

平成24年度 修士論文

論文題目

自由曲線を用いた電子透かしの提案

神奈川大学 大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻

学籍番号 201170060

工藤 敬文

指導担当者 木下宏揚 教授

目次

第1章	序論	6
第2章	基礎知識	8
2.1	トレース画像	8
2.2	画像処理技術	10
2.2.1	2値画像	10
2.2.2	グレースケール	11
2.2.3	ガンマ補正	15
2.3	著作権保護技術	16
2.3.1	DRM	16
2.3.2	デジタル・フォレンジック	16
2.3.3	局所特徴量を利用したデータベース	17
2.4	代表的画像検索技術	19
2.4.1	TBIR	19
2.4.2	CBIR	21
2.5	電子透かし	23
2.5.1	組織的ディザ法を用いた電子透かし	26
2.6	自由曲線	29
2.6.1	スプライン曲線	29
2.6.2	B-スプライン曲線	29
2.6.3	ベジェ曲線	30
2.7	遺伝的アルゴリズム (GA)	31
2.7.1	基本用語	31
2.7.2	アルゴリズムの流れ	32

2.7.3	交叉	33
2.7.4	突然変異	34
第3章	提案	35
3.1	提案手法	35
3.1.1	ベジェ曲線を利用した埋め込み	36
3.2	実験	39
3.2.1	領域の確認	39
3.2.2	方向点の変化量による強度の変化	41
3.2.3	トレースに対する耐性	41
3.2.4	画像への埋め込み	42
第4章	結論	43
	謝辞	44
	参考文献	45
	発表文献	50
	質疑応答	51

目 次

2.1	レイヤー	9
2.2	トレースの流れ	9
2.3	原画	10
2.4	トレース画像	10
2.5	画像の2値化	11
2.6	中間値法スペクトル	12
2.7	単純平均法スペクトル	13
2.8	加重平均法スペクトル	14
2.9	特徴量を利用したマッチング	17
2.10	画像検索エンジン GazoPa	22
2.11	電子透かし	25
2.12	閾値 M と出力 Y の関係	26
2.13	出力パターン統計表	27
2.14	ベジェ曲線	31
3.1	提案手法の流れ	35
3.2	ベジェ曲線で描かれた線画像	36
3.3	4点からなる四角形	36
3.4	各点の名称	37
3.5	交点と重心の為す角	37
3.6	方向点の操作	38
3.7	交点 i からみた重心 g	38
3.8	埋込み領域の設定	38
3.9	埋込み前のベジェ曲線	39

3.10 領域 0	40
3.11 領域 1	40
3.12 領域 2	40
3.13 領域 3	40
3.14 領域 4	40
3.15 領域 5	40
3.16 領域 6	40
3.17 領域 7	40
3.18 強度を上げたベジエ曲線	42
3.19 トレースしたベジエ曲線	42
3.20 ベジエ曲線で描かれた線画像	42
3.21 情報を埋め込んだ画像	42

第1章

序論

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，ネット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．イラストの不正利用者はオリジナルの画像をそのまま使うのではなく，様々な処理によって改変を加えたり，線画部分をトレースして使用したり，線画を元に全く別の着色をすることで，自分の作品として用いることが多い．

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．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

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著作権保護技術として特徴量を用いた画像検索技術や，電子透かし等の技術が存在している。しかしトレース画像において主に使用されている二値の線画像についての有効な手法はあまり検討されていない。特徴量による画像検索などは，二値の線画像の情報量が多くないため，特徴量のデータベースの情報量が画像の情報量を上回ってしまう。また，二値の線画像の場合は誤検出も多い。

上記の理由により，特徴量による画像検索より，電子透かしによる著作権保護が有効であると考えた。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対して，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。また，画素値に情報を埋め込む手法ではトレース等の手書きコピーに対して，情報の復元をすることが出来ない。

そこで本稿では，二値の線画像の著作権管理に関して，ベジエ曲線を用いて，画素値ではなく形に情報を埋め込む電子透かしの手法を提案する。

第2章

基礎知識

2.1 トレース画像

トレースとは、原画の上から紙に透かし、下の絵を写すことを指す。同じ様な技術に模写というものがあるが、これは原画を見て絵を真似ることを指す。アナログ環境でトレースをする際には、一般的には、トレース台と呼ばれるものを使用し、紙を二枚重ねて使う。

パソコン環境でトレースをする場合には、いくつかのペイントソフトに使用されている、レイヤー機能と呼ばれるものを使用することで簡単に手書きでのコピーが可能となっている。レイヤー機能は2.1で示す通り、透明な紙を何枚も重ねることが出来る。最終的に出来上がる絵には透明な紙の層がなくなり、一枚の絵となる。

例えばキャラクターと背景を別々のレイヤーで描くことによって、キャラクターと背景でそれぞれに影響なく修正を行ったりすることが可能となる。この機能を利用し、下に原画を置き、トレース後に原画を消去することで簡単にトレースすることが可能となっている。

以降本論文では、原画をトレースし、完成した絵、つまり盗作された絵のことをトレース画像と呼ぶ。

トレース画像の特徴として絵の全体をトレースすることはあまりない。例えば図2.4は図2.3の顔以外をトレースしている。このようにトレースは全体で

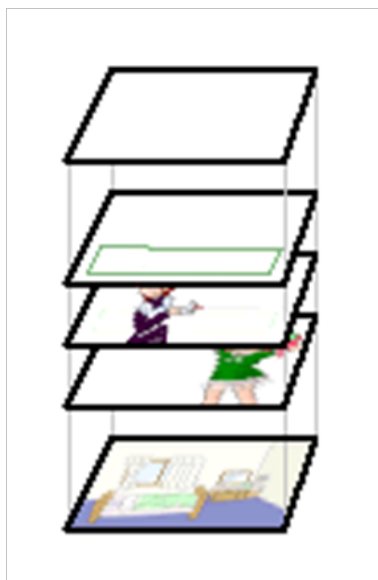


図 2.1 レイヤー

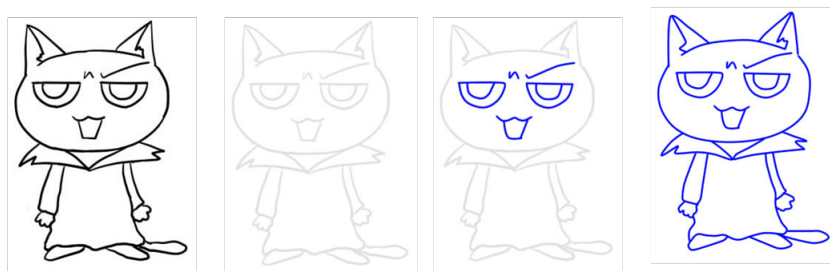


図 2.2 トレースの流れ

はなくパーツの一部を使ったコラージュに近いような形で行われることが多い。そのため、絵全体で透かし情報を埋め込むのではなく、絵のパーツごとに埋め込むことが求められる。

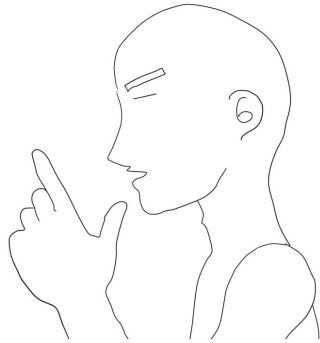


図 2.3 原画

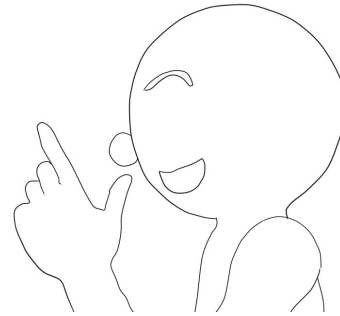


図 2.4 トレース画像

2.2 画像処理技術

2.2.1 2値画像

白と黒だけによる画像の表現処理 [1] である。各画素の明るさを一定の基準値により、白色と黒色の2つの値に変換する処理を行う。2.5は2値化処理を施した例である。この一定の基準値を閾値という。閾値より小さい値を持つ画素を白、閾値より大きい値の画素を黒として表現する。通常、画像の各画素は0～255のRGB値を持っていて、RGB値の平均値が各画素における明るさとなる。2値化処理は、画素 (x,y) の濃淡画像を $f(x,y)$ 、閾値を T とすると、一般的には次項に従って処理される。

$$\begin{cases} \text{白色} & f(x,y) \leq T \\ \text{黒色} & f(x,y) > T \end{cases}$$

