

反復強調バイラテラルフィルタによる砂絵風画像の生成

平岡透¹⁾(正会員) 熊野稔²⁾(非会員) 浦浜喜一³⁾(非会員)

- 1) 大分工業高等専門学校情報工学科 2) 徳山工業高等専門学校土木建築工学科
3) 九州大学大学院芸術工学研究院

Generating Sand Picture-like Images by using Iterative Enhancement Bilateral Filter

Toru Hiraoka¹⁾ Kumano Minoru²⁾ Kiichi Urahama²⁾

- 1) Department of Information Engineering, National Institute of Technology, Oita College
2) Department of Civil Engineering and Architecture, National Institute of Technology, Tokuyama College
3) Department of Communication Design Science, Faculty of Design, Kyushu University
hiraoka @ oita-ct.ac.jp, kumano@tokuyama.ac.jp, urahama@design.kyushu-u.ac.jp

概要

写真画像から指や棒などでなぞったような流れ模様のある砂絵風画像を生成するノンフォトリアリスティックレンダリングの方法を提案する．提案法は，大きく二つの処理で実行される．一つ目の処理では，非等方フィルタを用いて写真画像を流れのある滑らかな画像に変換する．二つ目の処理では，一つ目の処理で得られた画像を反復強調バイラテラルフィルタを用いて砂絵風画像に変換する．提案法の有効性を検証するために，レナの画像から提案法で必要となるパラメータの値を変えた場合の砂絵風画像を生成して，その見栄えを視覚的に評価する．

Abstract

We propose a non-photorealistic rendering method for generating sand picture-like images from photographs. The proposed method is performed in two steps. First, images with flow patterns created from finger tracing are generated with an anisotropic filter. Second, sand-pattern images are generated with iterative enhancement bilateral filter which performs the iterative calculation of bilateral filter and unsharp mask. In order to evaluate the performance of our method for generating sand picture-like images, we conduct experiments using image of Lena.

1 はじめに

現在，写真画像や三次元モデルを水墨画や水彩画，漫画などのような画像に変換するノンフォトリアスティックレンダリングの研究 [1, 2, 3, 4, 5] が数多く行われている．同じく砂絵のノンフォトリアスティックレンダリングの研究 [6, 7, 8, 9] も行われている．砂絵には，砂を散りばめて作成するもの（図 1 の左）や砂を指や棒などでなぞって作成するもの（図 1 の右）がある．本稿では，砂を指や棒などでなぞって作成する砂絵（以下，砂絵）に注目する．この砂絵は指や棒などでなぞったような曲線（流れ模様）と砂の細かい粒子で構成されるという大きく二つの特徴があり，生成される砂絵風画像はこれら二つの特徴を備えておく必要がある．なお，素手で砂絵を作成する場合，手のひらの側面で砂の表面を均す表現もあるが，本研究では対象外とする．この砂絵風画像を生成する方法として，実際に人がゼロから砂絵を作成するペイントツールを開発するもの [6, 7, 8] や写真画像から自動的に砂絵を作成するもの [9] がある．本稿では，後者の方法 [9]（以下，従来法）に注目する．従来法では，生成された砂絵風画像は指や棒などでなぞった感じが弱く，多くの計算時間を要するという問題があった．

そこで本研究では，従来法よりも指や棒などでなぞったような流れ模様が強く表現された砂絵風画像を生成し，処理を高速化できる方法を提案することを目的とする．提案法は，大きく二つの処理で実行される．一つ目の処理では，流れ模様を表現するために，写真画像を非等方フィルタ [10] を用いて流れのある滑らかな画像に変換する．この処理は，従来法と同じ処理である．二つ目の処理では，バイラテラルフィルタ [11] とアンシャープマスクを組み合わせた反復計算（以下，反復強調バイラテラルフィルタ）を行うことで砂の細かい粒子を表現する．この処理において，従来法ではアイリスフィルタ [12] の考え方を導入したサンドフィルタを用いている．反復強調バイラテラルフィルタを用いることによって，サンドフィルタよりも流れ模様が強く表現された砂絵風画像を生成することが可能になる．また，反復強調バイラテラルフィルタはサンドフィルタよりも処理を高速化することも可能になる．提案法の有効性を検証するために，図 2 に示すレナの画像を用いた実験を行い，各種パラメータの値を変えた場合に生成される砂絵風画像の変化を確認する．また，提案法は従来法よりも流れ模様が強く表現された砂絵風画像が生成でき，処理を高速化することも実験を通して確認する．

