

# セルラ型ハードウェアのための並列モルフォロジカル ウェーブレット変換処理アルゴリズム Morphological Wavelet Transform Algorithm on Cellular Hardware Platform

中井 真樹†      白井 将太†      熊木 武志†      小倉 武†  
Masaki Nakai      Shota Sirai      Takeshi Kumaki      Takeshi Ogura

## 1. はじめに

セルラ型ハードウェアでの画像処理アルゴリズムを提案する。本研究で用いた超並列型セルラオートマトンアーキテクチャ CAM<sup>2</sup> (Cellular Automata on Content Addressable Memory) は処理時間が画像サイズに依存せず、最大約 16, 000 並列でピクセル処理を行うことが可能である [1]。本稿では画像圧縮や信号解析等に用いられるモルフォロジカルウェーブレット変換[2]を CAM<sup>2</sup>で高速に行うために、ハードウェアアルゴリズムを考案した。

## 2. 超並列セルラ型プロセッサ CAM<sup>2</sup>

CAM<sup>2</sup>とは小型で並列度が極めて高く、かつ柔軟なシステムを実現できるハードウェアである。CAM<sup>2</sup>は構成要素として CAM (Content Addressable Memory) を用い、CAM の 1ワード=1セルとして利用する。CAM の各 word 及び Flag Hit Register と CAM<sup>2</sup>の各セルの対応を図 1 に示す。1セルは Field[0]~[7]の 8 フィールドから構成され、1 フィールドは 8 ビットである。CAM の各ワードに 1 つずつのセルを割り当てることにより、小型でかつ極めて多数のセルの配置を実現可能にしている。本研究では 1セルに 1ピクセルを割り当てている。また CAM とセルのマッピング方法を多段でジグザグに割り付けることにより、2次元方向に隣接するセルからのデータ転送を効率化し、シフト回数を削減することで高速にデータの移動を可能にしている。本研究ではこれを用いることで高速なモルフォロジカルウェーブレット変換を実現する。

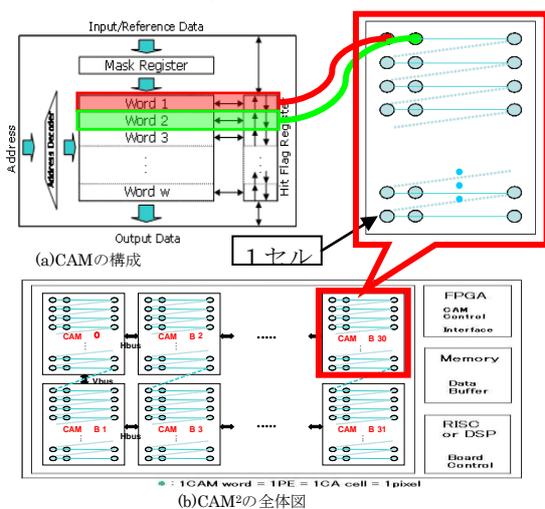


図 1 CAM 及び CAM<sup>2</sup>のブロック図

## 3. モルフォロジカルウェーブレット変換

ウェーブレット変換は、小さい波 (ウェーブレット) を拡大縮小、平行移動して足し合わせることで、与えられた入力データの波形を表現する手法であり、時系列的・空間的な情報を保ったまま周波数の解析を行う処理である。モルフォロジカルウェーブレット変換は MAX-PLUS 代数に基づいており、MAX-PLUS 代数の定義式は下記で示す。

$$a \otimes b = a + b \quad a \oplus b = \max(a, b) \quad (a, b: \text{任意の整数})$$

MAX-PLUS 代数におけるモルフォロジカルウェーブレット変換の定式化は、異なる形状および画素数をもつサンプリング窓を用いて処理される。2×2 サンプリング窓の場合、各座標を 2n(x, y) と表し、水平方向を 2nv(x+1, y)、垂直方向を 2nh(x, y+1)、対角方向を 2nd(x+1, y+1) と表し、原画像に対して画像サンプリング窓内の各画素の座標を図 2(a)の様に定義していく。図 2(b)で原画像と処理結果の値を示す

