

Saliency MapとLIC法を利用したアクセントのある鉛筆画生成法 - Accentuated Pencil Drawing Generation Using Saliency Map and LIC-

畠 康高[†] 茅 暁陽[‡] 豊浦 正広[‡]

Michitaka HATA[†] Xiaoyang MAO[‡] and Masahiro TOYOURA[‡]

[†]山梨大学大学院 医学工総合教育部 [‡]山梨大学大学院 医学工総合研究部

[†]Department of Education, Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

[‡]Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

E-mail: [†]G10DHLA1@yamanashi.ac.jp [‡]{ mao, mtoyoura }@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

油絵や水彩画等、様々な絵画調画像の生成法が提案されている。絵画は写真と比べ、強調・省略によって効果的に情報を伝えられる特徴があるため、絵画調画像生成技術はプロモーションビデオやコマーシャルをはじめ、様々な映像制作現場で応用されている。動画制作の場合は大量のフレームを処理する必要があるため、自動生成が特に重要になる。本研究では入力画像を人間が描いた鉛筆画により近い画像に自動変換する新しい絵画調画像生成法を提案する。

人間が描く鉛筆画では、画面全体を一様に描かず、図1のように省略、暗示等の手法でアクセントをつけ、焦点に注目が向かうようになっている。しかし、「強調的に描く」とは作者が情報の取捨選択を行うという主観的行為であるため、自動で実現することは困難である。

一方、対象を認識し再構成するピカソに代表されるオブジェクト中心の描き方に対し、ビュー中心と呼ばれる見たままを描く方法がある。印象派の先駆者の一人であるJ. M. W. Turnerは「my job is to draw what I see, not what I know」という名言を残した。彼の作品の多くはある瞬間の風景を捉えたものであり、一瞬にして目を引いたものがしばしば主題として強調的に描かれている(図2)。本研究では画像内の一瞬にして目を引くものはSaliency Map[1]で表現できることに着目する。Saliency Mapで示される顕著な箇所をビュー中心の焦点として用い、「強調的描画」効果のある鉛筆画の生成を試みる。

本研究では写真を鉛筆画へ自動変換するLIC鉛筆画生成法[2]とSaliency Mapを組み合わせることでアクセントのある鉛筆画の自動生成を実現する。

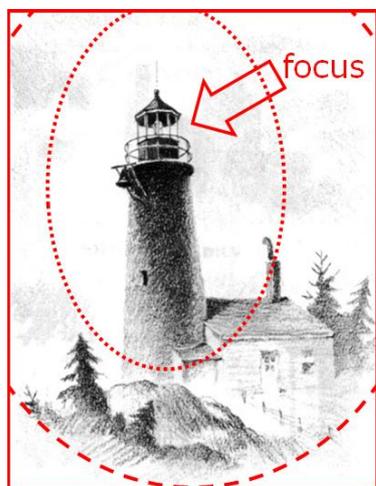


図1：焦点と描き方

焦点に近いほど詳細にくっきりと描き。一方、焦点から遠いほど大胆に、淡く、省略し、強調している。つまり、点線の内側は、点線と破線の間に比べくっきり描かれている。

そして、破線の外側は省略されている。出典[3]



図2：ビュー中心のJ.M.W. Turnerの絵
“Rain Steam and Speed the Great Western Railway”

2. 関連研究

2.1 鉛筆画

既存の絵画風画像生成法には次の3つの方法がある：
(1) 3次元モデルを入力とする自動生成法；(2) 仮想キャンバスによる対話的生成法；(3) 画像フィルタリング法

3次元モデルを入力とする自動生成法では、オブジェクトの形状情報や位置情報が存在するため、それぞれのオブジェクトに対して、効果的な表現を設定でき、高品質な画像を作ることができる。一方、3次元モデルを入力とするため、誰もが手軽に利用できるのではないことが欠点である。3次元モデルを入力とする代表的な絵画調画像生成法に Deussen らの研究がある。視線ベクトルとポリゴンの法線ベクトルからストロークの最適方向を算出し、ポリゴンのハッチングを自動生成することができる。また、Soura らは鉛筆及び鉛筆と紙との相互作用を顕微鏡で観察し、画材と描き方に関する様々なパラメータのルックアップテーブルを作成して鉛筆画風画像の対話的生成 [5] と3次元モデルの鉛筆画風レンダリングに応用した [6]。

