

2 テンプレート CNN におけるネットワークトポロジーによる 発振現象のちがい

藤井 淳二[†] 細川 康輝^{††} 西尾 芳文[†]

[†] 徳島大学 〒 770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1

^{††} 四国大学 〒 771-1192 徳島県徳島市応神町古川 123-1

E-mail: [†]{fujii,nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp, ^{††}hosokawa@keiei.shikoku-u.ac.jp

あらまし これまで我々は2テンプレートCNNの提案し調査を行ってきた。2テンプレートCNNは異なる2つのセルをテンプレートに用いることで2つのセルが互いに相互作用し、従来のCNNには観察することが難しいさまざまな発振現象を確認することができる。本研究では、2つのテンプレートを用いたCNNにおけるネットワークトポロジーによる発振現象のちがいについて調査を行う。

キーワード セルラニューラルネットワーク, 結合発振器, ネットワークトポロジー

Oscillatory Phenomena Depending on Network Topology of Two Template CNN

Junji FUJII[†], Yasuteru HOSOKAWA^{††}, and Yoshifumi NISHIO[†]

[†] Dept. of E.E. Eng., Tokushima University, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima 770-8506, JAPAN

^{††} Dept. media and informatiion systems., Shikoku University, 123-1 Oujin-cho, Tokushima 771-1192, JAPAN

E-mail: [†]{fujii,nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp, ^{††}hosokawa@keiei.shikoku-u.ac.jp

Abstract In our previous study, we have proposed a Two-Template CNN. This system can generate some kinds of oscillatory phenomena which are derived from mutual effects of two kinds of templates. It is too difficult to observe these oscillatory phenomena on conventional CNNs. In this study, a relationship between a network topology of the Two-Template CNN and oscillatory phenomena is investigated.

Key words Cellular Neural Network, Cupled oscillators, Network toporogy

1. ま え が き

現在の情報処理のほとんどは逐次処理である。したがって、情報量が増加すればするほど処理速度が下がり、実時間で処理ができないという根本的問題を持っている。その解決方法の一つとして、人間の脳の仕組みを模倣し考案されたニューラルネットワークを用いた情報処理の研究が行われている。ニューラルネットワークはニューロンと呼ばれる情報処理要素が相互結合し、非同期な並列処理が可能という特徴を持っている。したがって、ニューロンを必要数用意していれば、情報量が増加しても処理速度は下がることはない。さらに、ニューラルネットワークとセルラオートマトンの概念を組み合わせた相互結合型ニューラルネットワークの1種であるセルラニューラルネットワーク(CNN)[1]-[3]が、1988年にL.O.ChuaとL.Yangによって提案された。CNNはセルと呼ばれる基本素子が格子状に配置されている点や、各セルが近傍するセルとのみ結合を

有している点で他のニューラルネットワークのモデルと区別されている。CNNの研究は盛んに行われており、CNNの情報処理構造が機能的に動物の網膜に酷似しているため、視覚情報処理、LSI化などの集積回路などに適している。また、その他にもさまざまな工学的提案がされており、パターン認識[4]、連想メモリ[5]、ノイズ除去[6]などの研究も行われている。このように、CNNに関する研究は広く行われている。それら研究の一つである2層CNN[7]-[9]では、従来のCNNではできない複雑な処理が可能であり、自己組織化パターン、伝播現象などの興味深い現象も見られる。

我々はこの2層CNNに着目し、より簡単な構造で同様の現象が見られる可能性のある2テンプレートCNNの提案および調査を行ってきた[10][12]。2テンプレートCNNは2層CNNと同様の現象が見られるだけでなく、発振現象が見られることから新しい発振器の結合系と見なすことができると考えられる。したがって、このシステムにおける発振現象を調査することは