基準となる閾値をの値を変更することで2値化処理後の画像が異なり、2値化処理を行うことで画像からの検索情報の抽出が容易になり、また判定処理なども高速に実行できる。

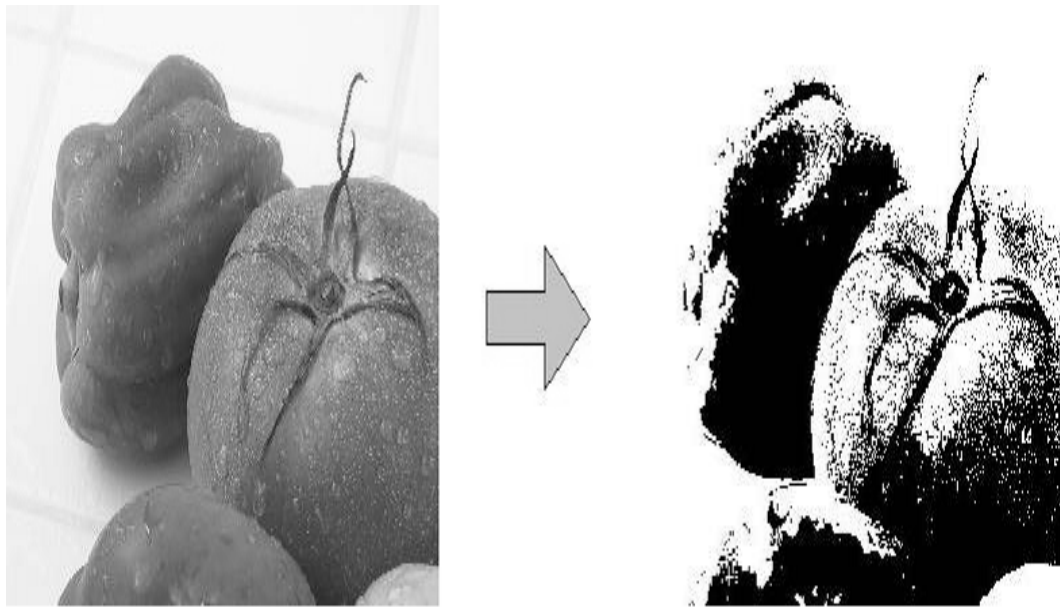


図 2.5 画像の2値化

2.2.2 グレースケール

2値化では白と黒の2色のみで表現したが、グレースケール[?]は画像を白から黒までの明暗だけで色の情報は含まずに表現する。灰色を何階調で表現するかをビット数によって表す。1ビットの場合は白と黒のみで中間色がない状態、つまり前述した2値化と同義となる。8ビットなら(白と黒を含めて)256階調、16ビットなら65536階調の灰色で表現する。

グレースケール処理はその計算方式によりいくつかの計算方法が存在する。

- 中間値法:出力画素= $(\text{最大成分} + \text{最小成分}) / 2$

対象画素における最大最小成分の平均を画素値とする方法である。カラーパターンが灰色一色に変換され、それぞれの色の違いが全て潰れてしまっている。非常に直感的で簡単ではあるが、意図して使う以外は適切ではない。図2.6に中間値法のスペクトルを示す。

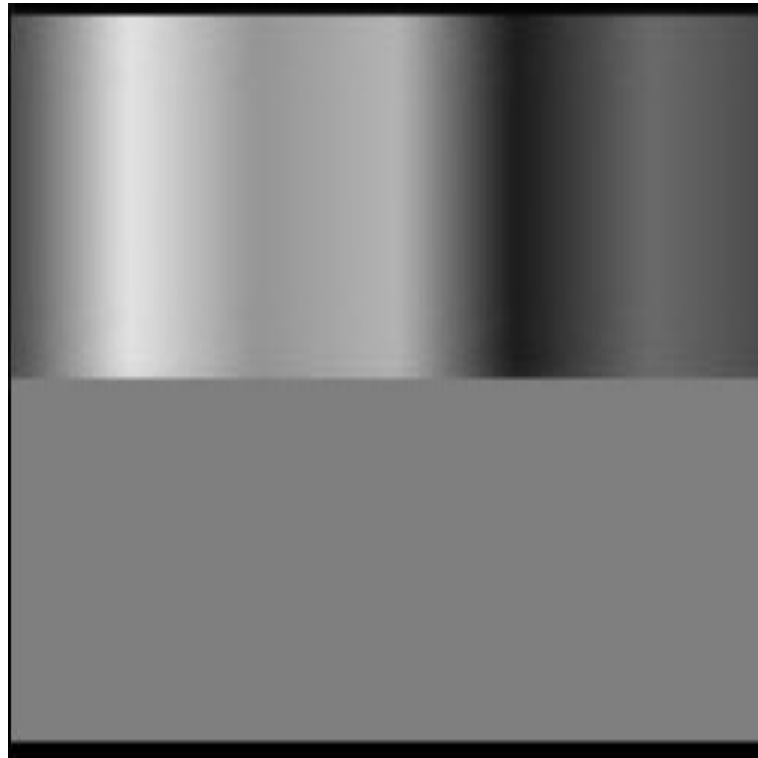


図 2.6 中間値法スペクトル

- 単純平均法:出力画素=(R成分+G成分+B成分)/3

対象画素のRGB各成分の平均値を画素値とする方法である。RGB成分の値によってグレーに濃淡ができているが、異色である青と緑が処理後では同色であったりと、人間が色の違いによって感じる明るさの違いを無視してしまっている。2.7に単純平均法のスペクトルを示す。

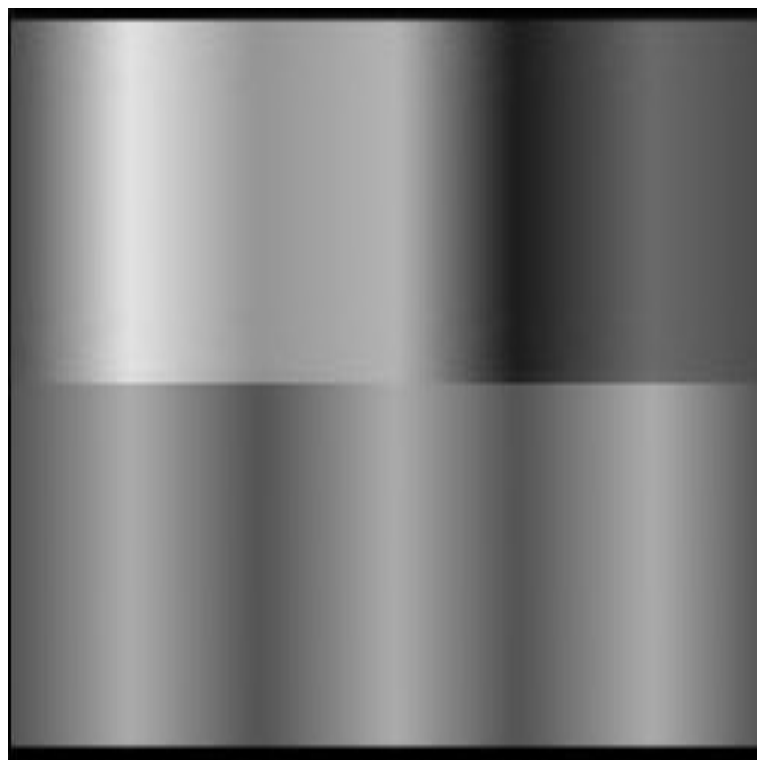


図 2.7 単純平均法スペクトル

- 加重平均法:出力画素=(0.299*R成分+0.587*G成分+0.114*B成分)

RGB各成分に重み付けを加え,視覚感を考慮した計算方法.単純平均法で問題のあった青と緑にも処理後の差異が生じ,処理後の多色化が成される.2.8に加重平均法のスペクトルを示す.

