

超並列 SIMD 型演算プロセッサ MX-1 による モルフォロジカルウェーブレット変換処理の実装 Morphological Wavelet Transform Implementation on Massive- Parallel Memory-Embedded SIMD Matrix Processor MX-1

大澤 昌弘[†] 板屋 修平[†] 熊木 武志[†] 藤野 毅[†]

M.Osawa S.Itaya T.Kumaki T.Fujino

[†]立命館大学 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

我々は、超並列 SIMD 型演算アーキテクチャである MX コア [1] を用いて、様々なアプリケーションの並列処理に関する研究を行っている。本研究で用いた MX コアは、1,024 個の Processing Element (PE) を中心に構成されており、1 命令で最大 1,024 並列のデータ処理を可能としている。本稿では、2×2, 1×4, 4×1 のサンプリング窓を用いたモルフォロジカルウェーブレット変換 [2] を MX コア向けに処理を工夫し、実装結果を評価した。

2. MX-1 のアーキテクチャ概要

MX-1 は、ホスト CPU と MX コア及び SRAM から構成される組込みシステム向け LSI アーキテクチャである。MX コアは 1,024 個の PE を中心に配置し、512K ビットの SRAM によって PE を両側から挟みこむ構造を取っているため (図 1), 1 サイクルで SRAM に格納されているデータを最大 1,024 並列に処理することを可能としている。

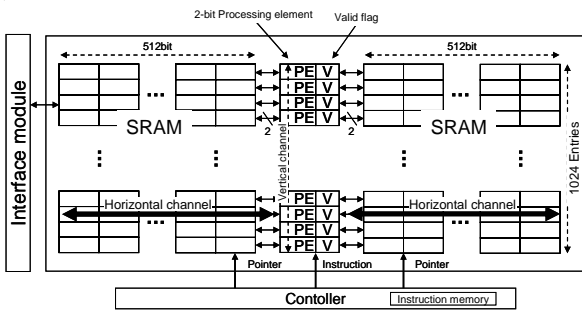


図 1 MX コアアーキテクチャブロック図

また、ホスト CPU はプログラムのフロー制御、及び逐次処理実行部分に用いられ、両者が効率よく動作するようにプログラムを作成することが重要となる。

本研究では、1,024 個の PE を最大限用いることで並列性を十分発揮できるようにモルフォロジカルウェーブレット変換のプログラムを作成した。

3. MAX-PLUS 代数系に基づいたモルフォロジカルウェーブレット変換

モルフォロジカルウェーブレット変換は、ウェーブレット変換における線形信号分析フィルタを、拡大や縮小などの数学形態学的演算を用いて処理を行うウェーブレット変換の拡張の一種である [3]。そして、モルフォロジカルウェーブレット変換の計算を MAX-PLUS 代数に基づき定式化することで、通常に加算を max 演算、乗算を加算という 2 つの基本演算によって構成する手法が提案されている [4]。これにより複雑な演算処理を、より簡易な処理に置き換えることが可能となり、組込みプロセッサを用いて処理が容易となる。MAX-PLUS 代数の定義式は下記で示される。

$$\text{加算: } a \oplus b = \max(a, b) \quad \dots \text{①}$$

$$\text{乗算: } a \otimes b = a + b \quad \dots \text{②}$$

(a, b: 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は、2×2 サンプリング窓の場合、画像に対して 2×2 画素ごとにモルフォロジカルウェーブレット変換を行う。

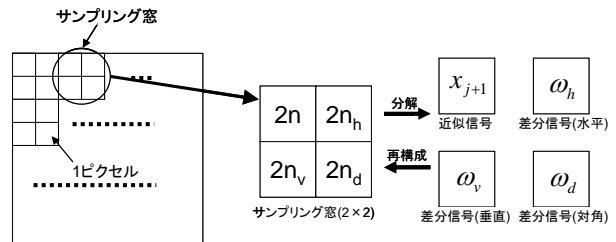


図 2 2×2 サンプリング窓によるモルフォロジカルウェーブレット変換

モルフォロジカルウェーブレット変換による分解と再構成を図 2 に示す。モルフォロジカルウェーブレット変換の分解において近似信号は対象窓内の最小画素値、差分信号は対象窓内の基準画素とその他の画素の差分の値として定義

