

自由曲線を用いた電子透かしの提案

木下研究室 工藤 敬文 (工学研究科 電気電子情報工学専攻 201170060)

1 まえがき

現在パソコン, およびインターネットの普及, 小型端末の登場により, インターネット上からダウンロードして, パソコンや携帯端末などで読むことの出来る電子書籍の市場が広がり始めている. 小説などの文章だけでなく, 漫画コンテンツなども電子書籍化が始まっている. また, ネット上には様々な種類の画像投稿サイトも存在しており, アマチュアの絵描きも自由な投稿が行われている. それに付け加え, 漫画を書く際にアナログではなく, パソコン上で原稿を作成する漫画家も増え始めた.

しかし, デジタルデータは複写, 保存, 加工が容易に行えるという特徴を持っており, ペイントソフトを使えばトレースなども容易に行うことが出来る. さらにはネットワーク技術の発展により, これらのデータを複数のユーザーに対して配信することが容易になった. そのために, デジタルデータのコンテンツがの意思に想いに反して利用されることが起こりうる. 実際にプロの漫画家が他の人の漫画作品から人物や背景をトレースするという事件も発生した [1]. また, 画像投稿サイトからイラスト画集が発売されたが, その中にも他の人の作品からトレースしたと思われる画像が使用されるといった事件が起きている. 画像が電子書籍のようなデジタルデータになればトレースなどが容易になり, このような事が今後も発生する可能性は十分にあると考えられる.

このような問題を解決するために電子透かしなどの著作権保護技術が用いられている. しかし, 漫画など主に二値の線により構成されている画像にたい

しては, 画素数に対する情報量が少ないので品質を保ったまま必要な情報を埋め込むことは困難である.

そこで今回の研究では二値の線画に適したベジエ曲線を用いた電子透かし構成法について提案をする.

2 電子透かし

電子透かしとは, コンテンツ本体に人の知覚では分からない形で情報を埋め込む技術のことを言う. 静止画だけでなく, 音楽や動画にも透かし技術は使われている. 専用の電子透かし検出ソフトに読み込ませると, 作者名やコピー回数などの埋め込まれた情報が表示される. これにより, 不正コピーやデータの改竄などを防ぐことが可能となる. さらにデータ改竄されたという事実だけではなく, 改竄された箇所も具体的に特定できるようにすることも可能である. 電子透かしに求められる主な条件として

- コンテンツ自体への埋込み: コンテンツとの分離可能な部分ではなく, コンテンツ本体に埋め込むこと.
- 耐性: 様々な編集, 例えば拡大縮小, 圧縮などを行なっても透かし情報が失われずに抽出できること.
- 品質: コンテンツの価値を損なうような劣化が起こらないようにする必要がある.
- 情報容量: 多くの情報を埋め込むことが出来ることが好ましい.

などが挙げられる [2][3].

今回対象とする二値の線画像の場合, 冗長性が少なく, 情報を埋め込むのが難しい. また, トレースが行われることによって画素値が完全に変化してしまうため, トレース画像のような手書きコピーに対

A watermarking method for the free form curve, TAKAFUMI KUDO(kinoshita laboratory, Graduate School of Electrical, Electronics and Information Engineering).

する電子透かしは現在，存在しない．二値の線画像に対する埋め込み手法として，フォントの間隔など画像構造に着目したものと輪郭部分に埋め込むものがあげられる [4]．前者は文書画像に対する手法として，行間や文字間の距離，文字の回転角などに情報をもたせることにより情報の埋め込みを実現させる方法が存在している．[5]．しかし，文章を想定したものであり，イラスト画像にこの手法を使用することは出来ない．

今回の研究の目的である二値の線画像とは図 1 のようなものとなる．図 1 のようにアウトラインのみの画像であり，本来であればこれに着色などの加工を行う．

トレースする場合は線画像部分のみをなぞることになる．また，トレースが行われる際に使用されるのは基本的にこの線画像部分のみであり，それは二値の漫画であっても多値の漫画イラストであっても変わらない．

そのため今回は二値の線画像を対象とした．

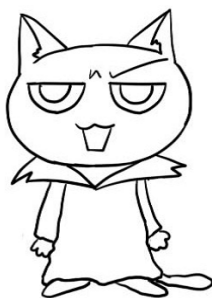


図 1: 線画像の例

3 提案手法

3.1 ベジエ曲線

前述のとおり線画像部分をなぞるというトレースの特性上，画素値による埋込み手法は使用できない．そこで線の形に着目し，画素空間以外を利用する方式を考えた．本提案方式では，3 次のベジエ曲線を使用する．様々なドローソフトに使用されており，なおかつ実際に漫画家がベジエ曲線により線画像を作成することもあるからである．まずは今回使用するベジエ曲線について簡単に補足をする．ベジエ曲