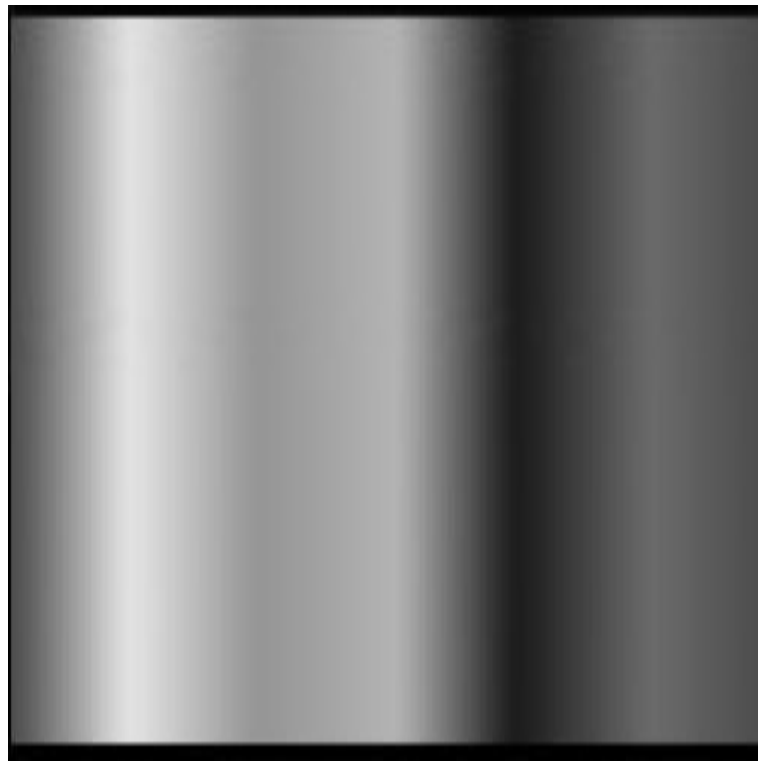


図 2.8 加重平均法スペクトル

2.2.3 ガンマ補正

(ガンマ)とは画像の明るさの変化に対する電圧換算値の変化比である。画像の色データと画像が実際に出力される際の信号の相対関係を調節して、より自然に近い表示を取得し、元画像データに忠実な画像の表示を再現するための補正をガンマ補正 [1] という。補正の数式を (2.1) に示す。

$$= 255 * (/255)^{1/\gamma} \quad (2.1)$$

画像データと出力データとの値が正比例している時、 γ 値は1になるが、実際には正比例しない。スキャナなどの入力装置やプリンタなどの出力装置はそれぞれ特有の γ 値を持っているため、スキャナで入力した画像をそのまま出力してしまうと γ 値が1に近づかないため色合いが違ってしまう。広義に解釈すると、現在のほぼ全ての画像データは特定の出力環境に合わせられて作られていると言ってよい。出力環境が変わることでその時出力した画像データは完全な状態で表示することができないということである。そのため、出力機器の違いによる差異を緩衝し、より正確な画像データ取得においてユーザーはガンマ補正を行う必要がある。

2.3 著作権保護技術

2.3.1 DRM

著作権を守る技術の一つとしてDRM(Digital Rights Management) というものがある。これは特定のハードウェア,あるいはソフトウェアでしか再生できないようなデータにすることにより,複製,再利用を難しくすることである [2]。再生に必要なメタデータをユーザに渡し,メタデータのないユーザには再生できないような仕組みになっている。WindowsMediaDRM や,Quicktime フォーマット向けのFairPlay,PDF 向けのAdobe LifeCycle が代表例として挙げられる。使用制限によりその無制限な複製を抑える効果がある。

欠点として,その性質上,特定のソフトウェアに依存するものになりやすい。さらにほとんどのDRM技術は技術詳細が一般に公開されていないため,メーカーやサービスが終了した場合にコンテンツを再生できなくなる可能性がある。また,再生機器を変更した場合にデータ移行ができず,購入したコンテンツが利用できなくなる場合もある。このような制限があるため,中にはそれを敬遠する消費者もいる。またコンテンツの提供側もDRM技術の労力とコストを懸念する声もある [3]。

似たような技術にコピーガードというものがあるが,こちらはコンテンツの物理的な特性を利用したものであり,DRMをコピーガード技術の一種とする場合もある [4]。

2.3.2 デジタル・フォレンジック

他の技術としてデジタルフォレンジックが挙げられる。デジタル・フォレンジックとは簡単に言えばデジタル的な鑑識のことであり,2010年に行われた相撲の八百長事件のメールの復元,大阪地検のフロッピーデータ改竄の発見などで使われた技術である。デジタル署名などで法的な証拠性を明らかにすることもこれに該当する。デジタル署名は電子透かし技術により埋め込まれることが多い。コピーそのものを防ぐのではなく,コピーされた後に対処する

技術となる。序論でも挙げたようにデジタルデータは加工が容易であり、またその痕跡を消すことも容易なものが多い。そのため、作業の痕跡と訴訟を起こす場合だけでなく起こされた場合に説明責任を果たすためにデジタル・フォレンジック技術が重要となる。そのため欠点として複製そのものを防止することは出来ない。

デジタル・フォレンジック技術は大きく分けると、管理された環境下で利用するネットワーク型とそれ以外の環境のスタンドアロン型に分けることが出来る。現在ではネットワーク型のフォレンジック技術を取り入れる企業も増え始め、スタンドアロン型の研究も行われている [5][6]。

収集されたトラフィックデータから通信フロー情報を解析し、解析結果をデータベースとして構築する。調査が行われた際データベースを利用することとなり、このデータベースのファイルシステム化など保存における問題や、処理の効率化なども行われている [7][8]。

2.3.3 局所特徴量を利用したデータベース

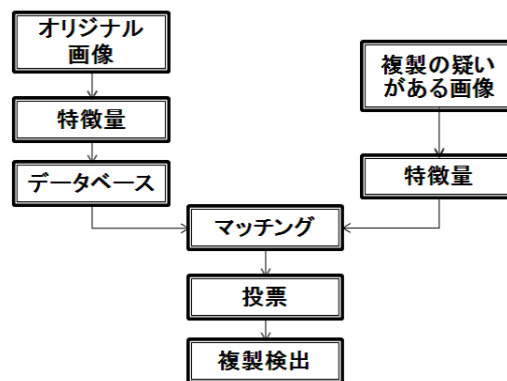


図 2.9 特徴量を利用したマッチング

画像に対するデジタル・フォレンジック技術として、画像検索技術が挙げられる。画像検索技術に対する研究として、下記に示す様々な方式が提案されている。

- 特定物体認識:単一の対象画像から特徴を抽出しデータベース内から同じ物を検出する [9] .
- 一般物体認識:複数の対象画像の特徴からデータベースに存在しない入力画像の物体の種類を予測する [10]
- 類似画像検索:対象画像の特徴と類似したものをデータベース内から検索する [11]

実際に検索を行うために画像の特徴量を利用する方法などがある [12] . 特徴量とはその画像が持つ特徴を数式や数値によって表したものである . 画像の特徴としては面積 , 周囲長 , 円形度 , 伸長度 , モーメントなどがある . これらの画像の特徴量を用いた一般的な特徴量検索では , 抽出した特徴量をデータベース化し , 対象画像との照合を行う .

画像の照合に用いられる特徴量は大きく分けて大域特徴量 , 局所特徴量に分類出来る . 大域特徴量は , 画像全体から抽出される特徴量で、局所特徴量は局所領域から抽出される特徴量である . 大域 , 局所のどちらも特徴量は特徴ベクトルと呼ばれるベクトルで表現され , これを照合することで画像の検索を可能とする .

局所特徴量ではどの領域から特徴量を取り出すかを決定し , その領域から特徴量を抽出するという2段階の処理が必要となる . 一方で大域特徴量の抽出では前者の処理が不要であるため計算的に有利であり , 特徴量が画像1枚に対し1つとなるため画像の索引付けに用いるデータ量として大幅に少なく済む . しかし画像の一部が隠れるなどした場合 , 大域特徴量では同じ値を得ることが不可能になってしまう . 局所特徴量を用いると , 隠れたことにより得られない特徴量があっても , 隠れていない部分から同じ特徴量を得ることが出来るという利点がある . そのため単純に画像を検索する場合には大域特徴量のほうが向いているが , トレースされた画像に対する画像検索方法としては局所特徴量のほうが向いていると考えられる .

