

ジェスチャ操作による対数美的空間曲線創成システムの開発 Development of log-aesthetic space curves generation system by gesture operation

池田 聡一郎† 原田 利宣‡
Ikeda Soichiro Harada Toshinobu

1. はじめに

一般に、自動車などの工業製品形状における CAD データは、デザイナーが描いたスケッチを、デジタイザによりコンピュータに点列として入力することや、クレイモデルから計測することで作成される。現在のデザイン工程ではこの生成されたモデルに対して Virtual Reality(以下 VR)上でデザイン検討が行われている。しかし、デザイナーがスケッチ段階で意図した形状を描けたとしても、創成されたモデルは必ずしもデザイナーの意図した性質を持っていないという問題がある。なぜならば、デザイナーといえども空間曲線や曲面を完全にイメージしながらスケッチすることは困難だからである。また、既存の CAD システムでは 2 つの平面曲線を投影することで空間曲線を得ているため、意図した空間曲線(曲面を創成する際のキーライン)を直感的に創成、制御することが困難だからである。よってデザイナーは意図する空間曲線を得るために、NC マシンで削り出したクレイモデルを勘や経験により繰り返し微修正するため、この作業に多大な工数が必要となる。そのためデザイナーの意図する高品質な曲線、曲面を創成するための研究や、直感的な操作が可能な造形システムを開発する研究がなされている。

まず、曲線、曲面の創成に関する研究として、原田らにより工業製品のデザインに応用できる高品質な対数美的曲線、対数美的曲面を創成するための研究が行われている[1~3]。これらの研究によって、CAD システム上で高品質な曲線、曲面の創成が可能となったが、数値入力による制御が困難であったり、捩じれの制御が困難であったりと、どのようなインタフェースを持った創成システムがデザイナーにとって有用であるか、明らかになっていない。

次に、直感的な操作が可能な造形システムに関する研究として、Steven らによりデータグローブとヘッドマウントディスプレイを用いたジェスチャ操作の造形システムが開発された[4]。この手法は、モデリングに手の動作を直接用いるため、複雑な形状が容易に作成できる。しかし、品質の良い曲面を得ることが困難であるという問題がある。

そこで本研究では、VR 上で高品質な空間曲線である対数美的空間曲線を、モーションキャプチャセンサによるジェスチャ操作で、直観的に創成、制御可能な造形システムを開発し、その有効性を検証することを目的とする。具体的には、まず実空間上に手で空間曲線を描くような動作を行い、空間曲線を入力する。次に、入力された空間曲線を多項式近似し、曲率(振率)対数分布図を求め、空間曲線のパラメータを得る。そして、得られたパラメータを用いて対数美的空間曲線を創成する。さらに、創成された対数美

的空間曲線を、ジェスチャ操作によってパラメータを変動させ、意図する形状を得る。

2. 対数美的空間曲線とは

本章では、対数美的空間曲線の理解に必要な曲率(振率)対数分布図と対数美的平面曲線、対数美的空間曲線について概説する。

2. 1 曲率対数分布図と対数美的平面曲線

原田らによって、平面曲線の曲率の変化のリズムとボリューム(曲線の両端点を結んだ直線で囲まれた領域の面積)より、曲線の性質を定量的に表す「曲率対数分布図」が提案された。そして、自然造形物や工芸品、工業製品の平面曲線を分析した結果、曲率対数分布図のヒストグラムの頂点を結んだ線である *C curve* が直線である平面曲線は、自己アフィン性を有していることが示された。自己アフィン性とは、平面曲線の一部を切り取ったものに対しアフィン変換を行うと、元の平面曲線に一致する性質のことである。そして、自己アフィン性を持つ平面曲線を美しい曲線の一つと仮説し、対数美的平面曲線と定義された。

2. 2 対数美的空間曲線

井上らは対数美的平面曲線の考え方を空間曲線に拡張し、「曲率対数分布図」の考え方を振率に応用し、「振率対数分布図」を考案した[1]。そして、自然造形物や工芸品、工業製品、数学曲線の空間曲線の分析を行った。その結果、振率対数分布図のヒストグラムの頂点を結んだ線である *T curve* が直線である空間曲線は、振率について自己アフィン性を有していることが示された。空間曲線における自己アフィン性とは、空間曲線の一部を切り取ったものに対しアフィン変換を行うと、元の曲線または元の曲線の一部に一致する性質のことである。そして、曲率に加え、振率についても自己アフィン性を有する空間曲線を美しい曲線の一つと仮説し、対数美的空間曲線と定義された。