仮想キャンバスによる対話的生成法では、ユーザが仮想のキャンバスに絵を描くので、自分の意図やスタイルを反映して画像を生成することができる。しかし、現実と同じように描くため、絵の完成度はユーザの知識や実力次第となる。また、時間が掛り労力も必要である。代表的なものに Vermeulen と Tanner の PencilSketch システムが挙げられる[7]。仮想 5D タブレットと呼ばれるインタフェースが提供されて、ユーザは鉛筆の芯の硬さ、鉛筆の傾き、筆圧を設定し、仮想キャンバスにマウスを使って直接ストロークを描画する。

画像フィルタリング法は各種レタッチングソフトで広く利用され、写真などの入力画像をフィルタに通して絵画調効果を得る方法である。利点としては、入力画像を用意する他にユーザがする作業は無く、動画制作など、大量の画像を処理する場合も利用できることが上げられる。ただし、一般的に、3次元情報も無く、また、ユーザによる細かな設定や作成時の情報が無いため、高品質な絵画画像を作るのは難しい。この方法には、茅らの LIC 鉛筆画生成法がある[2]。また LIC 鉛筆画生成法の拡張でもある提案手法も画像フィルタリング法に分類できる。

2.2 Saliency Map

Saliency Map とは Itti らが提案した視覚的注意の強さ(顕著度)を表す画像である。近年、CG 及び可視化分野においてその利用がたいへん注目されている。

Ouerhani らは視覚的注意の高い部分を素に領域分割を行った。これによって、注目する部分から領域が作られるため、通常の方法より人間にとって違和感のない領域分割ができる [8]。また、Collomoss らは、油絵風画像の生成に利用した。まず、エッジ部分の視覚的注意を検出し、注意の高い部分を後から描くことによって、周りのストロークによって輪郭が侵食されるのを防止し、しっかりとしたオブジェクトの境界を描くことに成功している[9]。さらに、Lee らの研究では、曲面の曲率の中心周辺差分の Saliency Map を作成し、顕著度にあわせて各解像度の層を適用的に制御するメッシュ生成法を手案した。これにより、注目し易い部分のメッシュが細かく滑らかになるため違和感が無くなり、また、注目し難い部分のメッシュを粗くすることによりメッシュ全体のサイズを抑えることができる [10]。

3. 前提手法

3.1 LIC 法を用いた鉛筆画生成法

LIC (Line Integral Convolution) 法とは流れの軌跡を可視化する手法である。ホワイトノイズをベクトル場に沿ってぼかすことで実現される。LIC 鉛筆画生成法[2]では LIC 画像により可視化された流れの軌跡が鉛筆のストロークに似ることを利用している。LIC 鉛筆画生成法では入力画像の濃淡に基づいて生成されたノイズをストロークの方向を定義するベクトル場に沿ってぼかすことで鉛筆画風画像を自動生成する。下記に生成手順を示す(図 3)。

1. 入力画像からグレースケール画像を生成する。
2. グレースケール画像からエッジ画像を生成する。
3. グレースケール画像からランダムディザ法で2値化しノイズ画像を生成する。
4. グレースケール画像から輝度勾配を利用してベクトル場を生成する。
5. ノイズ画像とベクトル場からLIC画像を生成する。
6. エッジ画像とLIC画像を合成しストローク画像を生成する。
7. ストローク画像と紙画像を合成し出力画像(鉛筆画)を生成する。

