

カオス的結合振動系を用いた領域分割における同期様態に関する検討

An investigation on synchronization modes of coupled chaotic oscillators for image segmentation

関西大学 システム理工学部 ○ 柿本 大輔, 伊藤 秀隆, 隈元 昭

D. Kakimoto, H. Ito, and A. Kumamoto

Faculty of Engineering Science, Kansai University

Abstract This paper discusses the dynamics of continuous-time coupled chaotic neural oscillators in terms of their ability for image segmentation. In particular, some numerical results for slowly-moving gray-scale images are presented to investigate the characteristics of synchronization modes and their relevance to object tracking.

1 はじめに

画像処理の主要な要素技術の一つに領域分割がある。従来手法の多くは、画素値の局所的性質や統計的性質に基づいて領域を静的に分割するが、近年、非線形ダイナミカルシステムの振動応答を用いて領域を動的に切り出す手法が検討されている [1]。

非線形ダイナミクスに基づく動的な画像領域分割では、周期的同期現象を活用することが多いが、カオス的なダイナミクスの導入もなされつつあり、単純な人工的画像に対する若干の実験結果が報告されている [2]。

それに関連して本研究では、カオス的同期現象に基づく領域分割の自然画像や動画画像への応用を目指すための基礎検討として、Wilson-Cowan 振動子の結合系におけるカオス的同期現象の基本的性質を解析するとともに、低速でコマ送りされる入力画像に対する同期様態に関して、数値実験に基づく検討を行う。

2 結合振動系を用いた画像領域分割

2.1 Wilson-Cowan 振動子の結合系

Wilson-Cowan 振動子は神経振動子の代表的モデルの一つである。神経細胞には興奮および抑制の性質があり、興奮性ユニット x と抑制性ユニット y との間でフィードバックループが構成され、 x の増加に伴って y は増加し、 y の増加に伴って x は減少する。この振動子を格子状に結合させたネットワークのダイナミクスは次の微分方程式によって表される。

$$\begin{cases} \dot{x}_{i,j} = -ax_{i,j} + G(cx_{i,j} + ey_{i,j} + I_{i,j}(t) - \theta_x) \\ \quad + \Delta x_{i,j} \\ \dot{y}_{i,j} = -by_{i,j} + G(dx_{i,j} + fy_{i,j} - \theta_y) + \Delta y_{i,j} \\ G(v) = \frac{1}{1 + e^{-(v/T)}} \end{cases} \quad (1)$$

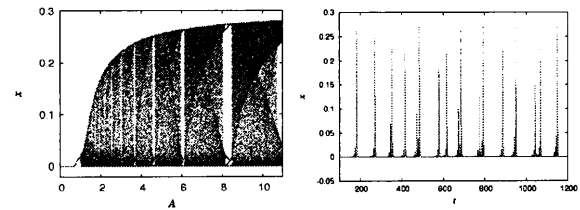


図 1: 分岐図 (左) と x の時系列 (右)

ここで、 a, b は減衰パラメータ、 c, f は自己励起パラメータ、 e は抑制性ユニット y から興奮性ユニット x への結合強度、 d は逆に x から y への結合強度、 $G(v)$ は θ_x, θ_y, T をパラメータとするシグモイド関数である。 $I_{i,j}(t) = A_{i,j} \cos \omega t$ は外部入力であり、 $\Delta x_{i,j}$ と $\Delta y_{i,j}$ は結合項である。各振動子は 8 近傍と結合している。各パラメータを $a = 1.0, b = 0.01, c = 1.0, d = 0.6, e = -2.5, f = 0.0, \theta_x = 0.2, \theta_y = 0.15, T = 0.025, \omega = 1.0$ とする。振動子が単体の場合、また複数の振動子が完全同期している場合の入力振幅 A に対する x の値 ($t = 0 \pmod{2\pi}$) における値) を図 1(左) の分岐図に示し、入力振幅 $A = 1.2$ のときの x の時系列を図 1(右) に示す。

