

2つのテンプレートの切り替えを持つセルラニューラルネットワークの エッジ検出への応用

安藤 卓寿[†] 上手 洋子[†] 西尾 芳文[†]

[†] 徳島大学工学部 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2-1

E-mail: †{ando,uwate,nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp

あらまし 本研究では、2つのテンプレートの切り替えをもつセルラニューラルネットワーク (Cellular Neural Networks: CNN) を提案する。CNN はテンプレートと呼ばれるパラメータによって様々な処理が可能である。テンプレートとは CNN を構成するアナログ回路の結合パターンであり、CNN の動作を決定する。CNN のテンプレート配置において空間的に一様でないシステムは複雑な処理ができることが知られており、従来の空間的に一様な CNN の場合、複雑な処理は難しい。提案手法は、既存のテンプレートをセル毎に配置することで空間的に一様ではないシステムとなっている。エッジ検出において、従来の CNN に 3×3 テンプレートを用いると、入力画像の不鮮明な部分のエッジは検出できない。一方、 5×5 テンプレートを用いると、ノイズが出力画像に残ってしまう。そこで、私たちはこれら2つのテンプレートの切り替えを行う CNN を提案し、エッジ検出における効果を調査する。

キーワード セルラニューラルネットワーク、テンプレート、画像処理

Cellular Neural Networks with Switching Two Templates for Edge Detection

Takahisa ANDO[†], Yoko UWATE[†], and Yoshifumi NISHIO[†]

[†] Electrical and Electronic Engineering, Tokushima University,

2-1 Minamijosanjima, Tokushima, 770-8506 Japan

E-mail: †{ando,uwate,nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp

Abstract In this study, we propose Cellular Neural Networks (CNN) with switching two templates. CNN can be used for various image processing applications by the template. The template is the pattern of coupling that make a decision about behavior of CNN. In the processing of CNN, space varying system is known that it can perform complex processing. In the case of the conventional CNN which is spatially uniform, it is difficult to perform complex processing. The proposed method is space varying system that is set template on each cell of CNN. In the edge detection, the defocused parts is not detected by the conventional CNN with 3×3 template. On the other hands, some noises are left in the output image with 5×5 template. Therefore, we propose CNN with switching these two templates and investigate the effectiveness in the edge detection.

Key words Cellular Neural Networks, Template, Image processing

1. ま え が き

セルラニューラルネットワーク (Cellular Neural Networks: CNN) [1] は、1988年に L. O. Chua らによって考案された。CNN はセルラオートマトンの概念をニューラルネットワークに組み込んだもので、局所結合の特徴を持つ。CNN の構造は動物の網膜や画像データの構造と類似しており、様々な画像処理に用いられている [2]-[4]。CNN の動作はテンプレートと呼

ばれるパラメータによって決定される [5][6]。テンプレートはセル間の結合強度で与えられ、フィードバックテンプレート A、コントロールテンプレート B、閾値 I の3つの要素から構成されている。一般的に CNN には空間的に一様なテンプレートが与えられるが、複雑な処理を行うことは難しい。しかし、高速な並列処理能力を有することから、CNN を用いて複雑な処理ができれば、デジタル回路に代わるツールとして期待が高まっている。エッジ検出において、 3×3 テンプレートを用いて処

理するとき、画像の不鮮明な部分のエッジを検出することは困難である。一方、 5×5 テンプレートを用いると不鮮明な部分のエッジを検出することができる。しかし、ノイズが出力画像に残ってしまう。

本研究では、2つのテンプレートの切り替えをもつセルラニューラルネットワークを提案する。各セルに適用するテンプレートは、中央セルとその近傍セルの出力値によって決定される。この切り替え動作は各セルの出力値と時間によって行われるので、提案手法は時間的にも空間的にも一様でない。本研究では、エッジ検出に提案手法を用い、従来のCNNよりも効果的な処理が行えることを確認する。

2. セルラニューラルネットワーク

CNNは、セルと呼ばれるM行N列の基本回路単位が格子状に配列されている。セルは、線形と非線形の回路素子から構成されている。本研究では、セルの場所を直交座標系で $C(i, j)$ のように示す。iは垂直方向、jは水平方向を意味する。各セルはテンプレートによって近傍のセルとのみ結合する。CNNの構造を図1、各セルの状態方程式と出力方程式を以下に示す。

