面のワイヤーアートは完成イメージとなる下絵を紙に描き、その上で下絵に沿ってワイヤーを折り曲げて作成することが基本である。しかし立体のワイヤーアートの場合は形状が複雑になるほど下絵を描くことは困難になり、完成イメージを持つことも難しい。よって下絵が描きやすいということから初心者はまず平面のものから作り始めることが多い。

ワイヤーアートについての関連研究として、2つの平面上の線画を与えて、その平面に射影した際に、入力した2つの線画に一致するワイヤーアートの形状を自動的に構成する研究[1]がある。これは異なる視点から見た場合、違った形に見える作品に焦点を当てたものであり、ワイヤーアート製作を補助するものではない。

本研究では立体のワイヤーアートに焦点を絞り、ワイヤーアート製作の経験がない初心者でも立体ワイヤーアート製作が可能になる支援システムを提案する。製作したいモデルとなる物体を3Dデータ（参照物体）として入力し、平面上（ディスプレイ）に表示した参照物体上で、それを参考にユーザが線を入力する。これにより、イメージし辛かった全体像を確認しつつデザインすることが可能となる。ワイヤーとして表現は入力線を3次元化することで行う。そして描いた3次元入力線が稜線となるような多面体モデルとして3次元形状を生成し、参照物体形状との比較を可能とする。これにより、ワイヤーアート製作の初心者でも加筆・修正の判断が可能になると考える。

2. システムの流れ

ユーザが線を入力し、ワイヤーアートを生成するまでの流れを図1のフローチャートで示す。参照物体は iSense 等の3D スキャナを用いて、ユーザがワイヤーアートとして作成したい物体の stl ファイルを取得する。そして取得したデータをディスプレイ上に表示し、その上で視点を変えながら線を入力する。線の入力はディスプレイ上でマウスのドラッグによる入力とする。平面上で線を入力し物体表面位置検出とその座標による入力線の3次元化は自動で行うものとした。線を入力した後、その入力線に基づく3次元形状を生成することで、形状から参照物体との比較が可能になる。比較後、加筆や修正を行うことで、細部まで表現可能になると考えられる。

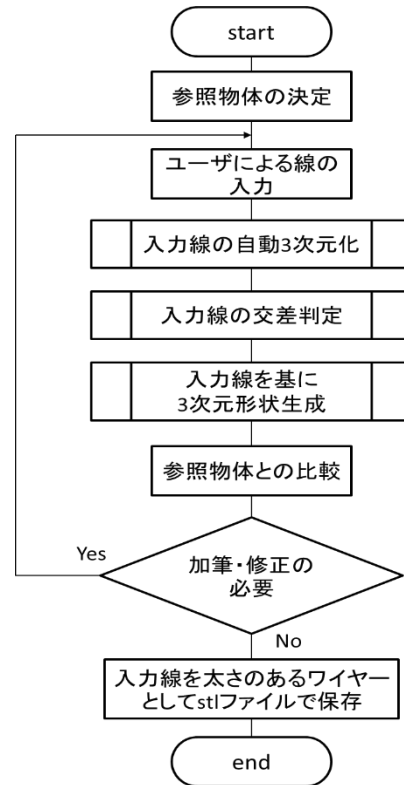


図1 完成までのフローチャート

3. 入力線の3次元化

ユーザによる線の入力はディスプレイ上にて行う。ディスプレイには作成するワイヤーアートの参照物体を表示させその上でマウスをドラッグして線を描く。図2の左図が実際の入力例である。ユーザからすると平面上に2次元の線を描いているように見えるが、右図のように視点変換を行うと、参照物体表面上の位置を検知して入力線が3次元化されていることが確認できる。ここでマウスの移動した軌跡に沿って3次元座標列を格納している。

