
ウェーブレット空間でのMFP機用フィルタ処理

Filtering Method for MFP in the Wavelet Domain

森本 悦朗* 芝木 弘幸* 水納 亨* 大久保 宏美* カトリン バークナー**
Etsuo MORIMOTO Hiroyuki SHIBAKI Toru SUINO Hiromi OKUBO Kathrin BERKNER

要 旨

MFP機のスキヤナ部より入力された画像信号に対し、鮮鋭性補正を行うフィルタ処理をウェーブレット空間にて行う方法を開発した。すなわち、まず入力画像をウェーブレット変換により複数の周波数帯域から構成されるウェーブレット係数に分解し、ウェーブレット係数を使った文字エッジ判定を行う。その判定結果に基づき、各々のウェーブレット係数に対し演算を行って、必要な周波数帯域に対する鮮鋭性補正を行う。本方法により、画像のシャープネスと粒状性の両立が可能となり、また網点上文字の鮮鋭性についても良好な結果が得られる。

ABSTRACT

We introduce a new filtering method in the wavelet domain for the enhancement of input image derived from the scanner of MFP. Firstly, the input image is decomposed into wavelet coefficients which consist of various resolutions components, and text edge classification is preformed using wavelet coefficients. Then according to the classification results, the enhancement of the image for resolutions necessary is performed in the wavelet domain. The new method enables us to get better sharpness and granularity at the same time, and also to get better sharpness in “Text on Halftone” for the output image.

* 画像技術開発本部 DI開発室

** DI Development Department, Imaging Technology Division
Color Image Processing Group, Ricoh Innovations, Inc. (USA)

1. 背景と目的

MFP機の高解像度化に伴い、画像処理部における高画質化の要求が高まってきている。一般的に画像処理部においてはスキャナ γ 補正処理、変倍処理、フィルタ処理、プリンタ γ 補正処理、中間調処理等の処理が行われるが、中でもフィルタ処理はスキャナ部より入力された画像信号に対し鮮鋭度補正を行う処理であり、出力画像における文字・線画部のシャープネスや網点画像の粒状性を決定づける上で重要な処理である。ところが、フィルタ処理にて強調を強くすると、文字・線画部のシャープネスが向上する反面、網点画像の粒状性が劣化する。また、フィルタ処理にて平滑化処理を重視すると、網点画像の粒状性は向上する反面、文字・線画部のシャープネスが不足すると言う問題点がある。これらを解決すべく、エッジ量に応じて強調度合いを調節する適応フィルタが採用されているが、これまたシャープネスと粒状性を両立させるのは容易でない。

そこで本稿では、フィルタ処理をウェーブレット空間にて行う新規方法を紹介する。本方法では、入力画像信号をウェーブレット変換により複数の周波数帯域から構成されるウェーブレット係数に分解し、文字エッジ判定の結果に基づき、必要な周波数帯域には強調処理を行い、その他の帯域には平滑化処理を行うことにより、シャープネスと粒状性の両立を容易にしている。

2. 技術

2-1 画像処理全体フロー

Fig.1に一般的な画像処理全体のフローを示す。

本稿はFig.1中のフィルタ処理部での新規処理方法についての紹介である。

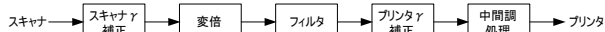


Fig.1 Image processing flow for B/W MFP.

2-2 フィルタ処理

Fig.2に本方法のフィルタ処理フローを示す。まず入力信

号をウェーブレット変換によりウェーブレット係数に分解し、係数を用いて文字エッジ判定を行う。次に判定結果に基づきパラメータを設定し、このパラメータを用いてウェーブレット空間での鮮鋭性制御を行う。そして制御後の係数をウェーブレット逆変換により実空間信号に戻して出力信号を得る。

以下、それぞれの処理について説明する。

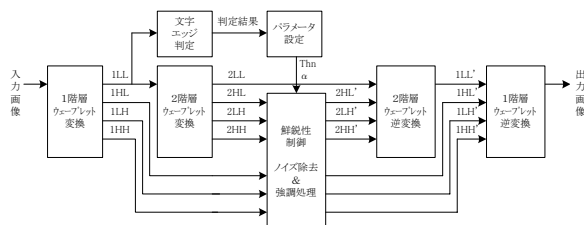


Fig.2 A block diagram of proposed filtering method in the Wavelet Domain.