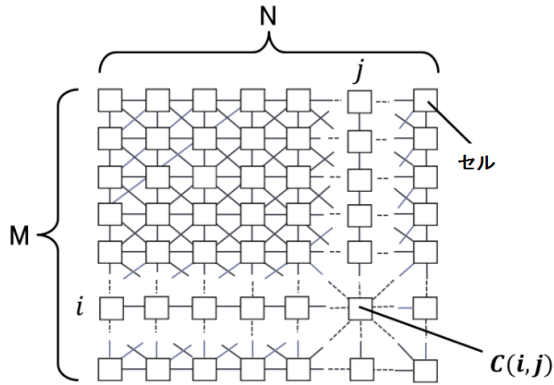


図1 CNNの構造。

状態方程式：

$$\frac{dv_x(ij)}{dt} = -v_x(ij) + \sum_{k=i-r}^{i+r} \sum_{l=j-r}^{j+r} A_{(i,j;k,l)} v_y(kl)(t) + \sum_{k=i-r}^{i+r} \sum_{l=j-r}^{j+r} B_{(i,j;k,l)} v_u(kl)(t) + I. \quad (1)$$

出力方程式：

$$v_y(ij)(t) = \frac{1}{2} (|v_x(ij)(t) + 1| - |v_x(ij)(t) - 1|). \quad (2)$$

v_x, v_y, v_u はそれぞれ状態値、出力値、入力値に対応し、式(1)のA, B, Iはそれぞれフィードバックテンプレート、コントロールテンプレート、閾値を示す。CNNの動作はこれらの値によって決定される。出力方程式は図2のような区分線形関数の特性を有し、CNNの出力値は-1から1の値をとる。

テンプレートはセルの近傍系の大きさに対応し、セル $C(i, j)$ の r 近傍は次のように定義される。

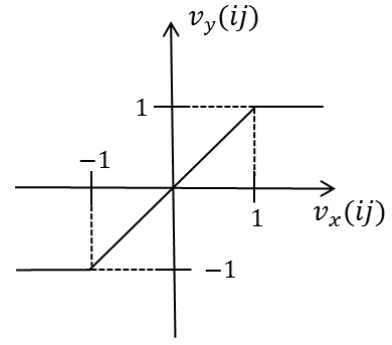


図2 区分線形関数。

$$N_r(i, j) = \{C(i, j) \mid (\max |k - i|, |l - j|) \leq r, 1 \leq k \leq M; 1 \leq l \leq N\}. \quad (3)$$

r は整数で、各セルは $(2r + 1)^2$ の近傍セルを持つ。

3. 2つのテンプレートの切り替えをもつCNN

本章では、提案手法のアルゴリズムを説明する。提案手法は、各セルを含む 3×3 近傍内での出力値によって2つのテンプレートの切り替えを行うものである。アルゴリズムの流れを以下に示す。

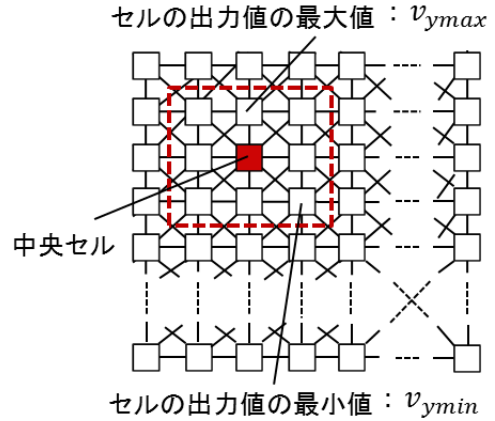


図3 提案手法

Step 1: まず、切り替え閾値 a を任意に決定する。この値によって2つのテンプレートは切り替えられる。

Step 2: テンプレートを適用する中央セルを決定する。その後、中央セルを含む 3×3 近傍内で、セルの出力値の最大値と最小値(v_{ymax} : 出力値の最大値、 v_{ymin} : 出力値の最小値)を見つける。

Step 3: v_{ymax} と v_{ymin} の差; $|v_{ymax} - v_{ymin}|$ を計算する。

Step 4: 各セルの値は、以下に示す与えられたテンプレート毎の状態方程式と出力方程式によって更新される。

3×3 テンプレートの状態方程式：

$$\frac{dv_x(ij)}{dt} = -v_x(ij) + \sum_{k=i-r_1}^{i+r_1} \sum_{l=j-r_1}^{j+r_1} A_1(i, j; k, l) v_x(kl)(t)$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{k=i-r_1}^{i+r_1} \sum_{l=j-r_1}^{j+r_1} B_1(i, j; k, l) v_{u(kl)}(t) + I_1 \\
& (|i-k| \leq r_1, |j-l| \leq r_1). \tag{4}
\end{aligned}$$