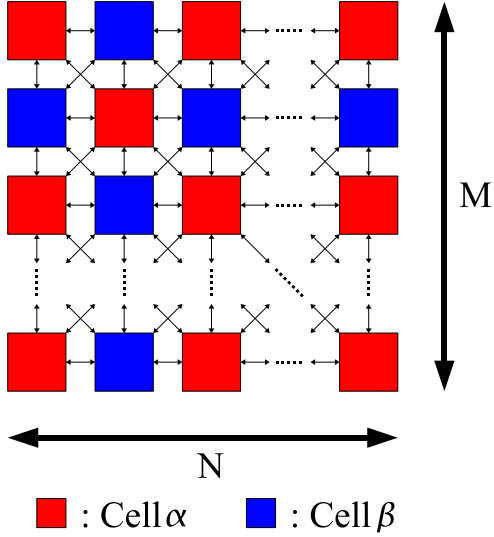


図1 2テンプレートCNNの構造

新しい発振器の結合系を理解することによって重要であるといえる。

本研究では、2テンプレートCNNにおけるネットワークポロジによる発振現象のちがいの調査したので報告する。

2. 2つのテンプレートを用いたセルラニューラルネットワーク

図1は2テンプレートCNNの構造を表している。2テンプレートCNNでは2種類のテンプレート α テンプレートと β テンプレートが用いられる。それぞれのテンプレートが適用されるセルをそれぞれセル α 、セル β とすると、2種類のセルは、図1のような市松模様様に配置される。この構造は、2種類のセルが互いに発振の要因を共有し発振するのであれば、従来の発振器結合系で実現することが困難な構造であるといえる。したがって、このシステムが新しい発振器の結合系を調査するモデルとなることが期待できる。2テンプレートCNNの各セルの状態方程式と出力特性は、ある座標 i, j のセルを $c(i, j)$ とすれば以下の通りである。

1:セル α の状態方程式

$$\begin{aligned} \frac{dx_{ij}}{dt} = & -x_{ij} + I_{\alpha} \\ & + \sum_{c(k,l)} A_{\alpha}(i, j; k, l)y_{kl} \\ & + \sum_{c(k,l)} B_{\alpha}(i, j; k, l)u_{kl} \end{aligned} \quad (1)$$

2:セル β の状態方程式

$$\begin{aligned} \frac{dx_{ij}}{dt} = & -x_{ij} + I_{\beta} \\ & + \sum_{c(k,l)} A_{\beta}(i, j; k, l)y_{kl} \\ & + \sum_{c(k,l)} B_{\beta}(i, j; k, l)u_{kl} \end{aligned} \quad (2)$$

3:出力特性

$$y_{ij} = f(x_{ij}). \quad (3)$$

$$f(x) = 0.5(|x + 1| - |x - 1|). \quad (4)$$

ここで、 u_{ij} は入力、 y_{ij} は出力、 x_{ij} は状態変数、 I は閾値、 $A_{\{\alpha\beta\}}(i, j; k, l)$ 、 $B_{\{\alpha\beta\}}(i, j; k, l)$ はそれぞれフィードバック及びフィードフォワードテンプレートである。

3. 2テンプレートCNNで確認されているいくつかの発振現象について

3.1 シミュレーションの設定

従来のCNNには安定性定理[16]が報告されており、特殊な設定やテンプレートが非対称でない場合には完全に安定であることが証明されている。2テンプレートCNNで見られる発振現象は、基本的には従来のCNNでは安定だと考えられる状態であり、2種類のテンプレートを用いたことによる発振であると考えられることから発振現象がみられること自体興味深いといえる。

これまでの研究において、テンプレートを上下左右対象となるように以下のようにパラメータ u, v, w で定義し、ルンゲクッタ法によるコンピュータシミュレーションを行った。

$$\begin{aligned} A_{\alpha} = \begin{pmatrix} -u & v & -u \\ v & w & v \\ -u & v & -u \end{pmatrix}, \quad A_{\beta} = \begin{pmatrix} u & -v & u \\ -v & -w & -v \\ u & -v & u \end{pmatrix}, \\ B_{\alpha} = 0, \quad B_{\beta} = 0, \quad I_{\alpha} = 0, \quad I_{\beta} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