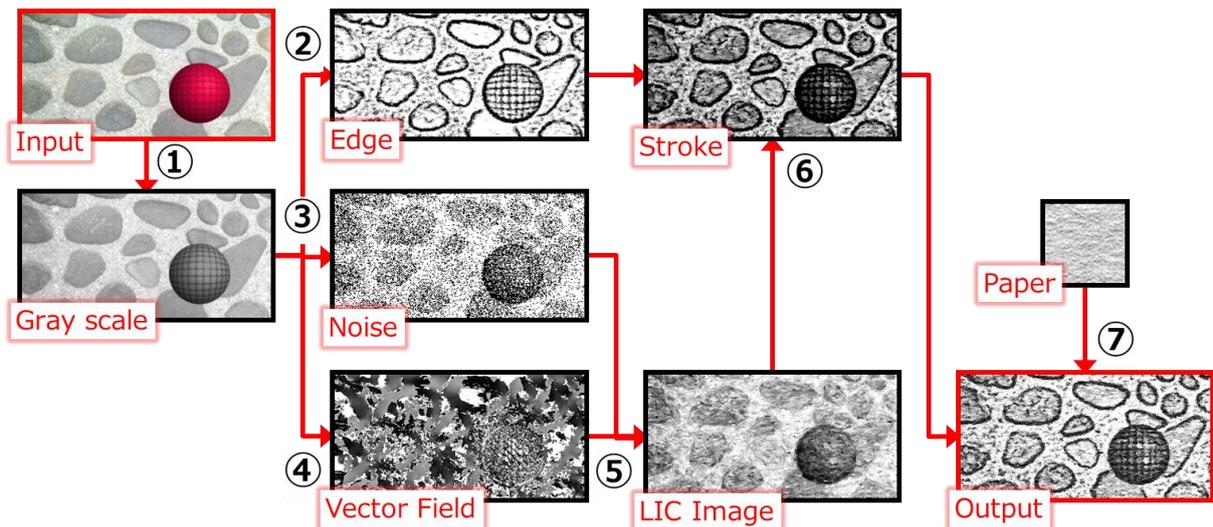


図 3 : LIC 法を用いた鉛筆画生成法

3.2 Saliency Map の生成法

Saliency Map の生成法は人間がボトムアップで映像を処理する過程をモデル化したものである。まず、入力画像の輝度、色、方向性を多解像度で抽出する。そして、各要素でガウシアンピラミッドを生成し、中心-周辺型受容野を模した方法で Feature Map を生成する。さらに Feature Map の特徴をより強調し、輝度、色、方向性で組み合わせ Conspicuity Map を作成する。最後に輝度、色、方向性の Conspicuity Map を統合し、入力画像の顕著度を示す Saliency Map を作成する (図 4)。

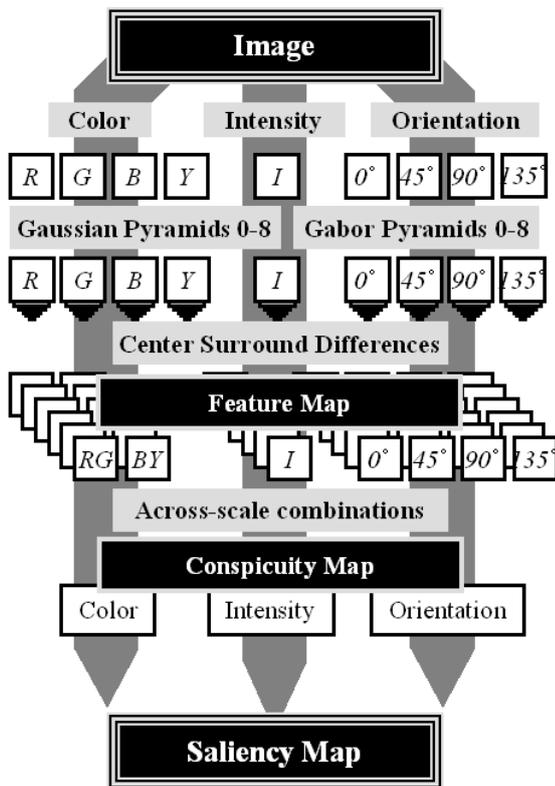


図 4 : Saliency Map の生成手順

4. 提案手法

4.1 概要

鉛筆画は図 1 のように、焦点を中心に描く。焦点から一定距離以内(図 1 の点線の楕円領域内)はしっかりと描き、一番外側(図 1 の破線の楕円より外の領域)は描かない。このようなアクセントのある鉛筆画を作成するため、焦点からの距離に合わせ、ストロークの太さや長さ、精密さをコントロールする必要がある。そこで、Saliency Map において顕著度の高い部分を焦点として、焦点に近いほど詳細に描き、遠いほど荒く大胆に描き、あるいは省略する