3. 対数美的空間曲線創成システム

本研究で開発したシステムは、VR 上において、工業製品のデザインに応用できる高品質な空間曲線である対数美

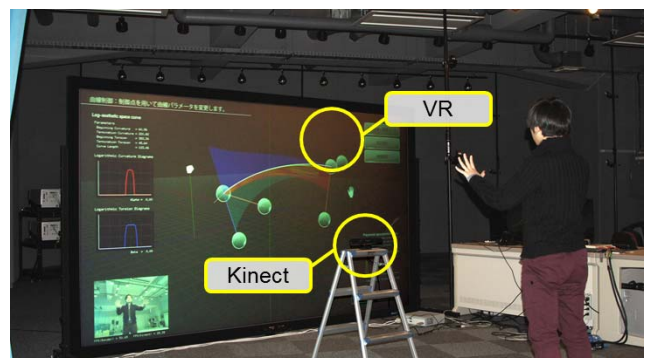


図 1. システム全体図

† 和歌山大学大学院,
Graduate School of Wakayama University

‡ 和歌山大学, Wakayama University

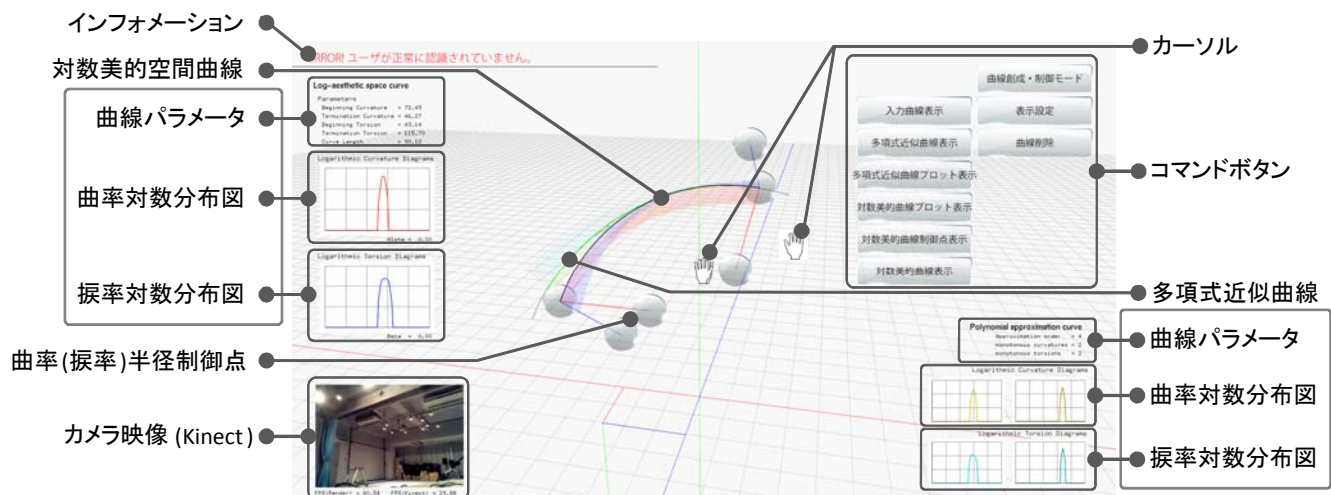


図 2. システム画面

的空間曲線を、モーションキャプチャセンサを用い、ジェスチャ操作で作成、制御することが可能である。以下使用するモーションキャプチャセンサ、システムの流れ、基本的な画面操作、ジェスチャ操作による対数美的空間曲線の作成、ジェスチャ操作による対数美的空間曲線の制御についてそれぞれ説明する。システムの全体像を図 1 に示す

3. 1 使用するモーションキャプチャセンサ

本システムでは、モーションキャプチャセンサに、Microsoft 社の Kinect を用いる。なぜならば、Kinect は距離センサを用いたマーカレス方式のモーションキャプチャセンサで、ユーザの動作を阻害しない利点があるためである。ジェスチャによる操作を実現するために、Kinect から得られるユーザの骨格情報と、距離情報を用いる。