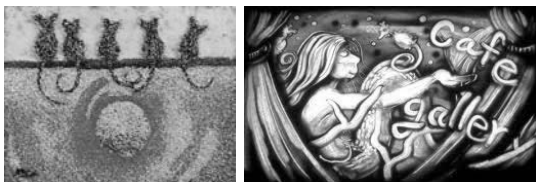


図 1: 砂絵の例



図 2: レナの画像．



図 3: 非等方フィルタ処理後の画像．

2 提案法

提案法は，大きく二つの処理で実行される．一つ目の処理では，非等方フィルタを用いて写真画像を流れのある滑らかな画像に変換する．二つ目の処理では，一つ目の処理で得られた画像を反復強調バイラテラルフィルタを用いて砂絵風画像に変換する．

2.1 非等方フィルタ

一つ目の処理で用いる非等方フィルタは，バイラテラルフィルタの空間的重みを画素値の勾配に基づいて非等方にして勾配と垂直方向に平滑化するもので，エッジを保存して縞模様を強調する．詳細は文献 [10] を参照されたい．

参考のため，レナの画像を非等方フィルタを用いて変換した画像を図 3 に示す．図 2 のレナの髪や帽子の羽毛飾りを見ると，流れのある滑らかな画像に変換されていることがわかる．

2.2 反復強調バイラテラルフィルタ

二つ目の処理で用いる反復強調バイラテラルフィルタの処理は，バイラテラルフィルタとアンシャープマスクを組み合わせた反復計算によって実行される．反復強調バイラテラルフィルタの処理の手順を次に示す．

まず，画像の座標を (i, j) ，画素値を $d_{i,j}^{(\xi)}$ とする．ここで， $\xi (= 0, 1, 2, \dots)$ は反復計算の回数であり，反



図 4: 反復強調バイラテラルフィルタのみで処理した画像 .

復計算の初期値 $d_{i,j}^{(0)}$ は非等方フィルタ処理後の画像とする . 画像の画素値 $d_{i,j}^{(\xi+1)}$ を式 (1) のバイラテラルフィルタを用いて計算する .

$$d_{i,j}^{(\xi+1)} = \frac{\sum_{k=i-w}^{i+w} \sum_{l=j-w}^{j+w} s_{k,l}^{(\xi)} d_{k,l}^{(\xi)}}{\sum_{k=i-w}^{i+w} \sum_{l=j-w}^{j+w} s_{k,l}^{(\xi)}} \quad (1)$$

$$s_{k,l}^{(\xi)} = e^{-\alpha((i-k)^2+(j-l)^2)-\beta(d_{i,j}^{(\xi)}-d_{k,l}^{(\xi)})^2}$$

ここで, α と β は正定数, w はウィンドウサイズである . α は座標 (i, j) からの距離の影響を調節するパラメータであり, α の値が大きいくほど座標 (i, j) から離れている画素の影響を受けにくくなる . β は座標 (i, j) の画素値 $d_{i,j}^{(\xi)}$ との差の絶対値の影響を調節するパラメータであり, β の値が大きいくほど画素値 $d_{i,j}^{(\xi)}$ との差の絶対値の大きい画素の影響を受けにくくなる .

次に, 画像の画素値 $f_{i,j}^{(\xi+1)}$ をアンシャープマスクの考え方をういた式 (2) で計算する .

$$f_{i,j}^{(\xi+1)} = 2d_{i,j}^{(\xi)} - d_{i,j}^{(\xi+1)} \quad (2)$$

$d_{i,j}^{(\xi+1)} = f_{i,j}^{(\xi+1)}$ として, 式 (1) と式 (2) を T 回繰り返す . 最終的に, $d_{i,j}^{(T)}$ として得られた画像が砂絵風画像である .

参考のため, レナの画像に非等方フィルタをかけずに反復強調バイラテラルフィルタのみを用いて変換した画像を図 4 に示す . このとき, $\alpha = 0.01$, $\beta = 0.01$, $w = 10$, $T = 20$ とした . 図 4 を見ると, 砂の細かい粒子が表現されているが, 流れ模様が表現できていないことがわかる .

