

## 学位論文題名

フィルタカーネルサイズの依存性を持たない高速・高品質  
画像フィルタの研究

## 学位論文内容の要旨

本研究の主旨は、画像フィルタの高速化・高品質化に向けて、フィルタカーネルサイズに依存しない画像フィルタの構成技術を確立したことにある。

近年の社会の情報化にともない、デジタル画像処理分野においても、イメージセンサなどの性能向上により 1000 万画素を超える静止画像および Full High Definition (1920 × 1080) サイズの動画処理が行われている。画像フィルタは画像処理分野において広く用いられており、代表的なものだけでも、ぼかし、先鋭化、エッジ検出、コントラスト強調などのフィルタ処理が存在する。これらの画像フィルタ処理は単体で用いられる他にも、各種画像処理の前処理や後処理として用いられることもあり、幅広い応用が考えられる。

多くの応用分野において画像フィルタは高速に処理できることが望ましい。しかしながら、いくつかの種類画像フィルタは入力画像中のすべての画素に対して画素周辺の局所領域(フィルタカーネル)内の情報を集約する必要があることから、演算量が膨大となる。一般的に画像フィルタの処理時間は画素参照とそれに伴う演算回数によって決まる。カーネルサイズを  $n \times n$  画素とすると、一つの画素を更新するたびに  $n^2$  回に比例する回数の演算が必要であることから、計算量は  $O(n^2)$  となり、カーネルサイズに強く依存することが問題とされている。

これらのことをふまえて、定数時間で処理可能な画像フィルタの性質を明らかにし、フィルタカーネルサイズに依存しない画像フィルタの構成手法を確立するための研究を行った。

得られた成果は以下の通りである。

## (1) 画像フィルタの帰納的構成手法の確立

単純かつ定数時間で処理可能な画像フィルタを帰納的に定義する。例えば移動和フィルタは帰納的定義にて表現可能であり、逐次的に計算を行う際に以前の計算結果を保持しておくことによって、後々の演算へと活用し再計算を省くことができる。移動和フィルタを複数回適用し規格化することで、中心極限定理に基づくフィルタカーネルサイズに依存しないガウシアンフィルタ処理を実現した。また、移動和を多次元へと拡張することにより、二次元および三次元での画像処理にも適用できることを示した。提案手法によって構成されたそれらの画像フィルタは定数時間で処理される。

## (2) 局所ヒストグラム算出フィルタ

局所ヒストグラムは画像の特徴量抽出や局所ヒストグラム均等化などの画質補正フィルタなどに用いられている。ヒストグラムへの画素の追加を加算、画素の除去を減算とみなすことによって、提案型画像フィルタ構成手法を適用可能であり、カーネルサイズに依存しない定数時間での局所ヒストグラム算出が可能となった。実装および評価を行うことによって、提案型局所ヒストグラム算出処理が定数時間でなされていることを確認した。

### (3) 定数時間で処理可能なバイラテラルフィルタの実現

バイラテラルフィルタは画像の輪郭を保持可能な平滑化フィルタであり、ノイズ除去やぼかし、照明光の推定など様々な目的に用いられる。提案型画像フィルタ構成手法をバイラテラルフィルタに適用し、定数時間処理を実現した。

#### (3-1) 三次元畳み込みによるバイラテラルフィルタの高速化

バイラテラルフィルタは三次元の畳み込み演算として表現可能である。提案手法により擬似ガウシアンフィルタを構成し、三次元畳み込みを行うことで、バイラテラルフィルタの定数時間処理を実現した。実装および評価を行うことによって、提案型バイラテラルフィルタが定数時間で処理がなされていることを確認した。

#### (3-2) 重み付きヒストグラムによるバイラテラルフィルタの高速化

バイラテラルフィルタは重み付きヒストグラム演算としても表現可能である。重み付きヒストグラムは局所ヒストグラムを構成する際に画素ごとに重み付けをしたものである。前述した局所ヒストグラムおよびガウシアンフィルタに対する提案手法のアプローチを融合することにより、ガウシアン重みをもった重み付きヒストグラムを定数時間で算出できることを示した。以上のことから、フィルタカーネルサイズに依存しないバイラテラルフィルタ処理が実現可能である。実装および評価を行うことによって、提案型バイラテラルフィルタが定数時間で処理されることを確認した。

### (4) 提案型画像フィルタの高品質化

前述した提案型画像フィルタの処理速度とフィルタ精度の関係を明らかにした。ヒストグラムを用いる画像フィルタにおけるビンや三次元畳み込みによるバイラテラルフィルタにおけるサンプリングファクタの取り扱いを工夫することによって、提案型画像フィルタのさらなる高品質化を実現した。

