

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330317

研究課題名(和文) 参照カラー画像に基づく手書き線画への自動彩色

研究課題名(英文) Automatic Colorization of Freehand Line Drawings Based on Reference Color Images

研究代表者

東海林 健二 (Shoji, Kenji)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70143188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：カラー写真等の参照画像を下敷きにして線画を描くことにより、絵画初心者でも短時間で絵を完成させることができる手書き線画彩色手法を提案した。提案手法は、描かれた線画の線と線の間領域を制約付ドロネー三角形分割で小さな三角形に分割して彩色するものである。提案手法を実装した試作システムを用いると、ユーザは線を描くだけで印象的な絵を完成させることができる。提案する彩色手法は、描画線上からサンプリング点を得て三角形分割し、参照画像上で各三角形の平均色を求め、さらに、隣接する三角形間で色の変化を滑らかにする平滑化を条件付きで行い、各三角形を彩色するものである。

研究成果の概要(英文)：For a freehand line image drawn on a PC screen where a user-selected reference image, e.g., a color photograph, as a guide is faintly displayed with low contrast, we proposed a method for automatic coloring with a constrained Delaunay triangulation that divides the image into small triangles. Using a prototype system based on the proposed method, users can complete impressive pictures by only drawing lines. Our coloring method begins with the triangulation for the set of sampling points on the drawn lines, followed by sampling of color in each triangle on the reference image, smoothing of color among neighboring triangles conditionally, and painting of each triangle with the smoothed color.

研究分野：画像処理

キーワード：手書き線画 自動彩色 ドロネー三角形分割 平滑化

1. 研究開始当初の背景

本研究の提案手法は、ユーザの描いた線画の線と線の間の領域を自動的に彩色し、水彩画風の結果画像を得るものである。このような絵画風画像生成に関する従来研究は、画材や発色を精密にシミュレートする専門家向けの作品作成支援システムの研究と、写真を絵画風に自動変換する一般ユーザ向けの画像エフェクトに関する研究に大別でき、文献[1]で詳しく説明されている。一方、提案手法は従来研究と違い、一般ユーザでも容易に利用でき、かつ、生成された絵画風画像はそのユーザ独自の個性が表現された作品として認められ得るという特徴をもつ。

線画への彩色は、古い写真などのモノクロ画像への彩色の一種とも考えられる。モノクロ画像に彩色する手法は数多く提案されている[2, 3]。対象モノクロ画像の風景や物体に類似したものが写りこんでいるカラー写真を与え、両者で局所的な濃淡特徴が類似した部分を探索し、カラー写真の色をモノクロ写真に与える手法である。しかし、本研究で対象としている線画はほとんどの部分が白で一部のみ黒の2値画像であるため、これらの手法を線画にそのまま適用することは難しい。

手描き線画に関しては、文献[4]のShadowDrawという手描き線画作成支援システムが有名であるが、彩色の支援まで行うものではない。

[1] 齋藤豪, "計算機による手描き風画像の作成とその応用に関する研究", 東京工業大学学位論文, 甲第 4153 号, 1999.

[2] 森田千晶, 増永良文, "モノクロ画像のカラー化のための色彩傾向を考慮したウェブ画像検索システム", 電子情報通信学会第 17 回データ工学ワークショップ (DEWS2006), 5B-i9, 2006.3.

[3] R. Irony, D. Cohen-Or, D. Lischinski, "Colorization by Example", Eurgraphics Symposium on Rendering, 2005.

[4] Yong Jae Lee, Larry Zitnick, and Michael Cohen, "ShadowDraw: Real-Time User Guidance for Freehand Drawing", SIGGRAPH Technical Paper No.27, 2011.

2. 研究の目的

本研究は、初心者でも非常に短時間で絵(イラスト)を完成させることのできる線画彩色手法を提案するものである。絵画風画像生成に関する従来研究は、画材や発色を精密にシミュレートする対話的な描画システムの研究と、写真を絵画風に自動変換する画像処理手法に関する研究に大別できる。前者は絵画制作の経験を積んだユーザを、後者は絵画制作の初心者を含む万人をユーザと想定したものである。しかし、両者の違いは想定するユーザだけではない。生成された画像は、

前者ではユーザの作品とみなせる一方、後者ではユーザの個性が反映されないため作品とみなすことは難しい。このような従来研究に対して本研究は、想定するユーザに絵画制作の初心者も含み、しかもユーザの作品とみなせる絵画風画像を生成する手法を提案するものである。

3. 研究の方法

(1) ドロネー三角形分割に基づく手描き線画自動彩色と色の平滑化

提案する彩色手法は、図 1 に示すように、写真(参照カラー画像)を下敷きにユーザが描いた線画に対して、線と線の間を写真の色を参照して水彩画風に彩色するものである。彩色手順は次の通りである。

