研究速報

直交リサイジングによる線画ピクセルアート

Cartesian Resizing of Line Drawings for Pixel Line Arts

胡 忠英[†], 正会員 井上 光平[†], 浦 浜 喜一[†]Zhongying Hu[†], Kohei Inoue[†] and Kiichi Urahama[†]

あらまし 2 値線画の直交リサイジング法を提案し、線画をダウンサイジングしてピクセルアート風にする。白い背景に黒線が引かれた入力線画の各列と行について、黒画素の数を重みとし、重みが小さい列と行から順番に削除する。このとき、黒線が途切れないように黒画素を転写し、黒線や白領域の連結性が変化するような列や行は削除しない。本提案法では、画像中の物体が変形するが、線や領域の連結性等の位相幾何学的性質が保存される。したがって、入力線画が彩色されている場合でも、色数を保ったまま縮小できる。

キーワード：線画ピクセルアート、直交リサイジング、ラベリング、位相幾何学的性質

1. ま え が き

ピクセルアート（ドット絵とも呼ばれる）は専門的な作家により手作りされてきたが、写真や絵を縮小して生成するノンフォトリアリスティックレンダリング (NPR) 法が研究されつつある。通常のカラ写真を縮小する手法^{1)~3)}は汎用性が高いが、平滑化フィルタによる減色やエッジ検出等を要し、これらを安定して行うのは難しい。そこで、対象を線画に限定して問題を単純化した手法が提案されている⁴⁾。この手法は手描きの線画が与えられるのを仮定しており、適用性が限定されるが、問題が単純化されるので、線の処理だけに議論を集中できる。本稿でもこれに倣い、線画を対象とした縮小法を考える。Inglis ら⁴⁾は、入力としてベクトル画像を仮定したが、ペイントソフトでの作画によるビットマップ形式の線画には適用できない。また、線の形状の保存性に重点が置かれ、領域の連結性などの位相幾何学的性質は必ずしも保たれない。従って、結果の 2 値画像は主観的な定性的評価しかされていない。

本稿ではそれとは逆に、形状の変形を許し、位相幾何学的性質の保存を必要条件とする。幾何学的性質の保存は主観的評価によらず明確に判定できる。そのため本稿では、入出力ともビットマップ形式の線画とし、線の連結性が保たれる縮小法を提案する。ベクトル形式の線画が与えられる場合には、十分大きなサイズのビットマップ画像にしてから本提案法を適用すればよい。鈴木ら¹⁾も線の途切れや癒着等の位相幾何学的変化を考慮しており、対処法を提案しているが、一般のカラ画像を対象としているので、処理

が複雑である。本稿では、対象を線画に限定し、位相幾何学的変化を重点的に検討する。ただし、鈴木らの縮小法は物体形状が保たれるが、本稿の提案法では形状は変化する。手作りのドット絵でも形状がデフォルメされる場合もあるので、それを模擬できる可能性もあるが、一方で、本稿のような機械的な処理では、不自然なデフォルメが生じる危険性もある。

2. 線画の連結性

本稿では、白い背景のなかに黒い線が引かれたビットマップ線画を扱う。画素の連結性は、黒画素は 8 連結とし、白画素は 4 連結とする。一続きの黒画素の集合を“黒線”と呼び、一続きの白画素の集合を“白領域”と呼ぶ。例えば、図 1 の線画には 4 個の黒線（ラベル $B_1 \sim B_4$ ）があり、4 個の白領域（ラベル $W_1 \sim W_4$ (W_1 は背景)）がある。

このような線画を縮小することを考える。このとき、この線画が図 1 右のように彩色されていたとすると、縮小した結果、ラベル B_2 の円が 1 個の黒点に縮小されると赤い領域がなくなってしまう。また、右上の 2 本の黒線が下の黒線と癒着したり、途中で切れ目が入ったり、消えてなくなると、違う線画になってしまう。Inglis らの手法⁴⁾では、そのような位相幾何学的変化が生じることがある。本提案

図 1 線画のラベリング

2013 年 10 月 30 日受付, 2013 年 12 月 6 日再受付, 2014 年 2 月 14 日採録

[†]九州大学大学院芸術工学研究院

(〒 815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1, TEL 092-553-4510)

法では、入出力ともビットマップ画像とすることで、縮小過程においてそのような幾何学的性質を保つ。

3. 縮小手順

本提案法では、直交リサイジング⁵⁾に倣って線画を縮小する。入力画像は白背景に幅1の黒線が引かれた線画のビットマップ画像とする。まず最初に、入力画像の各画素にラベルを付ける。白領域について4近傍ラベリングで各連結領域にラベルを付け、黒線については8近傍ラベリングで一繋がりの線分にラベルを付ける。

