

## 実写画像への手描き風輪郭線付加による絵画画像自動作成

坂本祐軌† 山名早人††, †††

† 早稲田大学大学院基幹理工学部研究科 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

†† 早稲田大学理工学術院 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

††† 国立情報学研究所 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2

E-mail: {ysaka, yamana}@yama.info.waseda.ac.jp

本稿では、実写画像に手描き風の輪郭線を付加して絵画調にするフィルタを提案する。入力画像から輪郭線の軌跡を抽出してそこにラインパターン（鉛筆、ペン、筆、クレヨン等で描いた線）を被せることで、様々な輪郭線の表現を可能にする。これにより、ユーザーの希望する種類の輪郭線を付加した絵画画像の自動生成を可能にすることを目的とする。この目的を実現するためには絵画画像として自然な輪郭線の軌跡を抽出する必要がある。しかし、既存の輪郭線抽出では輪郭線が分断されたり、ひげができるという問題がある。本稿では、こうした問題を解決するため、分断された輪郭線を纏め上げると同時に余分なひげを削減した輪郭線を抽出する手法を提案する。この結果、自然な輪郭線が抽出可能になり、手書き風の輪郭線を表現可能になった。

## Automatic Non-Photorealistic Rendering Based on Adding Freehand Borderlines to Photographs

Yuki SAKAMOTO†, Hayato YAMANA††, †††

†Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555, Japan

††Science and Engineering, Waseda University 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555, Japan

†††National Institute of Informatics 2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8430, Japan

E-mail: {ysaka, yamana}@yama.info.waseda.ac.jp

This paper proposes a new method for the automatic non-photorealistic rendering based on adding freehand borderlines to photographs. The proposed method enables various borderline expressions by extracting borderlines from an input image, and pouring various line patterns which are drawn with a pencil, a pen, a brush, and a crayon. That results in automatic generation of the picture which user hopes for. In order to extract natural borderlines from a picture, we propose a new method to extract a series of borderline, because conventional borderline extraction methods have problems such as dividing of borderlines and including short branches. As a result, the proposed method is able to extract natural borderlines that results in handwriting-like borderline expressions.

### 1 はじめに

ノンフォトリアリスティックレンダリング (Non-Photorealistic Rendering : NPR) とは視覚情報をより効果的に伝達したり、芸術性や娯楽性を高める絵画、イラスト調の画像を生成する技術である。絵画やイラストは必要な情報が取捨選択されているため、実写画

像よりも効果的な情報伝達が可能な場合がある[1]。一方、近年画像を用いてコミュニケーションを行うサービスが普及してきている。このような画像の利用はコミュニケーションを円滑にし、お互いの情報共有を高める目的で用いられている。NPR の効果的な情報伝達

能力は、このようなコミュニケーション手段において効果的に活用されると考えられる。

本稿は以上の考えの下に NPR 手法を提案する。更に利用者のオリジナリティを出すことが可能な NPR 手法を考案する。具体的には、絵画調の画像において画像全体の雰囲気を変化する輪郭線に着目し、輪郭線の種類を自由に変更できる手法を提案する。従来の輪郭線付加の手法は付加される輪郭線が限定されており、輪郭線の種類を選択することは考慮されていなかった。さらに、抽出された輪郭線に様々な種類のラインパターン（鉛筆、筆、クレヨン、ペンなどで描いた線）を付加することを可能とするための輪郭線抽出方法を提案する。なお、ラインパターンは利用者が加工することができ、これにより利用者のオリジナル画像を作成することが可能になる。

## 2 関連研究

輪郭線を付加した画像を生成する手法は大きく 2 つに分類できる。一つは 3 次元モデルを対象とした手法であり、もう一つは実写画像を対象とした手法である。

3 次元モデルを対象とした手法は、本稿の手法と同様に多様な輪郭線表現が可能であり [2][3][4]、多様な輪郭線表現への潜在的なニーズがあることが伺える。3 次元モデルを対象とした場合、レンダリングの順序を調整することで背景と物体の領域を完全に分離することができるため、輪郭線抽出が容易である。しかし、3 次元モデルを利用可能な状況は限られているという問題を持つ。

実写画像を対象とした手法では、輪郭線を付加する手法は存在するが、それぞれの手法につき、生成可能な輪郭線の画風は 1 種類に限られる。自己商画像をバイラテラルフィルタによりイラスト調の線画に変換した手法 [5] は画像の局所的な情報は用いない簡単な計算にも関わらずイラスト調の輪郭線表現を可能にしている。しかし、得られる画風は 1 種類に限られている。ま