5 × 5 テンプレートの状態方程式 :

$$\begin{aligned}
\frac{dv_{x(ij)}}{dt} & = -v_{x(ij)} + \sum_{k=i-r_2}^{i+r_2} \sum_{l=j-r_2}^{j+r_2} A_2(i, j; k, l) v_{x(kl)}(t) \\
& + \sum_{k=i-r_2}^{i+r_2} \sum_{l=j-r_2}^{j+r_2} B_2(i, j; k, l) v_{u(kl)}(t) + I_2 \\
& (|i-k| \leq r_2, |j-l| \leq r_2). \tag{5}
\end{aligned}$$

出力方程式 :

$$v_{y(ij)}(t) = \frac{1}{2}(|v_{x(ij)}(t) + 1| - |v_{x(ij)}(t) - 1|). \tag{6}$$

Step 5 : 以下に示す不等式に従って中央セルに適用するテンプレートを決定する。

$$\begin{aligned}
3 \times 3 \text{ template: } & |v_{y_{max}} - v_{y_{min}}| \leq a \\
5 \times 5 \text{ template: } & |v_{y_{max}} - v_{y_{min}}| > a. \tag{7}
\end{aligned}$$

Step 2 から Step 5 は全てのセルに対して実行され、0.15 [τ] 毎に繰り返す。

4. シミュレーション結果

本章では、提案手法を用いたエッジ検出のシミュレーション結果を示す。画像中の物体の輪郭や境界線では一般的に濃淡が急激に変化しており、輝度の差が激しいほどエッジの検出はしやすい。しかし、ぼやけたり不鮮明な部分の検出は、近接するセルの値が近くなるので難しく、3 × 3 テンプレートを用いた場合検出が困難である。一方、5 × 5 テンプレートは2近傍のセルの値を考慮するため、比較的エッジの検出が可能である。本研究で使用するテンプレートは文献 [7] [8] から引用する。

3 × 3 テンプレート :

$$\begin{aligned}
A & = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \\
I & = -1. \tag{8}
\end{aligned}$$

5 × 5 テンプレート :

$$\begin{aligned}
A & = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \\
B & = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 16 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix},
\end{aligned}$$

$$I = -1. \tag{9}$$

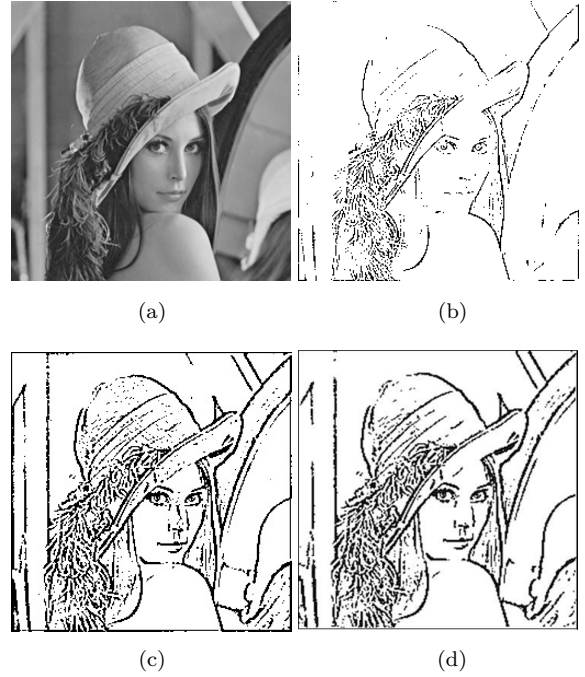
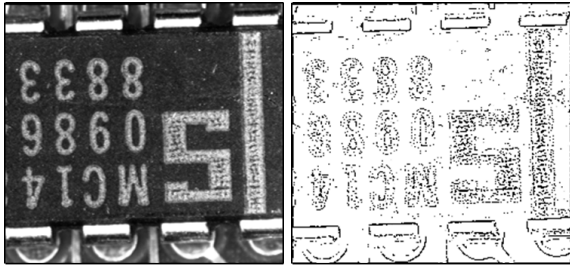


図4 シミュレーション結果 1. (a) 入力画像. (b) 3 × 3 テンプレートによる結果. (c) 5 × 5 テンプレートによる結果. (d) 提案手法による結果 ($a = 0.7$).

