

グラフィックスハードウェアを用いた 3次元多値モルフォロジーの高速化

司馬 浩之† 西尾 孝治† 小堀 研一†

大阪工業大学†

1. はじめに

近年、画像処理の需要が大きくなってきており、フィルタリングや特徴抽出など様々な分野で利用されている。その中でも最近注目されている画像処理手法としてモルフォロジー演算がある。モルフォロジー演算は、構造関数と呼ばれるフィルタを自由に設定できるため、処理目的に応じて適切に設定できれば、ほかの画像処理手法よりも効果が望める場合が多い。しかし、モルフォロジー演算は、計算量が非常に大きいといった欠点がある。また、近年の計測機器の性能向上により高解像度の3次元画像を取得でき、処理対象の画像も高解像度になってきている。そこで、本研究では、グラフィックスハードウェア(Graphics Processing Unit, 以下GPUと呼ぶ)を用いて3次元多値モルフォロジー演算を高速に行う手法を提案する。

2. モルフォロジー演算

モルフォロジー演算には、ミンコフスキー和とミンコフスキー差と呼ばれる2つの基本演算があり、それぞれ式(1), (2)で定義されている。

$$[f \oplus g](\mathbf{x}) = \max_{\substack{\mathbf{x}-\mathbf{u} \in F \\ \mathbf{u} \in G}} \{f(\mathbf{x}-\mathbf{u}) + g(\mathbf{u})\} \quad (1)$$

$$[f \ominus g](\mathbf{x}) = \min_{\substack{\mathbf{x}-\mathbf{u} \in F \\ \mathbf{u} \in G}} \{f(\mathbf{x}-\mathbf{u}) - g(\mathbf{u})\} \quad (2)$$

式中の f は処理対象画像、 g は構造関数、 $f(\mathbf{x}), g(\mathbf{x})$ はそれぞれの要素を表す。図1にミンコフスキー和の一例を示す。

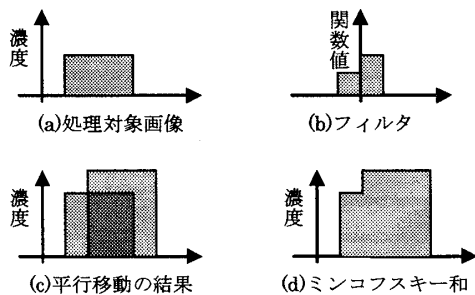


図1 基本演算

3. 提案手法

提案手法の処理の流れを図2に示す。提案手法では、モルフォロジー演算に用いる構造関数(以下、フィルタと呼ぶ)を立方体フィルタの集合に分割する[1]。分割した立方体フィルタを大きさについて昇順にソートし、それぞれの立方体フィルタを用いてモルフォロジー演算を行う。3次元画像をGPUに入力するための2次元テクスチャを生成する。また、GPUでモルフォロジー演算を処理しているときに発生するCPUの遊休時間を利用し、次の処理で用いるテクスチャを生成する。

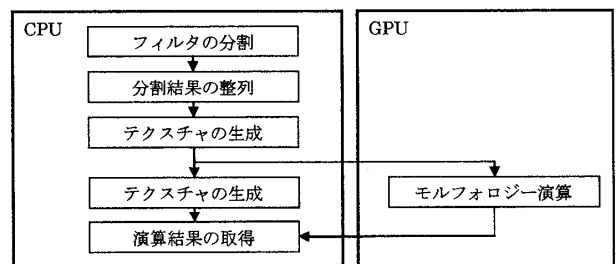


図2 処理の流れ

3.1 テクスチャの生成

GPUに入力することができるテクスチャの大きさには制限がある。そのため、3次元画像を分割し、 4096×4096 を上限としたテクスチャを生成する。

3.2 フィルタの分割

フィルタの分割は、フィルタの定義域内を立方体の集合で表現する。また、それぞれの立方体内のフィルタ値は、立方体内の最小値とする。フィルタの分割例を図3に示す。

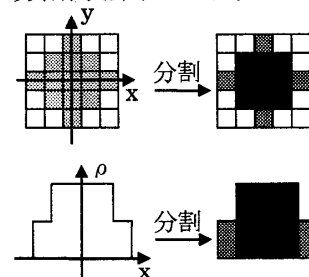


図3 フィルタの分割

A Fast Method of 3 Dimensional Multiple-value Mathematical Morphology by Using Graphics Hardware.

Hiroyuki SHIBA, Koji NISHIO and Ken-ichi KOBORI.

† Osaka Institute of Technology.

