

# アナログ抵抗回路網を用いたセルオートマトン L S I の設計

A Cellular-Automaton LSI using Analog Resistive Networks

本間 慶正, 山田 崇史, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Honma Yoshimasa, Yamada Takashi, Asai Tetsuya and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

## 1. はじめに

生物の体模様などの生き生きとしたパターンの形成過程は反応拡散方程式(多次元の連立偏微分方程式)によって記述できる。アナログ電子回路を用いて反応拡散方程式を解くことで、生物のパターン形成を模擬するような集積回路を作りたい。ところが、アナログデバイスの素子ばらつきや環境ノイズ(連続時間動作による)時間的な制御の難しさなどの問題からその実現は容易ではない。そこで本稿では、セルオートマトン(CA)で反応拡散方程式を近似するヤングの方法[1]に着目し、それに基いたアナログ・デジタル集積回路の構成を提案する。

## 2. ヤングの CA モデルの改良と電子回路化

CA とは、格子状に配列した単位セルが近傍セルとの相互作用(結合)で自セルの出力を更新するものである。この更新は単位時間ごとに一斉に行われる。本稿では、以下に示す相互作用ルールを用いる: 1) セルは 0 (停止), 1 (活動) の二種の状態をもつ; 2) セル間の結合を通して、各セルの状態は近傍のセルに伝わる(各セルとその近傍の結合重み付けは、図1に示すような近距離興奮-遠距離抑制とする); 3) 各セルは、(結合を通して得られた)近傍セル状態の総和の符号に応じて自セルの状態を決定する(その総和が正であれば自セル状態は 1, それ以外は 0)。ヤングは計算を簡単にするために図1に示した重み付け関数を三値化して計算を行った[1]。この計算は実際には自セルのインパルス応答と全セル状態との畳み込み演算に相当するため、その計算をアナログ回路で行うためにはすべてのセル間を実配線で繋がなくてはならない(セル数が増加すると配線数が指数関数的に増加し集積化が不可能)。そこで本稿では、セル間の第一近傍の結合のみで上記のインパルス応答を疑似的に作り出す抵抗回路網を用いた集積回路の構成案を提案する。図2(a)に基本抵抗回路網を示す。この回路のインパルス応答はガウシアンで近似できる。分散の異なる二種のガウシアンを差分計算(DoG)により図1の応答が近似的に得られる。そのために、分散( $\approx \sqrt{RG}$ )の異なる抵抗回路網を二つ( $R_u, R_v$ )を用いる。 $R_u$  と  $R_v$  のすべての節点間で電圧の差分を計算して、図1のインパルス応答を疑似的に作る。抵抗回路網に変抵抗(MOS抵抗や等価電子回路)を用いることで、分散(拡散長)を制御する。

近傍セル状態の総和の符号を判断してセル状態を更新する回路を図2(b)に示す。回路はコンパレータとD-フリップフロップ(D-FF)からなり、コンパレータが

総和の符号を判断, D-FF が状態の保持と更新を行う。D-FF の出力が “1” であれば、 $R_u$  と  $R_v$  の節点に電流( $I_u, I_v$ )が加わる。

## 3. シミュレーション結果

51×51個のセルを正方格子状に配列したネットワークのシミュレーションを行った。初期パターンにランダムノイズを与えて回路を動作させたときのセル出力(すべてのセルの状態の総和)の時間変化を図3に示す。単位時間(ステップ)毎にノイズ中の特徴的な局所パターンが強調され、非一様な空間パターンが生成されることを確認した。また、CAが(ヤングの用いた三値のインパルス応答と比較して)空間的に滑らかなパターンを生成することを確認した。滑らかなパターンが得られた理由は、インパルス応答が連続である(畳み込み演算の結果がアナログ量になる)ためである。

### 参考文献

[1] D. A. Young: Math. Biosci. 72 (1984) 51.

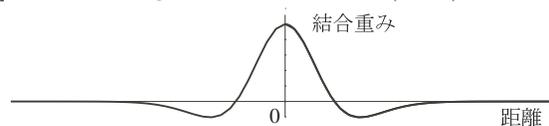


図1 自セル(距離0)と近傍セル間の結合重み

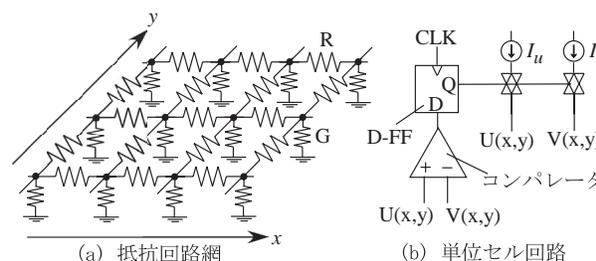


図2 抵抗回路網を用いたCA回路の構成

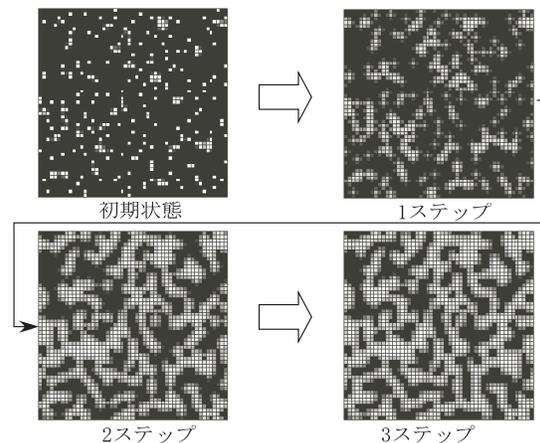


図3 シミュレーション結果