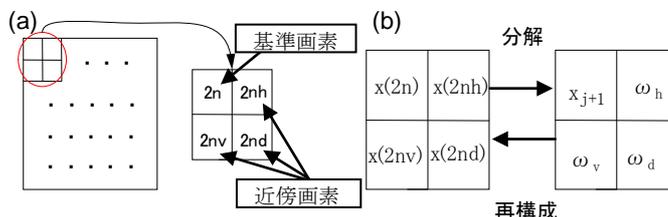


図 2 (a)サンプリング窓内の座標点, (b)サンプリング窓内の値

モルフォロジカルウェーブレット変換の解析における近似信号  $x_{j+1}$  は式①の対象窓内の最小画素値、差分信号  $\omega_j$  は式②の対象窓内の基準画素とその他の画素の差分の値で定義される。

$$x_{j+1} = x(2n) \oplus x(2nh) \oplus x(2nv) \oplus x(2nd) \quad \text{--- ①}$$

$$\omega_j = (\omega_h(n) \omega_v(n) \omega_d(n)) \quad \text{--- ②}$$

$$\omega_h(n) = x(2nh) \otimes (-x(2n))$$

$$\omega_v(n) = x(2nv) \otimes (-x(2n))$$

$$\omega_d(n) = x(2nd) \otimes (-x(2n))$$

$$x_j = x_{j+1} \otimes y_j \quad j = k, k-1, \dots, 0 \quad \text{--- ③}$$

$$y_j = (\omega'_j(2n), \omega'_j(2nh), \omega'_j(2nv), \omega'_j(2nd)) \quad \text{--- ④}$$

$$\omega'_j(2n) = (\omega_v(n) \oplus (\omega_h(n) \oplus (\omega_d(n) \oplus 0)))$$

$$\omega'_j(2n_v) = ((\omega_v(n) \otimes (-\omega_h(n))) \oplus ((\omega_v(n) \otimes (-\omega_d(n))) \oplus \omega_v(n) \oplus 0))$$

$$\omega'_j(2n_h) = ((\omega_h(n) \otimes (-\omega_v(n))) \oplus ((\omega_h(n) \otimes (-\omega_d(n))) \oplus \omega_h(n) \oplus 0))$$

$$\omega'_j(2n_d) = ((\omega_d(n) \otimes (-\omega_v(n))) \oplus ((\omega_d(n) \otimes (-\omega_h(n))) \oplus \omega_d(n) \oplus 0))$$

式③の $\oplus$ 'は  $\min$  演算を表す。

また式③において解析レベル  $j+1$  での近似信号  $x_{j+1}$  と式④で定義されているウェーブレット変換後の差分信号  $y_j$  で加算を行うことで再構成を実現することができる。

#### 4. モルフォロジカルウェーブレット変換アルゴリズム

CAM<sup>2</sup> ではサンプリング窓ごとにモルフォロジカルウェーブレットの処理を並列で行うため、図3の様に近傍のセルのデータ(1ピクセル)を基準画素のセルに格納し、図4の様に加算・減算・最小値検索などの処理を行う。CAM<sup>2</sup> に実装するためのモルフォロジカルウェーブレット変換のアルゴリズムを下記に示す。

##### 4.1 分解アルゴリズム[3]

- ① 近似成分を求めるために、基準画素  $2n$  のセルに3つの近傍画素集め、基準画素、近傍画素の4つで最小値検索を行い、結果を基準画素のセルに格納する。
- ② 差分成分を求めるために、その他の画素の各セルに基準画素と自画素で減算を行い、結果を近傍画素の各セルに格納する。

##### 4.2 再構成アルゴリズム

処理①~③は基準画素の原画像を求めるため、処理④は近傍画素の原画像を求めるために行う。

- ① 図3の様に基準画素  $x_{j+1}$  セルに近傍画素  $x(\omega_v), x(\omega_h), x(\omega_d)$  を格納する。
- ② 図4の基準画素  $x_{j+1}$  のセルに移動した画素に0を加えて最小値検索を行い、結果を基準画素のセルに格納する。
- ③ 基準画素  $x_{j+1}$  のセルでその結果と自画素  $x_{j+1}$  を減算し、その結果を基準画素  $x_{j+1}$  のセルに格納する。
- ④ 近傍画素  $x(\omega_v), x(\omega_h), x(\omega_d)$  の各セルに処理②の結果を格納、加算し、近傍画素の各セルに結果を格納する。

システムの構成上1フィールド8ビットの制限があり差分成分の諧調値(-255~255)を1Field内で表現できない。そのため空いているFieldに画素  $x(\omega_v), x(\omega_h), x(\omega_d)$  の符号ビットを格納し、符号を考慮した最小値検索を行う。