局所特徴量の代表的なものとし , SIFT[13] や HOG[14] , SURF[15][16] などが存在する . HOG は一般に歩行者や人工物などの物体認識に使われることもあ

る。トレース画像に対しての画像検索を対象とすることから、これまでに、HOG や SURF を使用したイラストの著作権保護の研究が行われてきた [17]。

しかし、これまでに述べてきたように、局所特徴量は抽出した特徴量が膨大な量となり、データベースのメモリ量と計算量が大きくなってしまう。また今回対象としている線画像の場合では違う画像であっても類似度が高く出てしまう場合があるなどの問題もある。

2.4 代表的画像検索技術

大量の画像データに対応するため、蓄積された多数の画像データに対して、ユーザの所望するデータをより早く、効率的に取り出せる画像検索技術の実用化が必要となる。現在の検索方式には代表的なものとして、テキストをメタデータとした検索方法である TBIR、画像の内容をメタデータとした検索方法である CBIR がある。

2.4.1 TBIR

TBIR[18] はデータベース内の画像データに、画像のタイトルや製作者、内容を形容するキーワードをメタデータとして画像に付与し、それを基にしてユーザの求めるキーワードとのマッチングにより検索を行う方法である。

検索範囲がタイトルや製作者といった一様に統一された分類内容の検索に適しており、静止画像検索に限らず、同画像検索においても主流である。

例として、電子図書館における蔵書検索があげられる。蔵書検索を行うにあたって、所望する蔵書の名称や特徴を定義したものを検索情報として扱う。これらは多様な情報資源を表す共通な要素として基本 15 エレメント [19] から構成される。

1. タイトル：情報資源に与えられた名前
2. 作成者：情報資源の内容の作成に主たる責任を持つ実体

3. キーワード：情報資源の内容のトピック
4. 内容記述：情報資源の内容の記述
5. 公開者：情報資源を利用可能にすることの対して責任を持つ実体
6. 寄与者：情報資源の内容への寄与に対して責任を持つ実体
7. 日付：情報資源のライフサイクルにおける何らかの事象に対して関連付けられた日付
8. 資源タイプ：情報資源の内容の性質もしくはジャンル
9. 記録形式：物理的表現形式ないしデジタル形式での表現形式
10. 資源識別子：与えられた環境において一意に定まる情報資源に対する参照
11. 出所：現在の情報資源が作り出される源になった情報資源への参照
12. 言語：当該情報資源の内容の言語
13. 関係：関連情報資源への参照
14. 時空間範囲：情報資源の内容が表す範囲あるいは領域
15. 権利管理：情報資源に含まれる、ないしは関わる権利に関する情報

この基本 15 エレメントはデータベースの内容に準じて項目に加減が施されて、神奈川大学図書館の蔵書検索 [20] にも、これらの項目が見受けられる。

通常、Web 上の画像データは HTML 文書からリンクがなされており、文書には画像の内容を説明するキーワードが含まれている場合が多いため、画像データをリンクしている HTML 文書を解析することで TBIR による Web 上の画像検索を行うことが可能である。

しかし、TBIR には次のような問題点がある。

画像内容考慮 付加されるキーワードは画像の内容に依らず，HTML 文書に含まれるキーワード検索しか行わないため，所望する画像データの他にそのキーワードの含まれる画像データも検索されてしまう．

手作業による索引付け 各画像データに索引を手作業で付加することになるため，膨大な画像データを取り扱う場合においてデータベース所有者への負担が増えてしまう．

追加画像の索引付加 未完成のデータベースに画像データが追加される場合，追加された画像データにおいても索引付けを行わなければならない，更なる負担が伴う．

索引の主観性 データベース所有者の主観によってキーワードの付加が行われるため，ユーザーがデータベース所有者の主観と一致しない場合，効果的な検索を行うことができない．

コスト 大規模なデータベースを管理する場合，上記負担を軽減するための管理費，人件費を考えることでコストがかさんでしまう．

既に膨大な画像データが存在し，増え続けている今日の情報化社会において，これらの問題は致命的であり，所望する画像データを効率的に入手するための画像検索技術としては満足のできるものではない．

2.4.2 CBIR

CBIR[21][22][?] は色や形，構図など，画像の特徴量を利用した検索方式である．前述した TBIR では手作業によってあらかじめ全ての画像データにキーワードを付加する必要があったが，CBIR では画像データに既に存在する画像特徴を計算機によって自動判別して画像間の類似度を判定し，ユーザーが指定した画像に類似した画像を検索することが可能である．また，画像データを視覚的に捉えることができ，よりユーザーの感覚に近い画像の検索が可能である．

用例として、日本発画像検索エンジン「GazoPa」[?]を挙げる。2.10はGazoPaの画面となる。GazoPaの検索システムはユーザーから提供される画像のアップロードやネットサーフィン中に見かけた画像を検索に利用できる。所望する色や形に近い画像を見つけ、似たようなデザインをもっと探したい時に、その見つけた画像をそのまま検索画像として利用できるのである。更にFlashを利用したdrawerを使用することで、ユーザーが作成した画像を検索画像に転用できるため、ユーザーの想像を直に検索システムへ伝えることができる。



図 2.10 画像検索エンジン GazoPa

しかし、例にも適用されるがCBIRには次のような問題点が挙げられる。

画像間のギャップ ユーザーの所望する想像上の画像と実際の画像の特徴の間にギャップが存在し、その二つが完全に一致することは非常に困難である。

検索速度の遅延 Webを用いるシステムの場合、 unnecessaryな画像のダウンロード

を行って検索速度が著しく遅くなる場合がある。

2.5 電子透かし

電子透かし技術とは、マルチメディアデータに、その冗長性を利用して他の情報を埋め込む技術のことである。電子透かしの埋め込まれた画像や音声データから、電子透かし情報の検出を行うことで、著作権の保護を行うことが可能となる。埋め込むコンテンツにはテキスト、音声、画像、動画、プログラムなどがあるが、作者名コピー回数など著作権関連情報を埋め込むことが主となっている。見た目わからない電子透かしは、検出ソフトを用いることで埋め込まれた情報を取り出すことができる。埋め込むコンテンツの種類として

- ・ 静止画用電子透かし

著作権保護用途 … 静止画デジタルアーカイブシステム

印刷物向け … 社内文書セキュリティ、商用雑誌権利保護

- ・ 音声用電子透かし

著作権保護用途 … サンプル用音楽CD向け流通管理

- … 音楽配信用権利保護技術

- ・ 動画用電子透かし

著作権保護用途 … DVD・VTR向け流通管理

- … 動画配信、アーカイブシステム向け管理システム

また電子透かし手法を用途により以下のように分類できる。

- 不可視・高耐性型

埋め込むデータを少ないという欠点があるが、少なくする代わりに、加工、圧縮などの処理に対して、耐性が高く電子透かし情報の除去が困難であるという利点がある。

- 不可視・低耐性型

耐性を重視せずに、多くのデータを埋め込みたい場合に用いる。耐性が必要ない分、画質への影響も少なくすむ。

- 可視・可逆型

所有権を明示的にコンテンツ上に表示する電子透かしである。透かしを埋め込んだコンテンツの再利用ができるように、電子透かしを除去することができる。電子透かしを除去するには、特別なプログラムと鍵が必要である。これにより、コンテンツの所有者は、安心してコンテンツをインターネット上で公開したりすることができる。

- 可視・非可逆型

所定のコンテンツの所有権をはっきり利用者に示す際に用いる。この型は埋め込んだ透かしデータは取り除くことが出来ない。不正な再利用や販売を防止する目的を持ち、コンテンツに所有者の名前やロゴマークを付加する。[23][24][25]

電子透かしに必要とされる条件を示す。

1. 埋め込みによる品質の低下を抑える
2. 付加する情報量が少ない
3. 加工によって透かしが消えない
4. 非可視的である

ここでは静止画像を対象とした電子透かし技術を記述していく。下記の図には学籍番号と名前を透かし情報として埋め込まれている。

中でも耐性に関しては全ての攻撃に対応可能な理想的な耐性をもつ電子透かしを作成するのは、困難である。自然画や文書、漫画画像など、画像の種類によっても攻撃の種類が変わるため、どのタイプの画像にどのような耐性をもつ電子透かしが向いているのか、ということを検討することが重要であるといえる。

例えばアニメーション画像などは切り貼りなどの加工をされることが多く[26]、自然画などはボカシを入れるなどの加工が行われやすい。他にも JPEG



図 2.11 電子透かし

画像などの圧縮に耐性を持つものなど様々なものが存在する [28] . また , 耐性を強化するためにいくつかの電子透かしを補助的に埋め込むことで耐性を上げる研究なども行われている [27] .

現在では埋め込み方法よりも埋め込む場所に着目した画質に対しての研究 [33] や 3 D 画像に対する研究 [29][30][31] が多く行われており , 例えば特徴量などを利用し , 人の知覚に影響を与えにくい領域を選び出すなど様々な方法が提案されている [32] .

一方 , 電子透かし技術の多くは多値画像に対するものであり , 先に上げた漫画・イラストなどが該当する二値の画像に対するものは少ない . 何故なら多値画像と比べて二値の画像には冗長性が少なく , そのために埋め込む余地が少ないからだ . コンテンツそのものの情報量が少ないため僅かな埋込みが大きな変化 , つまりコンテンツの劣化へと繋がる . 二値の画像に対する従来の手法としては大きく二つに分けられる . 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 [34] . 前者の例として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 . [35] .