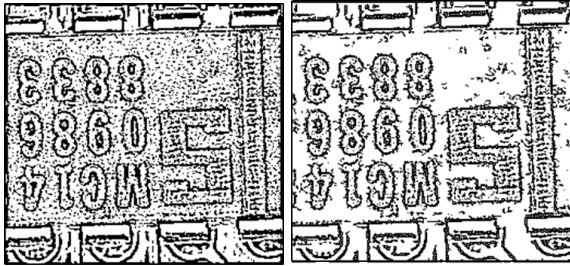
図4に提案手法によるシミュレーション結果1を示す。図4(a)の入力画像において、背景の左側の柱や女性の輪郭などは不鮮明な部分である。これらの部分を明確にエッジ検出することは困難である。図4(b)の3 × 3 テンプレートを用いた処理では、不鮮明な部分のエッジは検出されていない。一方、図4(c)の5 × 5 テンプレートを用いた処理では、不鮮明な部分のエッジは検出されているが、出力画像にノイズの影響が見られる。しかし、図4(d)の提案手法を用いた場合、不鮮明な部分のエッジを検出することができており、ノイズの影響も少ない。この結果から不鮮明な部分に5 × 5 テンプレートが用いられ、帽子などのノイズの影響が少なくなった部分には3 × 3 テンプレートが用いられたと考えられる。

次に、図5に提案手法によるシミュレーション結果2を示す。図5(a)の入力画像において、テキストの輪郭などは不鮮明な部分である。図5(b)の3 × 3 テンプレートを用いた処理では、テキスト部分のエッジは検出されていない。一方、図5(c)の5 × 5 テンプレートを用いた処理では、テキスト部分のエッジは検出されているが、出力画像にノイズの影響が見られる。しかし、図5(d)の提案手法を用いた場合、テキスト部分のエッジを検出することができており、ノイズの影響が少なくなっている。これは、テキスト部分に5 × 5 テンプレートが用いられ、その他の部分に3 × 3 テンプレートが用いられたためだと考えられる。これらの結果より、2つのテンプレートを切り替えることによって、提案手法は従来のCNNに比べて効果的にエッジを検出できると言える。



(a)

(b)



(c)

(d)

図5 シミュレーション結果 2. (a) 入力画像. (b) 3×3 テンプレートによる結果. (c) 5×5 テンプレートによる結果. (d) 提案手法による結果 ($a = 1.8$).

5. ま と め

本研究で私たちは、2つのテンプレートの切り替えをもつセルラニューラルネットワークを提案した。提案手法では、2つのテンプレートを中央セルを含む近傍内の出力値の最大値と最小値によって切り替える。提案手法をエッジ検出に適用した結果、入力画像の不鮮明な部分のエッジを検出でき、ノイズの影響を少なくすることができた。このようなことから、提案手法はエッジ検出において有効であると言える。

今後の課題として、エッジ検出以外の画像処理で提案手法が有効かどうかの調査、切り替え閾値 a の自動設定システムを考察することが挙げられる。

文 献

- [1] L. O. Chua and L. Yang, "Cellular Neural Networks: Theory," IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 32, pp. 1257-1272, Oct. 1988.
- [2] F. Dirk and T. Ronald, "Coding of Binary Image Data using Cellular Neural Networks and Iterative Annealing," Proc. of ECCTD'03, vol. 1, pp. 229-232, Sep. 2003.
- [3] M. Namba and Z. Zhang, "Cellular Neural Network for Associative Memory and Its Application to Braille Image Recognition," Proc. of IJCNN'06, pp. 4716-4721, Jul. 2006.
- [4] H. Koeppl and L. O. Chua, "An Adaptive Cellular Nonlinear Network and its Application," Proc. of NOLTA'07, pp. 15-18, Sep. 2007.
- [5] M. Hänggi and G. S. Moschytz, "Cellular Neural Networks Analysis, Design and Optimization." Kluwer Academic Publishers.
- [6] Z. H. Yang, Y. Nishio and A. Ushida, "Image Processing of two-layer CNNs -applications and stability-," IE-

ICE. Trans. Fundamentals, vol. E85-A, no. 9. pp. 2052-2060, Sept. 2002.

- [7] L. Kek, K. Karacs and T. Roska, Cellular Wave Computing Library (Templates, Algorithms, and Programs), Version 2.1, Cellular Sensory Wave Computers laboratory, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, 2007.
- [8] Y. Kato, Y. Ueda, Y. Uwate and Y. Nishio, "Cellular Neural Networks with Switching Two Types of Templates," Proc. of IJCN' 11, pp. 1423-1428, Jun. 2011.