直交リサイジングでは、画像中の列と行を、削除候補の列や行を選びながら次々に削除して横幅と高さを縮める。削除候補となるのは、含まれる黒画素の数が少ない列や行である。このとき、例えば図2(a)の中央の列を削除すると、図2(b)となり、黒線が分断されてしまう。そこで、連結性を保つために、図2(c)のように黒画素を補填して線を繋ぐことにする。このためには、図2(a)の中央の黒画素を左に転写してから中央列を消せばよい。このような黒線の分断が生じるのは黒画素の周りが図3のようなパターンになっている場合である。図3の灰色画素は白でも黒でもよい。削除する列の上の黒画素が図3のパターンのいずれかに当てはまる場合には、その黒画素を左に転写してから列を消す。

また、削除する列において黒画素が縦に長く続いている場合も同様な転写が必要になる。すなわち、図4のパターンのいずれかに当てはまる場合も黒画素を左に転写する。

これらの転写においては、画素の値と共にラベルの値も転写する。このような転写処理を行うと、ラベルが異なる黒画素どうしが隣接するようになることがある。その場合は、そのような列削除は止めて、次の削除候補の列に移る。

また白画素についても、例えば図5(a)の右から2番目の列を削除して黒画素を転写すると図5(b)のようになったとすると、右から2番目、上から3番目の白画素は(白画素は4隣接なので)孤立する。この場合、白ラベルが消失してしまうわけではないので、入力ラベルは保たれているといえるが、図5(b)を再度ラベリングし直すと、この孤立白画素には別のラベルが付くので、好ましくない。そこで、このような孤立白画素が生じてしまうような列削除も取り消して、次の削除候補列に移ることにする。このためには、列を削除した後に図6のような白画素のパターンが生じているかどうかを検出して、これらが生じていたら、その列削除は取り止めて、次の削除候補列に移る。また、黒画素

図2 列削除による線の分断

と同様に、列削除によって異なるラベルの白画素が隣接するようになることも、その列削除はせずに、次の候補列に移る。

以上をまとめると、画像の横幅削減の手順は以下のようになる：

- 1) 各列 i に含まれる黒画素の数を数え、それに $[0,1]$ の乱数を加えた c_i を列 i の重みとする。
- 2) 重みが最小の列に含まれる各黒画素について、その画素を中心とする 3×3 のブロックが図3の9個のパターンの1つになっていたら、中心黒画素を左の列に転写し、その列を削除する。あるいは図4のパターンの1つになっていたら、連続する黒画素を下向きに追跡し、それらの黒画素を全て左の列に転写する。但し、その列の削除によって、図6の白画素パターンが発生する場合や、あるラベルが画像からなくなってしまったり、あるいはラベルの異なる白画素どうし、あるいは黒画素どうしが隣接するようになるなら、その削除は取り止め、その列の重みを $2c_i$ に増やす。
- 3) 削除された列の両隣の重みを $2c_{i-1}$ と $2c_{i+1}$ に増やす。
- 4) 以上によって横幅を1列縮小した後、高さを1行縮小する。高さの縮小は、画像を90度回転させて以上の横幅縮小を行ってから、回転を戻せばよい。
- 5) 画像が所望のサイズになるまで2~4を繰り返す。

以上が手順である。上でも述べたように、ステップ2の

図3 黒画素の転写を要するパターン

図4 中心画素の下に黒画素が連続するパターン

図5 白画素の孤立化

図6 白画素が孤立するパターン

なかの「転写」とは、黒画素を左の画素に上描きすることである。そのとき、ラベルも同時に転写される。上記の手順において、列の削除と行の削除とを交互にしていく理由は、ステップ2での列や行の削除不可能の判定において、すべての列あるいはすべての行が削除不可能になった場合、そこで縮小を終了するので、そのときのアスペクト比が入力画像から大きく変わらないようにするためである。なお、ステップ2のなかの「画素どうしが隣接する」というのも、黒画素では8隣接、白画素では4隣接である。

4. 実験

Inglis ら⁴⁾と同じ図7の8個の線画で実験した。Inglis らの入力画像はベクトル画像であるが、ここではビットマップ画像とし、図7の左上1つと左下2つが108×108で、他は128×128である。縮小の設定サイズはInglis らと合

図7 入力線画 (著者ら⁴⁾の許可を得て使用)

図8 縮小結果

図9 他の手法との比較 (図8の上4個の画像)

わせた。すなわち、図7左上2つと左下2つでは20×20とし、それ以外は30×30とした。ただし、第2行の3番目の画像(T-rex)だけは本提案法での横幅の縮小限界が33列までであったので、33×33で止めた。縮小結果を図8に示す。形状は図7から変形しているが、ラベルはすべて保存されている。