しかしこれは文字 , あるいは行を単位としているため , 埋め込みの前後でこれらを全く同一で切り出す必要がある . これをイラスト画像へと応用することは難しい . 後者の例としてファクシミリ画像などで用いられるラングレ

ス符号に対して透かし技術を埋め込む手法などが提案されている．この方法では縦の方向にジャギーが発生してしまうなど，画像劣化が激しい．

二値の画像イラストへの電子透かしの最大の課題として画質劣化をどう抑えるかが重要になると考えられる．

また3次元モデルへの電子透かしとしてベジェ曲面を利用した電子透かしがある [36]．これはベジェ曲面は細分化可能であるという特性を生かし，細分化した曲面と曲面を入れ換えることで透かし情報の埋め込みを可能とする．これにより歪みも生じるが人間の知覚ではほとんどわからない．しかし二値の線画像においては曲面と同じく細分化は可能であるが，曲面のように細分化した曲線を入れ換えることは難しい．歪みが大きく出る可能性があり，さらに入れ替え後の線の接続に問題がある．

2.5.1 組織的ディザ法を用いた電子透かし

組織的ディザ法には出力の偏りがあるので，それを利用する方法である．組織的ディザ法は，前述の通り，あらかじめ決められた閾値マトリックスを用いる方式となっている． [37]

今回は例として Bayer 型の閾値を用いて説明する．4 × 4 画素の局所入力画像 A、閾値マトリックス M、その演算結果 Y を図のように設定する．

$x_j - y_i = k$				$(k > 0) \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, 15$							
a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	y ₀	y ₁	y ₂	y ₃
a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇
a ₈	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	y ₈	y ₉	y ₁₀	y ₁₁
a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅
A				M				Y			

図 2.12 閾値 M と出力 Y の関係

まず、閾値マトリックスの各要素の差 $k(k > 0$ に対し、 $x_i < x_j$ かつ $x_j - x_i = k$) に着目する。ある指定した k の値をもつ (x_i, x_j) の組を Bayer 型マトリックス M から探して組み合わせる。この組合せを $(x_i, x_j)_k$ とする。たとえば、
 $(x_i, x_j)_8 = (0,8), (1,9), (2,10), (3,11), (4,12), (5,13), (6,14), (7,15)$
 のようになる。この $(x_i, x_j)_8$ の閾値をもつ M の組について出力パターン (y_i, y_j) を調査すると、下記の表のようになる。

閾値 (x_i, x_j)	出力パターン (y_i, y_j)			
	(0,0)	(0,1)	(1,0)	(1,1)
(0,8)	173	4	3575	344
(1,9)	493	2	3378	223
(2,10)	1084	2	2878	132
(3,11)	2048	1	1949	98
(4,12)	2441	0	1590	65
(5,13)	2861	0	1202	33
(6,14)	3176	0	908	12
(7,15)	3524	0	572	0
合計	15800	0	16052	907

図 2.13 出力パターン統計表

この表から (1,0) パターンは各 k の値に対して多数存在するが、(0,1) パターンはほとんど存在しないことがわかる。画像の輝度レベルがわずかに 17 段階に量子化されたため、その中の 8 レベルの差といえども原画像の輝度範囲の 50% 以上の輝度差に相当する。このような急激な輝度変化は自然画像ではほとんど起こりえないことがわかる。

そこで、タイプ(0,0)と(1,1)には手をつけず、また若干の(0,1)タイプはあらかじめ(1,0)に変更しておく。その準備が整えば、透かし情報に従ってタイプ(1,0)を制御することが可能となる。たとえば、透かしビットが1ならば(1,0)をそのまま用い、透かしビットが0ならば(1,0)を逆転して(0,1)に設定する。ディザ化する4×4の特定ブロックを鍵で指定し、そのブロックのみにこの操作を行い、他のブロックに対しては透かしビットの代わりにランダムなビット系列を埋め込む。このランダム系列により透かし情報を隠蔽することが重要である。このように1画素1ドット表現の中に、さらに透かしビットを埋めることが可能となる。

2.6 自由曲線

平面上のいくつかの点をおある順番で通るように定義された滑らかな点．代表的な自由曲線には「ベジェ曲線」「スプライン曲線」等がある．

2.6.1 スプライン曲線

スプライン曲線はベジェ曲線と違い、与えられた複数の点を滑らかに接続する曲線を作成する．区分多項式により表現されているため、一部を変更しても曲線全体に影響は及ばない等の性質がある．

2.6.2 B-スプライン曲線

ここではグラフィックスの分野で使われているB-スプライン曲線の説明をする．

$N+1$ 個の点 (ベクトル) がある場合を考える．B-スプライン曲線は、漸化的に定義されるB-スプライン関数 (曲線上のパラメータ t の多項式関数) を重み付けの係数として用い各制御点の線形結合として次式のように表わされる．[38]

$$\vec{P}(t) = \vec{A}_i N_i^n(t) \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2.2)$$

$$N_i^1(t) = \begin{cases} 1 & (t_i \leq t < t_{i+1}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2.3)$$

$$N_i^k(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+k} - t_i} N_i^{k-1}(t) + \frac{t_{i+k} - t}{t_{i+k} - t_{i+1}} N_{i+1}^{k-1}(t) \quad (2.4)$$

上記の式を用いて二次のBスプライン曲線を表現する． $n = 3$ とおいて係数を計算し、次式のようになる．

$$x = x_0(1 - t)^2 + 2_1t(1 - t) + x_2t^2 \quad (2.5)$$

$$y = y_0(1-t)^2 + 2t(1-t)y_1 + y_2t^2 \quad (2.6)$$

2.6.3 ベジエ曲線

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。[39]

制御点を B_0, B_1, \dots, B_{n-1} とすると

$$P(t) = \sum_{i=0}^{N-1} B_i J_{(N-1)i}(t) \quad (2.7)$$

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

$$J_{ni}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (2.8)$$

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ている。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。

$$x = (1-t)^3x_1 + 3(1-t)^2tx_2 + 3(1-t)t^2x_3 + t^3x_4 \quad (2.9)$$

$$y = (1-t)^3y_1 + 3(1-t)^2ty_2 + 3(1-t)t^2y_3 + t^3y_4 \quad (2.10)$$

$$0 \quad t \quad 1 \quad (2.11)$$

t は 0 から 1 までの値を取る。 $t=0$ の時、 $x=x_1$ 、 $y=y_1$ になり、 $t=1$ の時、 $x=x_4$ 、 $y=y_4$ になる。

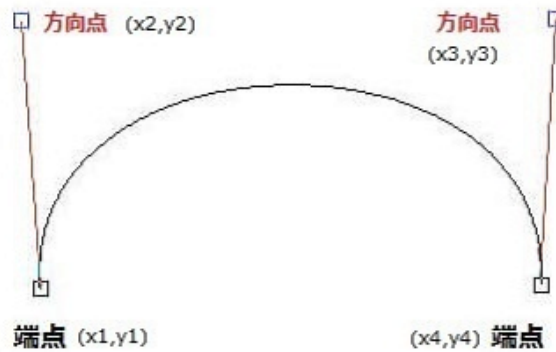


図 2.14 ベジェ曲線

2.7 遺伝的アルゴリズム (GA)

遺伝的アルゴリズム (以下 GA) とは、生物の進化の過程を真似て作られたアルゴリズムで、確率的探索、学習、最適化の 1 手法である。[40]

GA はデータ (解の候補) を遺伝子で表現した「個体」を複数用意し、適応度の高い個体を優先的に選択して、交叉 (組み換え)・突然変異などの操作を繰り返しながら解を探索する。

2.7.1 基本用語

- 個体：染色体によって特徴付けられた自律的な個
- 集団：個体の集まり
- 集団サイズ：集団内の個体数
- 遺伝子：個体の形質を規定する基本構成要素
- 対立遺伝子：遺伝子がとりうる値
- 染色体：複数の遺伝子の集まり
- 遺伝子座：染色体上の遺伝子の位置

- 表現型：染色体によって規定される形質の外部的表現．例えば、「染色体上のある位置の遺伝子の並びが 010 であるときは、羽の色が赤くなる」というような場合、「010」が遺伝子型に、また、「羽の色が赤くなる」ということが表現型に相当する．
- 適応度：各個体の環境に対する適合の度合い
- コード化：表現型から遺伝子型へ変換すること
- デコード化：遺伝子型から表現型へ変換すること

