大分工業高等専門学校紀要　第 50 号　（平成 25 年 11 月）

バイラテラルフィルタの段階効果を用いたモアレ風画像の生成

平岡　透[1]・宮下　啓[2]・久保田　健太[2]・佐藤　龍治[2]

[1]情報工学科，[2]制御情報工学科

バイラテラルフィルタの段階効果を利用して，写真からモアレ風の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．提案法の特徴は，モアレ模様の向きや間隔がエッジや濃淡勾配によって自動的に適応することである．同様なモアレ模様を他の方法で生成しようとすると，エッジや濃淡の等高線などを検出し，それらの向きに応じてモアレ模様の向きや間隔を変えなければならないため，それらを画像全体で整合させるためには煩雑な最適化処理を要するものと予想される．バイラテラルフィルタを用いる提案法は，計算コストが高いが，煩雑な処理を必要とせずにモアレ模様を生成できるという利点がある．

キーワード：ノンフォトリアリスティックレンダリング，モアレ，バイラテラルフィルタ，段階効果

１．まえがき

画像のエッジを保存してスムージングを行うバイラテラルフィルタ[1)]が近年注目されるようになり，画像処理や空間情報処理，コンピュータグラフィックスなどの広い分野で利用されている[2)]．バイラテラルフィルタでは，階段状の濃淡の変化が現れる段階効果が起こることが知られている．この段階効果によって，バイラテラルフィルタでは擬似輪郭線が生じるため，擬似輪郭線の発生を解消させる研究が行われている[3)]．

本稿では，バイラテラルフィルタの段階効果を利用して，写真からモアレ風の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（NPR）の方法を提案する．本稿でのモアレ風画像はオプアートの一種である．オプアートとは，錯視の知覚心理学的なメカニズムに基づいて，特殊な視覚的な効果を与えるように計算された絵画作品のジャンルである．モアレ模様のオプアートの簡単な例を**図-1**に示す．**図-1**の左側の画像は人工的な幾何学的なモアレ模様が生成されており，右側の画像はラフな手書きの絵画である．提案法の特徴は，モアレ模様の向きや間隔がエッジや濃淡勾配によって自動的に適応することである．同様なモアレ模様を他の方法で生成しようとすると，エッジや濃淡の等高線などを検出し，それらの向きに応じてモアレ模様の向きや間隔を変えなければならないため，それらを画像全体で整合させるためには煩雑な最適化処理を要するものと予想される．バイラテラルフィルタを用いる提案法は，計算コストが高いが，煩雑な処理を必要とせずにモアレ模様を生成できるという利点がある．

図-1　モアレ模様のオプアートの例

図-2　レナの画像

提案法の有効性を検証するために，レナの画像**図-2**を用いて，処理の反復回数によって現れてくるモアレ模様の変化を確認する．また，レナの画像以外のいくつかの画像にも提案法を適用して，生成されたモアレ風画像を確認する．

２．方法

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，バイラテラルフィルタを用いて，段階効果のある画像を作成する．二つ目の処理では，改良したバイラテラルフィルタ（以下，反バイラテラルフィルタ）を用いて，段階効果を強調することでモアレ風の画像を生成する．

(1) バイラテラルフィルタ

空間座標 (i, j) の入力画素値を $d_{i,j}^{(0)}$ とし，バイラテラルフィルタでの出力画素値 $d_{i,j}^{(t)}$（t は反復回数）を式(1)で計算する．

$$d_{i,j}^{(t)} = \frac{\sum_{k=i-w}^{i+w}\sum_{l=j-w}^{j+w} e^{-\alpha((i-k)^2+(j-l)^2)-\beta(d_{i,j}^{(t-1)}-d_{k,l}^{(t-1)})^2} d_{k,l}^{(t-1)}}{\sum_{k=i-w}^{i+w}\sum_{l=j-w}^{j+w} e^{-\alpha((i-k)^2+(j-l)^2)-\beta(d_{i,j}^{(t-1)}-d_{k,l}^{(t-1)})^2}} \tag{1}$$