# 学位論文審査の要旨

主査	准教授	池 辺 将 之
副査	教授	福 井 孝 志
副査	教授	本 村 真 人
副査	教授	本 久 順 一

## 学位論文題名

# フィルタカーネルサイズの依存性を持たない高速・高品質 画像フィルタの研究

本研究の主旨は、画像フィルタの高速化・高品質化に向けて、フィルタカーネルサイズに依存しない画像フィルタの構成技術を確認したことにある。

近年の社会の情報化にともない、デジタル画像処理分野においても、イメージセンサなどの性能向上により 1000 万画素を超える静止画像および Full High Definition (1920 × 1080) サイズの動画処理が行われている。画像フィルタは画像処理分野において広く用いられており、代表的なものだけでも、ぼかし、先鋭化、エッジ検出、コントラスト強調などのフィルタ処理が存在する。これらの画像フィルタ処理は単体で用いられる他にも、各種画像処理の前処理や後処理として用いられることもあり、幅広い応用が考えられる。

多くの応用分野において画像フィルタは高速に処理できることが望ましい。しかしながら、いくつかの種類画像フィルタは入力画像中のすべての画素に対して画素周辺の局所領域 (フィルタカーネル) 内の情報を集約する必要があることから、演算量が膨大となる。一般的に画像フィルタの処理時間は画素参照とそれに伴う演算回数によって決まる。カーネルサイズを  $n \times n$  画素とすると、一つの画素を更新するたびに  $n^2$  回に比例する回数の演算が必要であることから、計算量は  $O(n^2)$  となり、カーネルサイズに強く依存することが問題とされている。

これらのことをふまえて、定数時間で処理可能な画像フィルタの性質を明らかにし、フィルタカーネルサイズに依存しない画像フィルタの構成手法を確認するための研究を行った。

得られた成果は以下の通りである。

### (1) 画像フィルタの帰納的構成手法の確認

単純かつ定数時間で処理可能な画像フィルタを帰納的に定義する。例えば移動和フィルタは帰納的定義にて表現可能であり、逐次的に計算を行う際に以前の計算結果を保持しておくことによって、後々の演算へと活用し再計算を省くことができる。移動和フィルタを複数回適用し規格化することで、中心極限定理に基づくフィルタカーネルサイズに依存しないガウシアンフィルタ処理を実現した。また、移動和を多次元へと拡張することにより、二次元および三次元での画像処理にも適用できることを示した。提案手法によって構成されたそれらの画像フィルタは定数時間で処理される。

### (2) 局所ヒストグラム算出フィルタ

局所ヒストグラムは画像の特徴量抽出や局所ヒストグラム均等化などの画質補正フィルタなどに用いられている。ヒストグラムへの画素の追加を加算、画素の除去を減算とみなすことによって、提案型画像フィルタ構成手法を適用可能であり、カーネルサイズに依存しない定数時間での局所ヒストグラム算出が可能となった。実装および評価を行うことによって、提案型局所ヒストグラム算出処理が定数時間でなされていることを確認されている。

### (3) 定数時間で処理可能なバイラテラルフィルタの実現

バイラテラルフィルタは画像の輪郭を保持可能な平滑化フィルタであり、ノイズ除去やぼかし、照明光の推定など様々な目的に用いられる。提案型画像フィルタ構成手法をバイラテラルフィルタに適用し、定数時間処理を実現されている。

#### (3-1) 三次元畳み込みによるバイラテラルフィルタの高速化

バイラテラルフィルタは三次元の畳み込み演算として表現可能である。提案手法により擬似ガウシアンフィルタを構成し、三次元畳み込みを行うことで、バイラテラルフィルタの定数時間処理を実現した。実装および評価を行うことによって、提案型バイラテラルフィルタが定数時間で処理がなされていることを確認されている。

#### (3-2) 重み付きヒストグラムによるバイラテラルフィルタの高速化

バイラテラルフィルタは重み付きヒストグラム演算としても表現可能である。重み付きヒストグラムは局所ヒストグラムを構成する際に画素ごとに重み付けをしたものである。前述した局所ヒストグラムおよびガウシアンフィルタに対する提案手法のアプローチを融合することにより、ガウシアン重みをもった重み付きヒストグラムを定数時間で算出できることを示した。以上のことから、フィルタカーネルサイズに依存しないバイラテラルフィルタ処理が実現可能である。実装および評価を行うことによって、提案型バイラテラルフィルタが定数時間で処理されることを確認されている。

### (4) 提案型画像フィルタの高品質化

前述した提案型画像フィルタの処理速度とフィルタ精度の関係を明らかにした。ヒストグラムを用いる画像フィルタにおけるビンや三次元畳み込みによるバイラテラルフィルタにおけるサンプリングファクタの取り扱いを工夫することによって、提案型画像フィルタのさらなる高品質化を実現されている。

以上を要するに、本論文は中心極限定理に基づいて、ガウシアン型空間重みフィルタを高速演算する手法とともに、それを局所ヒストグラム演算に拡張することで、エッジ保存型平滑化フィルタであるバイラテラルフィルタを高速化(カーネルサイズに依存しない処理速度)する手法を提案した。同時に、より少ないパラメータ数で高品質な画像処理結果を実現した。よって、本論文は、画像工学分野に大きく貢献するところであり、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。