2.2 基本的な領域分割ダイナミクス

図 2(右) のようなグレースケール画像に対して、振動子を格子状に配置して画像領域分割を試みる。結合項は、

$$\begin{aligned} \Delta u_{i,j} = & k_{i,j;i+1,j}(u_{i+1,j} - u_{i,j}) + k_{i,j;i-1,j}(u_{i-1,j} - u_{i,j}) \\ & + k_{i,j;i,j+1}(u_{i,j+1} - u_{i,j}) + k_{i,j;i,j-1}(u_{i,j-1} - u_{i,j}) \\ & + k_{i,j;i+1,j+1}(u_{i+1,j+1} - u_{i,j}) \\ & + k_{i,j;i-1,j+1}(u_{i-1,j+1} - u_{i,j}) \\ & + k_{i,j;i+1,j-1}(u_{i+1,j-1} - u_{i,j}) \\ & + k_{i,j;i-1,j-1}(u_{i-1,j-1} - u_{i,j}) \end{aligned} \quad (2)$$

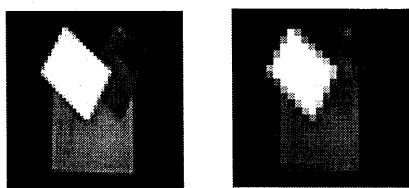


図 2: 原画像 (左) とグレースケール画像 (右)

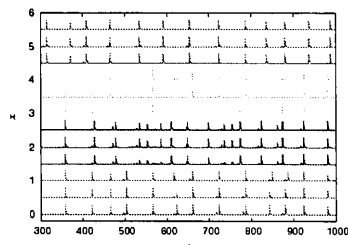
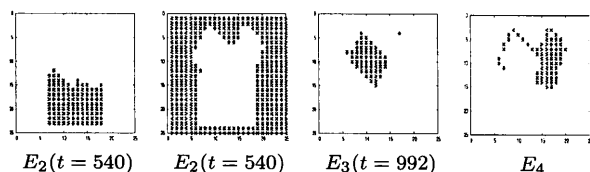


図 3: 図 2(右) の入力画像に対する振動子の応答

図 4: 発火している振動子の集合 ($E_1 \sim E_3$) および集合 $E_4 = \overline{E_1 \cup E_2 \cup E_3}$

($u = x, y$) とする. 入力振幅 $A_{i,j}$ は $A_{max} \sim A_{min}$ の範囲で変化させ, 結合強度 k は $k_{max} \sim k_{min}$ の範囲で変化させる. ここでは, 各ピクセルの階調値 $s_{i,j}$ から試験的に以下のように $A_{i,j}$ を設定する.

$$A_{i,j} = A_{max} - \frac{s_{i,j}}{255}(A_{max} - A_{min}) \quad (3)$$

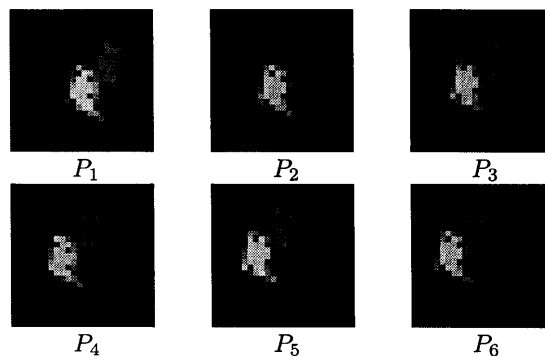
任意のピクセルの階調値 $s_{i,j}$ とその 8 近傍の階調値 $s_{m,n}$ から, $k_{i,j;m,n}$ を以下のように設定する.

$$k_{i,j;m,n} = k_{max} - \frac{|s_{i,j} - s_{m,n}|}{20}(k_{max} - k_{min}) \quad (4)$$

ただし, $|s_{i,j} - s_{m,n}| > 20$ のときは $k = k_{min}$ とする.

