

画像美化フィルタ — 非線形フィルタリングによる人物画像の改善 —

枝並 隆文[†] 鶴田 徹[†] 伊藤 隆[†] 松田 喜一[†]

[†] 株式会社 富士通研究所 ブロードバンド研究センター

〒211-8588 川崎市中原区上小田中 4-1-1

E-mail: [†] (t_edanami, tsuruta.tohru, itoh.t, matsuda.kiichi)@jp.fujitsu.com

あらまし 本報告は、人物顔画像を含む静止画および動画において、細かなノイズ成分を有する平坦部分はより平坦で滑らかに、また物体の輪郭部分はよりはっきり強調することで見やすい美しい画像を生成するとともに、圧縮符号化に伴う劣化を低減する非線形フィルタの実現方法を提案する。対象画素周辺での有意なエッジの有無にしたがって2次元フィルタの係数を画素毎に計算し変更することにより、非線形2次元フィルタを構成している。さらに、本非線形フィルタは実時間動画処理に適用することを考慮して、従来方式に比べて比較的少ない計算量で実現が可能であることを示す。

キーワード ϵ -フィルタ, デジタル信号処理, ノイズ除去, スムージング, エッジ強調

Image Beautifying Filter

— Enhancement of face images using non-linear filtering —

Takafumi EDANAMI[†], Tohru TSURUTA[†], Takashi Itoh[†], Kiichi Matsuda[†]

[†]Research Center For Broadband Technologies
FUJITSU LABORATORIES LTD.

1-1, Kamikodanaka 4-chome, Nakahara-ku, Kawasaki, 211-8588, Japan

E-mail: [†](t_edanami, tsuruta.tohru, itoh.t, matsuda.kiichi)@jp.fujitsu.com

Abstract This paper proposes a new non-linear 2-dimensional digital filtering method for still pictures and video signals to improve their subjective quality. The filter smoothes flat areas having small amplitude of noises, and makes contour areas sharper. In other words, the filter eliminates undesirable parts in visually sensitive areas, such as wrinkles and smudges on human faces, and reduces block noises and mosquito noises caused by the compression process. The non-linear filter is a standard 2-dimensional filter whose coefficients are altered according to the amount of edge power around the target pixel. In addition, the proposed filter requires less computational power than conventional methods do, and therefore it can be applied to the real time processing of motion pictures.

Keywords ϵ -filter, Digital Signal Processing, Noise reduction, Smoothing, Edge emphasis

1. まえがき

最近のカメラ付き携帯電話の爆発的な普及により、静止画や動画を自由に撮影し、交換することが一般的になってきている。特に人の顔画像を扱う場合には、顔面におけるノイズや不自然な画質劣化等ができるだけ発生しないことが強く望まれている。このようなノイズ成分としては、圧縮符号化により発生するブロックノイズやモスキートノイズはもちろんのこと、顔画像自体に存在する皺やシミ

も対象となる。さらには、ノイズ成分の除去以外にも目や口許の輪郭をハッキリ見せることも画像品質の向上と考えることができる。

従来から、顔画像中の皺やシミを除去する二次元非線形フィルタ処理として、 ϵ -フィルタ^{[1][2][3][4][5][6]}が研究されよく知られている。また計算を簡略化し、同様の効果を持つRTF(Ripple Trimmed Filter)^{[7][8][9]}も知られている。しかし、これらの二次元非線形フィルタは基本的に

「エッジ情報を保存しつつ、細かな変動部分に対して平滑化フィルタ(低域通過フィルタ)を作用させるもの」であり、ある程度の鮮明度の低下が避けられないという問題がある。さらに、携帯電話やモバイル機器などの計算資源が制約されているプラットフォームへの搭載を考えた場合、できるだけ少ない計算量で実現可能なことも重要な課題である。

本稿では、主に顔画像を対象とした品質改善を目指し、比較的少ない計算量で ϵ -フィルタや RTF の機能と同等なものを実現し、さらに皺やシミを隠す処理を発展させて、目や口許などをくっきりとした画像に改善することが可能なフィルタ処理の実現を目的とする。