ここで，α と β は正定数であり，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 $d_{i,j}^{(t)}$ との差の絶対値の影響を調整するパラメータであり，β の値が大きいほど画素値 $d_{i,j}^{(t)}$ との差の絶対値の大きい画素の影響を受けにくくなる．以下の実験では，文献4)を参考に，$\alpha = 0.001$，$\beta = 0.01$，$w = 10$ とした．

(2) 反バイラテラルフィルタ

バイラテラルフィルタを T_1 回かけた後の画像 $d_{i,j}^{(T_1)}$ を $f_{i,j}^{(0)}$ とし，反バイラテラルフィルタでの出力画素値 $f_{i,j}^{(t)}$（t は反復回数）を式(2)で計算する．式(2)は，バイラテラルフィルタによる画素値の変化分を逐次加算していくものである．

$$f_{i,j}^{(t)} = 2 f_{i,j}^{(t-1)} - \frac{\sum_{k=i-w}^{i+w}\sum_{l=j-w}^{j+w} e^{-\alpha((i-k)^2+(j-l)^2)-\beta(f_{i,j}^{(t-1)}-f_{k,l}^{(t-1)})^2} f_{k,l}^{(t-1)}}{\sum_{k=i-w}^{i+w}\sum_{l=j-w}^{j+w} e^{-\alpha((i-k)^2+(j-l)^2)-\beta(f_{i,j}^{(t-1)}-f_{k,l}^{(t-1)})^2}} \tag{2}$$

以下の実験では，バイラテラルフィルタと同様に，$\alpha = 0.001$，$\beta = 0.01$，$w = 10$ とした．

反バイラテラルフィルタを T_2 回かけた後の画像がモアレ風画像である．

図-3　モアレ風画像（$T_1 = 20$，$T_2 = \{10,20,30,40\}$ の場合）

図-4　モアレ風画像（$T_1 = \{10,20,30,40\}$，$T_2 = 40$ の場合）

３．実験

まず，レナの画像（**図-2**参照）を用いた実験を行い，提案法の反復回数によって現れてくるモアレ模様の変化を確認する．その後，レナの画像以外のいくつかの画像にも提案法を適用して，生成されたモアレ風画像を確認する．

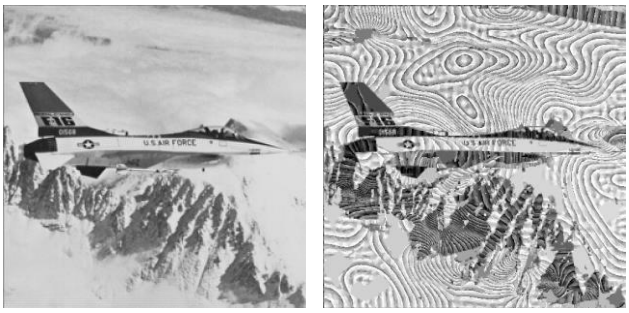

図-4　モアレ風画像（Airplane）

図-5　モアレ風画像（Balloon）

図-6　モアレ風画像（Cameraman）

(1) **レナの画像での実験**

バイラテラルフィルタの反復回数T_1を20, 反バイラテラルフィルタの反復回数T_2を10，20，30，40として生成されたモアレ風画像を**図-3**に示す. **図-3**の左上の画像が$T_2=10$，右上の画像が$T_2=20$，左下の画像が$T_2=30$，右下の画像が$T_2=40$の場合のモアレ風画像である. 図¥ref{fig:f2}より，反復回数T_2が大きいほど, バイラテラルフィルタの段階効果が強調され, かつ帽子の部分などの細かい段階が現れてくることがわかる.