2.7.2 アルゴリズムの流れ

遺伝的アルゴリズムは一般に以下の流れで実装される．個体数を N 、最大数を G と置く．

1. あらかじめ N 個の個体が入る集合を二つ用意する．以下、この二つの集合を「現世代」、「次世代」と呼ぶことにする．
2. 現世代に N 個の個体をランダムに生成する．
3. 評価関数により、現世代の各個体の適応度をそれぞれ計算する．
4. ある確率で次の3つの動作のどれかを行い、その結果を次世代に保存する．
5. 次世代の個体数が N 個になるまで上記の動作を繰り返す．
6. 次世代の個体数が N 個になったら次世代の内容を全て現世代に移す．
7. 3. 以降の動作を最大世代数 G 回まで繰り返し、最終的に「現世代」の中で最も適応度の高い個体を「解」として出力する．

2.7.3 交叉

子供を生成する過程．生物が交配によって子孫を残すことをモデル化したもので、個体の遺伝子の一部を入れ換える操作である．問題によって様々な方法が提案されているが、一般的な方法として、以下に示すような方法が考えられている．

ランダムに M 個のペア (親) を選択し、設定された交叉確率 P_c (交叉が発生する確率) に従って、 $2 * M$ 個の子供を生成する．ここで、 M の値も、集団サイズ N と同様、GA の効率に大きな影響を与える．各ペアから子供を生成する方法 (交叉方法) には、例えば、以下に示すようなものが存在する．

- 一点交叉法

染色体の切断箇所をランダムに一箇所を指定し、その箇所で親の遺伝子を交叉させる．効率は低く現在ではあまり使われていない．

個体 A:01001—**Bold 11010** 01001 **Bold 11010**

個体 B:10101—**Bold 01011** 10101 **Bold 01011**

- 二点交叉法

染色体の切断箇所をランダムに一箇所指定し、その箇所で親の遺伝子を交叉させる．

個体 A:010—**0111010** 010 **0101010**

個体 B:101—**0101011** 101 **0111011**

- 多点交叉

染色体の切断箇所をランダムに複数箇所指定し、それらの箇所で親の遺伝子を交叉させる．一般に 3 点以上の交差点を持つ方法を多点交叉あるいは n 点交叉という．しかし一部の問題を除き、多点交叉法は二点交叉と一様交叉のどちらかよりも良い値が出ることはほとんどなく、あまり使われていない．

個体:010—**011—01** 010—**00101**

- 一様交差法

各要素ごと独立 $1/2$ の確率で入れ換える交叉である．一般に二点交叉が得意とする問題を苦手とし、二点交叉と逆の性質を示すことが知られている．

個体 A:0100111010 0100111011

2.7.4 突然変異

ある確率 P_m (突然変異率) で、突然変異を起こさせる．一般的に突然変異は、局所的最適解からの脱出に効果がある．しかし、突然変異率を大きくすると、ランダム探索に近い状態になるので、通常、小さな値が使用される．突然変異方法として、以下のようなものがある．

- 一般的な方法：各遺伝子をランダムに対立遺伝子に置き換える．
- 摂動：染色体が連続値を表すときに使用され、値をランダムに与えられた幅だけ変更する．
- 逆位：ランダムに選ばれた 2 点間の要素の順序を逆転する．
- スクランプル：ランダムに選ばれた 2 点間の要素の順序をランダムに並び替える．
- 転座：ランダムに選ばれた 2 点間の要素を他の位置のものと入れ換える
- 重複:ランダムに選ばれた 2 点間の要素を他の位置にコピーする (遺伝子長が変化)
- 位置移動：ランダムに遺伝子を 2 個選択し、2 番目の遺伝子を 1 番目の遺伝子の前に移動する．
- 挿入：ある長さの遺伝子を挿入する (遺伝子長が変化)
- 欠失：ある長さの遺伝子を消去する (遺伝子長が変化)

第3章

提案

3.1 提案手法

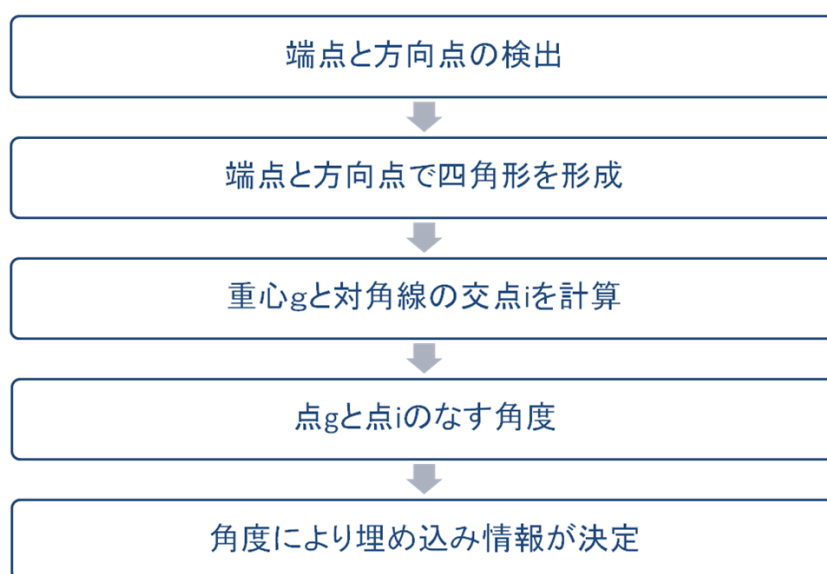


図 3.1 提案手法の流れ

今回は図 3.1 の内の埋め込みを行う。

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。

図 3.2 は 19 本のベジェ曲線で描かれた線画像である。この 19 本の曲線それ

それぞれに対して情報を埋め込む．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3.2には8byteの情報を埋め込むことが出来る．

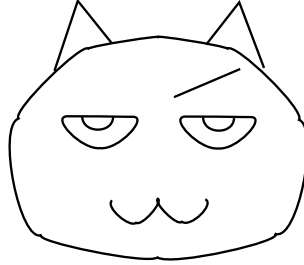


図 3.2 ベジエ曲線で描かれた線画像

3.1.1 ベジエ曲線を利用した埋め込み

- 端点と方向点で四角形を形成

提案手法では，ベジエ曲線の端点と方向点の4点を利用する．まずベジエ曲線の4点から図3.3のように四角形を形成し，その重心 g と，交点 i を計算する．

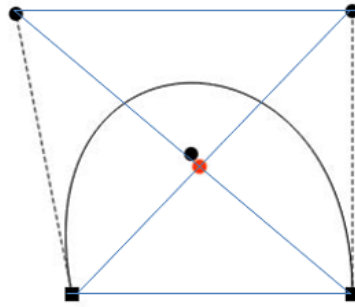


図 3.3 4点からなる四角形

- 重心 g と対角線の交点 i を計算

次に，図3.5のように交点 i と重心 g の角度を計算する．交点 i を原点とし，重心 g をベクトルとして為す角を求める．

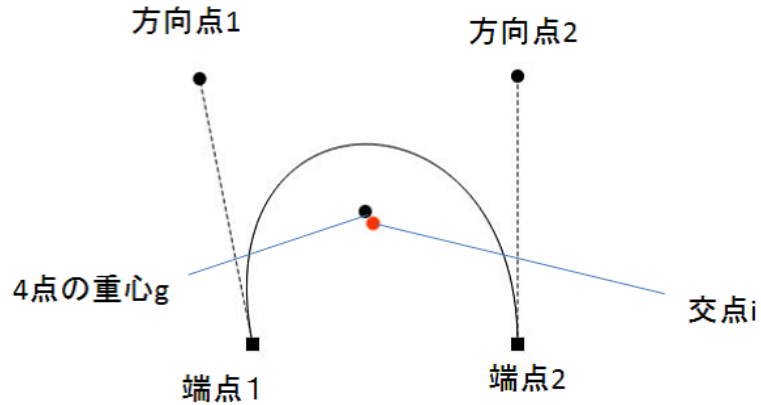


図 3.4 各点の名称

- 角度により埋め込み情報が決定

先ほど求めた角度によって図 3.8 のどの領域に含まれるか決定される。

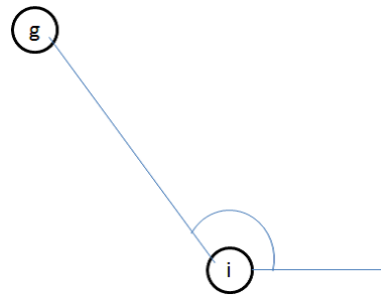


図 3.5 交点と重心の為す角

図 3.8 の領域は 45 度刻みで設定されている。図 3.3 では 2 点のなす角が 210 度なので領域 5 となる。

次に情報を任意の位置に埋め込むために方向点を操作する。

図 3.6 は方向点 1 を移動させることで領域 5 から領域 4 へと交点 i と重心 g の位置を移動させている。

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。例えば領域 3 ならば、端点と方向点の位置がずれたとしても 0 度から 45 度の範囲に収まっていれば同じ情報を抽出することが出来る。