3. 2 システムの流れ

まず、ユーザは実空間で意図する空間曲線を描く動作をして、空間曲線を入力する。しかし、この入力された空間曲線は、ユーザの動作によるノイズと、Kinect の計測誤差によるノイズが含まれているため、大まかな形状しか再現できない。次に、入力された空間曲線を対数美的空間曲線に作成し直す。さらに、ジェスチャ操作によって対数美的空間曲線のパラメータを制御することで、ユーザの意図する形状に近づけていく。

3. 3 基本的な画面操作

本システムの画面を図 2 に示す。画面に表示されている手の形状をした二つのカーソルは、ポインティングツールとして扱われ、ユーザの左右の腕の動作とそれぞれ連動している。また、手を開く動作と閉じる動作を用いて、コマンドの選択と実行を行う。具体的に、ボタンを選択する場合は手を開いた状態から閉じる動作をする、ボタンに指定されたコマンドを実行する場合は、ボタンが選択された状態(手を閉じた状態)から手を再び開く動作をする。

3. 4 ジェスチャ操作による対数美的空間曲線作成

ジェスチャ操作による対数美的空間曲線の作成の流れを図 3 に示し、詳細を説明する。

- 1) まず、手を曲線の始点位置まで移動させ、手を閉じる。次に、空間上で曲線を描くように終点位置まで手を動かし、閉じた手を開くと空間曲線を入力する。
- 2) 入力された曲線データを用いて最小二乗法による多項式近似を行い、ノイズを除去する。最適な近似結果を得るため、評価基準としてベイズ情報量基準を用いた。

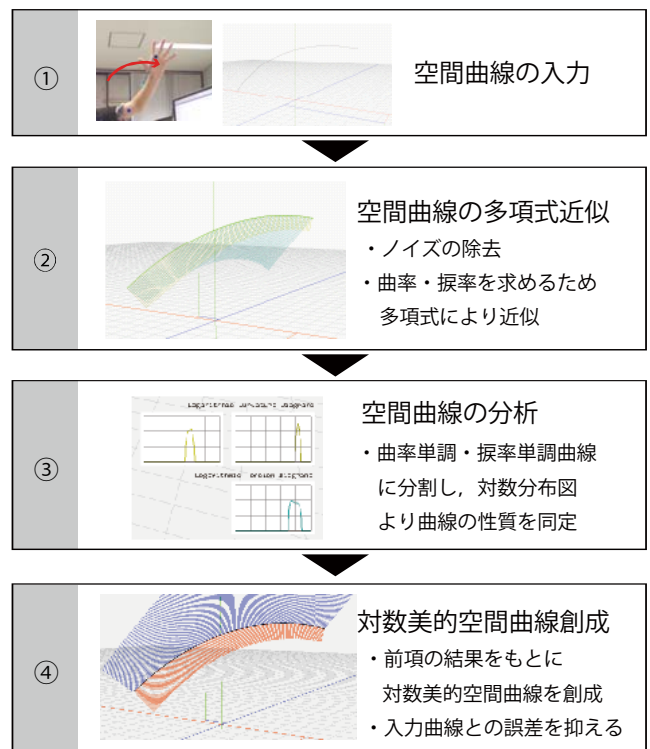


図 3. 対数美的空間曲線作成フロー

- 3) 多項式近似された空間曲線から曲率半径・振率半径を算出する。そして、曲率単調曲線・振率単調曲線に分割し、それぞれの曲率、振率対数分布図を作成する。
- 4) 算出された曲率半径・振率半径・曲率(振率)対数分布図より、対数美的空間曲線を生成する。生成アルゴリズムは、吉田らによる対数美的曲線生成アルゴリズム[5]を用いた。多項式近似された空間曲線は、複数の単調曲線から成るが、今回は多項式近似された空間曲線のうち、曲線長が一番長い単調曲線のパラメータのみを用いて対数美的空間曲線を生成している。