バイラテラルフィルタの反復回数T_1を10，20，30，40，反バイラテラルフィルタの反復回数T_2を40として生成されたモアレ風画像を**図-4**に示す. **図-4**の左上の画像が$T_1=10$，右上の画像が$T_1=20$，左下の画像が$T_1=30$，右下の画像が$T_1=40$の場合のモアレ風画像である. **図-4**より，

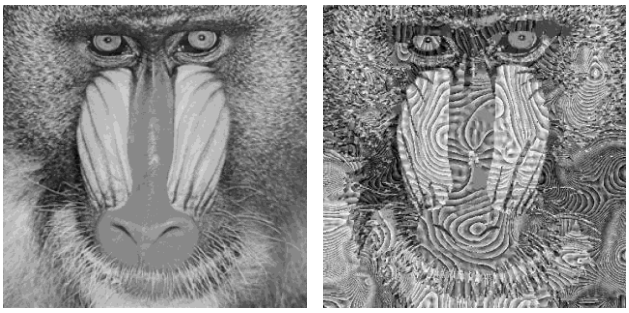

図-7　モアレ風画像（Mandrill）

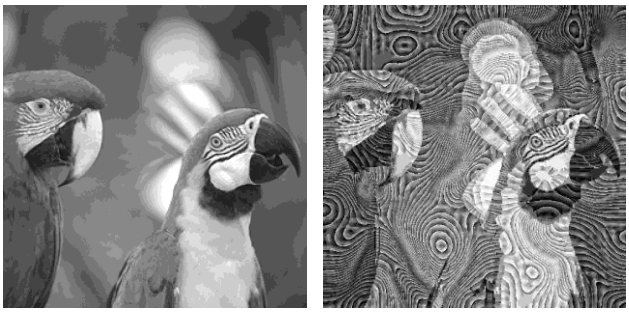

図-8　モアレ風画像（Parrots）

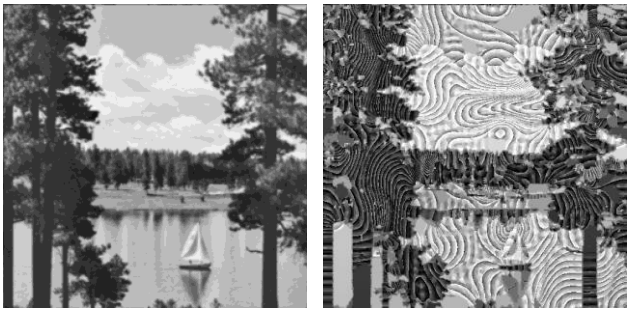

図-9　モアレ風画像（Sailboat）

図-10　モアレ風画像（Woman）

反復回数T_1が小さいほど，段階の曲線の間隔が狭く，かつ曲がりが細かいことがわかる.

(2) 他の画像での実験

提案法をレナの画像以外の7枚の画像に適用した結果を**図-5**から**図-10**に示す．このとき，バイラテラルフィルタの反復回数T_1を20, 反バイラテラルフィルタの反復回数T_2を40とした．**図-5**から**図-10**の右側の画像が原画像，左側が提案法によって生成されたモアレ風画像である．**図-5**から**図-10**より，どの画像も段階効果が強調されたモアレ模様を生成できていることがわかる．

以上のように, 提案法によって**図-1**のようなモアレ模様のオプアートに似た風合いの画像を写真から生成することができた．

４．むすび

バイラテラルフィルタの段階効果を利用して, 写真からモアレ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し, 実験を通して提案法の有効性を検証した．提案法を用いることで，比較的綺麗なモアレ風画像を生成できることがわかった．今後の課題は，より多くの画像に適用して, より綺麗なモアレ風画像を生成できるように提案法を改良することである．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) C. Tomasi and R. Manduchi: Bilateral Filtering for Gray and Color Images, *Proc. ICCV*, pp.839-846, 1998.

2) 浦浜喜一：画像の本質を引き出すバイラテラルフィルタによるノイズ除去とイラスト風画像の生成，映像情報メディア学会誌，Vol.62，No.8，pp.1268-1273，2008.

3) A. Buades, B. Coll and J-M. Morel: The Staircasing Effect in Neighborhood Filters and its Solution, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.15, No.6, pp.1499-1505, 2006.

4) 常セン，杜増コウ，浦浜喜一：固定係数反復バイラテラルフィルタによる画像平滑化，電子情報通信学会論文集，Vol.J91-A，No.12，pp.1219-1222，2008.

（2013.9.30受付）