他の手法との比較を図9と10に示す。左端がIllustratorでの縮小結果、2番目はPhotoshopによる結果、3番目はInglis らの結果⁴⁾、右端が提案法である。本提案法は形状の変化が大きいため主観的な印象はよくないが、連結性は保たれている。従来法では線の途切れ (図9最下行の左2つ等) や癒着 (図10最下行の左3つでの目と顔の輪郭等)、白領域の黒潰れ (図10下から2行目の3番目の歯や最下行の2番目の眼等) が生じており、連結性が変化している。従って、図1右のように入力線画の白領域に色が塗られているような場合、ある色が出力画像ではなくなることがある。本提案法ではそのような問題は生じない。

このことから、縮小結果を拡大したい場合、従来手法では途切れた線を繋いだり、潰れた領域を復元するのは無理であるが、本手法では位相幾何学的性質を保って拡大できる。しかし、縮小の際に削除された列や行の情報は残っていないので、元の形状に復元するのは無理である。最も単純な拡大法は、図8をそのまま拡大して、太くなった黒線を細線化して太さ1にする方法である。その結果を図11に示す。形状は図7から大きく変形しているが、位相幾何学的性質は保たれている。しかし、このように単純に拡大するだけでは図8のジャギーがそのまま残るので、最後の図14に示すような色情報も用いてジャギーを滑らかにするピクセルアートの拡大法⁶⁾を使うほうがよいと思われる。

なお、3節の縮小手順のステップ1において加える乱数を変えると、削除される行や列の順番が変わり、縮小結果も変わる。しかし、ステップ3で両隣の重みを増やすこと

図10 他の手法との比較 (図8の下4個の画像)

図 11 図 8 を拡大した結果

図 14 図 13 の縮小結果

図 12 行や列が削除される順番による結果の違い

図 13 彩色された入力線画

により、行や列はほぼ均等に処理されるので、大きくは変わらないが、単純な図形では図 12 に示すように最終形状が変わる。したがって、乱数だけではなく、順番を系統的に制御して、形状の対称性などを保つようにすれば、最終形状が改善される可能性がある。

本手法では白領域が保存されるので、図 1 右のように入力線画が色付けされている場合でも利用できる。図 13 のように彩色された入力画像の縮小結果を図 14 に示す。

5. む す び

2 値線画を縮小する手法を提案した。Inglis らの縮小法では入力画像の位相幾何学的性質は保たれないので、出力画像から入力画像を復元することは必ずしもできないが、本提案法ではラベルが保たれるので、物体の変形を許せば、出力画像から元のサイズの線画を復元できる。しかし、本提案法では、構造が単純な図形は大きく変形することがある。ラベルを保存しつつ形状の変形を抑える改善が今後の課題である。

本研究は科研費 24500208 の助成を受けた。

〔文 献〕

- 1) 鈴木和明, 齋藤豪, 張英夏, 近藤邦雄, 中島正之: “単一オブジェクト写真からドット絵風のキャラクター画像を生成する手法の提案”, 信学論,

J91-D, 12, pp.2961-2972 (2008)

- 2) 滝本裕則, 吉森聖貴, 満倉靖恵: “許容色差に基づくピクセルアート児童生成”, 映情学誌, **66**, 11, pp.399-406 (2012)
- 3) T. Gerstner, D. DeCarlo, M. Alexa, A. Finkelstein, Y. Gingold and A. Nealen: “Pixelated image abstraction”, Proc. NPAR, pp.29-36 (2012)
- 4) T. Inglis and C. S. Kaplan: “Pixelating vector line art”, Proc. NPAR, pp.21-28 (2012)
- 5) 傅曉宇, 井上光平, 浦浜喜一: “画像の分割直交リサイジングによる写真の構図改善”, 映情学誌, **64**, 12, pp.1960-1963 (2010)
- 6) 李思旭, 井上光平, 浦浜喜一: “色の重要度に基づくピクセルアートの幾何学的平滑化”, 映情学誌, **67**, 8, pp.300-302 (2013)

こ ちゅうえい
胡 忠英 2013 年, 九州芸術工科大学大学院芸術工学府博士前期課程修了。同年, 同大学大学院芸術工学研究科博士後期課程入学。画像処理, コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。

いのうえ こうへい
井上 光平 1996 年, 九州芸術工科大学画像設計学科卒業。2000 年, 同大学大学院博士後期課程修了。現在, 九州大学大学院芸術工学研究院助教。パターン認識, 画像処理, コンピュータビジョンに関する研究に従事。正会員。

うらはま きいち
浦浜 喜一 1980 年, 九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年, 同大学助手。1989 年, 九州工業大学助教授。現在, 九州大学大学院芸術工学研究院教授。工学博士。パターン認識, 画像処理, ノンフォトリリスティックレンダリングに関する研究に従事。