その結果として、CNNにおける境界条件は複数あるが、2種類の境界条件において2テンプレートCNNの発振現象を確認した[10][12]。発振現象が確認できたものは、境界セルの値を0に設定する固定境界条件とネットワークをトラス状に結合した周期的境界条件である。我々は発振器結合系の結合係数と発振要因がそれぞれ u と v に対応していると考えており、この対応を調査するためにも、境界条件の影響を調査することは重要である。

以下に、各発振現象のコンピュータシミュレーション結果を示す。これらはすべて上記設定を用い、セルの数は 16×16 とした。

3.2 固定境界条件での発振現象1

図2は、境界条件に固定境界条件を用いたシミュレーション結果である。図2(1)から図2(4)は初期状態からの過渡状態を、図2(5)以降は定常状態をそれぞれ表している。図2(1)のようにすべてのセルの初期値状態値を1、すなわち黒に設定しているにもかかわらず、図2(2)において、すでに市松模様が見られる。その後、図2(3)、(4)と外側から網の目状に変化している。この後、網の目状が変化する過渡状態を経て、図2(5)からは、全体的に黒い状態から図2(7)のような網の目状の明るい状態から、濃淡が変化しながら暗くなり図2(15)あたりで図2(5)の状態へ戻る。このような状態が定期的な繰り返される。したがっ

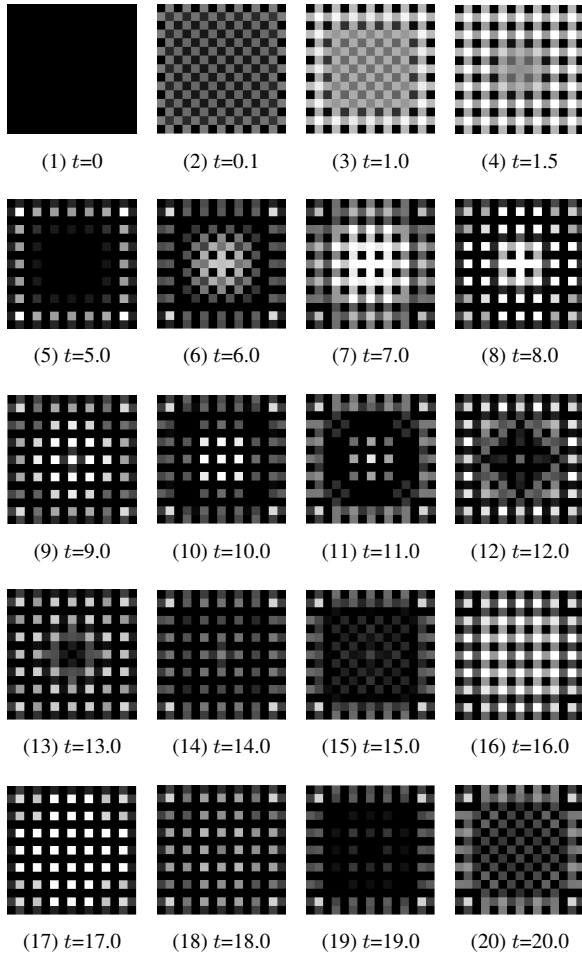


図2 固定境界条件で観察される発振現象1. $u = 1.0, v = 1.0, w = 1.0$. セルの初期状態値:すべて1.

