

SWCNN における信頼度評価 TMR の提案 *

松本勝慶[†] 上原稔[†] 森秀樹[†]東洋大学大学院工学研究科情報システム専攻[†]

1 はじめに

Cellular Neural Networks (CNN) はテンプレートを変更することにより、画像処理、パターン認識などの様々なアプリケーションが可能となる。CNN で画像処理を行う場合、Small-World ネットワークのネットワークモデルを組み込むことにより、画像処理の処理性能を向上させる Small-World CNN が提案されている [1][2][3]。しかしながら、この提案された SWCNN は故障やエラーが発生した場合、対処する方法が考慮されていない。そこで、本研究では、多重化冗長方式を用いた SWCNN の評価を行う。また、信頼度評価型 TMR を用いた SWCNN の提案をする。

2 Small-World Cellular Neural Networks (SWCNN)

SWCNN は、CNN に Small-World ネットワークを組み込むことにより、画像処理のタスクにおいて性能を向上させることが可能である [1][2][3]。

small-world ネットワークは、規則的なネットワークとランダムなネットワークの間に存在するネットワークである [1][2][3]。この small-world ネットワークでは、ネットワーク構造を表す特徴量で C と L で示される。 L はクラスタリング係数である。 L は全てのノード間の最短パス長の平均である。small-world ネットワークは、 C が大きく L が小さい。

CNN は、規則的に並べられたニューロンが局所的に結合したニューラルネットワークである。SWCNN は、CNN のネットワーク構造に small-world ネットワークを適用させた CNN である [1][2]。Fig.1 に SWCNN のネットワーク構造を示す。

このようなネットワークを形成するために、ランダムに結合する確率 p_c を導入する。ランダムに結合するノードは 1 対 1 のみに対応する。そのため、増加するエッジはノードの総数半分である。SWCNN の状態方程式を式 (1) に、出力方程式を式 (2) に示す。

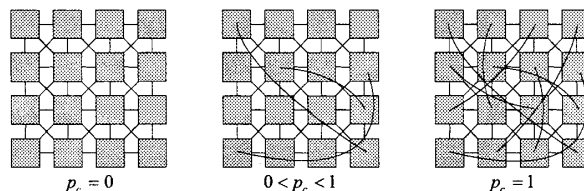


Fig. 1. SWCNN のネットワークイメージ

ここで x_{ij} は状態で、 y_{ij} は出力を示し、 u_{ij} は入力を示す。 A は出力テンプレートで B は入力テンプレートである。出力テンプレートは、フィードバックテンプレートであり、出力 y_{ij} に依存する。入力テンプレートはフィードフォワードテンプレートであり、入力 u_{ij} に依存する。 $N_r(ij)$ は素子の近傍を示す。 kl は素子の近傍素子である。近傍距離は r の値によって決まる。

$$x_{ij}(t+1) = -x_{ij}(t) + I + w_c M(ij, pq) y_{pq}(t) + \sum_{kl \in N_r(ij)} A(ij, kl) y_{ij}(t) + \sum_{kl \in N_r(ij)} B(ij, kl) u_{ij}(t) \quad (1)$$

$$y_{ij}(t) = \frac{1}{2} (|x_{ij}(t) + 1| - |x_{ij}(t) - 1|) \quad (2)$$

I は閾値である。出力 y_{ij} は、 $-1 \sim 1$ までの値を出力するように設計されている。入力 u_{ij} は $-1 \sim 1$ までの値のみ入力する。ランダムに結合する素子同士の結合は 1 対 1 のみ結合し、 $p_c = 1$ の場合、SWCNN の増加したエッジ数は素子数の $1/2$ となる。 w_c はランダムに結合する素子同士の結合係数である。 $M(ij; pq)$ は素子 ij と素子 pq が結合することを示す。確率 p_c によって、 $M(ij; pq)$ の結合が決定される。

3 多重化 Small-World Cellular Neural Networks

3.1 SWCNN with TMR

SWCNN with TMR では、TMR 方式を用いて SWCNN のフォルト・トレランス性の向上を図る。TMR は古くからあるエラーマスク方式で、同一のモジュールを三重化し、その出力を多数決し、出力が決定される [5]。

*Proposal of Reliable TMR on Small-World Cellular Neural Networks

[†]Department of Open Information Systems, Graduate School of Engineering, Toyo University

TMR方式を用いたSWCNN (Fig.2)では, SWCNNを3つ並列し, 同一箇所のニューロンの出力を多数決することでSWCNNのフォルト・トレランス性を向上させる。