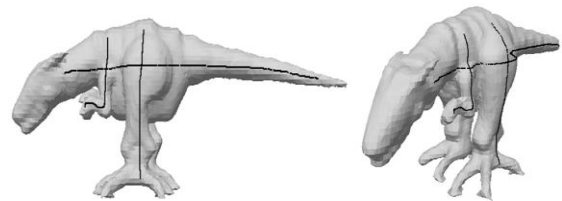


図2 入力線の3次元化

[†] 宇都宮大学大学院工学研究科

入力線をワイヤーアートに対応させた 3 次元化曲線に変換するにあたり、注意しなければならないのが立体ワイヤーアートの制約である。立体のワイヤーアートにおいては、形状を維持するということから、以下の制約がある。

- 1.他のどのワイヤーとも接さない独立したワイヤーがないこと。(独立していると形状が維持できない)
- 2.設置型のワイヤーアートではバランスが保たなければならない。

3.1 入力線の交差判定

立体ワイヤーアートにおける制約のうち、独立したワイヤーが無いことを満たすため入力線の交差判定を行う。本研究では交差判定を行う対象の線が 3 次元空間上の線分であるため、線分を構成する点によっては、ずれが生まれ交点が無い場合が考えられる。そこで図 3 に示すように 2 つの線 (AB, CD) における線上最近点 (p1, p2) を求め、この p1 と p2 の距離を誤差とする。そしてこの誤差が許容範囲内であれば交差していると判定することにした。これを全ての入力線に対して行い独立した線の有無を調べる。

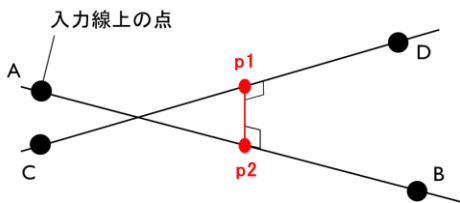


図 3 交差判定法

この方法を用いて実際に判定した結果を図 4 に示す。図 4 について、黒線は他の線と 1 カ所以上交差している線、赤線は他のどの線とも交差していない線を表している。

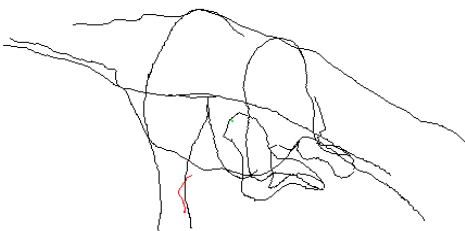


図 4 交差判定結果

4. 入力線に基づく 3 次元形状の生成

本研究ではワイヤーアート製作の初心者を対象としており、初心者はどのようにワイヤーを構成すればよいか分からないものである。そこで入力した線画に対して、それに基づく 3 次元形状を生成し、参照物体形状との比較から加筆や修正の判断が可能となるようにする。本研究では 3D スキャナ等で取得した参照物体 (stl ファイル) を使用している。よって入力した線画から、その線画情報 (線を構成している連続する座標情報) を基にした 3 次元形状を生成することで、面のある物体として参照物体と比較することが可能となる。

4.1 ドロネー四面体分割による形状生成

入力線に基づく 3 次元形状を生成するというので、3 次元形状を構成する頂点情報は入力線上の点となる。ディスプレイ上でマウスをドラッグすることで、マウスが移動した軌跡に沿って多数の点が取得される。その点集合の中から一定間隔で点を選び出し、それらをサンプリング点とする。そして取得したサンプリング点に対してドロネー四面体分割を行う。ドロネー四面体分割は空間に入力された点群について、その点群を頂点とする四面体で空間を分割する手法である。分割後生成された四面体の面を描画することでサンプリング点を頂点とする 3 次元形状が生成される。

4.1.1 凹物体に対応したドロネー四面体分割法[2]

ドロネー四面体分割は空間を四面体で埋めるので、ドロネー四面体分割で生成される形状は凸物体に限定され、凹部を生成することはできない。これについて示したものが図 5 である。ここでは説明を簡易化するため 2 次元で表現するが実際は 3 次元である。図 5 よりドロネー四面体分割後である右図を見ると、凹部にも分割による四面体が生成されており、凹部が埋まってしまっていることが分かる。