今回の実験では, 複雑な画像への応用を考慮して原画像の背景 (青領域) もオブジェクトにとらえ, (1) A_{max} と A_{min} の差が大きい場合, A_{min} の値に近い振動子が発火しないこと, (2) A_{max} と A_{min} 共に小さい場合, 発火が弱くなること, を考慮し, 本節では, $A_{max} = 2.00$, $A_{min} = 1.97$, $k_{max} = 8.0$, $k_{min} = 0.001$ とする.

図 3 に, 図 2(右) の入力画像に対するいくつかの振動子の応答 (同じオブジェクト内に存在する観測点の振動応答を同一色で表す) を示す. 図 3 より, 高い頻度で同一オブジェクト内にある振動子がカオス同期 (異なるオ

図 5: 入力画像 $P(t)$

ブジェクト間では非同期) しており, 領域分割が行えている. また, $t = 345, 540, 992$ において発火している振動子の集合をそれぞれ図 4 の $E_1 \sim E_3$ に示す. $E_1 \sim E_3$ からオブジェクトと思われるものが確認できる. さらに適切な論理演算 ($E_4 = \overline{E_1 \cup E_2 \cup E_3}$) を行うことで, E_4 に示すオブジェクトも抽出できる.

3 動画画像への適用に関する基礎検討

動画画像を分割したフレーム画像 (図 5) を入力画像 ($P(t)$ と表現する) としたときの振動子の応答を観測する. 図 5 より, 入力画像のオブジェクト群は時間とともに移動していく. パラメータを $A_{max} = 6.00$, $A_{min} = 5.99$, $k_{max} = 10.0$, $k_{min} = 0.0001$ とする. 図 5 の色ピクセルは, オブジェクト上の観測点で, オブジェクト内の同じ場所に存在しており, 図 6, 図 8 の振動応答の色と対応している.

入力設定 1

まず, 入力画像 $P(t)$ を

$$P(t) = \begin{cases} P_1 & (0 \leq t < 900) \\ P_4 & (900 \leq t \leq 1800) \end{cases} \quad (5)$$

のように設定したときの振動子の時系列を図 6, 発火している振動子の集合を図 7 に示す.

図 7 より, $t = 81 \sim 169$ ではオブジェクトと思われるものが確認できる. 図 6 および 図 7 より, $t = 917 \sim 986$ では入力画像が切り替わった直後, しばらく異なるオブジェクト間でも同期しており, 領域分割に適切な振動子の振る舞いがみられない. 一定時間経過したあと, $t = 1005 \sim 1476$ において, ようやく移動したオブジェクトと思われるものが確認できる.

入力設定 2

次に, フレームレートを増加させ,

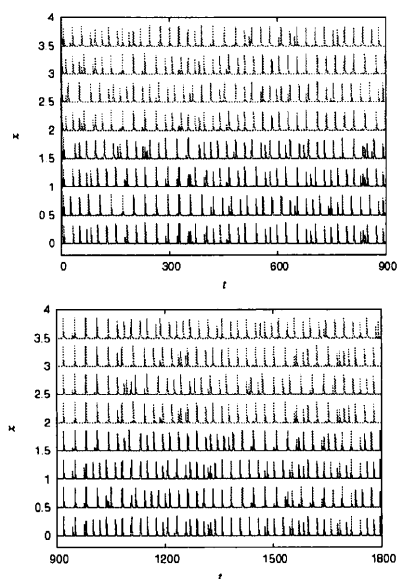


図 6: 入力設定 1 における振動応答 (上図: $t = 0 \sim 900$, 下図: $t = 900 \sim 1800$)

