



最小距離検索連想メモリLSI アーキテクチャの開発とその集積化

— 連想メモリベースパターンマッチング処理の基盤技術開発に向けて —

小出 哲士

広島大学 ナノデバイス・システム研究センター 助教授

認識処理などにおいては、入力パターン(データ)とデータベースに保存された参照用パターンを比較して最も似ているパターンを検索する処理は、基本的かつ重要な操作です。この操作は汎用プロセッサ上でソフトウェアにより実現されることが一般的ですが、ソフトウェア処理の場合には、パターンの検索に時間がかかるため実時間での処理が難しい、ハードウェアの小型化・低消費電力化が難しい、という問題点があります。システムの小型化や携帯端末上での認識処理の実現等への応用には、小面積かつ低消費電力で類似するパターンを高速に検出するパターンマッチング処理技術が不可欠です。本研究では、パターンマッチング処理の要素技術の一つである連想メモリに注目し、新しいLSIアーキテクチャの開発とその集積回路化について研究を行いました。

1. 研究の背景

入力パターンとデータベースに保存されている参照パターンの中から最も類似したパターンを検索する類似パターン検索(最小距離検索)機能は認識システムや画像・データ圧縮などのパターンマッチングを必要とする応用において必要不可欠です。現在主流の汎用のデジタルプロセッサベースのシステムでは、処理対象となるパターンのデータ長や数が増加するにつれて各データの比較に要する演算処理回数が飛躍的に増加してしまいます。そのため特にリアルタ

イム処理やシステムの小型化が要求される場合には高速・小面積・低消費電力で実現する集積回路技術の開発が非常に重要な課題となっています。本研究で取り扱っている連想メモリは機能メモリの一つであり、従来の一般的なメモリ機能に加えてメモリ内データの検索機能を備えています。この連想メモリは検索する方法により大きく分けて2種類に分類することができ、入力データと完全に一致する参照データを検索する完全一致検索型と入力データと最も類似した参照データを検索する最小距離検索型があります。前者の連想メモリは一般

にCAM(Content Associative Memory)と呼ばれます。これに対して後者の連想メモリは距離と呼ばれる類似度の指標(例えばハミング距離*1やマンハッタン距離*1など)を用いることで距離が0の完全一致検索から最小距離の検索まで行うことが可能です。これはパターン認識や認証への応用の他に、類似パターンの検出が可能であるため、画像・音声認識、セキュリティシステムにおける認証、及び将来の人工知能システムにおける柔軟な情報処理などへの応用が期待されています。本研究では後者の最小距離検索型連想メモリについて研究を行いました。

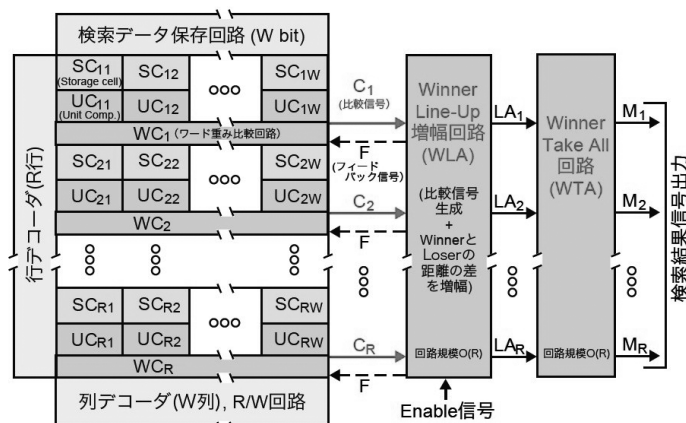


図1 全並列最小距離検索連想メモリのシステム構成図

2. 研究の成果

我々の研究グループではパターンマッチング処理に不可欠な高速・小面積・低消費電力を同時に実現することが可能な全並列型デジタル・アナログ混載連想メモリアーキテクチャを開発し、その集積回路化について研究を行いました^[1-5]。開発した連想メモリは、複数の信号処理回路とメモリを用いて並列実行するだけでなく、さらにアナログ信号処理を取り入れることにより、処理速度を格段に向上させています。入力デー