2-2-1 Redundantウェーブレット変換

本方法で行うウェーブレット変換は、通常のウェーブレット変換とは若干異なり、Fig.3に示すような変換の際にダウンサンプリングを行わないRedundant^{*1}ウェーブレット変換である。変換後の係数信号をダウンサンプリングせずに全て保持しておくことにより、逆変換により実空間出力信号を再構成する際にeven画素位置の係数群だけから算出された結果と、odd画素位置の係数群だけで算出された結果の2系統の逆変換結果を得る。本方法では、これらの平均値を最終的な出力信号とする。なおFig.3において、フィルタバンクHはハイパスフィルタであり、画像の高周波成分信号Hを出力する。また、フィルタバンクGはローパスフィルタであり、画像の平均成分信号Lを出力する。

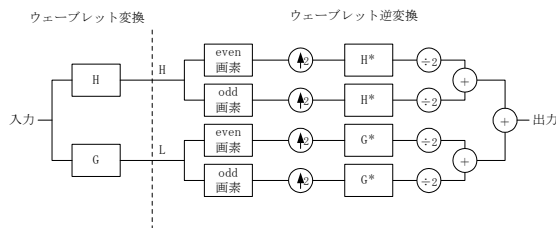


Fig.3 Redundant Wavelet Transform.

実際にはこれら1次元変換を主走査方向と副走査方向に適用した2次元ウェーブレット変換を行う。この変換の結果得られる係数が1階層ウェーブレット係数信号である。さらに

^{*1} Redundantとは「冗長な」の意味。また、Fig.3では1次元変換を図示しているが、実際には後述の通り2次元変換を行う。

本方法では、主・副方向共に低周波成分の係数信号（1LL）を入力として2階層ウェーブレット変換まで実施する。（Fig.4）この変換結果の係数が2階層ウェーブレット係数信号である。本方法ではこれらウェーブレット係数信号を用いて、文字エッジ判定と鮮鋭性制御を行う。

なお、本方法ではウェーブレット基底関数に整数型で可逆変換可能な、Haarを用いる。

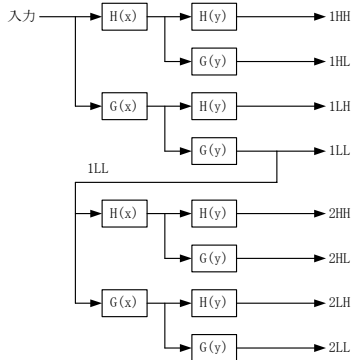


Fig.4 2-Dimensional 2-Level Redundant Wavelet Transform

2-2-2 ウェーブレット係数による文字エッジ判定

本方式では前節で算出したウェーブレット係数信号を参照してウェーブレット空間上で画像の文字エッジ判定を行う。そして文字エッジ判定結果に基づいて、鮮鋭性制御を行うためのノイズ除去閾値 Th_b と強調係数 α のパラメータ設定を行い、これらのパラメータを用いて高周波ウェーブレット係数信号に対する簡単な演算により鮮鋭性制御を行う。具体的方法方法を以下に説明する。

(1) 文字エッジ判定

ウェーブレット係数による文字エッジ判定は、Fig.5に示すように、横・縦・右斜め・左斜めの4方向について文字エッジ量の算出を行い、これらの最大値を取った結果を閾値 Th_b と比較し、 Th_b 以上である場合は文字領域、 Th_b 未満であれば絵柄領域との判定を行う。各方向の文字エッジ量算出には、「入力画像の文字部や線画部ではウェーブレット係数信号値が大きく、連続性も高い」「網点部ではウェーブレット係数信号値に大きいものもあっても連続性が低い」という特性を使って文字部と網点部の切り分けを実施している。