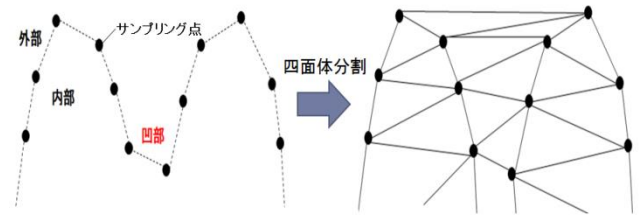


図 5 ドロネー四面体分割結果

この課題に対して、凹部生成を可能にする四面体分割法が提案されている。まず形状生成に使用する点群 (表面上の点) の各点に対し図 6 に示すようなコピー点を内部側に取得する。この時、元の点群とそれに対応するコピー点の両方を用いてドロネー四面体分割を行うと分割後の四面体は以下の 3 つに分類できる。これについて示したものが図 7 である。以下に示す番号と図 7 中の番号は対応している。

- 1.表面上の点のみで構成される四面体
- 2.表面上の点とコピー点で構成される四面体
- 3.コピー点のみで構成される四面体

ここから 1 番の四面体を削除することで、図 8 のように凹部は生成される。

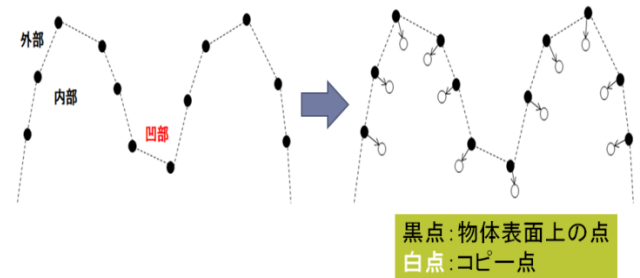


図 6 コピー点の取得

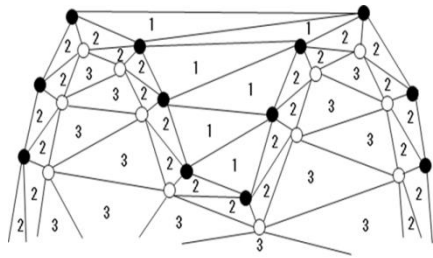


図 7 コピー点を含めた四面体分割結果

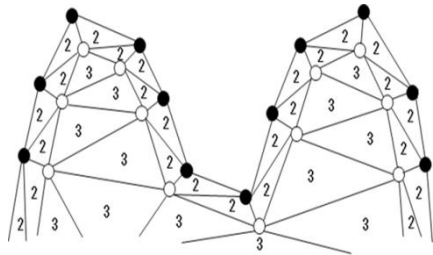


図 8 1 番の四面体を削除した結果

ここで従来手法では、1 の四面体のみを削除して 2, 3 番の四面体で形状生成していたが、3 番の四面体は 2 番の四面体に覆われているので、3 番の四面体だけでも形状生成可能である。また本研究では、図 6, 図 7 での表面上の点に対応するものがユーザによる入力線上の点であることから、サンプリング点は不規則に取られ、入力線の数によってはサンプリング点が少ない可能性もある。この場合、例えば図 9 に示すようなサンプリング点が取得されると、従来の 2, 3 番の四面体による形状生成法では 2 番の四面体が凹部を埋めてしまっていることが分かる。このような場合は 2 番も削除し 3 番だけを表示することで図 10 のように凹部の生成が可能となる。よって本研究では 3 番の四面体のみを表示する方法をとる。