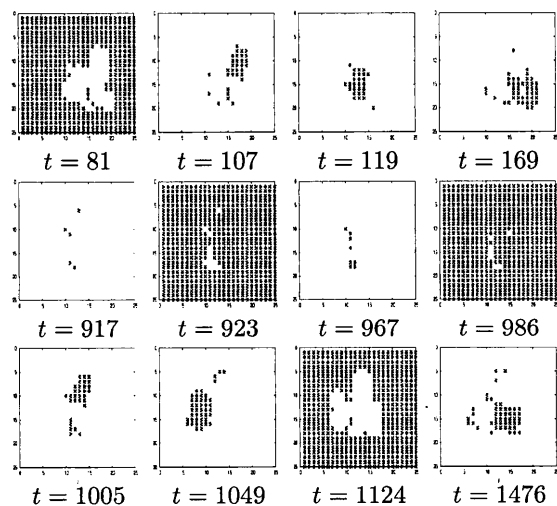


図 7: 発火している振動子の集合 (入力設定 1)

$$P(t) = \begin{cases} P_1 & (0 \leq t < 300) \\ P_2 & (300 \leq t < 600) \\ P_3 & (600 \leq t < 900) \\ P_4 & (900 \leq t < 1200) \\ P_5 & (1200 \leq t < 1500) \\ P_6 & (1500 \leq t \leq 1800) \end{cases} \quad (6)$$

のように設定したときの振動子の応答を図 8, 発火している振動子の集合を図 9 に示す。

図 9 より, $t = 25 \sim 125$ では, オブジェクトと思われるものが確認できる。図 8 および 図 9 より, $t = 923 \sim 986$

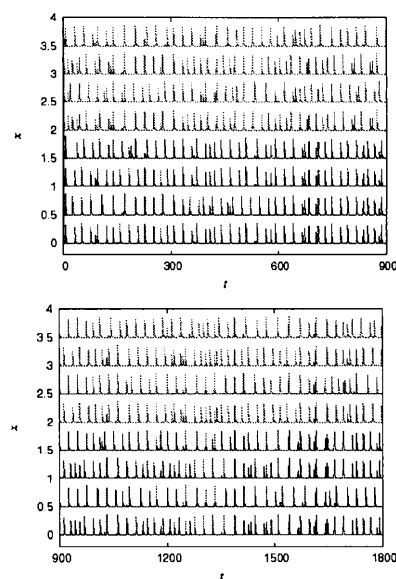


図 8: 入力設定 2 における振動応答 (上図: $t = 0 \sim 900$, 下図: $t = 900 \sim 1800$)

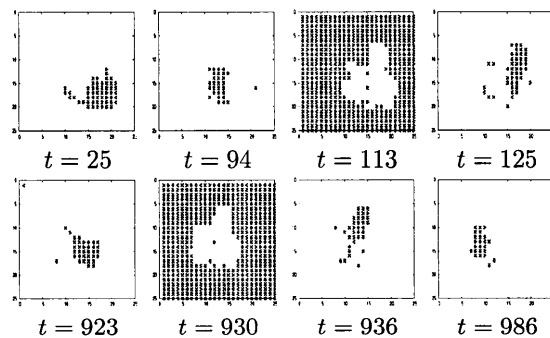


図 9: 発火している振動子の集合 (入力設定 2)

では入力画像が切り替わった直後, 入力画像に応じて発火振動子の集合が移動したことが確認でき, すぐに高い頻度でオブジェクト内の振動子がカオス同期 (異なるオブジェクト間では非同期) していることがわかる。

4 おわりに

本稿で検討した領域分割手法は, 動画像の処理と親和性が高いと考えられる。今後はさらに高いフレームレートのもとで, オブジェクトを適切に抽出するための論理演算の検討などを行う。

参考文献

- [1] 藤本, 武蔵, 吉永: システム/制御/情報, vol.54, no.1, pp.9-14(2010)
- [2] L. Zhao, T.H. Cupertino, J.R. Bertini Jr.: Neuro-computing, vol.71, pp.3360-3366 (2008)