て、周期はおおよそ10単位時間である。この図からは分かりにくいですが、セルの数を多くしたシミュレーションでは外側すなわち境界セルから波動が内側へと伝わっているようにみえる。また、発振現象は上下左右対象であることも特徴である。

3.3 固定境界条件での発振現象2

図3は、初期状態値を乱数に設定し、境界条件に固定境界条件を用いたシミュレーション結果である。すなわち、初期状態値が乱数であること以外は、図2と同じ条件での場合である。図3(1)から図3(4)は初期状態からの過渡状態を、図3(5)以降は定常状態をそれぞれ表している。図3(1)の初期状態から、すみやかにクラスタが生成(2)-(3)される。この場合、左上部とその他の部分に分かれている。その後、クラスタ自体は固定されるが、クラスタ間は変動し続ける(5)-(20)。この変動は、(5)(6)の繰り返しが(7)(8)、(9)(10)と見られ、その後も少しずつパターンがずれていくが周期的であることが分かる。この結果からは分からないが、クラスタ同士の境界のすべてがネットワーク自体の境界に接するという特徴や、これらのクラスタは4種類に分類することができるという特徴もある[11]。

3.4 周期的境界条件で発振現象

次に、初期状態値を全て1に設定し、境界条件に周期的境界条件を用いたシミュレーションを行った。しかしながら、発振

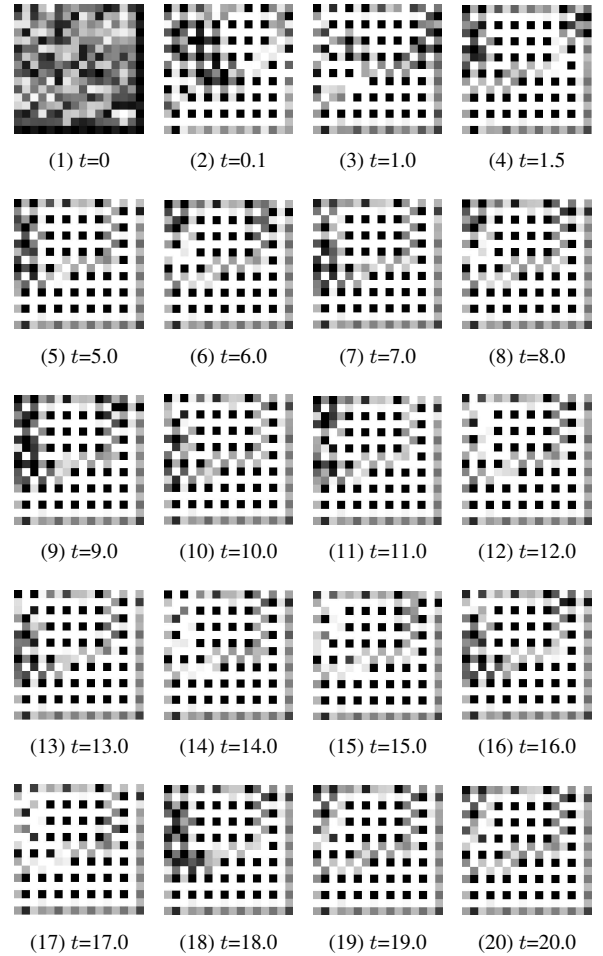


図3 固定境界条件で観察される発振現象2. $u = 1.0, v = 1.0, w = 1.0$. セルの初期状態値:乱数.

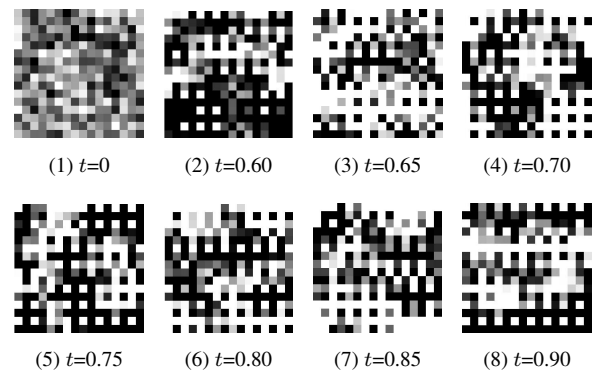


図4 周期的境界条件で観察される発振現象. $u = 2.0, v = 3.0, w = 1.0$. セルの初期状態値:乱数.