される．反対に再構成においては，差分信号の符号を反転した値の最小値と近似信号を加算し，各々の差分信号を加算することで処理を行う．

MX-1 により，画像をモルフォロジカルウェーブレット変換で分解する工程と，分解された画像をもとの画像に再構成する工程と，その説明を図3及び図4に示す．

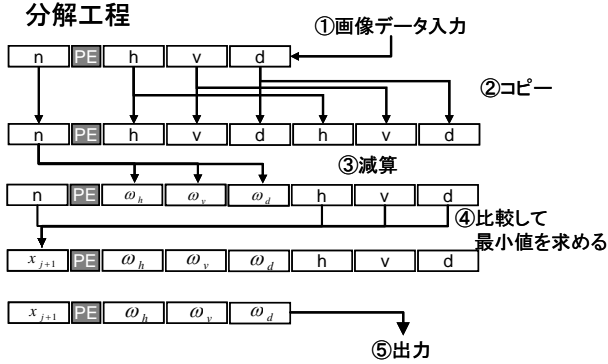


図3 分解工程

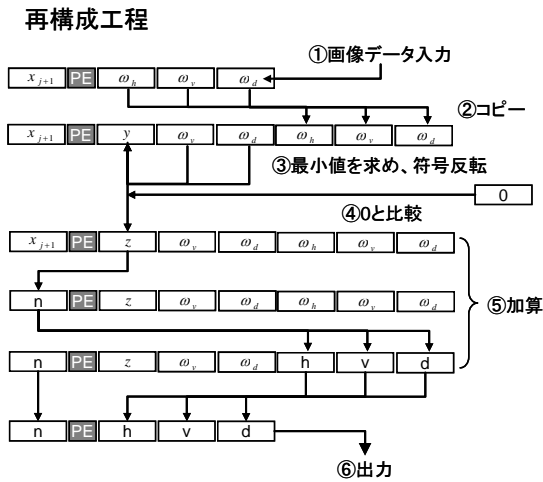


図4 再構成工程

4. 実験結果，及び評価

MX-1 を用いてモルフォロジカルウェーブレット変換を施した画像を図5に示す．64×64のグレースケール画像(a)をモルフォロジカルウェーブレット変換により分解し，サンプリング窓2×2(画素)，4×1(画素)，1×4(画素)による成分分けをした画像がそれぞれ(b)，(c)，(d)である．

表1にMX-1シミュレータを動作周波数200MHzとして動作させた場合の各サンプリング窓における分解・再構成の処理時間を示す．

表1 各サンプリング窓の処理時間(分解・再構成)

サンプリング窓	並列度	処理時間(μs)			
		データ入力	分解	再構成	データ出力
(b) 2×2	512	2.90	5.12	7.34	3.22
(c) 4×1	256	2.90	10.58	18.16	3.22
(d) 1×4	1,024	2.90	3.18	3.32	3.22

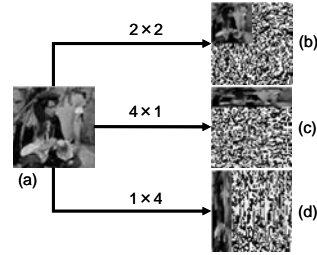


図5 異なるサンプリング窓を用いた変換処理

結果: (a)64×64 オリジナル画像

(b)2×2 (c)4×1 (d)1×4

表1の結果より，サンプリング窓1×4による処理が高速であることがわかる．これはサンプリング窓が4×1では1処理に4エン트리必要なので並列度が256であることに対し，1×4では1エントリで処理を行えるため，並列度が1,024となり並列度が向上するからである．

5. まとめ

本稿では，MX-1によるモルフォロジカルウェーブレット変換を提案した．3つのサンプリング窓による分解と再構成を行った結果，MX-1を動作周波数200MHzで動作させ1×4のサンプリング窓を用いた場合では分解に3.18us，再構成に3.32us，分解と再構成では6.50us必要であった．

今後は，MX-1を搭載した評価ボードを用いて，モルフォロジカルウェーブレット変換の実装を行い，動作検証を行う予定である．

謝辞

本研究を行うにあたり，多くのアドバイスを頂いたルネサスエレクトロニクス株式会社の村田乾氏，野田英行氏，有本和民氏に深く感謝いたします．

参考文献

- [1] M. Nakajima, et al., ISSCC Dig. Tech. Papers, pp.410-412, Feb. 2006.
- [2] 延原肇，“異なるサンプリング窓を用いた非線形ウェーブレットの実現”，信学技報，IEICE Technical Report, SIS2006-4
- [3] H.J.A.M. Heijmans, et al., ‘Nonlinear Multiresolution Signal Decomposition Schemes –Part2: Morphological Wavelets’, IEEE Transaction on Image Processing, Vol.9, No. 11, pp. 1897 – 1913, 2000.
- [4] B. Heidergott et al, ‘Max Plus at Work’, Princeton University Press, 2006