線は PostScript フォントなどで採用されている曲線で，特に多く三次のベジエ曲線が使われている．[6] 制御点を B_0, B_1, \dots, B_{n-1} とすると

$$P(t) = \sum_{i=0}^{N-1} B_i J_{(N-1)i}(t) \quad (1)$$

と表現される．ここで $J_{ni}(t)$ はバーンスタイン基底関数のブレンディング関数である．

$$J_{ni}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (2)$$

t は 0 から 1 まで変化する時， B_0 と B_{N-1} を両端とするベジエ曲線が得られる．一般的には両端以外の制御点は通らない．

三次のベジエ曲線の場合は図で示すように，1 つのベジエ曲線は 4 つの制御点で構成され，両端の制御点は端点，間の 2 点は方向点と呼ばれる．

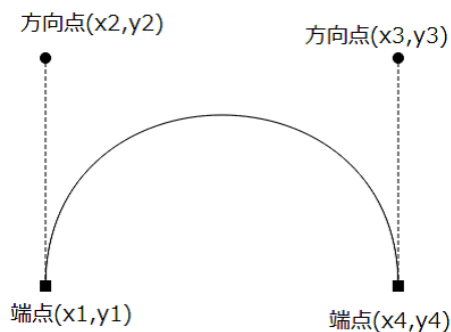


図 2: 図の説明

図では端点から方向点へ線が引かれているが，これは方向線と呼ばれ視覚的に操作するために描写されているだけであり，方向点，方向点共に画像としては描写はされない．数式で 3 次のベジエ曲線を表現すると以下のような式になる．

$$x = (1-t)^3 x_1 + 3(1-t)^2 t x_2 + 3(1-t)t^2 x_3 + t^3 x_4 \quad (3)$$

$$y = (1-t)^3 y_1 + 3(1-t)^2 t y_2 + 3(1-t)t^2 y_3 + t^3 y_4 \quad (4)$$

$$0 \quad t \quad 1 \quad (5)$$

3.2 提案手法の流れ

今回の実験では対象とする画像は複数のベジェ曲線で構成された二値の線画像であるとする。また各曲線の方向点と端点は分かるものとする。

提案手法では、ベジェ曲線の端点と方向点の4点を利用する。

まず4点から四角形を形成し、その重心 g と交点 i を計算する。そして、図3のように交点 i を基準とし、重心 g がどの位置に存在するかにより、情報が決定される。画像に情報を埋め込む場合、重心と交点が任意の位置関係になるように、方向点を移動させる。

この位置関係の範囲に幅を持たせることにより、トレース画像に対しても同じ情報が抽出できるのではないかと考えた。

また、交点と重心を利用するという特性上、交点と重心の位置が出来るだけ近い位置にくるようにベジェ曲線を設定する。具体的には端点と方向点により形成される四角形が平行四辺形となるように設定し、それを基準に方向点を動かし、重心と交点の位置を調整する。

図3と図4を例にすると、領域を8つ分け、これにより3bitの情報を埋め込むことを可能にした。図3では領域4の位置に重心 g が存在するので2進数の情報にすれば(100)の情報が埋め込まれた状態になる。

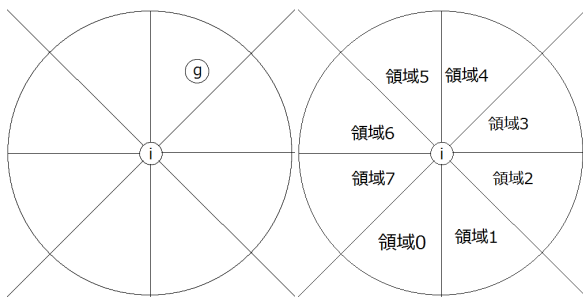


図 3: 交点からみた重心 図 4: 埋込み領域の設定

4 実験

実際にプログラムを作成し、 100×100 のキャンバスにベジェ曲線を作成した。図5は端点と方向点

の座標を以下のように設定した。

- 始点 (10, 90)
- 終点 (90, 90)
- 方向点 1(10, 10)
- 方向点 2(90, 10)