2. 画像美化フィルタ

本稿では、上記のように顔の各部位(目、口許、肌など)それぞれで適応的に特性が変化する非線形フィルタの実現方法を提案する。本章では、まず非線形フィルタの基本構成方法について述べる。次に、より自然な画像美化を行うためのフィルタ係数制御方法について説明し、画像符号化で発生しやすいブロックノイズに対応する場合の係数制御方法について述べる。次章で、シミュレーションにより実際の画像に対する効果を示す。

2.1. 係数可変非線形フィルタ

一般的な規格化された出力を持つ2次元フィルタの入出力関係は、

$$Y_{m,n} = \frac{\sum W_{i,j} * X_{m-i,n-j}}{\sum W_{i,j}} \quad (1)$$

と表現できる。ここで $X_{m,n}$ は入力画素値、 $Y_{m,n}$ は出力画素値である。ここで、

$$\sum W_{i,j} = C \quad (2)$$

とおくと、除算を簡略化するためには C は2のべき乗の値が望ましい。

この条件下で $\{W_{i,j}\}$ を適切に設定すると、平滑化フィルタ、全域通過フィルタ、エッジ強調(高域強調)フィルタなど、その特性が異なるフィルタを構成することができる。

3×3の2次元フィルタで、 $C=4$ とした場合の全域通過フィルタ、平滑化フィルタ、エッジ強調フィルタのそれぞれの係数例 $\{W_{i,j}\}$ を以下に示す。

全域通過フィルタ

$$W_{i,j} = \{0,0,0,0,4,0,0,0,0\} \quad (3)$$

平滑化フィルタ

$$W_{i,j} = \{0,1,0,1,0,1,0,1,0\} \quad (4)$$

$$W_{i,j} = \{1,0,1,0,0,0,1,0,1\} \quad (5)$$

エッジ強調フィルタ

$$W_{i,j} = \{0,-1,0,-1,8,-1,0,-1,0\} \quad (6)$$

$$W_{i,j} = \{-1,-1,-1,-1,12,-1,-1,-1,-1\} \quad (7)$$

ここで、全域通過フィルタ、平滑化フィルタ、エッジ強調フィルタのそれぞれの係数に注目すると、

$$W_{i,j} = \{0,0,0,0,4,0,0,0,0\} \quad (3)$$

$$W_{i,j} = \{0,1,0,1,0,1,0,1,0\} \quad (4)$$

$$W_{i,j} = \{0,-1,0,-1,8,-1,0,-1,0\} \quad (6)$$

の組み合わせの場合、 $(i,j)=(1,0),(0,1),(2,1),(1,2)$ の箇所が同一係数である。フィルタリングの対称性を考慮すると、中心係数を A とし、中心以外の非零の係数を B とすると、これら2つの係数決定の問題に集約する。

ここでは、画素毎に係数を決定する方法として、周辺エッジ量(有意なエッジ成分の強度)によりフィルタ係数を制御するものとする。例えばエッジ強度を算出するための演算例としては、

ラプラシアン

$$EP_{i,j} = |X_{i,j} - (X_{i-1,j-1} + X_{i-1,j} + X_{i-1,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i,j+1} + X_{i+1,j-1} + X_{i+1,j} + X_{i+1,j+1})| + 8| \quad (8)$$