3 実験と結果

512 × 512 画素の大きさで 256 階調のレナの画像に提案法を適用した . まず, 各種パラメータの値を変えた場合に生成される砂絵風画像の変化を確認する . その後, 提案法と従来法で生成された砂絵風画像の質的な比較と, 処理の計算時間の比較を行う .



図 5: 反復回数による砂絵風画像の変化 ($T = [5, 10, 15, 20]$) .



図 6: ウィンドウサイズによる砂絵風画像の変化 ($w = [3, 6, 9, 12]$) .

3.1 パラメータの検証

反復処理の回数 T を変えることによって生成される砂絵風画像の変化を調べた . このとき, $\alpha = 0.01$, $\beta = 0.01$, $w = 10$ とした . この結果を図 5 に示す . 図 5 の左上の画像が $T = 5$, 右上の画像が $T = 10$, 左下の画像が $T = 15$, 右下の画像が $T = 20$ の場合である . 図 5 より, T の値が大きくなるにつれて, 輪郭と細かい砂の粒子が鮮明になっていくことがわかる .

ウィンドウサイズ w を変えることによって生成される砂絵風画像の変化を調べた . このとき, $\alpha = 0.01$,



図 7: β による砂絵風画像の変化 ($\alpha = 0.1, \beta = [0.1, 0.01, 0.001]$) .



図 9: β による砂絵風画像の変化 ($\alpha = 0.001, \beta = [0.1, 0.01, 0.001]$) .



図 8: β による砂絵風画像の変化 ($\alpha = 0.01, \beta = [0.1, 0.01, 0.001]$) .



図 10: 提案法 (左) と従来法 (右) によって生成された砂絵風画像 .

が $\alpha = 0.001$ の場合である . 図 6 から図 8 の左上の画像が $\beta = 0.1$, 右上の画像が $\beta = 0.01$, 下の画像が $\beta = 0.001$ の場合である . 図 6 から図 8 より, α の値が小さいほど, 流れ模様の間隔が狭くなることがわかる . また, β の値が大きいと砂模様が現れにくく, β の値が小さいほど, コントラストが強調され, 細かい砂の粒子が多くなることもわかる .

$\beta = 0.01, T = 20$ とした . この結果を図 6 に示す . 図 6 の左上の画像が $w = 3$, 右上の画像が $w = 6$, 左下の画像が $w = 9$, 右下の画像が $w = 12$ の場合である . 図 6 より, w の値が小さいほど, 流れ模様の間隔が狭くなり, 細かい砂の粒子が多くなることがわかる .

α と β の値を変えることによって生成される砂絵風画像の変化を調べた . このとき, $w = 10, T = 20$ とした . この結果を図 7 から図 9 に示す . 図 6 の画像が $\alpha = 0.1$, 図 8 の画像が $\alpha = 0.01$, 図 8 の画像

3.2 従来法との質的な比較

提案法と従来法によって生成された砂絵風画像を比較した . 提案法と従来法によって生成された砂絵風画像を図 10 に示す . 図 9 の左の画像が提案法によって生成された砂絵風画像 ($\alpha = 0.01, \beta = 0.01, w = 10, T = 20$), 右の画像が従来法によって生成された砂絵風画像である . 図 9 より, 提案法は従来法よりも指や棒などでなぞったような流れ模様が強く表現された砂絵風画像を生成できていることがわかる . また,

提案法は従来法よりも砂の細かい粒子が多いこともわかる。

3.3 従来法との計算時間の比較

提案法と従来法の処理の計算時間を比較した。非等方フィルタによる処理の計算時間は、提案法と従来法ともに同じで約 23 秒であった。提案法の反復強調バイラテラルフィルタの反復計算 1 回の計算時間は約 8 秒であった。従来法のサンドフィルタの反復計算 1 回の計算時間は約 202 秒であった。提案法と従来法では異なる砂絵風画像が生成されるため、筆者らが見て、図 10 の右の従来法の砂絵風画像（サンドフィルタの反復回数 30 回）と比較的類似した提案法の砂絵風画像は、図 5 において反復強調バイラテラルフィルタの反復回数が 15 回の場合であると判断した。つまり、反復強調バイラテラルフィルタによる処理では約 120 秒、サンドフィルタによる処理では約 6,060 秒の計算時間を要することになる。提案法と従来法の全体の計算時間は、それぞれ約 143 秒と約 6,083 秒となる。以上より、提案法は従来法よりも処理を大きく高速化できることがわかる。