現象は観察されなかった。さらに、初期状態値に乱数を設定し、境界条件に周期的境界条件を用いたシミュレーションでは、過渡状態では振動していたが、時間経過と共に振動は収束した。しかしながら、テンプレートの値を変化させることにより、周期的境界条件を用いた場合でも発振現象を観察することができる。図4は初期状態値を乱数に設定し、境界条件に周期的境界条件を用いたシミュレーション結果である。このようにパラメータを $u = 2.0, v = 3.0, w = 1.0$ と設定すると、この現象

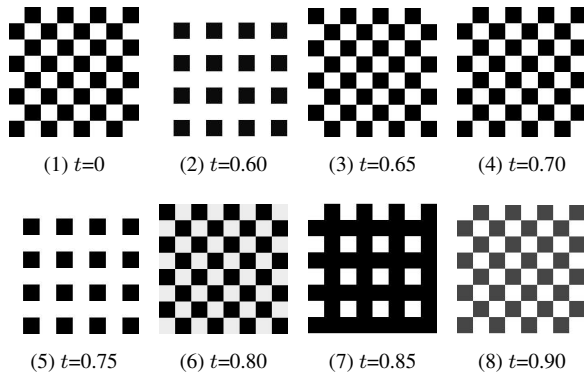


図5 周期的境界条件で観察される発振現象．セルの数： 8×8 ． $u = 2.0$ ， $v = 3.0$ ， $w = 1.0$ ．セルの初期状態値：乱数．

はシミュレーションで確認した限りでは，図4(1)-(8)のように明るい部分と暗い部分が不安定に変化し続ける状態となる．しかしながら，セルの数を 8×8 にした場合には，この状態が不規則な時間後に，図5のように整然としたパターンの繰り返しの状態になる．さらに，この変化するパターンを観察すると，発振は4種類に分類することができ，2組のペアでそれぞれ同期しているということも分かる．この結果は， 16×16 の場合でも整然としたパターンに落ち着く可能性を示唆しており，今後の調査が必要である．

4. それぞれの発振現象のちがいとネットワークポロジ

図2および図3のシミュレーションにおいて，ネットワークの境界から振動が始まっており，境界セルが発振現象に重要な要素といえる．また，図3の場合には，クラスタは4種類に分類することができるが，4種類の組み合わせによって，発振するものと一方のクラスタが他方のクラスタを取り込む場合があることが分かっている [11]．この結果は，発振には2種類のセルとその状態変数に何らかの規則性が必要であることが考えられる．一方，図4の場合においても， $u = 1.0$ ， $u = 1.0$ ， $w = 1.0$ では発振しないことが分かっている．以上の結果から， $u = 1.0$ ， $u = 1.0$ ， $w = 1.0$ の場合は，初期状態によって現象は多少異なるものの，境界条件が固定境界条件である必要があると考えられる．すなわち，ネットワークポロジが発振現象に関係しているといえる．

しかしながら， $u = 2.0$ ， $u = 3.0$ ， $w = 1.0$ の場合には，図4や図5のような発振現象が見られる．この場合，境界条件は影響しておらず，固定境界条件でも複雑な発振現象が見られる．したがって，パラメータに1以外の値が用いられる $u = 2.0$ ， $u = 3.0$ ， $w = 1.0$ のような場合には，ネットワークポロジに関係なく発振現象が見られる場合があるといえる．

5. まとめと今後の課題

本研究では，2テンプレートCNNにおけるネットワークポロジによる発振現象のちがいの調査を行った．結果として，以下の知見を得た． $u = 1.0$ ， $u = 1.0$ ， $w = 1.0$ の場合に

は，ネットワークポロジが発振現象に影響する． $u = 2.0$ ， $u = 3.0$ ， $w = 1.0$ のようにパラメータに1以外の値が用いられる場合，ネットワークポロジに関係なく発振現象が見られる場合がある．