ロバーツのエッジ抽出オペレータの拡張として

$$EP_{i,j} = |X_{i,j-1} - X_{i,j+1}| + |X_{i-1,j} - X_{i+1,j}| \quad (9)$$

単純な上下左右方向のエッジ強度の合計値として、

$$EP_{i,j} = |X_{i-1,j} - X_{i+1,j}| + |X_{i,j-1} - X_{i,j+1}| \quad (10)$$

などを使用することができる。

本稿による画像美化フィルタの詳細構成を図1に示す。エッジ量演算部の出力値により後段の2次元フィルタの係数を設定する構成である。

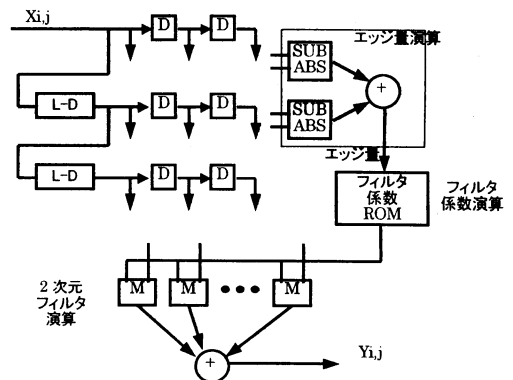


図1 画像美化フィルタ構成

エッジ量の計算方法としては、計算量削減を考慮して式(9)または式(10)が好ましい。式(9)および式(10)の係数位置を図2に示す。

$X_{i-1,j-1}$	0	$X_{i+1,j-1}$
0	0	0
$X_{i-1,j+1}$	0	$X_{i+1,j+1}$

0	$X_{i,j-1}$	0
$X_{i-1,j}$	0	$X_{i+1,j}$
0	$X_{i,j+1}$	0

Roberts Horizontal & Vertical

図2 エッジ量演算フィルタの係数

フィルタ係数 A, B のレイアウトを図 3 に示す。図 3 の 4 方向の場合について以降説明を行う。

0	B	0
B	A	B
0	B	0

B	B	B
B	A	B
B	B	B

4 方向 8 方向

図3 フィルタ係数 A, B のレイアウト

4 方向のフィルタについて、 A, B 係数に対する規格化出力のための拘束条件は、

$$C = \sum W_{ij} = A + 4B \quad (11)$$

である。

平坦部で平滑化処理を行い、輪郭部分ではエッジ強調処理を行うためには、 $EP_{m,n}$ の値が大きいときに B の値が負であり、 $EP_{m,n}$ の値が 0 に近い場合に B の値が正となり、中域では、 $B=0$ となるのが望ましい。これらの条件を満たすように B を $EP_{m,n}$ から計算する方法として、

$$B = \max(\min(a(L - EP_{m,n}), E), F) \quad (12)$$

が考えられる。ここで、 E は係数 B の上限値、 F は係数 B の下限値、 a は平滑化フィルタとエッジ強調フィルタの切り替わり度合いを示す。 L は全域通過とした領域を示す。図 4 に、 $EP_{m,n}$ に対する係数 B の変化を示す。

$EP_{m,n}$ の値が小さい場合には B の値は E に、 $EP_{m,n}$ の値が大きい場合には B の値は F になる。また、 $B=0$ となるのは $EP_{m,n}=L$ の場合である。

このとき A は、式(11)より、

$$A = C - 4B \quad (13)$$

と計算される。このように、 $EP_{m,n}$ からフィルタ係数 A, B を計算する。

計算されたフィルタ係数 A, B を係数として持つフィルタ $W_{ij} = \{0, B, 0, B, A, B, 0, B, 0\}$ を使用してフィルタ処理を実行すると、そのフィルタは $EP_{m,n} < L$ の範囲で平滑化フィルタ、

$EP_{m,n}=L$ の周辺で全域通過フィルタ、 $EP_{m,n} > L$ の範囲でエッジ強調フィルタとして作用する。

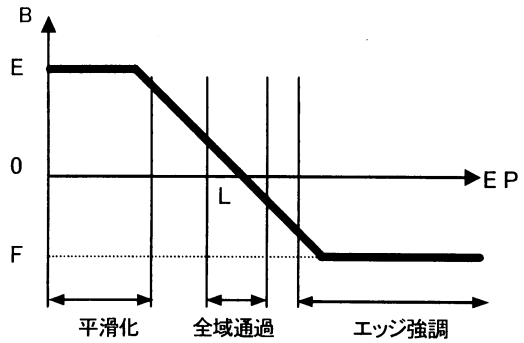


図4 エッジ量に対する係数 B の変化

本稿の非線形フィルタが、係数 B の計算値によって滑らかに平滑化フィルタからエッジ強調フィルタへ変化する様子について、1次元のフィルタ $W_{i,j} = \{B, A, B\}$ について説明を行う。

この場合、係数 A, B に対する拘束条件は $A = C - 2B$ である。 $C=1$ とし、 B を 1, 0, -0.5, -1 と変化させて、それぞれ平滑化、全域通過、エッジ強調(弱)、エッジ強調(強)となる。この様子を $W_{i,j} = \{B, A, B\}$ の周波数応答表示として図 5 に示す。