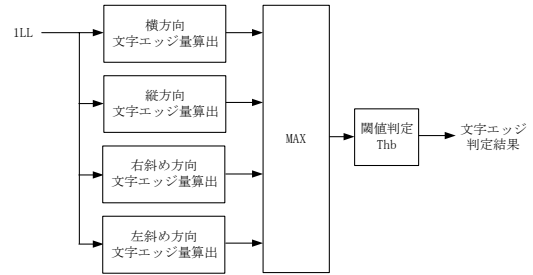


Fig.5 Text edge classification

以下に具体的なエッジ量算出方法を説明する。

(1-1) 横・縦方向文字エッジ量算出

横・縦方向の文字エッジ量算出には、2階層のウェーブレット係数を使用する。

まず、横方向の文字エッジ量算出には注目画素位置に対応する2LH係数と、その左右2係数ずつの合計5係数を用いて、以下の条件式に従って算出する。

if(連続する5つの2LH係数がすべて同符号)

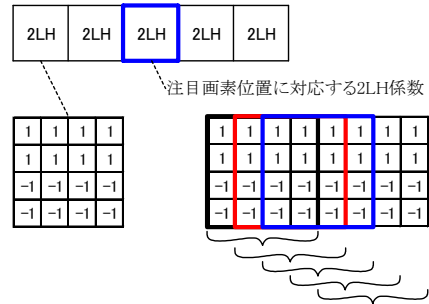
then 横方向文字エッジ量 = 5係数中の最小絶対値

else

横方向文字エッジ量 = 0 (1)

Fig.6に横方向文字エッジ量算出の様子を図示する。

横方向文字エッジ量算出



連続する5つの2LH係数が全て同符号の時、絶対値が最小のものを注目画素の横方向文字エッジ量とする。

Fig.6 Horizontal text edge amount

縦方向の文字エッジ量算出方法は、横方向の算出方法と同様であるので詳細は省略する。2LH係数に代わり2HL係数を用いて、縦方向の5係数から算出すれば良い。

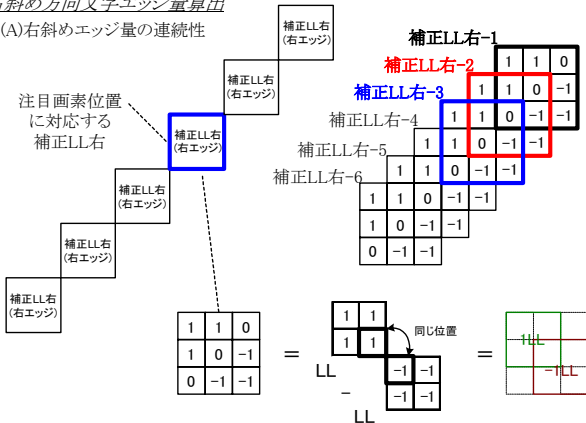
(1-2) 斜め方向文字エッジ量算出

斜め方向の文字エッジ量算出には、2つの1階層LL係数を減算して求まる補正LLを使用する。補正LLは右斜め方向の

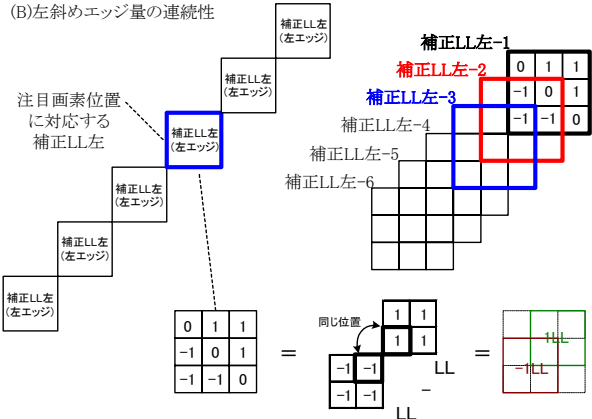
エッジ量を表現する「補正LL右」と、左斜め方向のエッジ量を表現する「補正LL左」の2種類があり、両者とも文字特徴検出方向への連続性が基準値以上ある場合に、注目画素位置に対応する補正LL値を文字エッジ量とする。ここで連続性は6つの隣接補正LLの差分値（の絶対値）の合計の大小をみることで代用している。

