

# 超並列型 2次元セルラーオートマトン CAM<sup>2</sup> を用いた 3 A B - 6 実時間パターンスペクトラム処理

池永 剛†

小倉 武‡

NTT システムエレクトロニクス研究所 NTT ヒューマンインタフェース研究所

## 1 はじめに

パターンスペクトラム<sup>[1]</sup>は、基本となる構造要素を定めた時、それが原画像のどの程度の部分を表現しているかを、形状やスケールの分布として表したもので、図形の大局的な構造を識別するツールとして有効であり、男女識別<sup>[2]</sup>等の応用例が報告されてきている。しかし、その処理には、morphology 演算 (opening)、面積計算等を繰り返し行なう必要があり、莫大な処理量が要求される。このため、PC、WS等の逐次処理マシンでは効率的な処理が困難であり、実用に供されるにまで至っていないというのが現状である。

本稿では、超並列型 2次元セルラーオートマトン CAM<sup>2</sup><sup>[3]</sup>を用いたパターンスペクトラム処理手法を提案する。CAM<sup>2</sup>は、集積度が極めて高いメモリ技術をベースとして実現され、各ワードを任意の演算が可能な PE (Processing Element) として利用可能な連想メモリ (CAM) を用いて構成しており、ボードレベルで数十万のセルラーオートマトンセル (= PE) が実現可能である。この高い並列度により、morphology 演算を高速に処理できるが、さらに、各 CAM ブロック毎にカウンタを設けることにより、従来の CAM では長い処理時間を要していた面積計算に対しても高速処理可能にしている。処理時間評価の結果、パターンスペクトラム処理をビデオレートで処理できることを確認した。

## 2 パターンスペクトラム処理

原画像を  $X$ 、構造要素を  $B$ 、構造要素  $B$  のスケールを  $n$  倍したものに対する opening を  $X_{nB}$  とすると、パターンスペクトラムは、図 1 (構造要素:  $5 \times 5$  の circle) に示す様に、opening の結果が空集合になるまで、各スケール毎に  $X_{nB} - X_{(n+1)B}$  の面積を求め、この面積をスケールの関数として表したものとなる。よって、パターンスペクトラムを処理するために必要な演算は、次の 4 つにまとめられる。

- 任意の構造要素に対する opening ( $X_{nB}$ )
- 画素間減算 ( $X_{nB} - X_{(n+1)B}$ )
- 面積計算 ( $X_{nB} - X_{(n+1)B}$  の黒ピクセル数)
- 空集合判定 ( $X_{(n+1)B} = \phi$ )

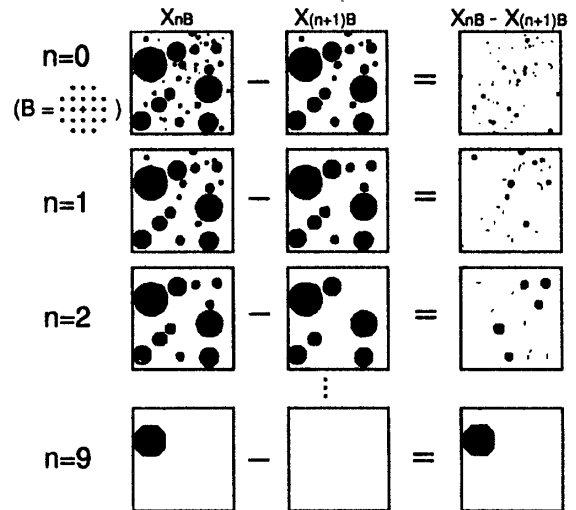


図 1: パターンスペクトラム処理

## 3 CAM<sup>2</sup> への効率的マッピング法

CAM<sup>2</sup> を用いた処理は、検索データとワードの内容を並列に照合し、一致したワードに対しヒットフラグを立てるマスク検索、ヒットしているワードに対しデータを並列に書き込む並列部分書き込み、ヒットフラグのシフト、ブロック間データ転送機能を用いて行なう。これらの組合せにより、A の opening は、文献<sup>[3]</sup>に示すように、各画素毎に完全並列に効率良く処理することができる。残りの B-D の演算に対しても、次の様にマッピングすることにより、高速化が可能である。

**画素間減算** CAM<sup>2</sup> では、マスク検索、並列部分書き込みを繰り返し使い、サム、ポローを求めていくことにより、任意ビットの減算を行なえるが、 $X_{nB} \geq X_{(n+1)B}$  となる opening の特性を利用することにより、さらに処理の高速化が可能である。手順としては、 $X_{nB}$ 、 $X_{(n+1)B}$  が格納されているビット位置以外をマスクし、 $X_{nB}$  が 1、 $X_{(n+1)B}$  が 0 のものをマスク検索することにより行なう。これにより、2 サイクルで  $X_{nB} - X_{(n+1)B}$  が得られる。

**面積計算** 面積計算には、全てのワードのデータを足し合わせるというグローバルな処理が必要であるが、通常の CAM はグローバルなネットワークとしてデータ I/O の 1 系統しかもたない。このため、1 ワードずつ読み出しては、外部のプロセッサを用いて加算するという処理が必要となり、多くの処理時間を要する。そこで、CAM<sup>2</sup> では、各 CAM ブロック毎に、ヒットフラグの数をカウ

Real-time Pattern Spectrum Processing using CAM<sup>2</sup>.