3.3 モルフォロジー演算

前節の処理で行った結果をもとに GPU を用いてモルフォロジー演算を行う。

提案手法では、立方体フィルタを 2^3 の立方体フィルタの集合に分解する。図 4 に大きさが 3^3 の立方体フィルタの分解例を示す。

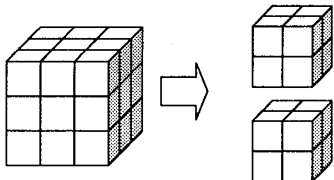


図 4 フィルタの分解

モルフォロジー演算の計算コストは、フィルタの体積に依存する。そのため、フィルタを分解することで高速化を行える。また、立方体フィルタの大きさにかかわらず 2^3 の立方体フィルタの集合として演算ができるために、演算結果の再利用により高速化ができる。

4. 実験および考察

提案手法の有効性を検証するために、実験を行った。フィルタは、定義域に球、フィルタ値の分布に正規分布を用いた。実験環境は、CPU が Intel®Core™2CPU6700、メモリが 2GB、GPU が GeForce8800GTX である。図 5 にフィルタを示す。

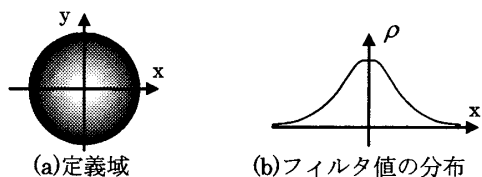


図 5 フィルタ

処理対象画像の解像度を 128^3 から 512^3 に変化した場合の処理時間を測定した。従来法は、CPU で定義どおりに演算を行う手法である。その結果を図 6 に示す。

処理対象画像の解像度が 512^3 の高解像度である場合に提案手法は、従来法の約 36 倍速く処理できる。従来法の処理時間は約 8 倍ずつ増加している。しかし、提案手法の処理時間の増加率は、解像度を 128^3 から 256^3 に変化した場合で約 8 倍であるのに対し、 256^3 から 512^3 に変化した場合は約 3 倍であった。

この理由としては、テクスチャの解像度の上限が 4096×4096 であるため、処理対象画像が 256^3 以下の解像度では、テクスチャの生成がボトルネックとなるためと考えられる。しかし、それより大きな解像度では、GPU と CPU が並列に動くために処理対象画像が高解像度になるほど高速に処理できることがわかる。

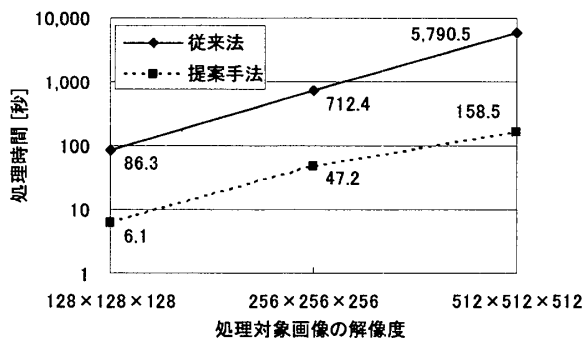


図 6 処理対象画像の解像度を変化させた場合

次にフィルタの定義域が半径 8, 16, 32 の球を用いて処理時間を測定した。その結果を図 7 に示す。従来法と 3.2 節の分割なしの提案手法を比べると約 10 倍速く処理できている。また、これらの処理時間は、約 8 倍ずつ増加している。しかし、分割ありの提案手法では、フィルタの大きさに対する処理時間の増加が約 3 倍に抑えられている。以上のことから、多値モルフォロジー演算は、GPU を用いることで高速に処理でき、フィルタの分割を行うことでさらに高速な処理が可能であることがわかる。

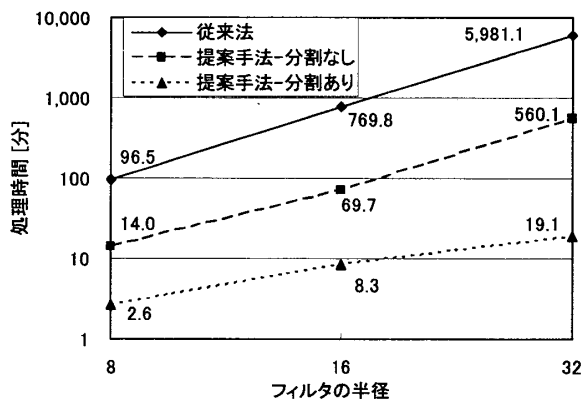


図 7 フィルタの解像度を変化させた場合

5. おわりに

GPU を用いることで 3 次元多値モルフォロジー演算を高速に行う手法を提案した。提案手法では、入力されたフィルタを立方体フィルタの集合に分割することで高速化を行った。また、CPU と GPU の並列処理を行うことで高速化を行った。実験により、提案手法が、高解像度の処理対象画像であるほど有効であり、フィルタの解像度が高くなるほど有効であることを確認した。今後の課題として提案手法を用いたアプリケーションの開発が挙げられる。

参考文献

- [1] 手島 裕詞 小堀 研一, “非対称フィルタによる Mathematical Morphology 演算の一手法”, 情報処理学会論文誌 Vol.43 No4, pp.1070-1078.