右斜め方向文字エッジ量算出

(A)右斜めエッジ量の連続性



(B)左斜めエッジ量の連続性



(A)で隣接補正LL右の差分値合計が閾値thr1以下、かつ
(B)で隣接補正LL左の差分値合計が閾値thr2以下の時、
注目画素位置に対応する補正LL右(補正LL右-3)を
右斜め方向の文字エッジ量とする

Fig.7 NE-SW diagonal text edge amount

右斜め方向の文字エッジ量算出の場合、「補正LL右」と「補正LL左」それぞれについて、右斜め方向への隣接補正LLの差分値の合計を算出し、両者ともあらかじめ定めた基準値より小さい場合に、注目画素位置に対応する「補正LL右」値を文字エッジ量とする。式で表現すると以下の通りである。

if((隣接「補正LL右」の差分値合計 \leq thr1) &&
(隣接「補正LL左」の差分値合計 \leq thr2))
then 右斜め方向文字エッジ量 =
注目画素位置に対応する「補正LL右」値
else
右斜め方向文字エッジ量 = 0 (2)

Fig.7に右斜め方向文字エッジ量算出の様子を図示する。

左斜め方向の文字エッジ量算出方法は、右斜め方向の算出方法と同様であるので詳細は省略する。左斜め方向への差分値合計を算出し、連続性が大きい場合に「補正LL左」値を文字エッジ量とする。

上記方法により算出した、横・縦・右斜め・左斜め4方向の文字エッジ量の最大値を取った結果を閾値Thbと比較し、Thb以上である場合は文字領域、Thb未満であれば絵柄領域との判定を行い、結果を文字エッジ判定結果として出力する。(Fig.5) 本方法により、網点分離の様な多大なハードを追加することなく、文字・線画部と網点部の判定を可能とし、フィルタ処理により強調が望まれる文字エッジ部の検出を実現している。

(2) パラメータ設定部

パラメータ制御部では(1)で得た文字エッジ判定結果に基づき、次の鮮鋭性制御部にて必要なノイズ除去閾値Thnと強調係数 α の設定を行う。ここでThn, α のパラメータは周波数帯域毎に設定する。

2-2-3 ウェーブレット空間での鮮鋭性制御

鮮鋭性制御部では、各帯域毎に設定されたThnと α を用いて高周波成分係数に対して演算を行い鮮鋭性補正を行う。具体的には、Fig.8に示すように対象とする高周波成分係数の絶対値がノイズ除去閾値パラメータThnよりも小さい場合には、補正後の係数信号の値を0に、Thn以上の場合には、入力された係数信号の値に強調係数 α を乗算した結果を補正後の高周波成分信号として出力する。

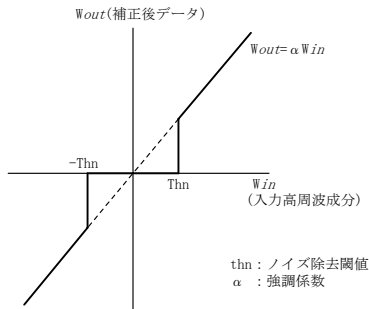


Fig.8 Thresholding & Enhancement of Coef.

このような制御を行うことによって、ノイズ除去閾値Thnより小さな高周波成分はノイズとして除去されるため平滑化を施した画像となり、ノイズ除去閾値Thn以上の高周波成分は文字エッジ信号として α 倍 ($\alpha > 1$) されるため差分成分が増大し強調処理を施した画像が得られる。

また、本方法では前節の文字エッジ判定結果に基づいてThnと α のパラメータを設定しているため、入力画像信号に対し画素毎に適切な平滑化および強調処理を施すことができる。

2-3 実験結果

モノクロMFP機のスキヤナ部から読取った網点上文字画

像を入力画像として、本方法のフィルタ処理を行った結果をFig.9に示す。本方法では、例えばFig.9(A)の文字エッジ部では、まず文字エッジ判定部で文字領域と判定され、パラメータ設定部にて文字領域用パラメータThn, α が設定されることにより、Fig.9(a)の周波数特性に示すように、必要なシャープネスを確保することが可能となる。