Takeshi IKENAGA, Takeshi OGURA

†NTT System Electronics Laboratories

‡NTT Human Interface Laboratories

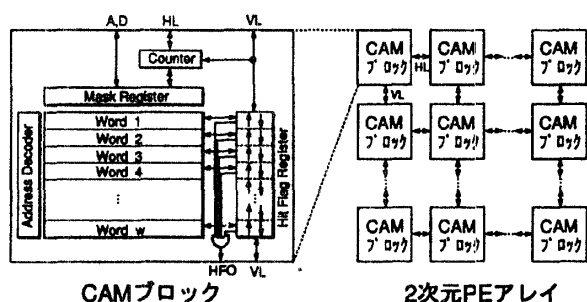


図2: CAM<sup>2</sup>のPEアレイ構成

ントできるカウンタとCAMブロック間の転送機能をつけている(図2)。これらを用い、まず、カウンタによりブロック毎の面積を求め、さらに、ブロック間転送によりツリー状にデータを集めて、加算していくといった処理を行なう。これらの処理により、特定の1ワードに全ワードの加算結果を集めることが可能で、そのワードを読み出すことにより、面積値を得ることができる。

**空集合判定**  $X_{(n+1)B}$  が何スケール目で空集合になるかは、入力画像によって異なるので、無駄な処理を行なわないようにするため、各スケールにおける処理毎に、opening 結果が空集合になったかどうかの判定を行なう必要がある。この空集合判定には、 $X_{(n+1)B}$  が全て0であることを調べる必要があるが、全ワードのヒットフラグのORであるヒットフラグ出力(HFO)を用いることにより効率化が図れる。手順としては、 $X_{(n+1)B}$  に対し、マスク検索を行ない、ヒットしているものが0になったかどうか、つまりHFOが0かどうかで行なう。

#### 4 評価

図3に2つの画像に対するパターンスペクトラム処理例(構成要素: 5×5のcircle)、表1にその処理時間評価結果を示す。これらは、CAM<sup>2</sup>のVerilog-HDL記述を用いた機能シミュレーションにより求めたものであり、システムクロックは40MHzを仮定している。また、画像サイズは、シミュレーション時間制約により128×128画素を用いたが、CAM<sup>2</sup>はスケラビリティを持っているので、さらに大きな画像に対しても、同等の時間で処理できる。

図3に示すように、処理画像1は物体の面積、形状が揃っているため、スペクトラムはスケール5、6に集中しているが、処理画像2は、ひびのため様々な大きさの物体に分割されており、幅の広いスペクトラムが得られている。このスペクトラムの特徴により、ひびの入った物体があるかどうかの識別を行なうことができる。

また、表1に示すように、openingは、スケールが大きくなるにつれ、大きな構成要素に対する処理を行なう必要があるため、処理時間が大きくなっている。面積計算は、1回あたり約34μsecであるが、これは、全ワードを1つずつ読み出して、外部で加算する場合と比較して、 $\frac{1}{10}$ 以下の処理時間である。さらに、空集合判定等の残りの処理は、1回あたり0.6μsecで処理できる。以

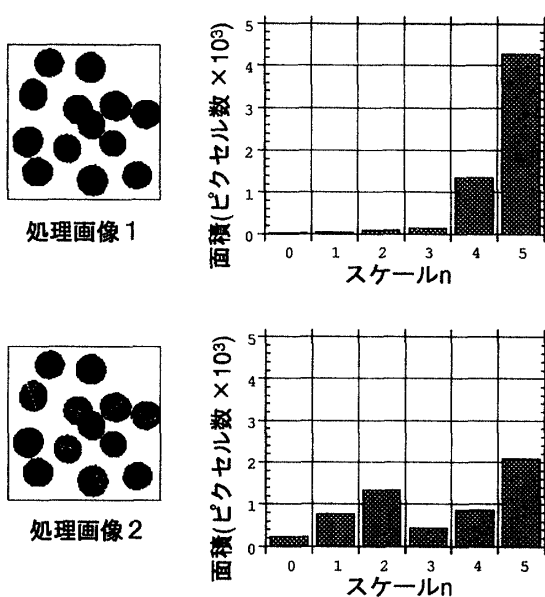


図3: 処理画像とそのパターンスペクトラム

表1: パターンスペクトラム処理時間

処理内容	1スケール(μ秒)	全スケール(μ秒)
opening	34.2 (n=0) ~ 204.2 (n=5)	714.2
面積計算	33.8	202.8
その他	0.6	3.6

上により、全てのスケール(6個)の処理に必要な時間は、約1msecとなる。図1のようにさらに大きな物体を含む場合、スケール数は増える(10個)が、処理時間は2msec程度である。このように、Videoレートでのパターンスペクトラム処理が可能である。また、CAM<sup>2</sup>は、多値morphology、DTCNN等の効率的な処理も可能であり、これらと組み合わせることにより、より高度な認識処理に適用していくこともできる。

#### 5 おわりに

本稿では、CAM<sup>2</sup>を用いたパターンスペクトラム処理手法を提案した。CAM<sup>2</sup>の特性を生かしたマッピングを行なうことにより、パターンスペクトラム処理に必要なopening、面積計算等を効率良く行なえる。CAM<sup>2</sup>は、パターンスペクトラムを用いた様々な実時間画像認識システム実現に威力を発揮すると思われる。

#### 参考文献

1. 小畑: モルフォロジー、7章、コロナ社(1996)
2. 数藤、大和、伴野: モルフォロジー処理によるパターンスペクトルを特徴量に用いた男女識別法、信学論 VOL.J80-D-II No.5 (1997)
3. 池永、小倉: 超並列型2次元セルラーオートマトンCAM<sup>2</sup>を用いた実時間Morphology処理、信学技法PRMU96-143 (1997)