(step1) 入力線画を細線化する。参照カラー画像は線画と同サイズにリサイズする。

(step2) 適当な密度で線上の点をサンプリングする。

(step3) 分割線が描画線と交差しないという制約の下で、サンプリング点群を頂点として参照カラー画像をドロネー三角形分割する。

(step4) 参照カラー画像の各三角形領域で平均色を求める。この時点で、各三角形を平均色で塗りつぶすと、隣り合う三角形間で色の差の大きいモザイク画像となる。

(step5) 一つの三角形Aに着目したとき、これに辺で接する3つの近傍三角形B、C、Dの計4つの三角形で面積の重みを付けた平均色を求め、これを三角形Aの色とする平滑化を全三角形について行う。このとき、図 2 に示すように、三角形Dが描画線の向こう側にあるとき、三角形Dは平均色計算に用いないとする。その結果、平滑化において描画線をまたいで直接色が混じることはなく、描画線が色を分ける線の役割を演じる。平滑化は繰り返し行い(図 1 の繰り返し回数は 1000 回)、彩色結果を得る。

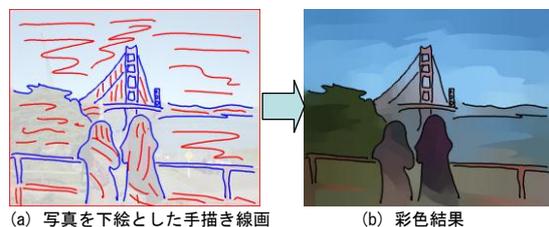


図1 手描き線画と彩色例

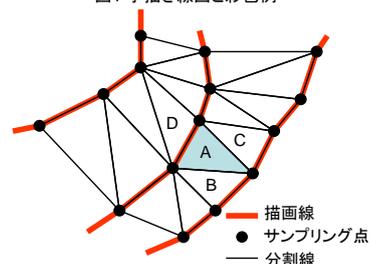


図2 三角形間での色の平滑化。Aの近傍三角形はB、C、Dと3つあるが、Aの近傍で平均色を求めるときに描画線を越えたDは用いない。

(2) 手描き線画の実時間彩色システムの構築とその評価

提案手法に基づいて試作したシステムは、彩色結果を表示した後でも描画画面に戻って再編集を行うことが出来るという対話性を特長としている。しかし、ユーザが彩色指示を出してはじめて結果を確認出来ることから、作成中の絵の完成形が想像しにくいという問題があった。そこで、入力中の描画線に対して自動彩色を行った結果を実時間で更新し表示するシステムを提案する。線を描きながら彩色結果の確認が出来るため細かな修正がしやすくなり、より対話的な絵画制作を行うことが出来ると考えられる。

実時間彩色方式の効果を確認するため、被験者を用いて、従来方式と実時間彩色方式の差を確認する。

(3) 手描き線画彩色における対話的色指定

手描き線画自動彩色手法では、線画の線と線との領域の色は参照カラー画像から取得するため、色指定が不要という利点がある一方、一部分の色を変更したい場合は、参照カラー画像自体をレタッチしなければならないという不便さがある。そこで、手描き線画入力時に、線画用のペンに加えて、色指定用のペンを用意し、線描画と同等の手間で部分的に自由な色を設定できる機能の追加を提案する。

(4) 自動彩色のための手描き線画オフライン入力

手描き線画自動彩色システムはマウスやペンタブレットを利用するオンライン線画入力方式で実装されている。しかし、オンライン入力は、子供や高齢者にとっては慣れが必要という問題点がある。また、教室や施設にて多人数で利用する場合には、その人数分の台数だけシステムを用意しなければならないという多人数利用時の問題点もある。そこで、あらかじめ参照カラー画像を薄く印刷した画用紙を用意し、利用者にサインペン等で画用紙に線画を描いてもらい、これをスキャナやカメラでオフライン入力して、その後、自動彩色、表示するシステムを提案する。

4. 研究成果

(1) ドロネー三角形分割に基づく手描き線画自動彩色と色の平滑化

提案手法に基づき、GUI で操作可能な自動彩色システムを実装した。実装したシステムのGUIを含む画面を図3に示す。表示モードの選択、描画線の種類の選択、彩色実行ボタン、元に戻すボタン、サムネイルで示した参照カラー画像群の選択の機能がある。利用アンケート調査結果では、描画線のストローク単位での選択・削除が必須との意見が得られ、実験システムではその機能も実装している。



図3 試作システムのGUI

(2) 手描き線画の実時間彩色システムの構築

実時間彩色システムを実装した。実装は、openFrameworks を利用し、GUI 部、線画入力部、彩色実行結果表示部の3つの独立したプロセスに分け、GUI 操作情報と描画線情報をプロセス間通信で受け渡すようにした。図4に実時間彩色システムの動作中の画面を示す。GUI ボタンと線画入力用と彩色結果表示用の2画面から構成されている。それぞれを異なる計算機で実行することもできる。