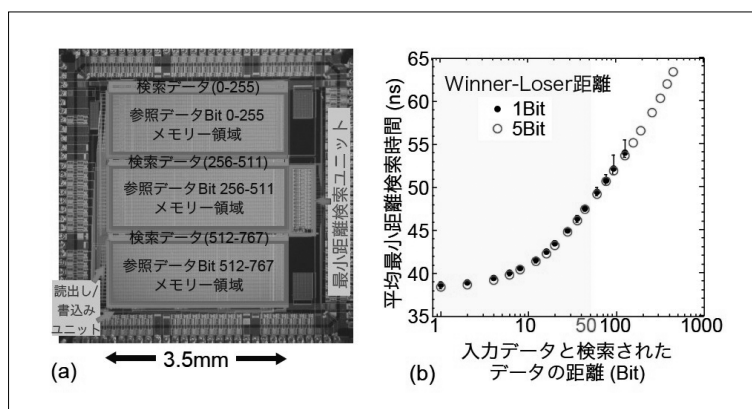


図2 最小ハミング距離検索連想メモリ(0.6μm CMOS技術)
(a) テストチップ写真 (b) 検索時間の実測平均値

タと参照データは共にデジタル信号ですが、その類似度を出力する回路や最も似通ったデータを選ぶ出す最小距離検索回路に、高速で並列処理に適したアナログ回路を用いています(図1)。検索に必要な最小距離の計算には取り扱う用途に応じて異なる距離指標が用いられます。例えば、文字認識や指紋認識などにおいてはハミング距離が用いられ、データ圧縮やカラー画像認識などではマンハッタン距離が用いられます。そこで、我々の研究グループではハミング距離^[1-3]とマンハッタン距離^[4-5]を取り扱うことが可能な連想メモリ技術を開発し、幅広い用途への対応を実現しました。

このパターンマッチング機能を汎用プロセッサ上で実現すると、パターンをビット毎に逐次的に比較することが必要になるため、取り扱うビット数やパターン数が増加するにつれて、演算回数が膨大になり検索処理時間が長くなります。また、これまでに提案されている従来型の連想メモリでは、実装面積や消費電力が大きい、1回の検索に複数サイクルかかるという問題点がありました。これに対して我々の研究グループが提案する方式は、デジタルとアナログの両者の利点をうまく利用して融合することで、回路規模の増加がメモリの参照パターン数に対して、線形増加と小面積で実現可能であり、全ての参照パターンに対して同時に並列に検索ができるため、検索時間も高速であるという利点があります。

このように提案した連想メモリは、デジタル・アナログ回路を融合することにより、従

来の連想メモリの完全一致の検索に加えて、最も近いパターンの検索を並列に検索することを可能としました。その上、1回の最小距離検索に要する時間も200nsec程度と高速です。また、本研究では、CMOS集積回路を開発し、テストチップを試作して評価も行いました(図2)。これまでの試作では、ハミング距離検索に対して、最大パターンビット長768ビット、パターン数32、マンハッタン距離検索に対して、最大パターン長5bit×16ユニット、パターン数256を実現しています。更に提案アーキテクチャを大規模なビット数やパターン数に対応できるようにバンク構造を用いた回路の改良を行い^[5]、低消費電力化を図ると共に、それを実現する回路を実装しています。

現在、我々の研究グループでは、この基盤技術をもとに人間のような高度の知能情報処理を実現するために、画像やパターン認識処理に連想メモリを応用するための新しいLSIシステムアーキテクチャへの応用や連想メモリに参照パターンを自動的に学習する機能の付加やその集積回路技術などに関して研究を行っています。

補足説明

※1 ハミング距離、マンハッタン距離

入力データを $A=(A_1, A_2, \dots, A_W)$ 、参照データを $B=(B_1, B_2, \dots, B_W)$ とし、それぞれkビット×W個の要素で構成されているとすると、2つのデータA、Bのマンハッタン

距離 D_{Manh} は、 $D_{Manh} = \sum_{i=1}^W |A_i - B_i|$ と定義され、

各要素 $A_i, B_i (1 \leq i \leq W)$ の差の絶対値の総和で表される。

これに対してハミング距離 D_{Hamm} は、 $D_{Hamm} = \sum_{i=1}^W (A_i \otimes B_i)$

(\otimes は排他的論理和演算子)となり、入力データと参照データの間の異なるビット数と定義され、 $k=1$ の時にはマンハッタン距離と等しくなる。

References (参考文献)

- [1] H. J. Mattausch, T. Gyohten, Y. Soda, T. Koide: "Compact associative-memory architecture with fully-parallel search capability for the minimum Hamming distance", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 37, No. 2, pp. 218-226 (2002).
- [2] H. J. Mattausch, N. Omori, S. Fukae, T. Koide, T. Gyohten: "Fully-parallel pattern-matching engine with dynamic adaptability to Hamming or Manhattan distance", Proc. of Symposium on VLSI Circuits, pp. 252-255 (2002).
- [3] T. Koide, H. J. Mattausch, T. Gyohten, Y. Soda: "A nearest-Hamming-distance search memory with fully parallel mixed digital-analog match circuitry", Proc. of Asia and South Pacific Design Automation Conf., pp. 591-592 (2002).
- [4] T. Koide, Y. Yano, H. J. Mattausch: "An Associative Memory for Real-Time Applications Requiring Fully Parallel Nearest Manhattan-Distance-Search", Proc. of Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Technologies, pp. 200-205 (2003).
- [5] T. Koide, Y. Yano and H. J. Mattausch, "Bank-Type Associative Memory for High-Speed Nearest Manhattan Distance Search in Large Reference-Pattern Space", Extend. Abst. of the Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, pp. 360-361 (2004).