ストロークの詳細度を制御する為にガウシアンピラミッドを用いる。ガウシアンピラミッドは低解像度になるほど平滑化された画像となる為、大まかなエッジやベクトル場が得られる。そこで、顕著度に合わせてピラミッド画像の解像度の層を選択し。焦点に近い部分は高解像度層、逆に遠い部分は低解像度層を用いることで、焦点に近い部分はより詳細に、遠い部分はより大まかに、あるいは描かないことが実現できる。

4.2 アルゴリズム

ビュー中心で、Saliency Map を用いて焦点を検出し、アクセントを付けた鉛筆画生成アルゴリズムを以下に示す(図 5)。

1. 入力画像から Saliency Map を生成する。顕著度を平滑化した Draw Map を作成する。
2. 入力画像からグレースケール画像を生成する。グレースケール画像からガウシアンピラミッドを生成する。
3. Draw Map に基づき、ガウシアンピラミッドから多解像度画像を生成する。

- 多解像度画像からエッジを生成する。
- 多解像度画像から輝度勾配を利用してベクトル場を生成する。
- 解像度の層によりガウシアンピラミッドの輝度を変え、解像度層毎にランダムディザ法で2値化しノイズピラミッドを生成する。
- ベクトル場とノイズピラミッドを用いて解像度層毎

にLIC画像を生成する。

- Draw Mapに基づき、LICピラミッドから1枚のLIC画像を生成する。
エッジ画像とLIC画像を合成しストローク画像を生成する。
- ストローク画像と紙画像を合成し出力画像(鉛筆画)を生成する。

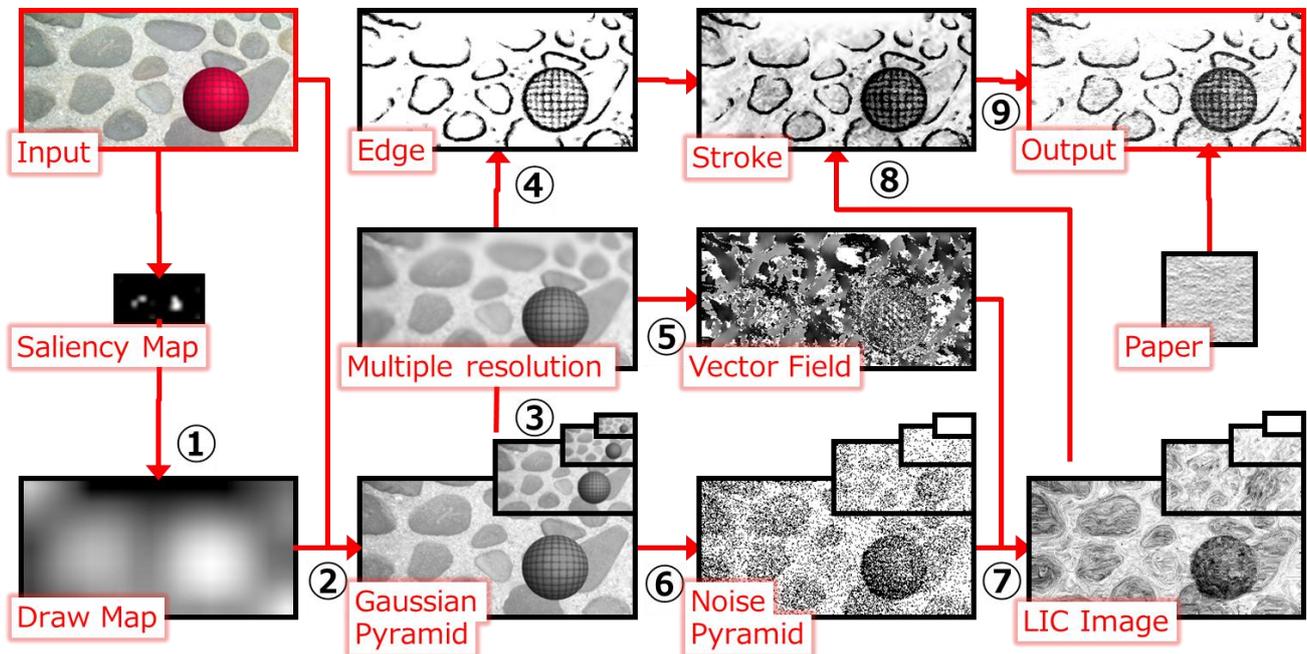


図5 : Saliency Map と LIC 法を利用したアクセントのある鉛筆画生成法

Draw Map

実際の絵画においては焦点の周辺状況も含めて描く(図1)。周辺部分と焦点部分のタッチを変えることによってアクセントを付けているのである。よって、一定の範囲を描けるようなマスクが必要になる。