計算環境は、OS が Windows 7 Enterprise、メモリが 4.0GB、CPU が 2.90GHz、使用言語は C 言語である。

4 まとめ

写真画像から指や棒などでなぞったような流れ模様のある砂絵風画像を生成するノンフォトリアスティックレンダリングの方法を提案し、レナの画像を用いた実験を通して、提案法の有効性を検証した。実験では、提案法の各種パラメータの値を変えることによって生成される砂絵風画像を確認した。また、従来法と比較して、提案法は指や棒などでなぞったような流れ模様が強く表現された砂絵風画像を生成でき、処理を高速化できることも確認した。今後の課題は、レナ以外の多くの画像で実験を行い、提案法に改良を加えることである。また、提案法をカラー画像に適用することも今後の課題である。

参考文献

- [1] P. DECAUDIN, Cartoon-looking Rendering of 3D-scenes, Research Report INRIA, 2919, 1996.
- [2] 川寄敬二, 中丸幸治, 大野義夫, NPR におけるストローク方向の決定と水墨画調レンダリングへの適用, 芸術科学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 235-243, 2004.
- [3] ヘンリー・ジョハン, 橋本良太, 西田友是, 描画技法を考慮した水彩画風画像の生成, 芸術科学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 207-215, 2004.
- [4] 景琳琳, 井上光平, 浦浜喜一, 均一色セル分割タイプの非写実的画像の生成, 芸術科学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 98-105, 2007.
- [5] 渡邊賢悟, 宮岡伸一郎, 「スーラブラシ」: 新印象主義的点描画ブラシの実装, 芸術科学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 48-56, 2013.
- [6] 浦正広, 山田雅之, 遠藤守, 宮崎慎也, 安田孝美, サンドアニメーション風の画像生成のためのペイントツールの開発, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 33, No. 21, pp. 7-12, 2009.
- [7] R. Kazi, K. Chua, S. Zhao, R. Davis, K. Low, SandCanvas: A Multi-touch Art Medium Inspired by Sand Animation, Proceedings of International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1283-1292, 2011.
- [8] P. Chen, S. Wong, Real-Time Auto Stylized Sand Art Drawing, Proceedings of International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics, pp. 439-440, 2013.
- [9] 平岡透, 浦浜喜一, サンドフィルタによる砂絵風画像の生成, 映像情報メディア学会誌, Vol. 67, No. 1, pp. J32-J35, 2013.
- [10] 井上光平, 浦浜喜一, 非等方ショックフィルタによる非写実的流れ模様の強調と生成, 映像情報メディア学会誌, Vol. 59, No. 11, pp.1709-1713, 2005.
- [11] C. Tomasi and R. Manduchi, Bilateral Filtering for Gray and Color Images, Proceedings of International Conference on Computer Vision, pp. 839-846, 1998.
- [12] 松本一男, 金華栄, 小畑秀文, DR 画像における腫瘍影検出 アイリスフィルタ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J75-D, No. 3, pp.663-670, 1992.

平岡 透



1995 年九州芸術工科大学芸術工学部画像設計学科卒業。1997 年同大学大学院芸術工学研究科博士前期課程修了。2005 年同大学大学院芸術工学研究科博士後期課程修了。現在大分工業高等専門学校情報工学科准教授・博士（工学）。地理情報処理、画像処理、地域防災に関する研究に興味を持つ。芸術科学会、映像情報メディア学会、画像電子学会会員。

熊野 稔



1981年豊橋技術科学大学工学部建設工学課程卒業。
1982年同大学院建設工学専攻博士前期課程修了。現在徳山工業高等専門学校土木建築工学科教授。博士（工学）。地域都市計画，建設情報に関する研究に興味を持つ。日本建築学会会員。

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。
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，ノンフォトリアリスティックレンダリングに関する研究に興味を持つ。電子情報通信学会会員。