

平成22年 5月17日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20700123

研究課題名（和文）セルオートマトンによる知的大局処理 LSI の研究

研究課題名（英文）Study on intelligent-global-processing LSI with cellular automata

研究代表者

池辺 将之 (Ikebe Masayuki)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20374613

研究成果の概要（和文）：セルオートマトンにトポロジー制御処理を適合させ、局所処理のみでは困難な、2点間の最短距離線形状の生成に成功した。次に、生体である粘菌・細胞体のトポロジー制御を、活性/死滅変形の観点から、細胞分裂・増殖の模擬をモデル化した。セルオートマトン処理では、局所的に様々な拡散サイズを必要とする並列処理も多い。そこで局所サイズに依存しない高速局所処理を開発した(700万画素/秒、640×480解像度で実時間処理)。

研究成果の概要（英文）：We developed an efficient CA algorithm for generating quasi linear curves based on finding shortest path between two points with topology reservation and CA algorithm in which a slime mold changes its body to obtain food effectively. Moreover we implemented a fast 2-D diffusion filtering method without kernel-size dependency. Using a dual core 2-GHz CPU with our method, the algorithm achieves 4 million pixels per sec operation without the need for downsampling, Single Instruction/Multiple Data (SIMD) or multi-thread operation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：セルオートマトン、トポロジー保存、物体形状制御、最短距離探索、イメージセンサ、多値テンプレート

1. 研究開始当初の背景

情報処理用ハードウェアにおいて、現在はノイマンアーキテクチャとブール代数に基礎を置いたLSIコンピューティングが主流であり、この流れは揺ぎないものと思われる。

しかし最近のマルチメディア社会の発展や、情報そのものが多種多様に細分化する傾向にあることで、通常のLSIコンピュータでは処理しきれない問題も増え続けている。

特に超高速画像処理やネットワーク解析

などのピクセル間やノード間が相互に影響しあう系の演算は、従来のコンピュータアーキテクチャは苦手であり、とても難しい。そのため、並列分散型の新しいアーキテクチャを用いて、そこに適した有効なアルゴリズムを開発すれば、上記問題にも効果的に対応することができる。

研究代表者は、今までに非ノイマン型アーキテクチャであるセルオートマトンを用いて、様々な情報処理 LSI・システムを研究・開発してきた。セルオートマトンは、並列分散系の情報処理システムであり、相互作用を行う単位演算セルが規則的に並んだ構造を持っている。適切な相互作用ルール（アルゴリズム）を設定することで、様々な空間パターンを生成することができる。1 次元構成のセルオートマトンは、相互作用によってカオスパターンの生成をおこなうことができるが、本研究代表者は、そのパターンを利用した秘密鍵暗号処理システムを開発した。また、2 次元構成では、相互作用を空間フィルタ・テンプレートとみなして、画像における高速特徴量検出 LSI を開発した。ただし、上記処理の空間パターンの応用は、大局的な知能情報処理としては、まだ、初歩の段階にある。

そこで、相互作用ルール設計手法を更に発展させ、回転テンプレートを用いた物体のトポロジー制御手法を考案した。本手法を、生体である粘菌の動作モデルに適用することで、複雑な迷路を高速に解くセルオートマトン・アルゴリズムの実現に成功した。従来の迷路解析手法に比べ、14 値から 5 値への大幅な状態遷移数の削減に成功し、かつ、ゴールまでに複数の経路があるような複雑な迷路形状においても、最短経路をセル幅 1 の線として抽出することが可能となった。これは、局所的な相互作用ルール設定が、単純な画像処理やパターン生成に留まらず、物体形状変化による知能的な大局処理をも行う可能性を示唆している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、非ノイマン型アーキテクチャであるセルオートマトンを用いて、局所的なトポロジー処理に基づいた、知的大局処理を実現するアルゴリズム及び情報処理 LSI を開発することである。パターン生成に留まらず、物体の変形に意味を持たせた大局処理への展開を重要視する。

本研究では始めに、セルオートマトンにトポロジー制御処理を適合させ、局所処理のみでは困難な、2 点間の最短距離線形状の生成に挑む。次に上記処理アルゴリズムを改良して、分野の異なるアプリケーション展開を探る。例として、生体である細胞体のトポロジー制御を、活性/死滅変形の観点から、細胞分

裂・増殖の模擬をモデル化する。従来の反応拡散系や遺伝情報による細胞分裂モデルに対し、本研究は、形状変化のみに着目して状態数の削減を同時に行う。

3. 研究の方法

(1) トポロジー制御アルゴリズムの研究

(アルゴリズム設計)