3. 5 対数美的空間曲線のパラメータ制御

前節にて得られた対数美的空間曲線の曲率半径・振率半径・曲線長・*C curve*・*T curve*などのパラメータをジェスチャ操作で制御する。なお、ジェスチャの認識は骨格座標や手形状を用いた条件分岐によって実現している。

1) 曲率半径・振率半径の制御(図 4)

まず、曲線の端点に表示されているボタンを実行すると、端点の主法線方向と、従法線方向に曲率(振率)半径制御点が表示される。主法線方向に表示されたボタンは曲率半径を、従法線方向に表示されたボタンは振率半径を制御することができる。曲率半径方向または振率半径方向へ表示されたボタンを選択する。次に、選択した状態で制御点を上下に動かすことで、曲率半径または振率半径を変動させる。任意の値で実行することで、変更した曲率(振率)半径を対数美的空間曲線に適用する。

2) 曲線長の制御(図 5)

画面上の何もないところで両手を選択し、その状態で手の間隔を広げると長く、狭めると短く変動させる。任意の値で実行することで、変更した曲線長を対数美的空間曲線に適用する。

3) *C curve*, *T curve* の傾き α , β の制御(図 6)

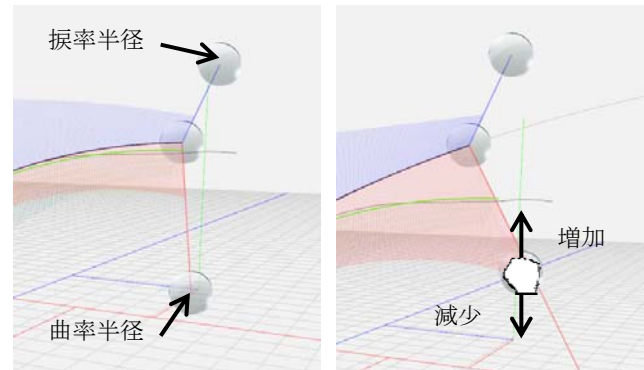
画面上の対数分布図を実行すると、曲率(振率)対数分布図の色が変化する。この状態で、手を前にだし、上下に変化させることで *C curve*, *T curve* の傾き α , β を変動させる。手を上にあげると正の値が加算され、下に下げると負の値が加算される。任意の値で実行することで、変更した傾きの値を対数美的空間曲線に適用する。

4. 評価実験

開発したシステムの、実空間で入力した空間曲線がコンピュータ上でどのくらい再現できているか、入力精度の評価を行った。まず、画面に対して平行方向、水平方向、垂直方向へ平面曲線(シングル R)を入力する。この時、図 7 のように三脚と棒を用いて腕の関節を固定してシングル R を入力する。次に、入力された空間曲線がシングル R となっているか、多項式近似された曲線の、始点と終点の曲率半径の差や、曲率対数分布図より曲線の性質をを目測で同定することにより考察を行った。その結果、曲線の始点と終点の曲率半径の差は、平行方向の曲線は 1.43 倍、水平方向の曲線は 2.32 倍、垂直方向の曲線は 7.32 倍の差が見られた。さらに、曲率対数分布図からは、平行方向がシングル R 型、水平方向の曲線がシングル R と平行型の中間の性質を、垂直方向の曲線は発散型の性質持っていると判断した。このことより、平行方向と水平方向への曲線の再現性は高く、垂直方向の再現性は低いと考えられる。これは、Kinect が骨格位置を推定していることによる誤差と、得られた座標値に平滑化処理を行っていることによる誤差により、実空間の手の座標値と差が出るためだと考えられる。上記のような考察が得られたが、数値的な裏付けを得るため、再実験を予定している。評価方法として、磁気方式の位置センサ PATRIOT を手に装着した状態(図 8)でシステムを操作し、PATRIOT の入力データと、Kinect から得られた入力データの比較をする予定である。

