

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：57101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14795

研究課題名（和文）ニューロンMOSFETを用いた最小ユークリッド距離検索連想メモリに関する研究

研究課題名（英文）A Study on Minimum Euclidean Distance Search Associative Memory Utilizing Neuron MOSFET

研究代表者

原田 裕二郎（Harada, Yujiro）

久留米工業高等専門学校・電気電子工学科・助教

研究者番号：80849282

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、最小ユークリッド距離検索連想メモリを構成するために、2つのデータ間のユークリッド距離を検出するユークリッド距離検出回路を提案した。次に、複数のデータの中から最もユークリッド距離が小さいデータを検索する最小ユークリッド距離検索回路を提案した。また、これらの回路を連想メモリに組み込むことで、ユークリッド距離を指標に最も類似するデータを検索する最小ユークリッド距離検索連想メモリの設計・開発を行った。さらに、シミュレーションを行い、提案回路によって所期の動作が得られることを確認した。本研究で実現した最小ユークリッド距離検索連想メモリは、回路構成が簡単であり、完全並列に検索動作を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、AIやIoTの技術は加速度的に進歩している。そこで、収集した膨大なデータをリアルタイムで処理するストリームデータ処理の必要性が高まってきている。本研究では、ソフトウェアではなくハードウェアからのアプローチとして、大量のデータから入力データに最も類似するデータ並列かつ高速に検索する最小ユークリッド距離検索連想メモリを提案した。提案する連想メモリが実用化することで、膨大なデータをリアルタイムで解析し、その結果をフィードバックすることで価値を生み出すSociety 5.0の実現に貢献できると考えている。

研究成果の概要（英文）：In order to construct a minimum Euclidean distance search associative memory, we proposed a Euclidean distance detection circuit that detects the Euclidean distance between two sets of data. Next, we proposed a minimum Euclidean distance search circuit that retrieves the data with the smallest Euclidean distance among multiple data. We also designed a minimum Euclidean distance search associative memory that search the most similar data using Euclidean distance as an index by incorporating these circuits into an associative memory. Furthermore, through simulations, we confirmed that expected results of the proposed circuit can be obtained. The minimum Euclidean distance search associative memory realized in this study has a simple circuit configuration and performs at high-speed in fully parallel.

研究分野：集積回路工学

キーワード：連想メモリ ユークリッド距離 集積回路 ニューロンMOSFET

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートスピーカーや、スマート農業・漁業など、AI や IoT の技術が我々の生活の中に増えてきている。AI や IoT では、大量のデータを用いることが多く、情報技術の進歩により、大量のデータを高速に処理することの必要性が高まってきている。データベースの中から入力したデータに一致するデータを検索するパターンマッチング処理は、データ圧縮やウイルス・マルウェア検知においても利用されることも多く、その精度の向上が強く望まれている。しかし、この処理をソフトウェアで実現しようとする場合、データを逐次呼び出して比較しなければならないため、ビット数やデータ量の増加に伴い、時間がかかるため、AI が膨大なデータを解析し、その結果をフィードバックすることで価値を生み出す Society 5.0 の実現には、ソフトウェアではなく、ハードウェアからのアプローチが必要不可欠であると考えている。

ハードウェアからのアプローチとして、従来のメモリの機能に加え、膨大なデータの中から入力したデータに対して完全に一致、または、最も類似したデータを高速に検索することができる機能メモリの一つである連想メモリがある。前者の一致検索型の連想メモリは、スイッチングハブや、ネットワークルーターなどに利用されているものの、後者の類似検索型の連想メモリは、回路構成が複雑であり、コストが大きくなるため、未だ実用には至っていない。連想メモリにおいて、入力データに対する参照データの類似度は距離空間で表され、主にハミング距離を指標にした方式や、マンハッタン距離、ユークリッド距離を指標にした方式の連想メモリの研究が行われている。本研究では、画像認識において最も利用されることが多いユークリッド距離を指標にした最小ユークリッド距離検索連想メモリの開発を行う。

2. 研究の目的

脳の神経細胞と似た性質を有するニューロン MOSFET を用いることで、人間の脳と同じように並列かつ高速な検索動作が可能で連想メモリを構成できるのではないかと考え、本研究の着想に至った。ニューロン MOSFET は、通常 MOS トランジスタの構造をわずかに変更するだけで構成できるため、「やわらかいハードウェア」として回路の高機能化・高集積化に期待されている素子である。入力データと参照データのユークリッド距離を求めるとき、2つのデータの差から二乗を計算する必要がある。しかし、デジタル回路で二乗を計算する回路は非常に複雑になるため、簡単な構造で最小ユークリッド距離検索連想メモリを構成することは難しい。そこで、ニューロン MOSFET を用いることで、ユークリッド距離を出力信号が変化するまでの時間差に変換し、ユークリッド距離を指標に最も類似する最小ユークリッド距離検索連想メモリ的设计・開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 回路設計 CAD である Cadence 社 Virtuoso を用いて、2つのデータ間のユークリッド距離を検出するユークリッド距離検出回路の設計・開発を行った(図1)。また、回路シミュレータである Synopsys 社の HSPICE を用いて提案回路のシミュレーションを行った。当初は、MOSFET の出力特性を利用してユークリッド距離を検出する予定であったが、実際の素子の特性やばらつきの影響により誤動作を引き起こす可能性があると考えたため、ニューロン MOSFET の入力端子 - 容量を変化させる新しい方式を提案し、設計を行った。