た、多重スケール解析による手法 [6] はインタラクティブな処理を目的とした高速な処理であるが、同じく得られ画風は 1 種類に限られている。このように、実写画像を対象とした手法では輪郭線抽出が難しく、画風に合わせて輪郭線抽出の手法を調整する必要があり、複数の画風に対応することができなかった。

## 3 提案手法

本稿では輪郭線に適用するラインパターンを自由に選択、作成可能にすることで従来の実写画像への輪郭線付加ではできなかった画風の選択を可能にする手法を提案する。利用者のオリジナル画像を作成可能になり、画像によるコミュニケーションに娛樂性を付加できると期待できる。

以下、3.1 で概要を示し、3.2 で輪郭線の抽出方法を示し、3.3 でラインパターンの適用方法を示す。

### 3.1 概要

本システムの流れを以下に示す (図 1)。

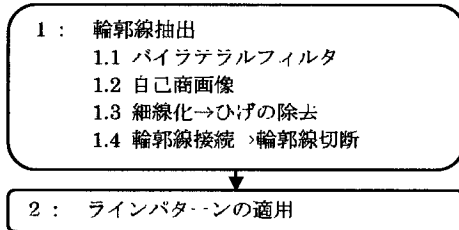


図 1 本システムの概要

図 1 に示すように、輪郭線付加画像の作成段階を輪郭線の軌跡抽出とラインパターンの適用の 2 つのステップに分離する。これにより、輪郭線の軌跡が抽出されれば、ラインパターンの適用段階でラインパターンを変更することで様々な画風を持った画像を作成することができるようになる。

図 2 に輪郭線抽出とラインパターン適用の例を示す。

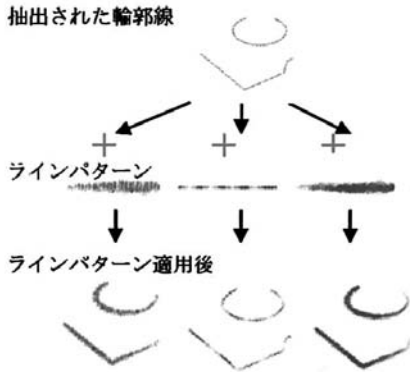


図 2 輪郭線へのラインパターン適用

### 3.2 輪郭線の抽出

輪郭線とは 8 近傍で接続された分岐のない線のことを示し、表 1 で示す情報を持つ。一枚の画像にはこの輪郭線が必要数存在する。

表 1 輪郭線オブジェクトの保持情報

Length	輪郭線の長さ
Start Point	輪郭線の末端座標
End point	輪郭線の末端座標
Angle	輪郭線の接続方向の平均
AdjVector [L-1]	隣接ベクトル

#### 3.2.1 パイラテラルフィルタの適用

輪郭線抽出においては、余分な輪郭線抽出を抑えるためにパイラテラルフィルタ[7]を適用する。パイラテラルフィルタはエッジ保持平滑化フィルタと呼ばれ、画像全体の平滑化をしつつ、エッジ部分はほかされずに残る性質を持つ[7]。この性質のため実写画像にパイラテラルフィルタを適用させた場合には以下のような効果がある。

- 撮影時に混入するノイズを除去する
- 本質的なエッジ部分を強調する

#### 3.2.2 自己商画像の作成

3.2.1 により平滑化された画像から自己商画像を作成し、2 値化を行う。自己商画像とは原画像を平滑化した画像と原画像との商を求めることによって輪郭線

抽出を行う手法である。自己商画像による輪郭線抽出は、陰影に影響されにくく、微分フィルタ等の輪郭線抽出方法に比べ物体と背景の境界にだけ輪郭線が現れやすい。簡単な計算で輪郭線を抽出することができる。しかし、他の輪郭線抽出法と同様に輪郭線が途切れたり、抽出された輪郭線が滑らかでなかったり、画像にノイズが混在してしまう等の問題がある。