5. 成果と課題

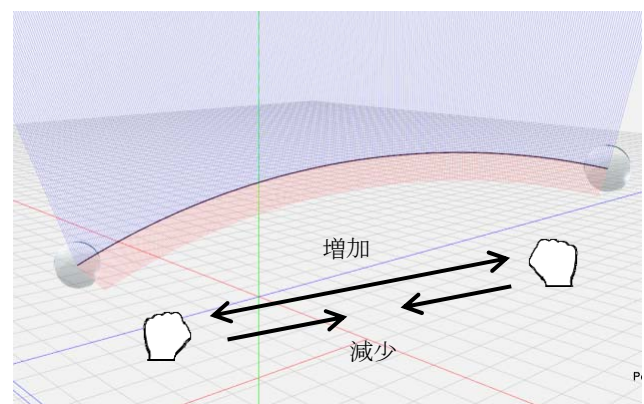
本研究では、Kinect を使用し、ジェスチャ操作によって



端点から、曲率半径方向、振率半径方向へ表示された制御点を選択する

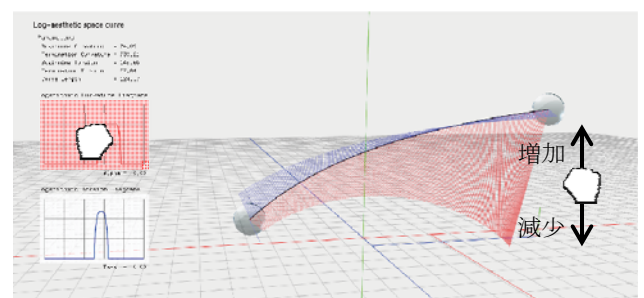
制御点を選択した状態で腕を上下に動かすと曲率(振率)半径が変動する

図 4. 曲率(振率)半径の制御



両手を握った状態で、手の間隔を変えると曲線長が変動する

図 5. 曲線長の制御



曲率(振率)対数分布図を選択すると、対数分布図の色が変化する。この状態で手を上下に動かすと *C curve*(*T curve*)の傾き α (β)が変動する

図 6. *C curve*(*T curve*)の傾き α (β)の制御

対数美的空間曲線の創成、制御を行うことができるシステムを開発した。

今後の課題として以下のものが考えられる。

- 1) 複数の対数美的空間曲線や、対数美的曲面のジェスチャ操作による創成、制御の実装をする。
- 2) HMM(隠れマルコフモデル)による効率的なジェスチャの認識の実装をする。
- 3) デザイナーの感性に合わせた効果的なインタフェースを構築する。

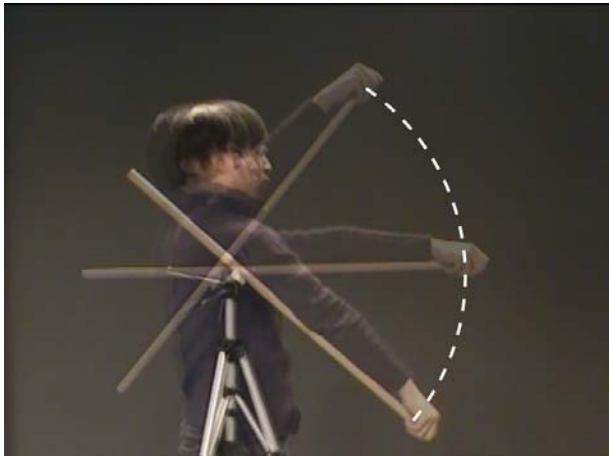


図 7. 三脚による手の動作の固定



図 8. PATRIOT 装着図

謝辞

本研究の一部は科学研究費(課題番号：25420090)によった。
ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 井上 治郎, 原田 利宣 : 多項式による空間曲線の近似手法とそれを用いた性質分析, グラフィクスと CAD 研究会報告, Vol.2007, No.111, pp. 49-54 (2007) .
- [2] 萩原 徹, 原田 利宣 : 対数美的曲面の創成アルゴリズムと VR を用いた曲面創成システムの開発, グラフィクスと CAD 研究会, Vol.2009, No.134, pp.13-16(2009).
- [3] 伊丹裕美, 原田利宣 : 手描き平面曲線からの対数美的空間曲線創成システムの開発, グラフィクスと CAD 研究会報告, Vol.2009, No. 134, pp .17-18, (2009) .
- [4] Steven Schkolne, Michael Pruett, Peter Schröder : Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools, SIGCHI conference on Human factors in computing systems , pp. 261-268(2001).
- [5] 吉田 典正, 斎藤 隆文 : 美的空間曲線の全体像の解明, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会, Vol.2007, No.111, pp.56-60(2007).