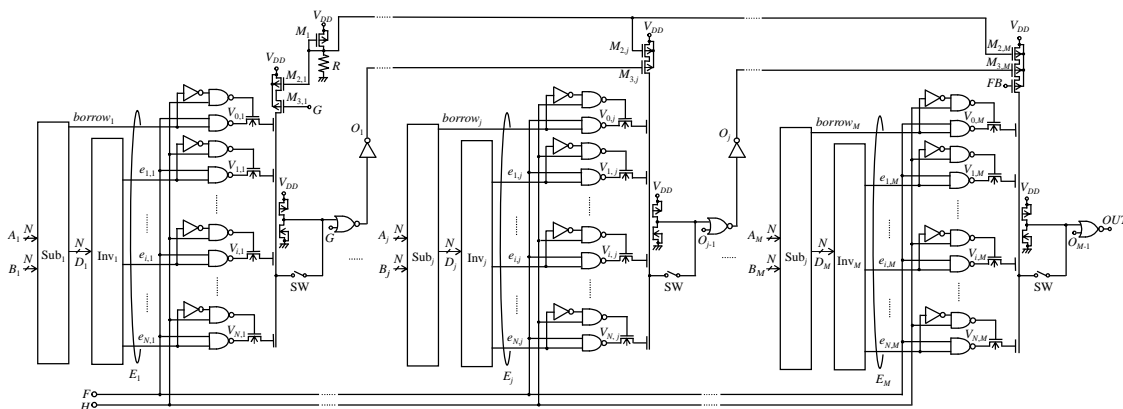


図1. ユークリッド距離検出回路の回路構成

(2) 最小ユークリッド距離検索連想メモリにおいて最も重要な機能回路である、最もユークリッド距離が小さいデータを検索する最小ユークリッド距離検索回路の設計およびシミュレーションを行った(図2)。ユークリッド距離検出回路により、ユークリッド距離が、出力信号が変

化するまでの時間差に変換され、その時間差を検知することによりユークリッド距離が最も小さい参照データを検索することができる。

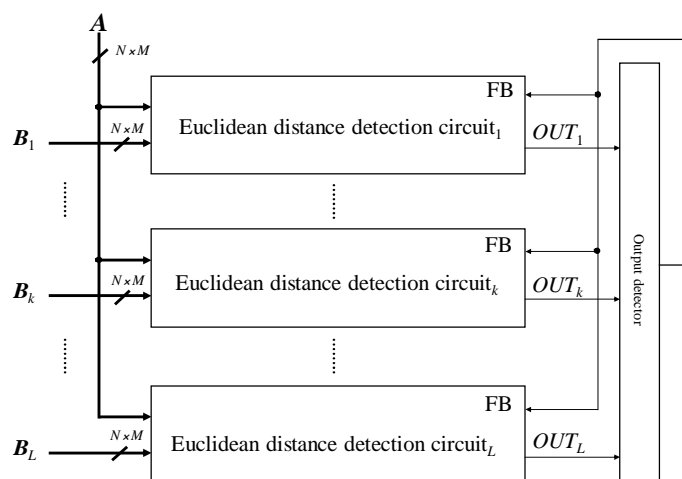


図 2 . 最小ユークリッド距離検索回路の回路構成

(3) 外部から指定するユークリッド距離以内のデータを全て検索する範囲内ユークリッド距離検索回路の設計およびシミュレーションを行った。

(4) 連想メモリにおけるアドレスデコーダなどのデジタル回路を FPGA により実装し、オシロスコープやファンクション・ジェネレータ、ロジック・アナライザを用いてその動作の検証・評価を行った。

4 . 研究成果

(1) 提案するユークリッド距離検出回路は、ニューロン MOSFET を利用することで、簡単な構成でユークリッド距離の検出を実現した。提案回路は、ユークリッド距離をニューロン MOSFET のフローティングゲートの電圧に変換し、入力端子 - フローティングゲート間容量を変化させることでユークリッド距離を出力信号が変化するまでの時間差に変換することで、ユークリッド距離を検出できる (図 3) 。また、HSPICE シミュレーションを行い、提案回路によって所期の動作が得られることを確認した。さらに、提案回路のレイアウト設計を行い、寄生容量・寄生抵抗を抽出したシミュレーションを行い、その動作を確認した。

