

BZ 反応拡散チップ: アナログセルオートマトンモデルとそのハードウェア実装

A BZ Reaction-Diffusion Chip: Analog Cellular-Automaton Modeling and its Hardware Implementation

山田 崇史, 本間 慶正, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Takashi Yamada, Yoshimasa Honma, Asai Tetsuya and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1 はじめに

化学反応の一種である BZ 反応のダイナミクスは反応拡散モデルの代表的なものであり、リズムやパターンを自己形成する性質を持つ。我々はこの性質に学んで情報処理を行う集積回路 (反応拡散チップ) の開発を行ってきた [1]。この中で、セルオートマトン (CA) 型の反応拡散チップは開発が比較的容易であったが、得られる時空間パターンもまた単純なものであった。これは、CA の状態変数の値が離散値であり [2]、その離散化の度合いが集積度に反比例したためである。本稿では、上記 CA の変数および時間が連続値を取るよう改良したアナログ CA モデルを提案する。これに基づいて、複雑な時空間パターンを作り出す BZ 反応拡散チップを設計する。

2 BZ 反応のアナログセルオートマトン化と回路化

提案するアナログ CA の概念図を図 1 に示す。活性および抑制セルからなる単位セルを平面上に六角格子状に配置する。本稿では、以下の三点をモデルに取り入れた: i) 抑制セルの値 (V) を連続値とする [活性セル値 (U) は二値]; ii) 各セルは、休止状態から自動的に興奮状態へと遷移する「振動モード」と刺激を受けてから興奮状態へと遷移する「興奮モード」の 2 つの動作モードを持つようにする; iii) 周囲の活性セル値に応じて自セルの位相がシフトするように遷移ルールを定義する。

提案するアナログ CA の単位セル回路を図 2 に示す。活性および抑制セル値 (U と V) を保持するセル回路は、周囲にある活動セルの数、振動/興奮モード選択信号 V_m 、およびルール選択信号 V_{th} によってセル値を連続的に更新する。活動状態にあるセル数をカウントする近傍判定回路は、活動セルが 1 個以上あるとき $N_1 = 1$ 、2 個以上あるとき $N_2 = 1$ を出力する。 $U = 0$ (または 1) の場合、 C_V の電荷は電流源 I_0 によって放電 (または充電) され、抑制セル値が減少 (または増加) する。この値と遷移ルール回路の出力を比較して活性セル値を決定する。

3 シミュレーション結果

21 × 21 セル回路を六角格子状に配列したセルオートマトン反応拡散チップを想定して HSPICE シミュレーションを行った。図 3 にシミュレーション結果の一例を示す。各抑制セルの値をグレイスケールで表した (白: High, 黒: Low)。図 3 (a) の初期パターンから BZ 反応に特徴的な螺旋パターンを発生させることを確認した ($C_v = 5 \text{ pF}$, $I_0 = 1.5 \text{ } \mu\text{A}$)。

参考文献

- [1] 浅井, "反応拡散チップの開発," 電気学会誌, Vol. 121, No. 4, pp. 253-257 (2001)
- [2] M. Gerhardt et. al., Physica D, vol. 46, pp. 392-415, 1990.

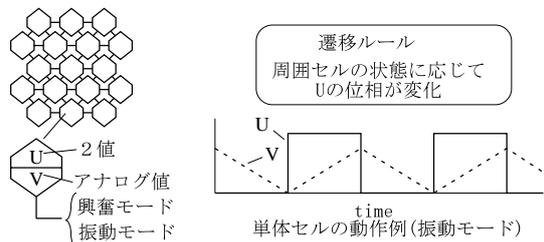


図1 アナログセルオートマトンモデル

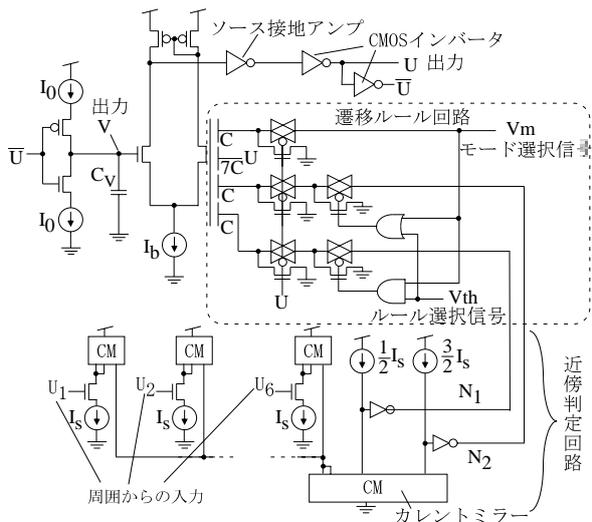


図2 アナログセルオートマトンのセル回路

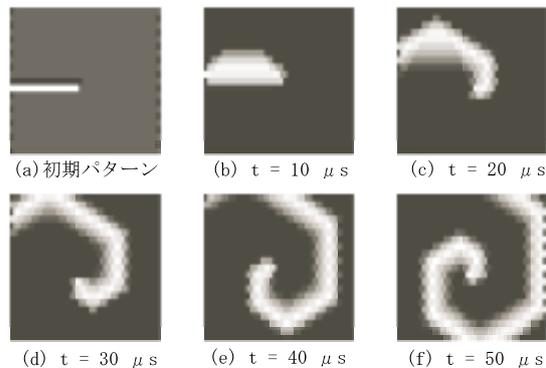


図4 シミュレーション例