

# 非一様な空間構造を自己生成する Volterra 反応拡散チップの開発

Analog Reaction-Diffusion Chip generating Inhomogeneous Spatial Patterns  
with Diffusive Volterra Oscillating System

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

反応拡散系に特徴的な性質の一つは、チューリング構造に代表される非一様な空間構造の自己生成である。本稿では、比較的弱い非線形性を持つ Volterra モデル (種の競合や神経モデルの一つ) を用いて、そのような空間構造をつくりだす集積回路 (反応拡散チップ) を構成する。それによって、画像処理などの現実的な応用を目指す。

## 2. Volterra 反応拡散チップの構成

図 1 に Volterra 回路 (単位セル)[1] とその結合ネットワーク (反応拡散チップ) の構成を示す。Volterra 回路 [図 1(a)] の内部電位 ( $u$ ) が一つのセル [図 1(b)] の状態を表す ( $u = 1$ : 活動状態,  $u = 0$ : 休止状態)。ネットワーク中の  $i$  番目のセルが、 $u_{nb}$  および  $v_{nb}$  端子を通して周囲セル ( $i \pm 1$  番目) の出力を受けるとすると、周囲セルの出力に応じてセルの平衡値 ( $u^*, v^*$ ) が変化する (表 1)。たとえば、図 1(c) 中の  $i$  番目のセルが活動状態になると、 $i \pm 1$  番目のセルの  $u_{nb}$  が 1 にセットされるため、それらのセル回路の平衡値 ( $u^*$ ) は 0 になる。この仕組みによって、1 と 0 の規則的な縞状平衡パターンがネットワーク上に発生する [2]。

## 3. SPICE シミュレーション結果

表 1 の動作を確認するために、図 1(a) のセル回路のシミュレーションを行った。その時間応答を図 2 に示す。外部入力 ( $u_{nb}, v_{nb}$ ) が (1, 0) のとき、( $u^*, v^*$ ) = (0, 1) となり [図 2(a)]、( $u_{nb}, v_{nb}$ ) が (0, 1) のときは、( $u^*, v^*$ ) = (1, 0) となることが確認できた [図 2(b)]。

次いで、空間パターンの発生を確認するために、セル回路を図 1(c) のように結合してシミュレーションを行った (セル数: 4, 周期境界結合)。図 3 に、各セルの内部電位の時間変化を示す [図 4(a) に示す初期電位を各々のセルに与えた]。この例では、 $u_1$  と  $u_3$  が、それらに隣接するセルの初期値 ( $u_2$  および  $u_4$ ) よりも大きい。したがって、隣接セルの電位 ( $u_2$  と  $u_4$ ) は、 $u_1$  と  $u_3$  によって強く抑制される ( $u_2$  と  $u_4$  が減少)。また、 $u_2$  と  $u_4$  が減少すると  $u_1$  と  $u_3$  は増加するので、ネットワークに正のフィードバックが生じることになる。その結果、 $u_1$  と  $u_3$  が活動、 $u_2$  と  $u_4$  が休止状態に落ち着く。この動作をシミュレーションにより確認した [図 4(b)]。

Volterra 反応拡散チップの構造を二次元に拡張しても、その平衡電位分布は初期値に依存した縞状パターンになる。その特徴を生かして、反応拡散チップを (画像復元などの) 情報処理に利用する。例えば、指紋画像の輝度パターンに相当する電位を反応拡散チップに与えると、指紋画像の修復処理に応用できる [3]。一般にこのような画像処理を行なうチップは回路規模が大きく、構成が複雑である。Volterra 回路 (とその結合ネットワーク) を

用いると、極めてシンプルな構成で縞構造を生成できる。このことは、Volterra 反応拡散チップの画像情報処理における応用可能性を示唆している。

## 参考文献

- [1] 加藤 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. Jorné, "The diffusive Lotka-Volterra oscillating system," *J.theor. Biol.*, Vol. 65, pp. 133-139, 1977.
- [3] H. Kato, T. Asai, and Y. Amemiya, "Reaction-Diffusion neuro chips: Analog CMOS implementation of locally coupled Wilson-Cowan oscillators," in Proc. of the Fifth Int. Conf. on Cognitive and Neural Systems, P2-41, 2001.

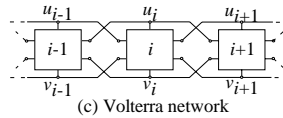
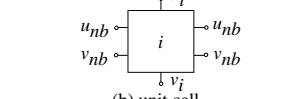
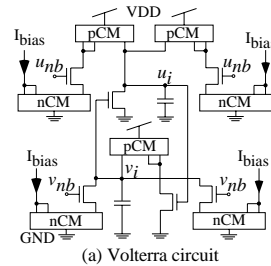


Fig.1 The Volterra circuit and network

external inputs		equilibrium values	
$u_{nb}$	$v_{nb}$	$u^*$	$v^*$
0	1	1	0
1	0	0	1

Table 1 Cell operations

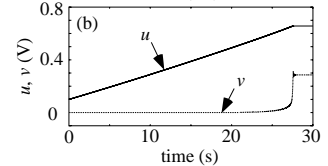
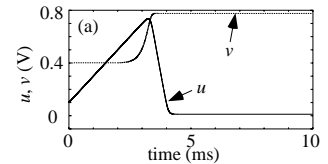


Fig.2 Transient responses of the Volterra circuit

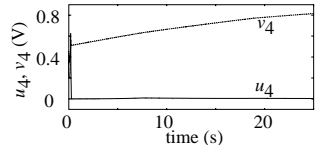
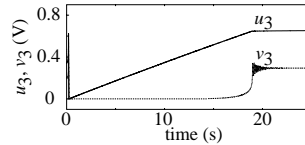
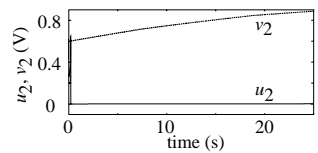
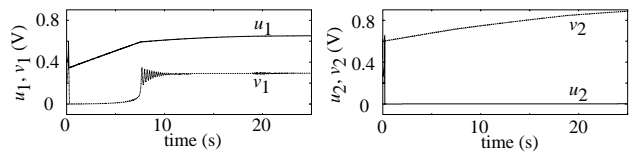
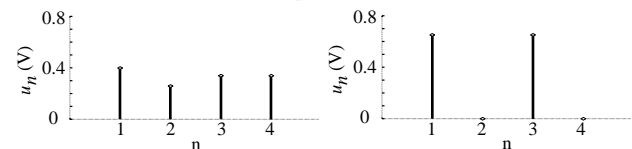
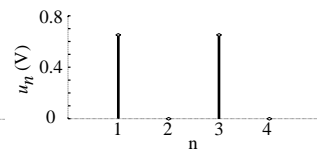


Fig.3 Transient responses of the Volterra network



(a) initial condition (t = 0)



(b) equilibrium values

Fig.4 Spatial pattern formation of the Volterra network