Saliency Map では、隣接している同様の特徴を抑制する側方抑制機構を模して顕著度を非線形に強調している。最も顕著なところは極小さい領域となる。Saliency Map をそのまま描く部分のマスクとして使用すると、焦点から少しでも離れるとほとんど詳細が描かれなくなる。

この問題を解決するために、本研究の実装では Saliency Map をローパスフィルタに通し焦点から周辺に向けての顕著度変化をより滑らかにした。更に平方根をとり、Saliency Map を求める際の非線形強調ファクターを部分的に排除した。このような処理を施した後の Saliency Map を Draw Map と呼び、これを用いて描画の詳細度を制御する。

多解像度画像 (Draw Map に基づく画像統合)

多解像度画像内の各画素 (x, y) での値 $composit(x, y)$ は Draw Map の顕著度 $DM(x, y) \in [0, 255]$ に応じて、ピラミッド PI の対応する解像度層 $PI(n, x, y)$ の画素値となる。 n ($0 \leq n \leq N$) はピラミッド PI の解像度の層を表す数値であり、 $n=N$ のとき、 $PI(n, x, y)$ は入力画像となる n は次式により求めることができる

$$n = (DM(x, y) / 255) * N \quad \dots(1)$$

顕著度マップの値からピラミッドの解像度の層へのマッピングは次式により計算できる。

$$h = \text{floor}(n + 0.5)$$

$$l = \text{floor}(n)$$

$$a = n - l$$

しかし、(1)により求めた n は通常整数値でないため、 n を挟む上下の層の画素値を線形補間することにより多解像度画像の画素値を決定する。

$$Composite(x, y) = PI(l, x, y) + a * (PI(h, x, y) - PI(l, x, y))$$

ベクトル場生成

ベクトル場は山口らの 2 次モーメントを利用する方法 [11] を基にした。短辺と長辺の差が小さい時、方向の検出が不可として、水平方向を割り当てた。多解像度画像から生成することにより、詳細度が顕著度に適応したベクトル場が得られる。

ノイズ生成

ガウシアンピラミッドからノイズを生成するとき、低解像度の層ほど黒画素の発生率を下げる。あるいは、低解像度の層ほど明度を上げてからノイズを生成する。これにより顕著度が低いほどストロークを生成され難くなる。最も低解像度の層ではストロークが生成されず、最終結果においてストロークが省略される部分となる。

エッジ

エッジについても、顕著度によって変化が必要である。顕著度が下がるにつれエッジは薄く、そして省略されなければならない(図 6)。顕著度によって統合した多解像度画像は顕著度が低いほど平滑化されているため、エッジが検出しにくくなり、エッジの省略が自然に実現される。

エッジにアクセントを持たせるために細線化しない方法を選択する。2 値化手法である動的閾値法を用いる。動的閾値法は注目画素の周辺輝度の平均を閾値として 2 値化する。この結果は 2 値画像なのでベクトル場方向へ平滑化しエイリアスを抑えた。

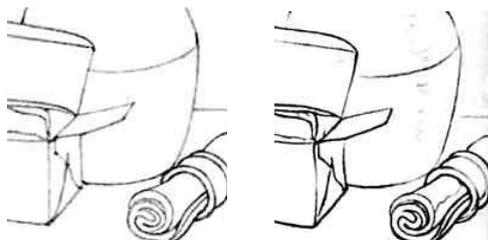


図 6 : エッジ

(左)均一なエッジ。(右)変化のあるエッジ

線の太さや階調に変化をつけている。出典[3]