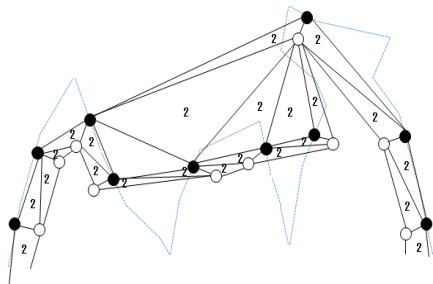


図 9 従来の生成法での失敗例

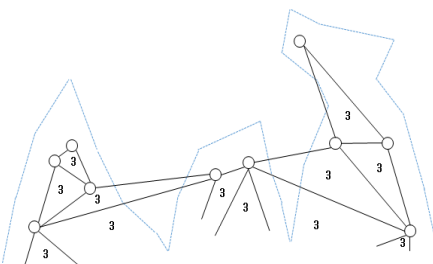


図 10 3 番の四面体のみでの形状生成結果

4.1.2 コピー点の取得方法

本研究でのコピー点は参照物体として用意した stl ファイルの三角パッチデータを利用する。入力線は参照物体表面上に描かれるので、線上のサンプリング点もまた、参照物体の表面に取得される。よって参照物体を構成する三角メッシュの三角形を利用する。図 11 と図 12 に示すように、ある入力点（サンプリング点）の最近点が含まれる三角形全ての法線ベクトルの平均を求め、そのベクトル分内部側にコピー点を取る。

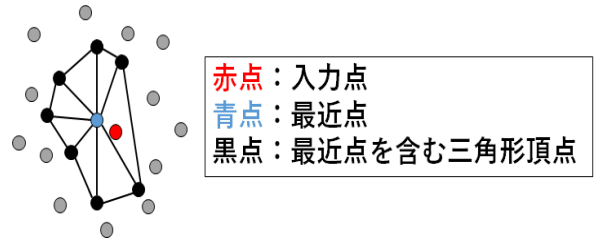


図 11 最近点を含む三角形の抽出

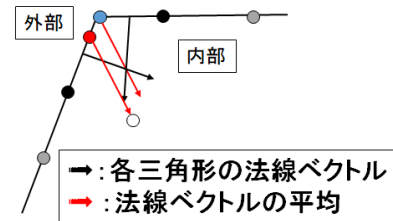


図 12 平均法線ベクトルによるコピー点の取得

4.1.3 サンプリング点の調整による形状生成

前節までで記述した手法だけでは、生成結果が入力線の数に大きく影響される。線が不足しすぎていると全体の大まかな形状が生成されず、ユーザがその結果からどのように線を追加すればよいかの判断が困難なものとなる。そこで入力線の数に関係なく、大まかな形状は常に生成されるように線の入力前に予めサンプリング点を参照物体の表面全体に一定間隔で取得しておく。これにより入力線があまりに少ない状況でも全体の形状は崩れない。そこから線が入力されていくと、追加された線上のサンプリング点付近にある予め取得していたサンプリング点を消去する。このようにバランスを取ることで、入力線が少ない部分でも大まかな形状は生成され、一方入力線が十分に描かれている部分はその線の特徴を表した形状が生成される。線の入力例を図 13, 図 15 に示し、その生成結果を図 14, 図 16 に示す。図 15 は図 13 からさらに腕と胴体部分に線を加えたものである。

4.2 参照物体との比較

入力線を基に生成した 3 次元形状と参照物体との比較を行うことで、線の追加等の判断を行う。参照物体と生成した 3 次元形状は別ウィンドウに描画して、片方のウィンドウで視点変換や拡大を行うと、もう一方のウィンドウでも連動して同じ処理が行われるようにした。

