

画像のラベル付けを行う Lotka-Volterra 拡散振動系の CMOS 回路化

Analog Circuits for the Lotka-Volterra Systems performing Edge-based Image Segmentation

加藤 博武, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Kato Hiromu, Asai Tetsuya and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1. はじめに

アナログ集積回路化に適した Lotka-Volterra(LV) 型振動回路 [1] を用いて、「画像の領域分割・ラベル付け処理を行うアナログ CMOS 回路」を構成する。提案する回路は、我々が現在開発を行っている「アナログ反応拡散チップ [1]」の構成・原理を応用したものであり、単位アナログ回路 (LV 型非線形反応回路と拡散デバイス) の同期振動現象を利用して領域分割等の情報処理を行う。本稿は、LV 型振動回路を拡散結合させて基本的な引き込み現象を確認し、その応用可能性を探ることを目的とする。

2. Lotka-Volterra 型拡散振動系とその回路化

Lotka-Volterra(LV) 型拡散振動系の構成を図 1 に示す。多数の非線形振動子 [本稿では二変数 (V_a, V_b) の振動子] を結合させて拡散振動系を構築する。振動子の同一変数間を拡散結合すると全ての振動子が同位相で振動する。一方、振動子間を交差拡散結合 [図 1(b) の例では V_a から V_b およびその逆の結合] すると、反応拡散系に特徴的な散逸構造が生ずる [2]。この系に画像を投影したとき、輪郭に相当する部分の結合が交差結合、その他が非交差結合となるような構成にすると、輪郭で囲まれた一つの領域に属する振動子群が (非交差結合により) 同位相で振動し、領域間に (交差結合による) 位相差が生じる。この位相差を検出して、画像領域の判断・ラベル付けを行う。

図 2(a) に、我々が開発を行ってきた LV 振動回路の構成を示す [1]。M1 および M2 のゲート容量の不安定性 (C-V 特性における非線形性) が強くなると、図 2(a) の回路はリミットサイクルアトラクタを持つようになる (本来の LV 振動系は初期値依存の振動解を持つ)。この性質が、振動子回路間の引き込みを容易にする。振動子回路間は、拡散デバイス (容量または抵抗) を用いて結合する (非交差結合の場合は $V_{a(b)}$ と $V_{a(b)}$ 間, 交差結合の場合は $V_{a(b)}$ と $V_{b(a)}$ 間)。本稿では MOS トランジスタを抵抗体として用いて、輪郭情報により交差・非交差結合を切り替えるような回路構成をとった。

3. 回路シミュレーションおよび実験結果

まず、六個の振動回路を一次元状に結合した LV 型拡散振動系のシミュレーションを行った。図 3 に、振動回路の一変数 (V_a) の時間変化を示す [$V_{a,1\sim 6}(t)$]。1-6 番目の振動子間を結んで周期境界をつくり、 $t = 2 \mu\text{s}$ において 2-3 番目の振動子間および 5-6 番目の振動子間にそれぞれ輪郭入力を与えた。3-4-5 間の領域 ($\equiv A$) および 6-1-2 間の領域 ($\equiv B$) 内でそれぞれ振動子の位相が揃い、領域間 (A-B) では位相がずれた状態で安定する (つまり、A-B 領域が位相差により判別できる) ことが確認できた。

次いで、LV 振動回路の試作を行った。図 2(b) に、単位回路の応答例を示す。約 100 Hz の周波数で安定な緩和振動を行うことを確認した (なお、利得の小さなソースフォロウを用いて測定を行ったため図中の振幅が小さく表示されているが、実際の振幅は計算結果とほぼ一致)。図 4 と 5 に、二つの LV 振動回路を非交差結合・交差結合した場合

の応答を示す。図 4(a) と 5(a) は、振動回路の一変数 (V_a) の時間変化、図 4(b) と 5(b) は、二つの振動子の状態を表す量 $m [\equiv |(\sum_{k=1}^2 \exp i\phi_k)|/N]$ の時間変化を表す ($N = 2$, ϕ_k は k 番目の振動子の位相。 $m = 1$ は同位相状態を表す)。パラメータのばらつきが極めて大きいトランジスタを使用したにも関わらず、i) 振動回路が互いに引き込み合うこと (図 4), ii) 交差結合により位相差が生成されること (図 5), iii) それらの位相差が時間の経過とともに固定されてゆくこと [図 4(b) と 5(b)] を確認した。これらの結果から、領域分割・ラベル付け処理を行うアナログ反応拡散チップの実現見通しを得た。

参考文献

- [1] 加藤, 浅井 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] J. J. Hopfield, "The diffusive Lotka-Volterra oscillating system," *J. theor. Biol.*, Vol. 65, pp.133-139, 1977.

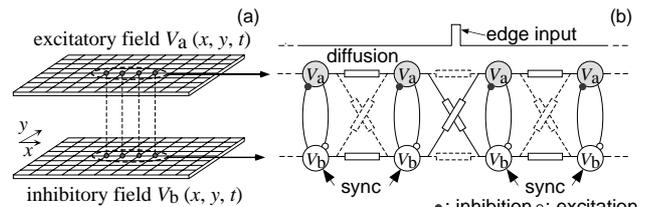


Fig.1 Self- and cross-diffusive Lotka-Volterra (LV) system for image labelling

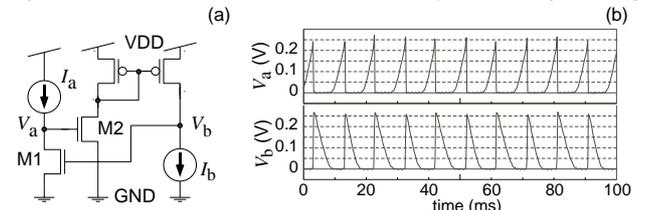


Fig.2 (a) The LV circuit and (b) its transient responses with $I_a = I_b = 20 \text{ nA}$

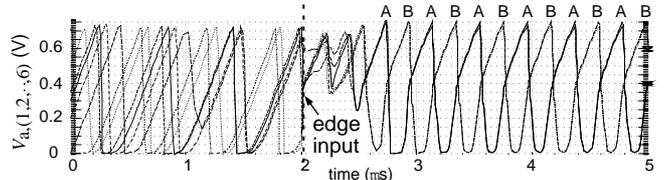


Fig.3 SPICE simulation results for the diffusive LV system

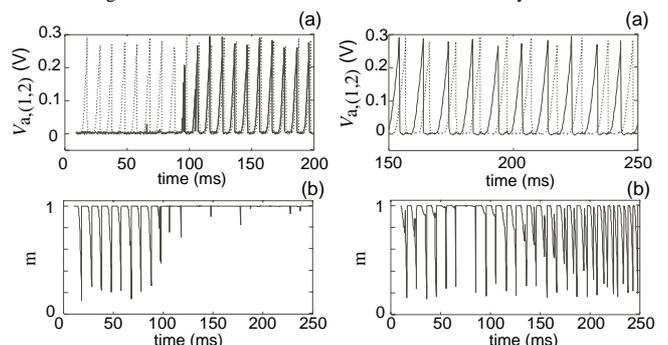


Fig.4 Experimental results of the cross-diffusive LV circuit

Fig.5 Experimental results of the self-diffusive LV circuit