再構成処理での基準画素のセルの値を図3, 4に示す。

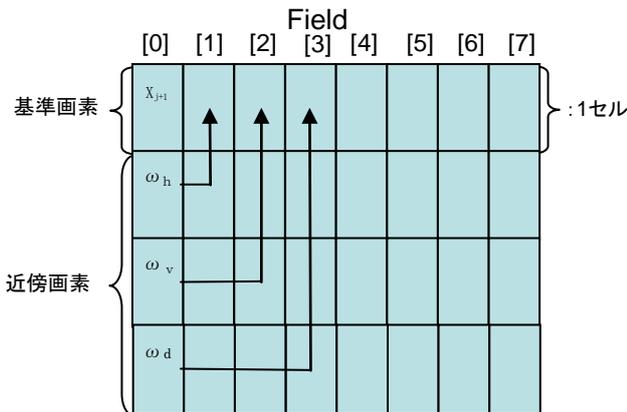


図3 基準画素を格納したセルに対する近傍画素の転送

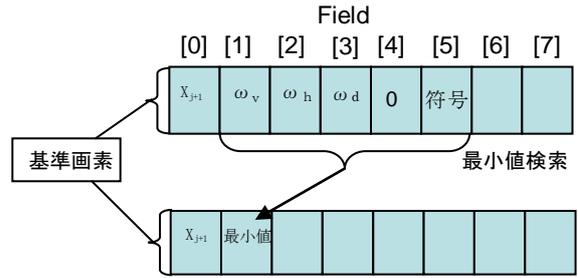


図4 基準画素を格納したセルにおける最小値検索

#### 5. 検証

C言語レベルでの実行結果とCAM<sup>2</sup>のインストラクションセットレベルでのシミュレーション結果を比較し、提案アルゴリズムの正当性を確認した。

CAM<sup>2</sup>のインストラクションレベルでの処理結果を図5に示す。

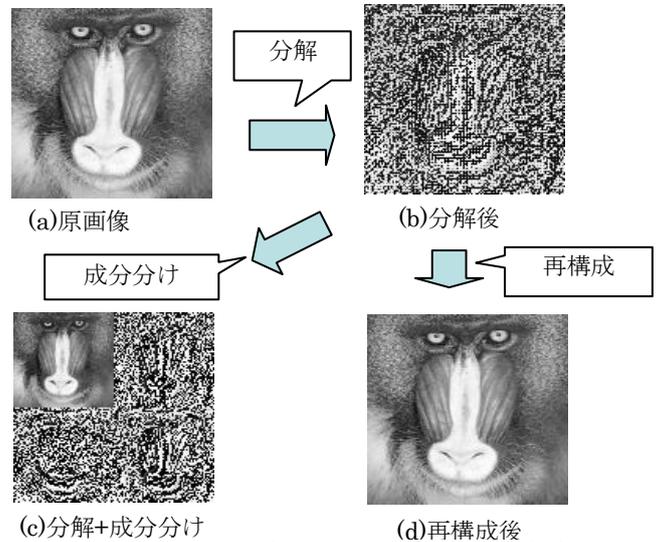


図5 モルフォロジカルウェーブレット変換結果

#### 6. まとめ

モルフォロジカルウェーブレット変換をより高速に実現するためにCAM<sup>2</sup>でのハードウェアアルゴリズムの提案した。今後はモルフォロジカルウェーブレット変換と他のCA(Cellular Automata)処理を組み合わせ、様々な処理の実現を目指す。

#### 参考文献

- [1] 池永剛, 小倉武, “超並列 2 次元セルオートマトン: CAM<sup>2</sup>”, 信学技法, CPSY96-15, pp.9-16, 1996.
- [2] 延原肇, “Max-plus 代数上での多チャネルウェーブレット変換構築とその動画像圧縮への応用, 第 12 回画像センシングシンポジウム”, 2006 年.
- [3] Hiroaki Kobayashi, et al “Implementation of Morphological Wavelet Transform on CAM<sup>2</sup> for Directional Sampling Windows”, NCSP 10, pp305-308, 2010.
- [4] 白井将太, 他 “セルラ型ハードウェアを用いた並列モルフォロジカルウェーブレット変換処理の実装と評価”, 本大会予稿 I-02.