これは原画像のノイズや、原画像の輪郭部分のゆらぎによって起こる現象である。

本手法ではこの問題を回避するために事前にパイラテラルフィルタを用いて原画像のノイズ、輪郭部分のゆらぎを抑えている。

#### 3.2.3 細線化・ひげの除去

3.2.2 によって作成された輪郭線画像に Hilditch の細線化法[8]を用いて、8 近傍の隣接関係を持った細線化を行う。次に細線化によって発生するひげを除去する。ここで、ひげとは隣接ピクセル数が 1 のピクセルから最も近い分岐点までの接続数が一定数以下の輪郭線を示し、これを除去する。ひげの除去は以下に示す状況を回避するために行う。

輪郭線抽出の後に行うラインパターンの適用段階において、輪郭線は分岐を含まない線でなければならない。これは、手書きで線を引く際に分岐して線を引くことは不可能であるからである。例えば、図 3 に示す例では、□ の分岐点において輪郭線が分岐しており、ラインパターンを分岐のどちらに進み適用させてよいを判断できない。仮に、ひげである輪郭線にラインパターンを適用させてしまった場合、本質的な輪郭線である長い輪郭線にラインパターンを適用できなくなる。以上の理由でひげを除去する。

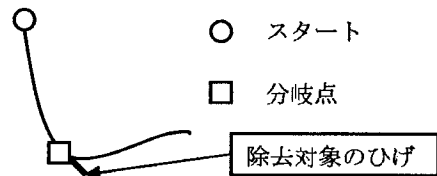


図 3 輪郭線の分岐例

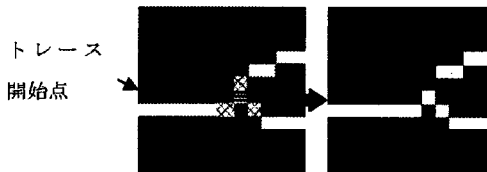
### 3.2.4 輪郭線切断・接続

次に自己商画像作成時にできる分断された輪郭線の纏め上げを行う。また、3.2.3 のひげの削除では対処できず残っている分岐点を除去するために輪郭線の切断を行う。

#### ● 輪郭線切断

輪郭線は急速な方向変化はしないものと仮定し輪郭線切断を行う。つまり、輪郭線の分岐が発生した場合、その分岐までの輪郭線方向（隣接方向の平均）と近い分岐を残し、そうでない分岐を切断する。具体的手順を以下に示す。

- ① 全ピクセルを走査し、隣接する輪郭線ピクセル数が1であるピクセルを見つける。
- ② ①で見つけたピクセルから輪郭線をトレースする。
- ③ 隣接ピクセル数が3以上のピクセルを発見したら、①で見つけたピクセルからここで発見したピクセルまでの方向を計算する。④へ。
- ④ ③で見つけたピクセルから分岐しているピクセルの中で最も③で計算した方向に近いピクセルを残し、それ以外の分岐を切断する。③へ。
- ⑤ 画像全体で隣接ピクセルが3以上のピクセルが無ければ終了。あれば①へ戻る。



- 輪郭ピクセル
- 分岐点
- 隣接ピクセル

図4 輪郭線の切断

#### ● 輪郭線接続

輪郭線切断時の仮定と同様に輪郭線は急速な方向変化はしないものとして輪郭線接続を行う。つまり、輪郭線の進行方向にある他の輪郭線と接続するように

する。具体的手順を以下に示す。なお、輪郭線切断と類似しているため処理の違いのステップのみ記す。

- ③ 隣接ピクセル数が1のピクセルに到達したら①で見つけたピクセルからここで発見したピクセルまでの方向を計算し、④へ。
- ④ ③で見つけたピクセルから③で計算した方向にあり一定距離以下にある、隣接ピクセル1のピクセルと接続する。

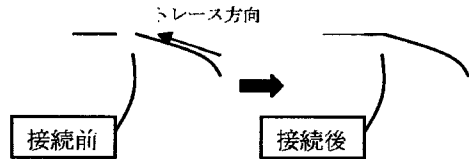


図5 輪郭線の接続

以上二つの操作により、輪郭線は分岐がなく、細かく分断されていない輪郭線に纏め上げることができる。

### 3.3 ラインパターンの適用

3.2の輪郭線抽出方法により、分岐がなく細かく分断されていない輪郭線が抽出される。この抽出された輪郭線一本ずつに、ラインパターンを適用していく。ここでは手法[9]で用いている輪郭線へのラインパターン適用方法を用いた。