係数は常に規格化されているために、0Hz での出力利得は 1.0 となっているが、 B の変化に従って平滑化フィルタから全域通過フィルタを経てエッジ強調フィルタへ変化する。

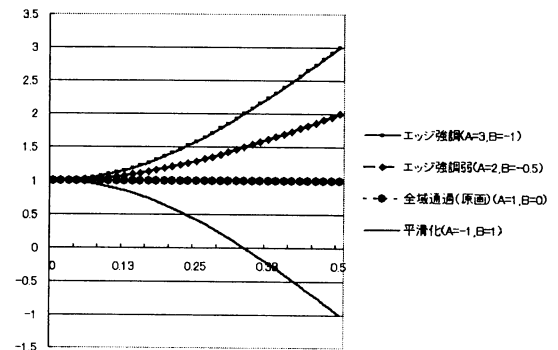


図5 係数 B によるフィルタ特性の変化

2.2. エッジ過強調の抑制

従来の画像整形フィルタである ϵ -フィルタや RTF は基本的に平滑化フィルタであり、データ間を補間するものである。このため、フィルタ後の画素輝度値は規定のダイナミックレンジを超すことはない。これに対して本稿の画像美化フィルタは、エッジ強調処理を行う際に規定のレンジ

を超える可能性がある。

エッジ強調が強過ぎると人物などの対象画像の輪郭部に実在しない輪郭(白または黒い線)が出現し、画像の美化作用を逆に阻害することになる。このような現象を防ぐために、フィルタ係数の変化を図 6 ように変更する。 $EP_{m,n}$ の値が大きい場合にエッジ強調処理を行う係数となっているが、エッジ量 $EP_{m,n}$ が大きくなるにつれて、エッジ強調のための係数 B の絶対値が小さくなり、強調の度合いを緩和し、自然なエッジ強調を実現する。

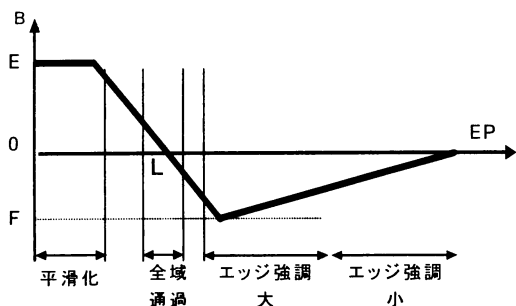


図 6 緩和されたエッジ強調係数

この場合、係数 B の決定方法としては、次のような演算等が考えられる。

$$B = \max(\min(a(L - EP), E), G + \beta \cdot EP) \quad (14)$$

ここで、 G および β はエッジ強調緩和のための係数である。

2.3. ブロックノイズ除去

高能率符号化を用いた画像通信で、受信画像にブロックノイズが発生しているような場合について、画像美化フィルタをポストフィルタとして使用する場合を考える。1画面中の符号化単位であるマクロブロック毎に決定される量子化ステップが大きい場合に隣接するマクロブロック間にブロックノイズが発生する可能性が高い。

ここで、ブロックノイズが発生しているブロックに対して本稿の画像美化フィルタをそのまま作用させると、ブロックノイズとして存在するエッジ成分をフィルタが強調してしまうことになる。これを避けるために、復号マクロブロック毎の量子化ステップから画像美化フィルタのエッジ強調特性を適宜変更することが望ましい。この方法の具体的内容をに示す。

隣接するマクロブロックの量子化ステップが小さい場合にはブロックノイズが発生していないものとして、本来の画像美化フィルタとしての特性(図 6)になる。自マクロブロックを含めた隣接するマクロブロックの量子化ステップが大きくなるに従い、(A)、(B)、(C)、と変化し、係数 B の負側の値を制限する。最終的にはエッジ強調特性のない(D)まで変化し、 ϵ -フィルタや RTF をブロックノイズ除去用途に使用した場合と同等の効果が期待できる。

このようにすることで、ブロックノイズが発生するような復号画像に対しても、ブロックノイズが発生する可能性があ

る部分に対してのみブロックノイズ除去フィルタとして動作し、量子化ステップが小さくブロックノイズが発生していないマクロブロックに対しては美化処理を行い、エッジ強調特性を効かせる。これにより、ブロックノイズが発生している復号画像にも可能な限り画質の向上を行うことが可能になる。