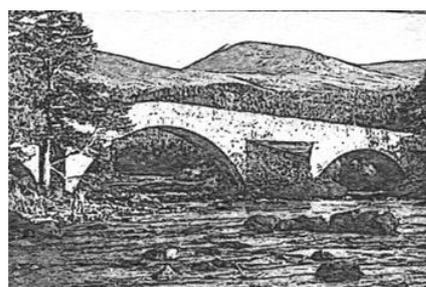
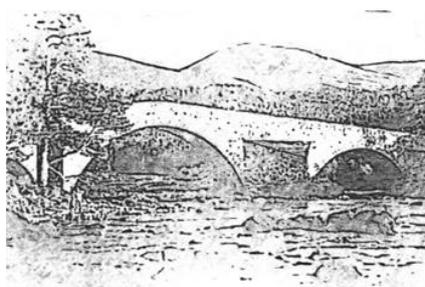
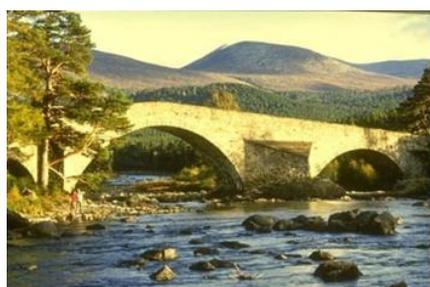


図 7a : 結果の比較

(左)入力画像 (中)本提案 (右) 茅らの手法[2]

LIC 画像(LIC ピラミッドを統合した多解像度画像)

ノイズピラミッドとベクトル場から LIC ピラミッドを作成する。顕著度の低い場所ほど低い解像度で合成する。統合の際、ピラミッドの各解像度の層は入力画像の大きさに戻すため、ストロークの太さや長さが大きくなる。また、低い解像度の層での画像はノイズの黒画素の発生が抑えられている。つまり、統合された LIC 画像は、顕著度が低いほど大胆なストロークになり、そして、次第に描かれなくなる。

5. 結果

5.1 実装

実装は C#を用い、OpenCV の .Net のラッパーである Emgu を用いた。ピラミッド生成は cvPyrDown メソッド、動的閾値法は cvAdaptiveThreshold メソッドを使用した。Saliency Map の生成には iLab Neuromorphic Vision C++ Toolkit VirtualBox (<http://ilab.usc.edu/toolkit/downloads-virtualbox.shtml>) を利用した。ピラミッドの深さは 4 階層 ($N=3$) とした。ストローク長は $PI(4)$ の時 6 画素分とした。(各層のストローク長は $6 * 2^{(4-n)}$ となる)。入力画像はカリフォルニア州立大学 Berkeley 校の画像データベース (<http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/>) から取得した。

5.2 提案手法生成結果

図 7a,b,c,d に提案手法により生成した結果を示す。従来の LIC 鉛筆画生成法の結果に比べて、提案手法により生成した画像では、ストロークや輪郭線に疎密があり、焦点にアクセントがある結果が得られていることが分かる。

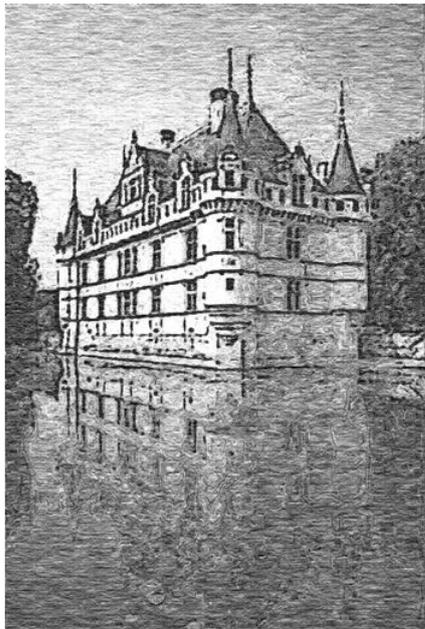
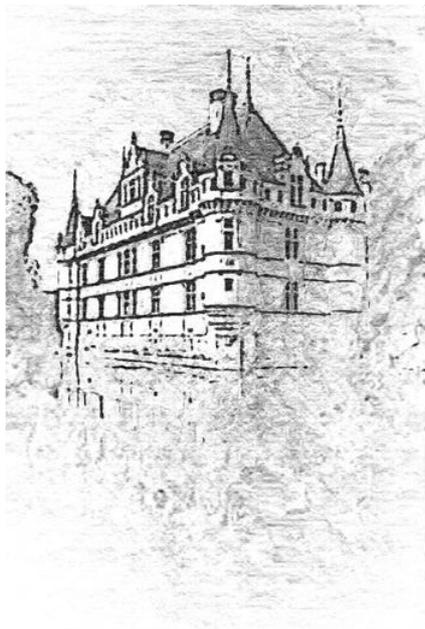