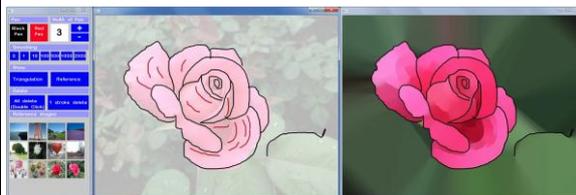


図4 実時間彩色システム

実装した実時間彩色システムを用いて、実時間彩色方式の効果を確認するための評価実験を行った。評価語として、絵を描きやすい、疲れにくい、わかりやすい、使いやすい、楽しい、といった9つの語を用意し、12名の被験者を用いて、従来方式と実時間彩色方式の差を調べた。その結果、統計的有意差を得ることはできなかったが、実施後のアンケート結果から、平滑化のぼかし具合が確認しやすい、各機能を試すなど、描く過程を楽しむ使い方を見出せた、という実時間彩色方式の利点を確認できた。一方、描画画面と結果表示画面が分かれているために使いにくいとの感想も得られ、実時間彩色方式の今後の検討課題と考えられる。

(3) 手描き線画彩色における対話的色指定

描画線入力用のペンに加え、色指定用のペンをユーザ指定の色に設定し線を描き加える。色指定用のペンで描き加えた線は、線画のドロネー三角形分割の際には無視される一方、各三角形の色を取得するときに考慮されるようにした。すなわち、色指定用のペンで描いた線と交差する三角形の色は、ペンの指定色とし、それ以外の三角形の色は参照カラー画像から得るとした。すると、色指定用のペンで線と線の間の領域に1本線を描くだけで、その付近の色は指定した色になる。図5に色指定用ペンを用いる前の線画と彩色

結果、図6に色指定用ペンで色指定を追加した線画とその彩色結果を示す。これより、少ない労力で色指定が可能になっていることが分かる。



図5 手描き線画とその自動彩色結果



図6 彩色ペン追加とその彩色結果

(4) 自動彩色のための手描き線画オフライン入力

オフライン入力する線画は、白紙ではなく、参照カラー画像が薄く印刷された紙面に描かれるため、描画線と背景を分離する必要がある。分離のため、画素毎に線画入力前のRGB成分と入力後のRGB成分の減衰割合の3次元データを取得し、SVMでクラス分類を行う。カラーチャートを参照カラー画像として市販の水性ペンで赤、青、黒の直線を所定の位置に描き、ペンで描く前の紙面と描いた後の紙面の両方をスキャナで入力する。その後、線の上でのRGB成分の減衰割合と線の上以外でのRGB成分の変動を求め、両者を分離する識別関数をSVMにより得た。これを用いて、画素がどの色のペンの線上にあるか否かを判別することができる。実験では、情報検索の評価で用いるF値が0.948以上であった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Saori Kurata, Hiroshi Mori, Fubito Toyama, Kenji Shoji, "Evaluation of a Real-Time Automatic Coloring System for Freehand Line Drawings", The 22nd International Display Workshops (IDW '15), pp.1021-1024, 2015, 査読有.
- ② 倉田沙織, 森博志, 外山史, 東海林健二, "参照画像に基づく手描き線画への自動彩色", 画像ラボ, Vol.26, No.11, pp.39-44, 2015, 査読無.
- ③ Saori Kurata, Fubito Toyama, Hiroshi

Mori, Kenji Shoji, "Automatic coloring to freehand line drawings in online", Electronic Imaging 2015, Visual Information Processing and Communication VI, 9410-25 (7 pages), 2015, 査読有.

doi:10.1117/12.2075415

- ④ 倉田沙織, 石山雄也, 森博志, 外山史, 東海林健二, "参照画像を利用した手描き線画への彩色", 映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.8, pp.J381-J384, 2014, 査読有.

doi:10.3169/itej.68.J381

[学会発表] (計6件)

- ① 牛川祐弥, 倉田沙織, 森博志, 外山史, 東海林健二, 画像編集ソフトウェアへの線画自動彩色機能の実装, 映像表現・芸術科学フォーラム2016, 2016.03/09, 東京工芸大学(東京都中野区).
- ② 山谷拓也, 森博志, 外山史, 東海林健二, プリントした画像上に描かれた線画の抽出, 第14回情報科学技術フォーラム(FIT2015), 2015.09/16, 愛媛大学(愛媛県松山市).
- ③ 倉田沙織, 森博志, 外山史, 東海林健二, 手描き線画に対する対話型自動彩色システムの検討, 第21回画像センシングシンポジウム(SSII2015), 2015.06/12, パシフィコ横浜アネックスホール(神奈川県横浜市).
- ④ 後藤拓, 森博志, 外山史, 東海林健二, ドロネー三角形分割を用いた手描き線画への対話的彩色, 映像表現・芸術科学フォーラム2015, 2015.03/14, 早稲田国際会議場(東京都新宿区).
- ⑤ 山谷拓也, 森博志, 外山史, 東海林健二, 自動彩色のための手描き線画オフライン入力, 電子情報通信学会2015年総合大会 情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション, 2015.03/10, 立命館大学びわこ・草津キャンパス(滋賀県草津市).
- ⑥ 倉田沙織, 森博志, 外山史, 東海林健二, オンライン手描き線画への動的彩色, 映像表現・芸術科学フォーラム2014, 2014.03/17, 早稲田国際会議場(東京都新宿区).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東海林 健二 (SHOJI KENJI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 70143188

(2) 研究分担者

森 博志 (MORI HIROSHI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 80538447

(3) 連携研究者

なし