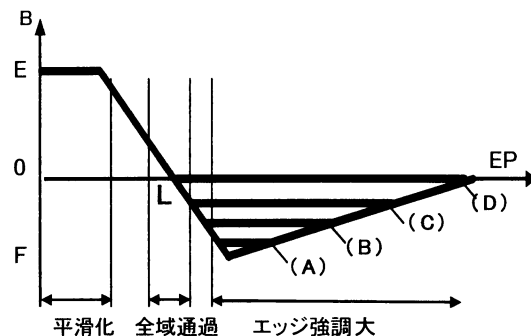


図 7 ブロックノイズに対応した係数制御

処理結果の例を図 8、図 9 に示す。図 8 は右半面にブロックノイズを含む原画像であり、図 9 はフィルタ係数の量子化ステップによる制御のもとに画像美化フィルタを作用させた処理画像である。図 8 では目立っていたブロックノイズが、図 9 では左半面の輪郭等が強調されると同時に右半面のブロックノイズが緩和されている。

3. シミュレーション

本章では、本稿で提案している画像美化フィルタの静止画に対するシミュレーション結果を示し、その効果を確認する。

フィルタリング操作はすべて輝度情報に対してのみ行った。またサンプルとした画像サイズは、218×235、フィルタサイズは 3×3 である。

図 10 は、処理対象とした原画である。

図 11 は、 ϵ -フィルタによる処理結果である。肌部分が滑らかになり皺などが緩和されている。

図 12 は提案方法による処理を行った画像である。式 (14) によるフィルタ係数の制御を行った結果である。皮膚部分は皺やシミなど細かなノイズ成分が除去され、滑らかな皮膚を表現している。さらに、目や口の周辺部分は輪郭が明瞭になっていることが確認できる。また、モスキートノイズは画像特性としては細かな皺と見なすことができ、本シミュレーション結果はモスキートノイズに対する平滑化効果についても有効性を示すものである。

図 13 は、画像の向かって左側の目中心を通る上下方向の周辺輝度変化を示している。点線で示される原画像に対して、実線で示される画像美化フィルタ適用画像では目部分での輝度強調が明確に起こっており、目以外の部分では原画像よりも平滑化が行われていることが確認できる。