## 4 実験

提案手法を用いて実写画像にラインパターンを適用した結果を示す。実行環境を表2に示す。また、開発したシステムの画面をエラー! 参照元が見つかりません。に示す。ユーザーは画像を入力して輪郭線抽出ボタンを押すことで輪郭線抽出を行う。一度輪郭線が抽出されれば、後は下部のラインパターンが表示されているエリアをクリックしてラインパターンを入れ替えることができる。

表2 実行環境

CPU	Intel Pentium M 1.5GHz
OS	Windows XP
メモリー	512MB RAM

人画像の解像度は縦 600 ピクセル、横 800 ピクセルである。図 6 に必ず例の場合、輪郭線抽出にかかった時間は 5.6 秒、ラインパターンの適用にかかった時間は 0.65 秒であった。輪郭線の抽出にかかる時間は遅いが、一度輪郭線を抽出すればラインパターンの適用は高速に行える。これにより、ユーザーの希望する様々なラインパターンの適用をすぐに試すことが可能である。

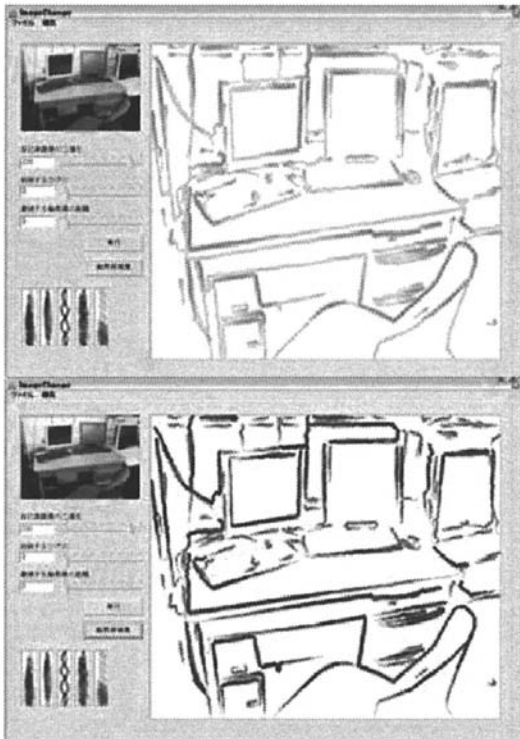


図 6 ラインパターン入れ替えの様子

## 5 おわりに

実写画像から輪郭線を抽出しラインパターンを付加することで様々な輪郭線表現を可能にする手法を提案した。本稿では輪郭線抽出とラインパターン適用を別に扱い、様々な輪郭線表現を実現する過程を示した。特に、ラインパターンが適用可能なように輪郭線を整形していく過程については詳細に述べた。