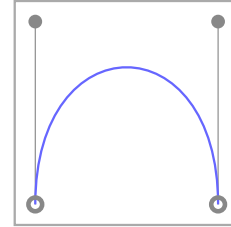


図 5: 埋込み前のベジェ曲線

この時の交点と重心は共に (50, 50) となる。つまり、交点と重心は重なった状態となっている。

この時のベジェ曲線の方向点 1 と方向点 2 の座標を実際に操作し、図2の領域に重心が当てはまるように移動させた結果を図6から図13に示す。

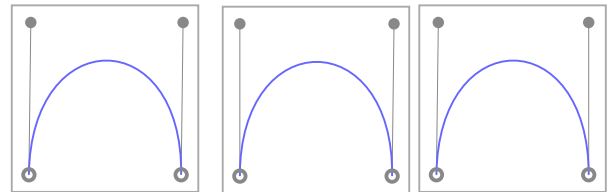


図 6: 領域 0

図 7: 領域 1

図 8: 領域 2

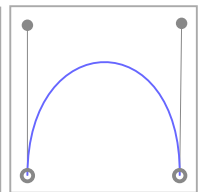
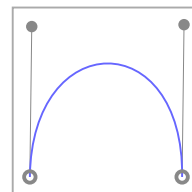
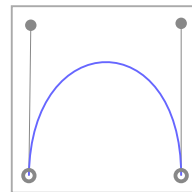


図 9: 領域 3

図 10: 領域 4

図 11: 領域 5

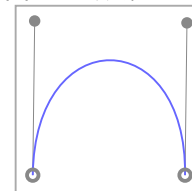
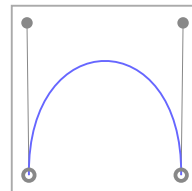


図 12: 領域 6

図 13: 領域 7

今回は方向点の移動パターンを x 座標に $-1, 0, +1$, y 座標に $-1, 0, +1$ のいずれかを加える、合計 81 パ

ターンで実験を行った。実験の結果，8方向全てが存在することを確認した。また，重心と交点が一致した場合，つまり平行四辺形を描いた場合を埋め込み情報無しとした時，各領域にほぼ均一のパターン数が現れる結果となった。

次に図 6 から図 13 のように方向点の座標を ± 1 の範囲で変化させるのではなく

- 始点 (10, 90)
- 終点 (90, 90)
- 方向点 1(10, 10)
- 方向点 2(93, 15)

のように変化させ，図 14 を作成した。すると変化量の小さなものよりも，方向点の数値の変化に強くなるということが分かった。また，領域を現在は 45 度の区切りで分けているが，交点と重心のなす角度がその中心，つまり 0 から 45 度の領域への埋込みならば，22.5 度に近づくように方向点を移動させることでも，数値の変化に強くなるのが実験より分かった。

実際に図 14 をペイントソフトのベジェ曲線を使いなぞり，図 15 を作成し，その領域を調べたところ，図 14 と同じ領域が検出された。

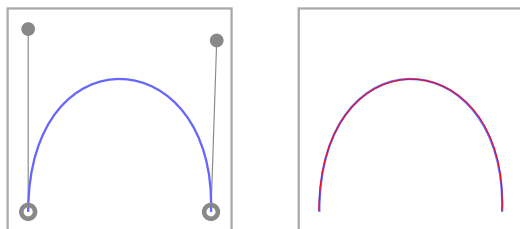


図 14: 強度を上げた
ベジェ曲線

図 15: トレースした
ベジェ曲線

図 16 は 19 本のベジェ曲線で描かれた線画像である。つまり曲線 1 本につき 3bit の情報を埋め込むことが出来るので，図 16 には 8byte の情報を埋め込むことが出来る。復号をする際には今回は端点と方向点が予め分かっているため，それぞれの端点と方向点から交点と重心を計算することで復号することが出来る。

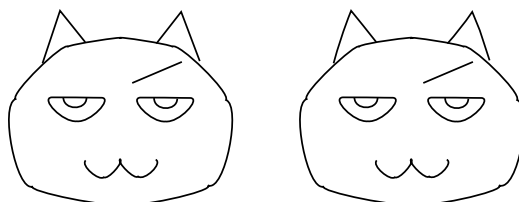


図 16: ベジェ曲線で
描かれた線画像

図 17: 情報を埋め込んだ
画像

5 むすび

実際にベジェ曲線でイラストを作成し，情報の埋め込みが可能であることを確認した。また，変化量を増やすことで強度が上がるのが判明した。今後の課題として

- 強度を上げる際にどの程度の画像の劣化までが許容されるのか
- 平行四辺形を元にした線画像のベジェ曲線の近似法

が挙げられる。

参考文献

- [1] 盗作検証画像庫
<http://www33.atwiki.jp/megabaka/>
- [2] 電子透かし技術の種類と使用法
<http://dev.sbins.co.jp/watermark/usage.html>
- [3] 松井甲子雄，“電子透かしの基礎 マルチメディアのニュープロテクト技術”，森北出版株式会社，1998
- [4] 小堀紀子，岩切宗利，松井甲子雄，“画素分布による 2 値漫画への電子透かしの一方式”，情報処理学会論文誌 42(3)，595-604,2001
- [5] 阿部悌，井上浩一，“2 値画像への電子透かし”，Ricoh Technical Report 第 26 巻 第 2000 号，2000
- [6] ”武蔵システム”
<http://musashi.or.tv/index.html>