Fig.9(A)の背景網点部においては、文字エッジ判定部で絵柄領域と判定され、パラメータ設定部にて絵柄領域用パラメータThn, α が設定される。そして鮮鋭性制御部において、全ての帯域に対して平滑化処理が施される。よって結果的にFig.9(b)の周波数特性に示すように、完全な平滑化処理が施され、網点モアレの抑制および粒状性向上に寄与している。

Fig.9(B)はエッジ量に応じた適応フィルタ処理を行う従来法の結果である。従来法では、全帯域を同時に強調するようなラプラシアンフィルタが適用されるため、文字に必要なシャープネスを確保すべく強調すると、背景網点部のエッジ量が比較的大きな部分でも強調が施され、粒状性が悪化していた。

本方法では、文字エッジ判定により文字部と絵柄（網点）部との切り分けを行うことにより、網点部で平滑化処理が施され、従来法と比較して網点粒状性が向上している。

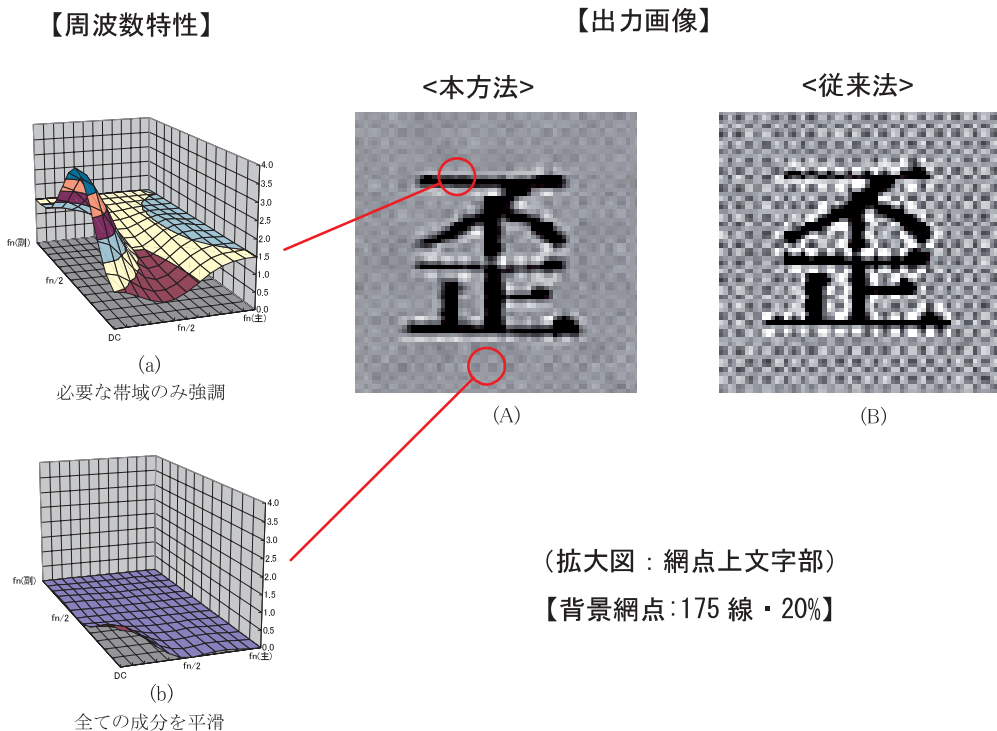


Fig.9 The result of proposed and conventional method

3. 成果

入力画像信号を複数の周波数帯域から構成されるウェーブレット係数に分解し、文字エッジ部の判定結果に基づき、各係数に対する簡単な演算により鮮鋭性制御を行う新規フィルタ処理アルゴリズムを開発した。

本方法によるフィルタ処理は、画像の各所において周波数帯域毎に異なる特性のフィルタを構成して鮮鋭性制御を行っているため、入力画像に応じて必要な周波数帯域には強調を行い、その他の周波数帯域には平滑化を行うことで、シャープネスと粒状性の両立が実現可能である。