我々は，2テンプレートCNNに発振現象が起こるということは，異なる2つのテンプレートをもつセルが互いに発振の要素として必要とし，それらが上下左右で共有し合いながら発振するという新しい発振器の結合系と見なすことができると考えている．この点において，ネットワークポロジが発振自体に影響するという事は反証となる．このため，ネットワークポロジが発振自体に影響しない， $u = 2.0$ ， $u = 3.0$ ， $w = 1.0$ のようなパラメータ1以外の場合について発振現象のメカニズムを明らかにすることが重要である．

文 献

- [1] L. O. Chua and L. Yang, "Cellular Neural Networks: Theory," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 35, no. 10, pp. 1257–1272, 1988.
- [2] L. O. Chua and L. Yang, "Cellular Neural Networks: Applications," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 35, no. 10, pp. 1273–1290, 1988.
- [3] L. O. Chua, M. Hasler, G. S. Moschytz and J. Neirynck, "Autonomous Cellular Neural Networks: a unified paradigm for pattern formation and active wave propagation," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 42, no. 10, pp. 559–577, 1995.
- [4] M. Nanba, and Z. Zhang, "Cellular Neural Network for Braille Image Recognition," *Proc. of IJCNN'06*, pp. 4716–4721, 2006.
- [5] K.R. Crounse, and L.O. Chua, "Methods for Image Processing and Pattern Formation in Cellular Neural Networks: A Tutorial," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 42, no. 10, pp. 583–601, 1995.
- [6] T. Roska, A. Zarandy and L.O. Chua, "Collor Image Processing by CNN," *Proc. of ECCTD'93*, pp. 57–62, 1993.
- [7] Z. Yang, Y. Nishio and A. Ushida, "Generation of Various Types of Spatio-Temporal Phenomena in Two-Layer Cellular Neural Networks," *IEICE Trans. Fund.*, vol. E87-A, no. 4, pp. 864–871, 2004.
- [8] P. Arena, S. Baglio, L. Fortuna and G. Manganaro, "Self-Organization in a Two-Layer CNN," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 45, no. 2, pp. 157–162, 1998.
- [9] Andras G. Radvanyi, "On the rectangular grid representation of general CNN networks," *Int. J. Circ Theor, Appl*, vol. 30, no. 2, pp. 181–193, 2002.
- [10] J. Fujii, Y. Hosokawa and Y. Nishio, "Wave Phenomena in Cellular Neural Networks Using Two Kinds of Template Sets," *Proc. of NOTLA'07*, pp. 23–26, 2007.
- [11] J. Fujii, Y. Hosokawa and Y. Nishio, "Clustering Phenomena on Cellular Neural Networks Using Two kinds of Templates," *Proc. of NCSP'08*, pp. 431–434, 2008.
- [12] J. Fujii, Y. Hosokawa and Y. Nishio, "Oscillatory Phenomena in Cellular Neural Networks Using Two Kinds of Templates," *Proc. of NOLTA'08*, pp. 688–691, 2008.
- [13] M. Oda, Z. Yang, Y. Nishio and A. Ushida, "Analysis of Two-Dimensional Conductive Plates Based on CNNs," *Proc. of NCSP'05*, pp. 447–450, 2005.
- [14] Z. Yang, Y. Nishio and A. Ushida, "Image Processing of Two-Layer CNNs — Applications and their Stability," *IEICE Trans. Fund.*, vol. E85-A, no. 9, pp. 473–490, 2002.
- [15] Z. Yang, K. Tsuruta, Y. Nishio and A. Ushida, "Investigation of Phase-Wave Propagation Phenomena in Second Order CNN Arrays," *Proc. of ISCAS'04*, vol. 3, pp. 49–52, 2004.
- [16] L. O. Chua and L. Tamas Roska, "Cellular Neural Networks and visual computing," *Cambridge University Press*, 2002.