

散逸的な縞状パターンの生成と修復を行うアナログ反応拡散回路

Analog Reaction-Diffusion Circuits generating and restoring Dissipative Stripe Patterns

林 秀樹, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Hayashi Hideki, Asai Tetsuya and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1. はじめに

アナログ反応拡散チップの演算・構成原理 [1], [2] に基づく「縞状の空間パターンを生成する集積回路」を提案する。反応拡散チップは、反応回路と拡散デバイスの簡単な組み合わせにより非一様な構造を自発的に形成する性質を持つ [1]。この性質を利用すれば、近年研究が進んでいる反応拡散系を用いた指紋画像復元 [3] などの現実的な応用に反応拡散チップを利用できる可能性が高い。そこで本稿では「非一様な縞状パターンおよび指紋パターンの復元」を例として、反応拡散回路のパターン生成・復元能力を示す。

2. Wilson-Cowan 神経系に基づく反応拡散系

図 1 に反応拡散チップの構成を示す [1]。反応回路を平面上に敷き詰め、その反応回路の間を拡散デバイスで結合する。反応回路の種類に応じて様々な反応拡散チップが構築できる。本稿では、Wilson-Cowan 振動子 [4] (神経振動子の代表的モデル) を反応回路に取り入れた「Wilson-Cowan 反応拡散チップ」に着目した。

図 2(a) に Wilson-Cowan 反応回路を示す (Wilson-Cowan 系と反応回路のダイナミクスについての詳細は [4], [1] を参照)。Wilson-Cowan 反応回路は二変数 (u, v) の振動系であり、その安定性は外部入力電圧 ($E1, E2$) により制御できる。図 2(b)-(d) に、SPICE シミュレーションにより得られた Wilson-Cowan 回路が持つ三種の解を示す [(b) $(u, v) = (1, 1)$ で安定, (c) $(0, 0)$ で安定, (d) リミットサイクル]。反応回路を T1(T2) を通して隣接する反応回路の $u(v)$ と結合させると、周囲の状態に応じて回路の安定性 [図 2(b)-(d)] が変化し、極めて興味深い時空間パターンが現われることが数値計算により明らかにされている [1]。

3. シミュレーション結果

Wilson-Cowan 反応回路を拡散結合させてシミュレーションを行った。パラメータは、初期ランダムパターンから縞状パターン (平均空間周波数が f で定義) が発生するような値 [1] を与えた。図 3 に三種の初期縞状パターンを示す [(a) 平均空間周波数が f と同程度の縞状パターン (参照パターン), (b) 参照パターンに 30% の Gaussian ノイズを混合したパターン, (c) 参照パターンに空間周波数が f 以下のノイズ (傷) をのせたパターン]。参照パターンを初期パターンとして反応拡散回路に与えると、当然ながら同じパターンが得られた。次いで、図 3(b) と (c) のパターンを初期パターンとして反応拡散回路に与えた。得られたパターンは参照パターンと同じものであり、(b) と (c) のパターンに与えたノイズを、反応拡散回路のパターン生成能力によって除去できることが確認できた。

同様の試みを、指紋パターンに対しても行った (図 4)。指紋パターン [図 4(a)] を反応拡散回路に与えると、図 4(b) に示したようなノイズが除去された縞状パターンが得られた。図 4(c) に、得られたパターンと原画像を重ね合わせたものを示す。この結果から、原画像のノイズ部分 (黒い塊) が除去され、さらに指紋の細線部・欠損部を復元できることを確認した。今後は、指紋の空間的特徴 (構造) を拡散乗数に取り入れた回路を構築して、反応拡散チップの現実的な応用可能性を探る予定である。

参考文献

- [1] 加藤 博武 他, "CMOS デバイスの非線形特性を利用した反応拡散システム—Wilson-Cowan 型回路と Lotka-Volterra 型回路," 信学技報, NLP2000-81, pp. 15-22, 2000.
- [2] 浅井 哲也 他, "非線形アナログ集積回路と反応拡散チップ—反応拡散系をシリコンチップ上に実現する," 信学技報, NLP2000-79, pp. 1-6, 2000.
- [3] 伊藤 康一 他, "適応デジタル反応拡散システムの設計," 信学ソサイエティ大会, A-2-19, 2000.
- [4] H.R. Wilson and J.D. Cowan, Excitatory and inhibitory interactions in localized populations of model neurons, *Biophys. J.*, Vol. 12, pp. 1-24, 1972.

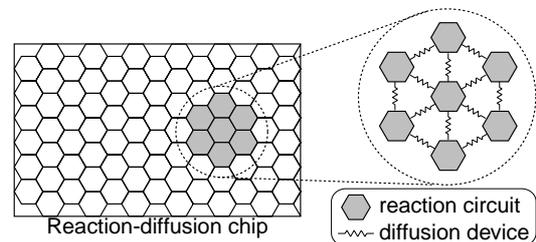


Fig. 1 Schematic image of the reaction-diffusion chip

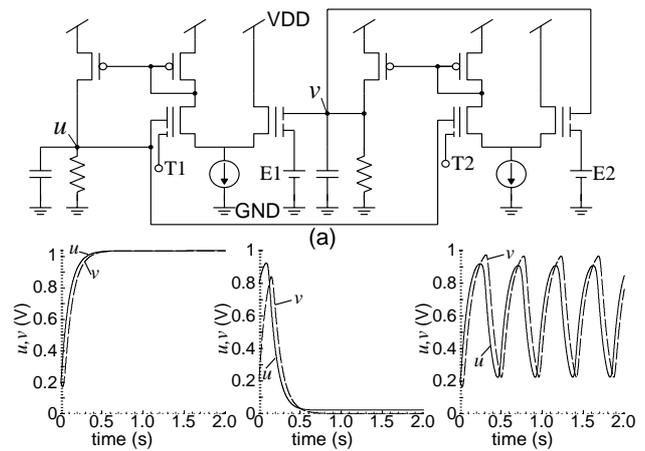


Fig. 2 (a) The Wilson-Cowan circuit; (b) and (c) stable fixed points; (d) limit-cycle

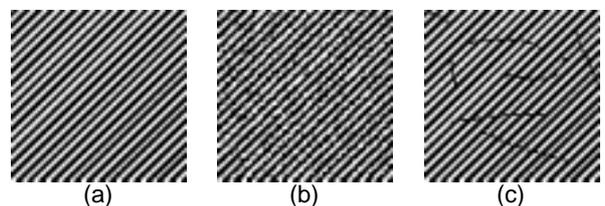


Fig. 3 Stripe inputs of (a) a reference; (b) Gaussian noise; (c) scratch noise

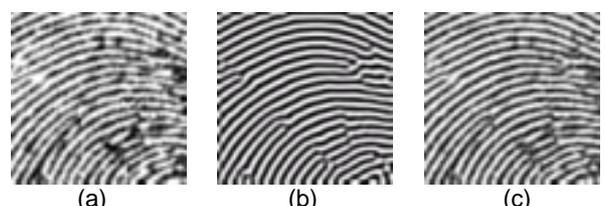


Fig. 4 Simulation results for fingerprint inputs (a), resultant patterns (b) and their superimposed patterns (c)