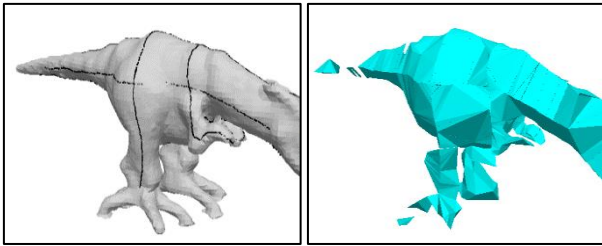


図 13 入力例 1

図 14 生成結果 1

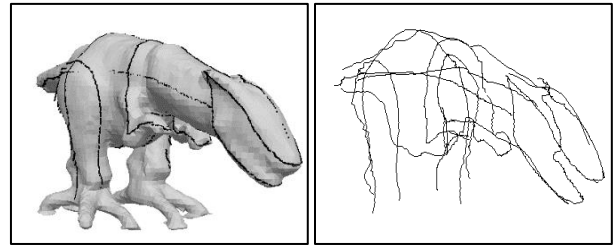


図 18 線の入力例 3

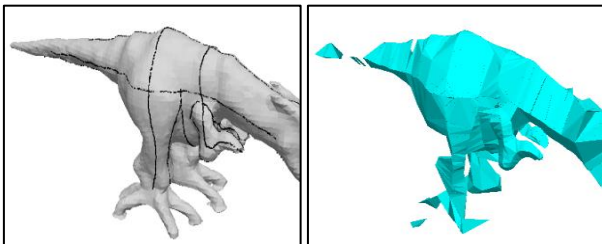


図 15 入力例 2

図 16 生成結果 2

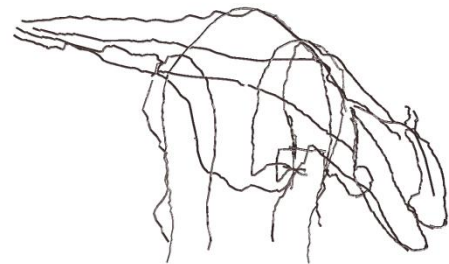


図 19 ワイヤーの stl ファイル出力例

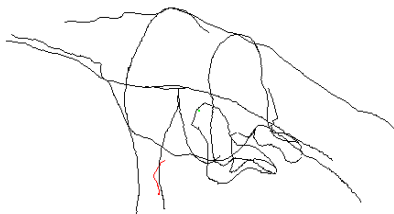


図 17 入力例 2 を線のみで表示

図 14 の生成結果 1 では参照物体と比較して右腕部分の生成が胴体の凹部も含めて上手く生成されていない。これは線の不足を表している。この結果から線を追加したものが図 15 の入力例 2 と図 16 の生成結果 2 である。図 16 の生成結果 2 より胴体部分の形状がより詳細に出ていることや、腕の太さが表現されていることが分かる。以上から、入力線によって生成形状に違いが生じ、線の数を増やすことで参照物体に近い形状が出力されることが確認できた。また図 17 は入力例 2 を線のみで表示したもので、腕の厚みや胴体の丸みといった特徴が出ていることが確認できる。

5. ワイヤーアートの 3D データ生成 (stl ファイル)

最後に 3 次元化された入力線から太さのあるワイヤーとして stl ファイルを生成する。stl ファイルとして出力することで、ユーザがデザインしたワイヤーアートを、3D プリンタを使用して生成することが可能になると考えられる。図 18 と図 19 に入力線から実際にワイヤーの 3D データ (stl ファイル) を生成した例を示す。図 19 より、stl ファイル出力可能であることが確認できた。

6. おわりに

本研究では製作が難しいとされている立体ワイヤーアートに焦点を当て、初心者でも立体ワイヤーアートの製作支援ができるシステムを提案した。近年 3D プリンタが登場したため、それを利用したワイヤーアート自動生成も考える。形状生成による比較では、参照物体との差が表れた部分に線を加えることで、より細部まで表現されたワイヤーアートになることを確認した。しかし不足箇所に対して、どのような線を追加するべきかといった判断はユーザに委ねられているので、そこを支援できる手法の検討が今後の課題として挙げられる。また、立体ワイヤーアートの制約におけるバランスの問題を満たすことができる手法・評価の検討なども課題になると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17K00376, JP17H02249, JP18H03458, および、宇都宮大学研究拠点創成ユニット「とちぎの伝統工芸産業の振興を目的とした感性的コミュニケーション技術の開発拠点」の助成を受けた。

参考文献

- [1] 鈴木廉, 森口昌樹, 今井桂子, “多視点ワイヤーアートの生成と最適化”, 2017 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p583-p584(2017).
- [2] 山下優那, 森脇清明, 谷口健男, “3 次元体表面上の点座標が与えられた場合の形状生成法”, Transactions of JSCES, Paper No.20010032(2001).