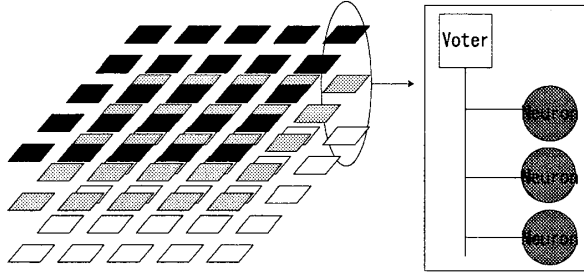


Fig. 2. SWCNN with TMR

3.2 信頼評価型 TMR

信頼評価型 TMR では, TMR方式を用いたSWCNNに信頼度を評価する。信頼度の評価方法は, TMRで多数決の結果により, 少数となったニューロンに対しそのニューロンの信頼度評価を下げる。3つのニューロンの出力がすべて異なる場合, 最も信頼度の高いニューロンを選択し出力する (Fig.3)。

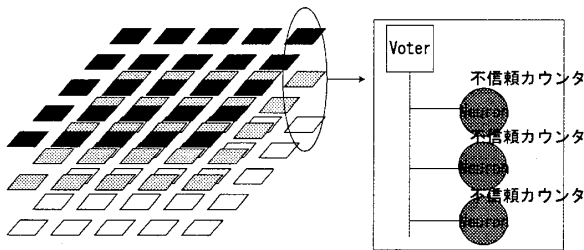


Fig. 3. 信頼評価型 TMR

4 評価

本研究では, SWCNNの画像処理のテンプレートを用いて, 評価を行う。画像処理のテンプレートとして, ノイズ除去を利用し, ランダム結合確率 p_c とランダム結合荷重 w_c を示す。故障モデルとして間欠故障を用いて実験を行った。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, I = 0$$

$$w_c = 2.0, p_c = 1.0$$

また, 評価として不一致率を用いて評価する。不一致率は, 故障率0時の出力画像と画素ごとにと比較し, 不

致であったニューロン数を数え, 全ニューロン数で割る (不一致率 = 故障ニューロン数/全ニューロン数)。

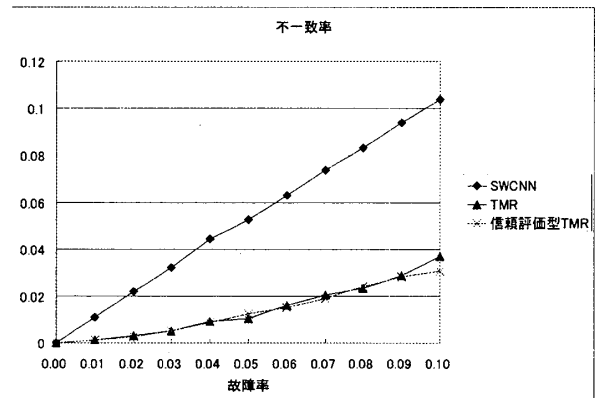


Fig. 4. 信頼評価型 TMR

SWCNNにTMRを用いることにより, 故障率を1/3 ~ 1/5に抑えることができた。故障率が低い場合, 信頼評価型TMRとTMRではほぼ故障率に変化が見られないが, 故障率が高くなると信頼評価型TMRでは, より故障を抑えることができた。

5 まとめ

本研究では, SWCNNにおいてTMR, 信頼型TMRを用いたフォルト・トレランス方法を提案し, 評価を行った。多重化を行うことにより, SWCNNのフォルト・トレランス性は向上した。しかし, TMRでは, モジュールが3倍必要である。また, 信頼評価型TMRでは, 故障率高くならないと効果が得られないことがわかった。

今後の課題としては, 二重化を用いた信頼評価を行うことにより, モジュール数を減らす方法を提案する。

参考文献

- [1] K. Tsuruta, et al, "Small-World Cellular Neural Networks for Image Processing Applications", ECCTD'03-European Conference on Circuit Theory and Design, vol.1, pp.225-228
- [2] K. Tsuruta, et al, "Two types of Network Topologies of Small-World Cellular Neural Networks", RISP International Workshop on Nonlinear Circuit and Signal Processing(NCSP'04), pp.113-116
- [3] L. O. Chua, et al., "Cellular Neural Networks: Theory", IEEE Transactions Circuit and Systems vol.35, 10, pp.1257-1272
- [4] D. J. Watts, et al., "Collective dynamics of 'small-world' networks, Nature", vol. 393, pp.440-442
- [5] D. K. Pradhan, "Fault-Tolerant Computing System Design", Prentice Hall