図 8 ブロックノイズを含む顔画像

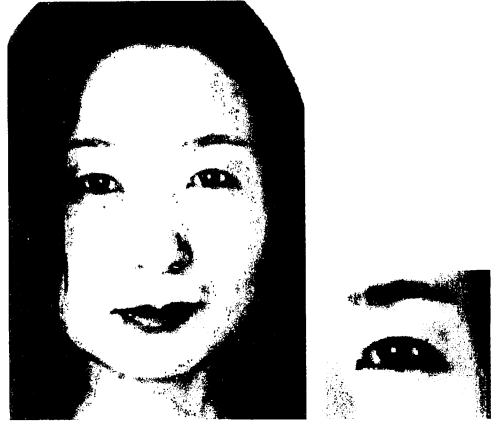


図10 サンプル原画



図 9 ブロックノイズ低減画像

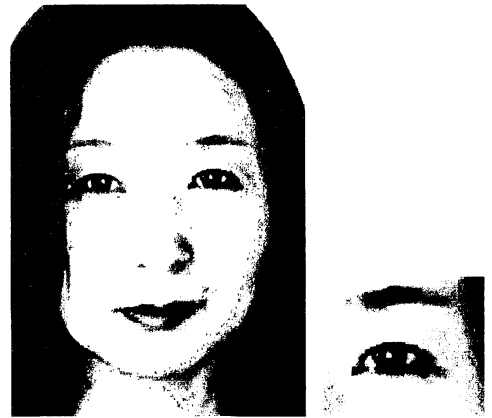


図11 ϵ -フィルタ適用画像

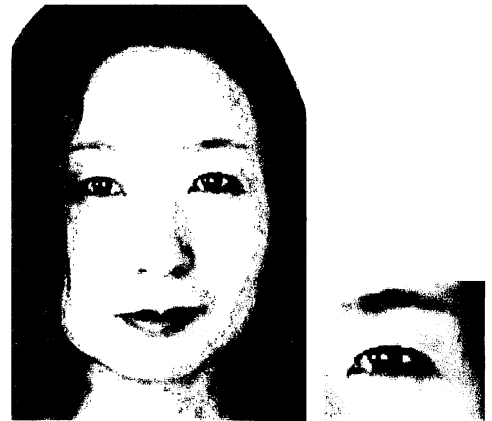


図12 画像美化フィルタ適用画像

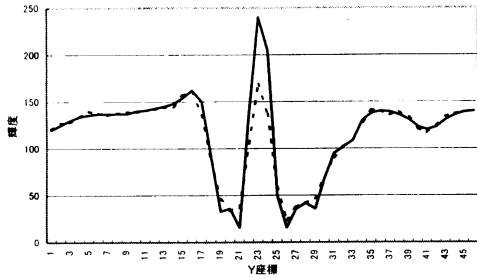


図13 「目」付近の輝度変化

4. 計算量の評価

本稿で提案する画像美化フィルタについて、演算量を ϵ -フィルタ、RTFと比較する。計算条件として、マスクサイズ 3×3 を仮定する。RTFを基準とした相対演算量を表1に示す。なお、演算量の算出方法は、各方式において必要な演算要素(加減算、乗算、シフト等)の累積とした。

表1 非線形フィルタ演算量比較

方式	相対演算量
RTF	1
ϵ -フィルタ	3以上
画像美化フィルタ	約1.3

画像美化フィルタは、RTFとほぼ同等の演算量で平坦部の平滑化のみならず、目や口の周りの輪郭強調処理を実現している。

5. まとめ

人の顔画像を含む静止画および動画像に対する画像美化処理を行うことのできる非線形フィルタを提案した。本フィルタは、対象画素周辺のエッジ強度演算、エッジ強度値からのフィルタ係数計算、2次元フィルタリング処理と言う簡潔な方法を採用しているにもかかわらず、画像中の平坦な部分では平滑化処理を行い、エッジ部分ではエッジ強調処理を行えることを特徴としている。

より自然なエッジ強調処理を行うためのフィルタ係数の制御方法、および画像符号化時に発生するブロックノイズを対象としたフィルタリングを行う場合についての係数制御方法についても提案を行った。

提案フィルタと従来の ϵ -フィルタとを用いた顔画像の処理をシミュレーションで実施し、効果を確認した。また、必要な計算量はRTFと大差ないことも示した。

本稿の画像美化フィルタは、顔画像に対し肌部分のノイズ成分を平滑化する作用と同時に、目や口の輪郭部分をはっきりとさせる作用も持っている。

今後の課題としては、フィルタサイズの最適化やフィルタ係数決定法の改良、色差情報も考慮したフィルタリングなどがあると考えている。

文 献

- [1] 岡田、渡部、荒川ほか：“ ϵ -分離型非線形フィルタバンクとその顔画像処理への影響”，2002年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集、A-4-3
- [2] 清藤、秋、荒川：“カラー顔画像の美観化を目的とした非線形デジタルフィルタ”，1998年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 SA-3-4
- [3] 荒川ほか：“マルチメディア画像処理”，電子情報通信学会技術研究報告 スペクトル拡散 SST98-44
- [4] 岡田ほか：“成分分離型 ϵ -フィルタの最適設計”，2002年電気情報通信学会総合大会講演論文集、A-4-3
- [5] 相原、荒川：“動き補償 ϵ -フィルタによる動画像改善”，2002年電気情報通信学会総合大会講演論文集、D-11-75
- [6] 近藤、羽成ほか：“ベクトル ϵ -フィルタによるカラー顔画像処理-雑成分の除去-”，電子情報通信学会総合大会講演、D-11-143
- [7] 吹抜敬彦：“DCT量子化歪みのリップル修正フィルタによる抑圧”，平14映像情報メディア学会冬季大会No.9-3,(2002.11)
- [8] 吹抜敬彦：“DCT量子化歪みのRTFによる抑圧”，映情学会誌，映情学会誌，Vol.57，No.10，pp.1377-1379，(2003.10)
- [9] 吹抜敬彦：“リップル修正フィルタによる画像中の“シワ”の抑圧”，電子通信学会ソサイエティ大会講演，No.D-11-15,(平11.9)