トポロジー保存型膨張・収縮等の制御アルゴリズムの研究に当たって、方向性の指定・テンプレート形状が特徴量の保存に大きな影響を及ぼす。そこでこれら要素の最適設定に、作成テンプレート群と特徴量の評価関数をパラメータ化した遺伝的アルゴリズムを用いる。また、2 点間を結ぶ最短距離線図形の生成において、局所領域は、0 度、45 度、90 度の線図形しか判別できない。そのため、セルオートマトンを用いた場合、2 点間を結ぶ線分は、上記角度の線分が合わさった線図形になってしまう。そこで、局所処理における目的とする線分要素について考察する。その時、線分要素を探す問題は、2 点間の中点を繰り返し求める問題に帰着できる。例として、2 点から平行四辺形を生成した後、骨格図形を形成する。その中点は、2 点からの膨張図形の当り判定で、見つける事ができる。これを繰り返す事で、局所角度に依存しない最短距離線図形を生成できると考えている。本アルゴリズムを期間内に具現化し実証する。

(2) センサ・セルオートマトン複合 LSI の研究 (システム LSI 設計)

トポロジー制御は、高速画像処理システムとの相性が良い。そこで、上記アルゴリズムを HW 化し、CCD や CMOS イメージセンサ等の撮像素子と同時集積化を行うことを考える。セルオートマトン演算部を撮像部の近くに配置した場合、データ転送のボトルネックは、大きく軽減される。本研究では、周辺回路も同時に集積可能な CMOS イメージセンサとの融合を目指す。また、上記 LSI では、セルオートマトン用の相互作用ルールが複数必要となるため制御が複雑になる。そこで、PS (プログラマブル・シーケンサ) を用いて演算部の制御を容易にする。相互作用ルールを実現する演算器のスイッチングを、PS 用の命令として定義することで外部から容易な制御が可能となり、かつ、設計した回路の評価・デバッグをシンプルにすることができる。

(3) セルオートマトンによる生体模擬アルゴリズムの研究 (アルゴリズム設計)

粘菌・細胞体のような生体動作をセルオートマトンで実現するためには、その特性のモデル化が必須となる。迷路探索粘菌セルオートマトンと同様に、食物と粘菌・細胞体の関係を基にモデル化する。本研究では、粘菌が

食物の満ちているターゲット空間を効率よく侵食する体へ変体するモデルの研究を行う。具体的には、粘菌・細胞体の状態を「ターゲット空間の侵食」「細胞体死滅の自立制御」「ターゲット空間の確保」の3つに分ける。そして、セルオートマトン自身がそれぞれの状態に対し、パラメータの異なるトポロジー制御型のアルゴリズムを選択できるようにする。研究にあたって C++言語によるセルオートマトンシミュレータを使用し、アルゴリズムの評価を行う。

4. 研究成果

(1) トポロジー制御アルゴリズムの研究 (アルゴリズム設計)

トポロジーを保存しながら物体の形状制御するアルゴリズムを考案し、それらをつなげる事で大域的な処理アルゴリズムを実現した。例として、2点間の最短経路を局所アルゴリズムのみで離散空間上で再現する問題を目的とした。

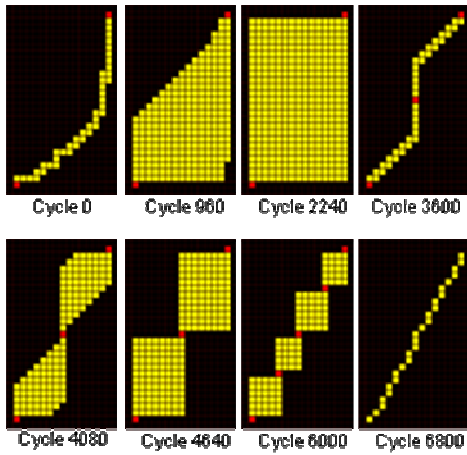


図1 局所処理のみでの最短距離図形作成

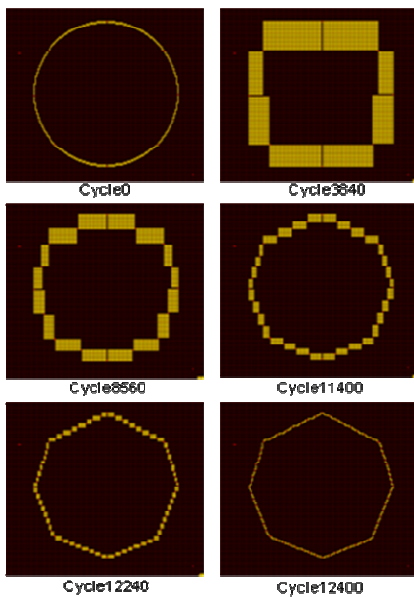


図2 最短距離図形作成による物体の簡略化

2点間を結ぶ最短距離線図形の生成において、局所領域は、0度、45度、90度の線図形しか判別できない。そこで、局所処理における目的とする線分要素について考察した。線分要素を探す問題は、2点間の中点を繰り返し求める問題に帰着させた。具体的には、2点から平行四辺形を生成した後、骨格図形を形成する。その中点は、2点からの膨張図形の当り判定で、見つけて、これを繰り返す事で、局所角度に依存しない最短距離線図形を生成するアルゴリズムを考案した。セルオートマトンシミュレータにより、動作の実証を行った。

(2) センサ・セルオートマトン複合 LSI の研究 (システム LSI 設計)