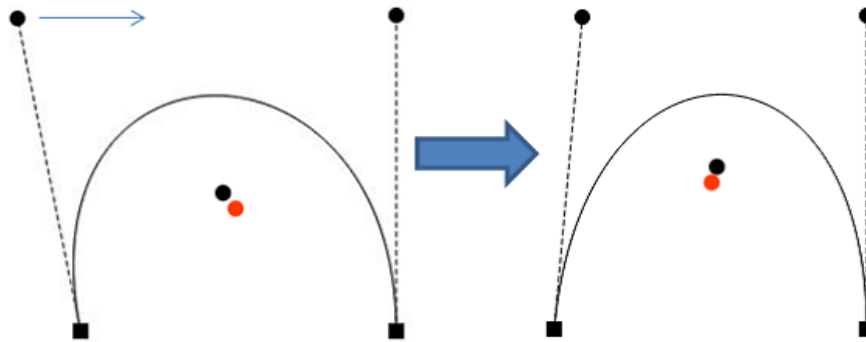


図 3.6 方向点の操作

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ことで、情報を埋め込む際に画像の歪みを小さくすることが出来る。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て、重心と交点の位置を調整する。

図 3.8 のように、領域を 8 つ分け、これにより一つの曲線につき 3bit の情報を埋め込むことを可能にした。図 3.7 では領域 5 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。

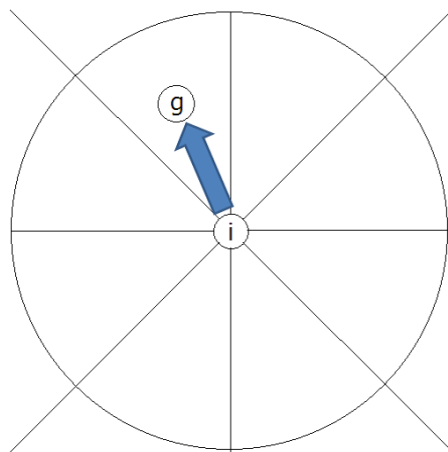
図 3.7 交点 i からみた重心 g 

図 3.8 埋込み領域の設定

3.2 実験

3.2.1 領域の確認

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3.9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)

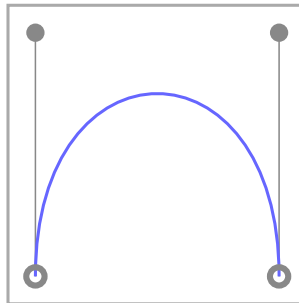


図 3.9 埋込み前のベジェ曲線

この時の交点と重心の座標は共に (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．交点と重心が重なっているので小さな方向点の変化でも，領域を簡単に変えることができる．

この図3.9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の各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．

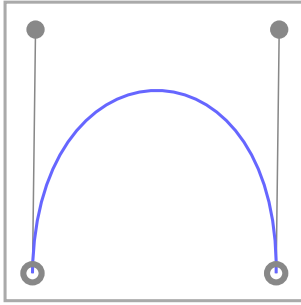


図 3.10 領域0

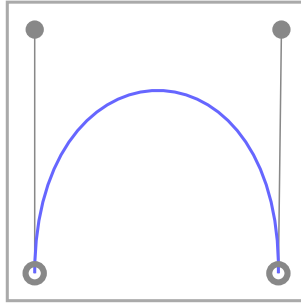


図 3.11 領域1

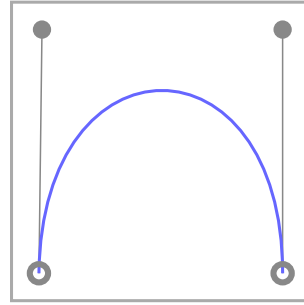


図 3.12 領域2

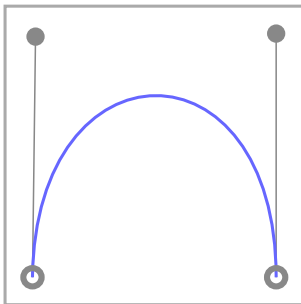


図 3.13 領域3

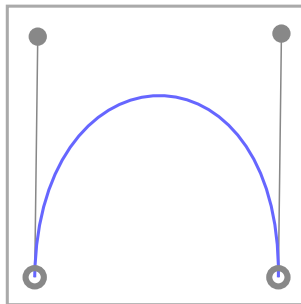


図 3.14 領域4

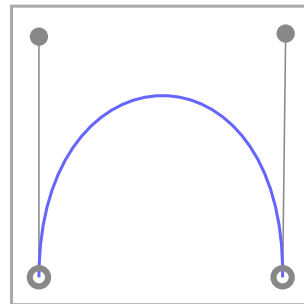


図 3.15 領域5

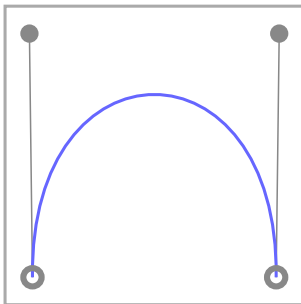


図 3.16 領域6

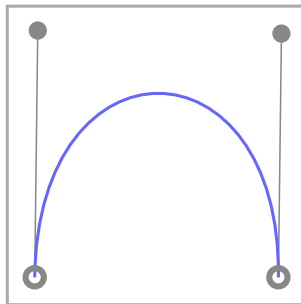


図 3.17 領域7

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. これにより端点を動かさなくても, 方向点の変化だけで任意の領域に変化させることを確認した.

3.2.2 方向点の変化量による強度の変化

次に図 3.10 から図 3.17 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)

のように変化量を大きくさせ、図 3.18 を作成した。すると図 3.10 から図 3.17 のように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。つまり、方向点の座標を上記から変更しても、同じ領域が検出されるようになる。

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、領域 3 のように 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ことが実験より分かった。

3.2.3 トレースに対する耐性

トレース画像に対する耐性を評価するために、実際に図 3.18 をペイントソフトのベジェ曲線を使いなぞり、図 3.19 を作成した。その領域を調べたところ、トレース画像である図 3.19 の端点と方向点は、図 3.18 とは違う数値を示したが、図 3.18 と同じ領域が検出された。これによりトレース画像に対する耐性が確認された。

また、同じ領域である図 3.14 でも同様の処理を施したが、こちらは違う領域が検出された。これは先ほどの結果が示すように端点と方向点の位置が変化したため、変化量の小さな図 3.14 の曲線では、トレースの際の変化に耐えることが出来なかったためと考えられる。

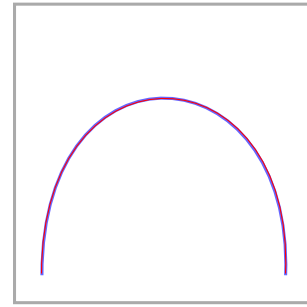
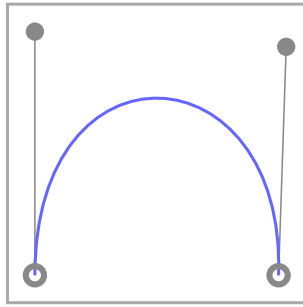


図 3.18 強度を上げたベジェ曲線

図 3.19 トレースしたベジェ曲線

3.2.4 画像への埋め込み

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。実際に情報を埋め込んだ画像を図 3.21 に示す。

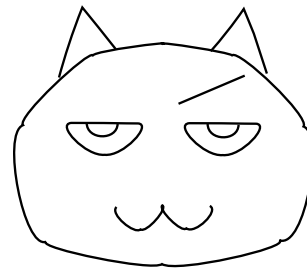
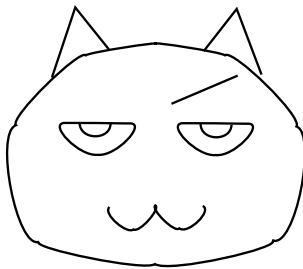


図 3.20 ベジェ曲線で描かれた線画像

図 3.21 情報を埋め込んだ画像

第4章

結論

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なことを確認した。また、変化量を増やし、角度を考慮することで強度が上がることが判明した。