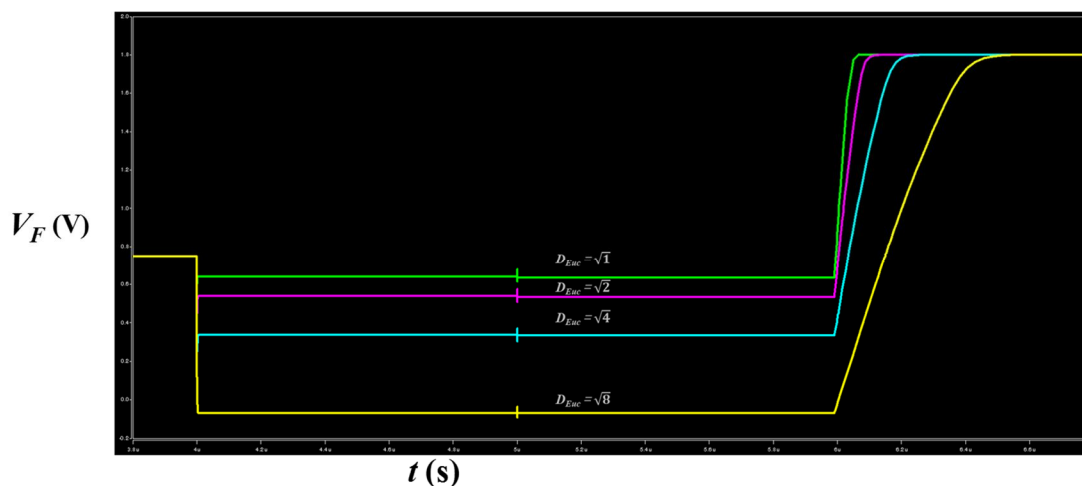


図 3 . ニューロン MOSFET のフローティングゲートのシミュレーション結果

(2) ニューロン MOSFET を用いたユークリッド距離検出回路を利用し、複数のデータの中から最もユークリッド距離が小さいデータを検索する最小ユークリッド距離検索回路を提案した。提案する最小ユークリッド距離検索回路は、ユークリッド距離を指標に最も類似するデータを完全並列で高速に検索することができる。また、シミュレーションにより、提案回路によって所期の動作が得られることを確認した (図 4) 。さらに、提案回路のレイアウト設計を行い、寄生容量・寄生抵抗を抽出したシミュレーションを行い、その動作を確認した。

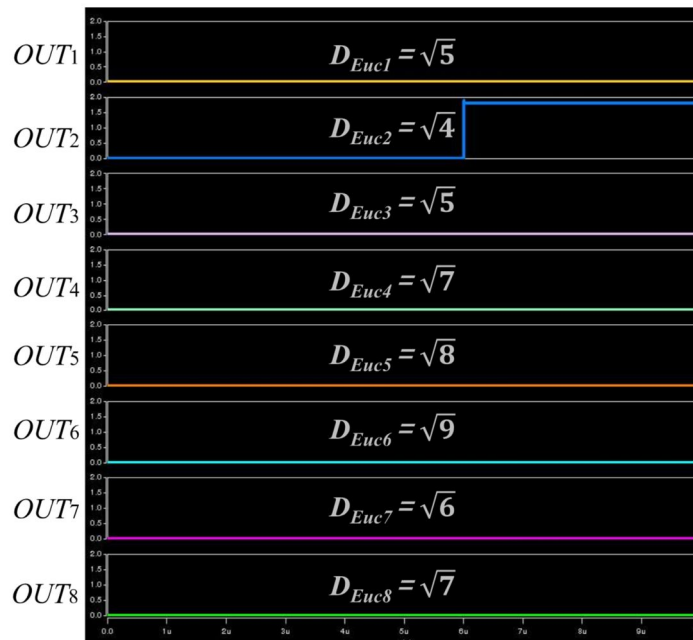


図4 . 最小ユークリッド距離検索回路のシミュレーション結果

(3) 最小ユークリッド距離検索回路を基礎に、完全並列に動作する範囲内ユークリッド距離検索回路を実現した。提案回路は、外部から指定するユークリッド距離以内のデータを全て検索するため、入力データに一定以上類似するデータを複数出力することができる。また、シミュレーションにより、提案回路によって所期の動作が得られることを確認した。さらに、提案回路のレイアウト設計を行い、寄生容量・寄生抵抗を抽出したシミュレーションを行い、その動作を確認した。

(4) 提案した最小ユークリッド距離検索回路や範囲内ユークリッド距離検索回路を連想メモリに組み込むために必要となるアドレスデコーダなどのデジタル回路を Verilog-HDL により設計を行った。設計したデジタル回路は、FPGA に実装して実験を行い、所期の動作が得られることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yujiro Harada, Yoshiki Katoda, Mitsutoshi Yahara, Masaaki Fukuhara, Daishi Nishiguchi and Kuniaki Fujimoto
2. 発表標題 Study of a Minimum Euclidean Distnce Search Circuit for an Associative Memory
3. 学会等名 16th International Conference on Innovative Computing, Information and Conrrol(ICICIC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yujiro Harada, Mitustoshi Yahara, Masaaki Fukuhara, Daishi Nishiguchi and Kuniaki Fujimoto
2. 発表標題 A Study of a Euclidean Distance Detection Circuit for an Associative Memory
3. 学会等名 15th International Conference on Innovative Computing, Information and Conrrol(ICICIC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------