トポロジー制御は、高速画像処理システムとの相性が良い。そこで、上記アルゴリズムを HW 化し、イメージセンサのデータ処理を行う回路構成を検討した。上記 LSI では、セルオートマトン用の相互作用ルールが複数必要となるため制御が複雑になる。そこで、複数の状態変数を持ちながら、周囲の状態をテンプレートとしてその一致度を並列実行できるアーキテクチャを考案し、FPGA 実装の前段階として、設計記述言語シミュレーション・デバイスレベルシミュレーションで回路動作を実証した。

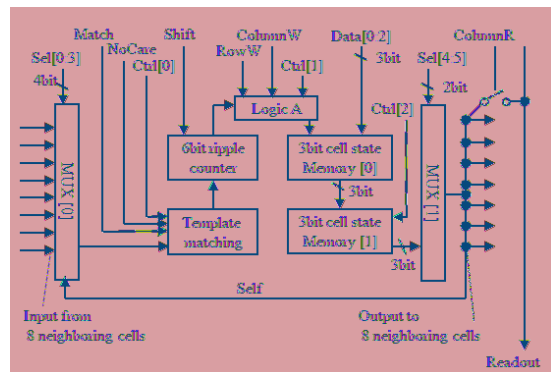


図3 セルオートマトンのセル回路

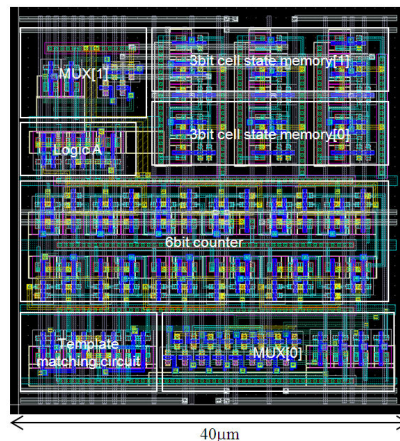


図4 セル回路のレイアウト図

(3)セルオートマトンによる生体模擬アルゴリズムの研究 (アルゴリズム設計)

トポロジーを保存しながら物体の形状制御するアルゴリズムを考案し、それらを結びつける事で大局的な処理アルゴリズムを実現した。例として、細胞体が適切な大きさまで成長した後に分裂を行う状態制御を目的とした。模擬細胞分裂の状態生成において、成長過程を、通常の膨張で定義してしまうと、複数物体のトポロジーを保存できない。そこで、局所処理におけるトポロジー保護について考察した。トポロジー保護の問題は、細線化処理の逆視点から新規局所処理に帰着させた。具体的には、回転する局所マスクを用いて、物体形状を保持しながら膨張させていく。分裂時間の設定は、セル内部に時間の概念を持たせ、任意の制御時間後に、模擬染色体セルを生成する。前年度の最短距離線図形を生成するアルゴリズムを染色体生成に適用することで、物体の形状に合わせた分裂を局所処理のみで実現できた。

(4)局所サイズに依存しない高速局所処理の研究 (システム設計)

セルオートマトンを専用プロセッサではなく、ソフトウェア実装する場合、局所サイズに比例して動作速度が落ちてしまう。しかし、局所的に様々な拡散サイズを必要とする並列処理も多い。そこで、ラインバッファを活用した局所サイズに全く依存しない $O(1)$ 局所処理を開発した。局所適応型輝度補正技術に活用したところ、400 万画素/秒を実現した。従来困難であった中央に重みを持つ局所演算に対しをサイズに依存しない手法を開発した。本研究は、他の研究と比較し最も使用メモリの少ない方式である。



図4 高速輪郭保存型・拡散処理



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

①五十嵐正樹、池辺将之、下山壮介、山野健太、本久順一、フィルタカーネルサイズの依存性を持たない高速2-Dバイラテラルフィルタ演算手法の提案、Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers、査読有、64巻、2010、389-398

②池辺将之、五十嵐正樹、本久順一、Using Negative Feedback in CMOS Image Sensors to Detect Intra-frame Motion、Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers、査読有、62巻、2008、219-228

〔学会発表〕(計10件)

①S. Shimoyama, M. Igarashi, M. Ikebe and J. Motohisa、Local adaptive tone mapping with composite multiple gamma functions、IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2009)、Nov, 7 (2009)、Cairo (Egypt)

②Y. Makihara, M. Ikebe, and J. Motohisa, A Cellular Automata for Converting Object Shapes into Simple Polygons, 17th International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, Jun, 21, (2009), Rapperswil (Switzerland)

③M. Ikebe and J. Motohisa, QVGA-Size CMOS Intelligent Image Sensor using negative feedback resetting (invited)、International Symposium on Multimedia and Communication Technology、Jan, 23 (2009)、Bangkok (Thailand)

〔図書〕(計1件)

池辺 将之、他、技術情報協会、CCD/CMOS イメージセンサ高精細・高画質化技術と最新応用、第1章第2節 蓄積容量変調型 CMOS イメージセンサと広ダイナミックレンジ化、2008

6. 研究組織

(1)研究代表者

池辺 将之 (Ikebe Masayuki)

北海道大学・大学院情報科学研究科

研究者番号：20374613



図5 高速拡散処理の応用 (輝度補正)