ベジェ曲線に情報を埋め込む際の問題点として、直線に情報を埋め込むことが非常に難しいという問題点がある。情報を埋め込むだけならば、直線を微小にカーブさせることで情報を埋め込むことが出来る。しかし、トレースが行われた場合、人の目に分からないカーブであるなら、直線としてなぞられる可能性が高い。これにより情報が消えてしまう恐れがある。このことから、人物のようなほとんど直線が存在しない画像ならば問題はないが、建物などの背景のような直線によって描かれる画像には、情報を埋め込むことが難しい。

更に複雑な画像へ埋め込む場合には2章で記述した通り、パーツごとに分ける必要がある。例えば人であれば、顔、体、手、足、髪、など多くのパーツに分ける事ができる。それぞれのパーツごとに情報を埋め込むことで部分的なトレースにも対応することが可能だと考えられる。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許容されるか
- 平行四辺形を元にした線画像のベジェ曲線での近似法

が挙げられる。

謝辞

本研究を行うにあたり，終始熱心に御指導していただいた木下宏揚教授と宮田純子助手に心から感謝致します．また，公私にわたり良き研究生活を送らせていただいた木下研究室の方々に感謝致します．

2013年2月

工藤 敬文

参考文献

- [1] 田村秀行：“コンピュータ画像処理”，オーム社，2002年．
- [2] 金野和弘，“デジタル著作権(DRM)に関する研究”，社会技術研究論文集 2005．
- [3] DRMの抱える問題とは～ドイツの国際会議では“不要論”も，
<http://internet.watch.impress.co.jp/cda/event/2005/03/08/6746.html>
- [4] 森亮一，河原正治，大瀧保広，“超流通:知的財産権処理のための電子技術”，情報処理学会誌，Vol. 37, No. 2,pp155-161，(1996)
- [5] 佐々木良一，芦野佑樹，増淵孝延，“デジタル・フォレンジックの体系化の試みと必要技術の提案”，情報処理学会論文誌学会誌，vol.20，No.2，pp49-61，(2006)．
- [6] 佐々木良一，芦野佑樹，“セキュリティデバイスとヒステリシス署名を用いたデジタル・フォレンジックシステムの提案と評価”，情報処理学会論文誌 49(2), pp999-1009,(2008)
- [7] 井上喬視，中島潤，“ネットワークフォレンジックシステム向けトラフィックデータ保存専用ファイルシステムの開発”，全国大会講演論文集第72回平成22年(3),pp625-626，2010
- [8] 中島潤，“次世代電子商取引における証拠保全と高速ネットワークに対応可能なフォレンジックシステムの提案”，北海道学園大学経営論集7(3)，pp51-63，2009

- [9] 黄瀬浩一, 岩村雅一, 中居友弘, 野口和人, “ 局所特徴量のハッシングに基づく大規模画像検索 ”, データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム論文集, D6-3, 2009
- [10] 柳井啓司, “ 一般物体認識の現状と今後 ”, 情報処理学会論文誌. コンピュータビジョンとイメージメディア 48(SIG16(CVIM19)), pp1-24, 2007
- [11] 多田晶裕, 加藤俊一, “ 階層的分類を用いた資格完成のモデル化と類似画像検索への応用 ”, 情報処理学会論文誌 2003
- [12] 木村昭吾, 川西隆仁, 大塚和弘, 河野隆夫, “ 重み付き特徴点照合に基づく高速画像検索 ”, 電子情報通信学会技術研究報告 . PRMU, パターン認識・メディア理解 105(118), pp7-12, 2005
- [13] David G . Lowe , “ Distinctive image features from scaleinvariant keypoints ”, Int , l . J . Computer Vision , 60 , 2 , pp91-110(2004) .
- [14] Navneet Dalal and Bill Triggs , “ Histograms of Oriented Gradients for Human Detection ” , Proc . of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR) , pp886-893 , 2005
- [15] Herbert Bay , “ SURF : Speeded Up Robust Features ” , Computer Vision and Image Understanding (CVIU) , vol . 110 , No . 3 , pp346-359 , 2008
- [16] SURF “ Speeded-Up Robust Features の紹介 ” ,
<http://storage.osdev.info/pub/idmjt/diaryimage/0901/neta090130l1.pdf>
- [17] 工藤護, 木下宏揚, 森住哲也, “ イラストの著作権保護のための局所特徴量を用いた複製検出 ”, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2012), 4 F1-4
- [18] 小野淳史, 天野督士, 斗谷充宏, 佐藤隆, 坂内正夫: “状態遷移モデルとシーン記述言語による自動キーワード付与機能をもつ画像データベース

- とその評価, "信学論 (D-II), vol.J79-D-II, no.4, pp.476-483, 1996年 .
- [19] "Dublin Core , " < <http://www.kanzaki.com/docs/sw/dublin-core.html> >
- [20] "神奈川大学図書館蔵書検索 , " < <http://opaclib.kanagawa-u.ac.jp/> >
- [21] 斎藤剛史, 金子豊久: "花と葉による野草の自動認識, "電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II No.7, pp.1419-1429, 2001年7月 .
- [22] 松崎公紀, 櫻村雅章, 小沢慎治: "概略図を入力とした特徴量グラフに基づく絵画画像検索, "電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-II No.2, pp.521-533, 2004年2月 .
- [23]] "電子透かし報告書" <http://it.jeita.or.jp/eltech/report/2001/01-jou-04.pdf>
- [24] KIT ステガノグラフィ研究グループ
<http://www.datahide.com/BPCSj/>
- [25] ステガノグラフィ
<http://hp.vector.co.jp/authors/VA017815/insideof4.htm>
- [26] 高橋由泰, 木村徹, 加藤弘之, 日高宗一郎, 青木輝勝, " 切り取り耐性を考慮した電子透かしの方式の実現 ", 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2001年. 情報・システムソサイエティ大会講演論文集, pp188, 2001-08-29
- [27] 西又正勝, 黒田圭一, " 非対称型電子透かしの実現に対する一提案 - 複数の透かしの相補的に埋め込むことはできないか - ", 電子情報通信学会 . 暗号と情報セキュリティシンポジウム, 3 F3-2(2006.1).

- [28] 伊藤慎也, 坪川宏, “ マスキング効果を利用した JPEG 圧縮に耐性ある電子透かし ”, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J85-D-II(11), pp1664-1671, 2002
- [29] 大平倫宏, 大原衛, 山口隆志, “ 3D モデルにおける電子透かし方法の開発 ”, 東京都立産業技術研究センター研究報告 第 6 号, pp2-52011
- [30] 室谷浩平, 杉原厚吉, “ SSA アルゴリズムを用いた 3 次元多角形メッシュへの電子透かしの埋込み ”, 情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告 2003(86), pp19-24, 2003
- [31] 大淵竜太郎, 高橋成雄, 宮沢貴彦, 向山明夫, “ スペクトル分解を用いた 3 次元メッシュへの電子透かしの埋込み ”, 情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告 2000(78), pp7-12, 2000
- [32] 藤井康広, 中野和典, 越前功, 吉浦裕, 手塚悟, “ 局所特徴量を用いた二値画像用電子透かしの画質維持方式 ”, 情報処理学会論文誌 44(8), pp1872-1883, 2003
- [33] 三宅哲平, 栗山繁, “ 図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋込 ”, 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界 J93-A(2), pp73-81, 2010
- [34] 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
- [35] 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
- [36] Hiroshi NAGAHASHI, Rikima MITSUHASHI, Ken'ichi MOROOKA, “ A Method for Watermarking to Bezier Polynomial Surface Models ”, EICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol. E87-D No. 1 pp224-232, 2004
- [37] 電子透かし技術の種類と使用法
<http://dev.sbins.co.jp/watermark/usage.html>

-
- [38] ”大山崇のホームページ”
<http://www.nirarebakun.com/>
- [39] ”画像情報処理学習支援プログラム”
<http://www.gifu-nct.ac.jp/elec/yamada/iwata/index.html>
- [40] ”MSDN アカデミックアライアンス”
<http://msdn.microsoft.com/ja-jp/academic/default>

発表文献

1. 工藤敬文, 宮田純子, 森住哲也, 木下宏揚, ”自由曲線を用いた電子透かしの提案”, 信学技報, vol. 112, no. 343, SITE2012-44, pp. 7-11, 2012年12月.
2. 工藤敬文, 宮田純子, 森住哲也, 木下宏揚, ”ベジェ曲線を用いた電子透かしの提案”, SITE2013, 2013年3月.

質疑応答