今後の課題として、輪郭線抽出手法の改善が挙げられる。絵画画像において必要な輪郭線は実写画像から

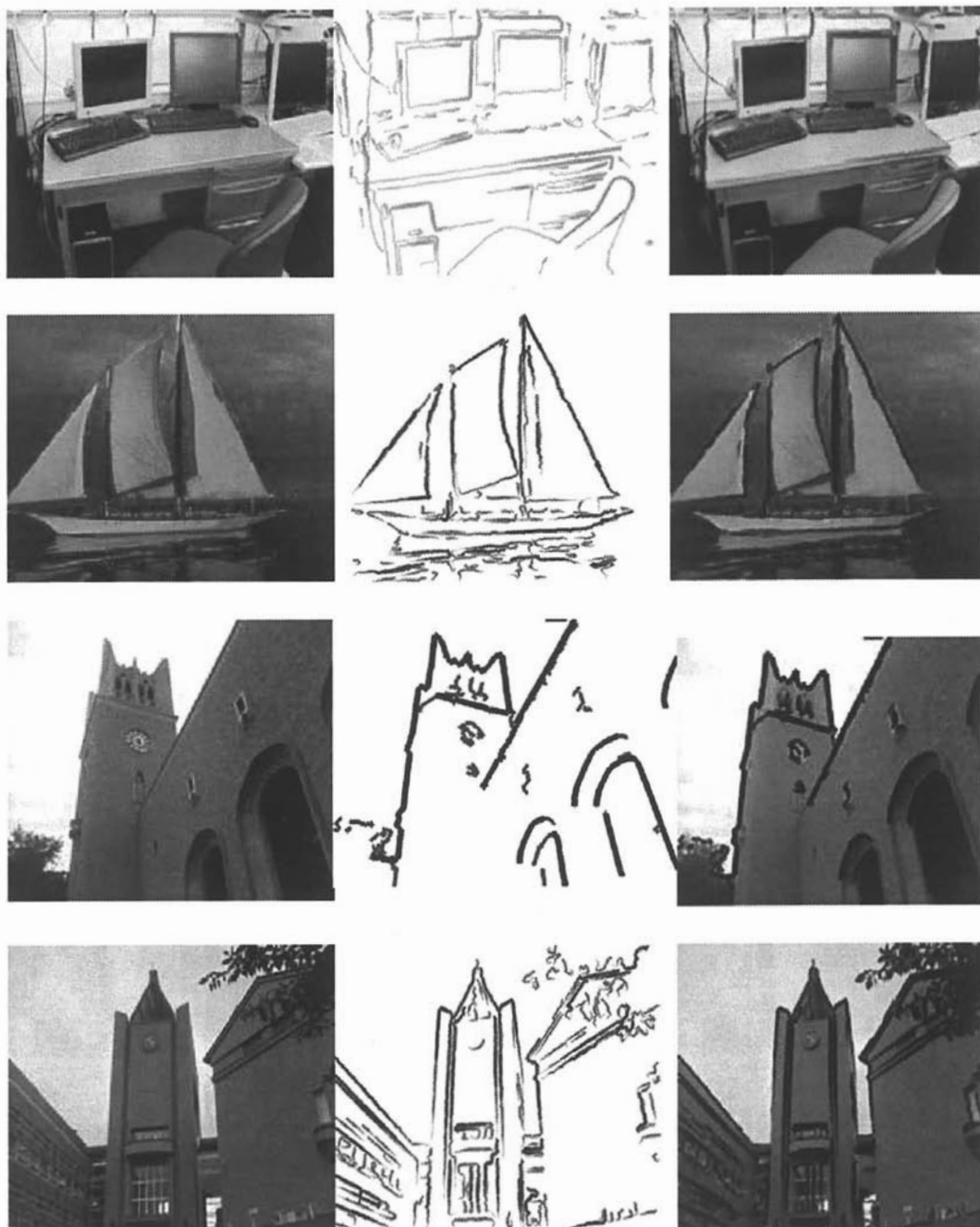
抽出される輪郭線とは必ずしも一致しない。この為絵画画像において輪郭線が引かれる条件を解析し、解析結果に基づき輪郭線を抽出していく必要があると考えられる。本手法でも、不自然と思われる箇所に輪郭線が引かれてしまう例があり、改善が必要である。また、現在進めている対策としてユーザーとのインタラクティブにより、輪郭線の整形を行う方法も模索している。

最後に付録として本手法による輪郭線付加の実例を示す。

## 参考文献

- [1] 高木 佑恵了, “ノンフォトリアリスティックの研究動向,” 映像情報メディア学会技術報告, Vol.23, No.63, pp. 1-6 (1999)
- [2] J.D. Northrup, L. Markosian, “Artistic Silhouettes: A Hybrid Approach,” Proc. of NPAR 2000, pp. 31-38 (2000)
- [3] B. Gooch, A. Gooch, “Non-Photorealistic Rendering,” p.243, AK Peters Ltd, Natick, Massachusetts (2001)
- [4] T. Strothotte, S. Schlechtweg, “Non-Photorealistic Computer Graphics Modeling, Rendering, And Animation,” p.470, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco (2002)
- [5] 景琳琳, 井上光平, 浦浜喜一, “自己商画像の非等方平滑化に基づくイラスト風画像,” 信学論 A, Vol. J89-A, No. 5, pp. 385-386 (2006)
- [6] 塚越貴之, 斎藤隆文, 宮村浩了, 瀬川大勝, “ウェブプリント変換を用いた非写実的画像生成,” 情報研報(グラフィックスと CAD), Vol.2005, No. 118, pp.55-60 (2005)
- [7] 井上 光平, 浦浜 喜一 “非等方バイラテラルフィルタによるユッジ保存縞模様強調,” 信学技報, Vol.103, No.210 pp.89-94 (2003)
- [8] 高木幹雄, 下田陽久, “新編画像解析ハンドブック,” p.1991, 東京大学出版会, 東京 (2004)
- [9] 小林宏嗣, 小山敏之, 中丸幸治, 大野義夫, “3次元 CG における多様な輪郭線の表現,” 第 19 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.27-32, (2003)

# 付録



提案手法による結果画像例(左から原画像, ラインパターン適用結果, 原画像への添付結果)