図 7b : 結果の比較

(左)入力画像 (中)本提案 (右) 茅らの手法[2]



図 7c : 結果の比較

(左)入力画像 (中)本提案 (右) 茅らの手法[2]



図 7d : 結果の比較

(左)入力画像 (中)本提案 (右) 茅らの手法[2]

5.3 考察

ビュー中心の描き方でアクセントをつけた鉛筆画を生成することができた。顕著度の大きさによってストロークを変化させ、焦点を引き立たせることができた。

焦点の検出にはSaliency Mapを使用した。しかし、saliency mapは人間の視覚知覚の初期段階をモデリングする有効なアプローチの一つであるが、注目度に影響する要因はほかにもある。例えば、人間は顔のパターンにより注目しやすい。しかし、図8のように、提案手法では馬の上半身を省略して描いてしまう。自動化の手軽さを保ちつつ、より正確な知覚モデルに基づいた焦点決定方法が必要である。人間の知覚特性の多くについてまだ計算論的なモデルが確率されていないため、機械学習を用いることが考えられる。大量の学習のクラウドソーシングで実現すればよりコストは抑えられる。また、スマートフォンなどカメラのついたガジェットが手軽に手に入る。これらのカメラで撮影した画像から撮影時の焦点を検出すれば、注目箇所をダイレクトに、自動で取得できる。



図8：失敗例

6. おわりに

Saliency MapとLIC鉛筆画生成法を利用したアクセントのある鉛筆画の自動生成法を提案・実装した。今回は顕著度に合わせて、ストロークの太さと長さ、密度、エッジの詳細度を適応的に変化させることで強調・省略を表現した。今後はより注目箇所を引き立たせるスポットの構図を実装し、コントラスト等、その他の描画パラメータの制御も実装する予定である。さらに、自動処理という特徴を利用し、動画像への拡張も試みたい。

参考文献

- [1] Laurent Itti, Christof Koch, Ernst Niebur: "A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. VOL.20, NO.11, 1998.
- [2] 茅暁陽, 長坂好恭, 山本茂文, 今宮淳美, "LIC 法を利用した鉛筆画の自動生成法," 芸術科学学会論文誌 Vol.1 No.3, pp147-159, 2001.
- [3] A.L.グプティル, 鉛筆で描く, マール社, 1998.
- [4] Deussen, J.Hamel, A.Raab, S. Schlechtweg, T.Strothotte: "An illustration technique using hardware-based intersections and skeletons", Graphics Interface '99, pp175-182, 1999.
- [5] M.C.Sousa, J.W.Buchanan: "Observational Model of Blenders and Erasers in Computer-Generated Pencil Rendering," GraphicsInterface'99, pp157-166, 1999.
- [6] M.C.Sousa, J.W.Buchanan: "Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D Polygonal Models," Computer Graphics Forum, 18(3), pp195-208, 1999.
- [7] Allan H. Vermeulen, Pter P. Tanner: "PencilSketch—A Pencil-Based Paint System", GraphicsInterface '89, pp138-143, 1989.
- [8] N Ouerhani, Neculai Archip, H Hugli, Pierre-Jean Erard: "Visual Attention Guided Seed Selection for Color Image Segmentation," Computer Analysis of Images and Patterns, 2001.
- [9] J. P. Collomosse, P. M. Hall: "Painterly Rendering using Image Saliency," In Proceedings 20th Eurographics UK Conference , pp122-128, Leicester, June 2002.
- [10] C. H. Lee, A. Varshney, David Jacobs: "Mesh Saliency," ACM SIGGRAPH, pp659-666, 2005.
- [11] 白石 路雄, 山口 泰, "画像モーメントを用いた絵画風画像の生成手法," 情報処理学会論文誌, vol.40, no.9, pp.3493-3500, 1999-09-15.