

## 二重化を用いた Small World Cellular Neural Networks におけるフォルト・トレランス実装

### Implementation of Fault Tolerance Techniques for Small World Cellular Neural Networks with Duplex

松本 勝慶† 上原 稔† 森 秀樹†  
Katsuyoshi Matsumoto Minoru Uehara Hideki Mori

#### 1. はじめに

SWCNN (Small World Cellular Neural Networks) による画像処理の方式が提案されている[1][2]。この方式では、グレースケール画像のエッジ検出、ノイズ除去などが容易に可能である。このような画像処理では大量のハードウェアモジュールが組み込まれ、フォルト・トレランスが重要となってくる。

提案されている SWCNN で故障回避をする場合、多重化を用いることで故障を抑えることが可能である[4]。しかしながら、多重化を用いる方法では、多くのモジュールが必要である。

また、CNN にスモール・ワールドのネットワーク構造を導入することにより、処理を高速に伝搬する特徴があり、故障が発生した場合、エラーの伝搬も高速となる。

そこで本論文では、より少ないモジュールで故障回避を行うため、比較を用いて故障を検出し、故障箇所切り離すことで故障回避を行う方法を提案する。

#### 2. Small World Cellular Neural Networks

(SWCNN)

SWCNN は、セルラ・ニューラル・ネットワーク (Cellular Neural Networks : CNN) において、スモール・ワールド・ネットワークを組み込むことにより、CNN のタスク性能の向上が見込まれる[1]~[3]。

SWCNN は、CNN のネットワーク構造にスモール・ワールド・ネットワークを適用させた CNN である[1][2]。SWCNN のネットワーク構造を図 1 に示す。

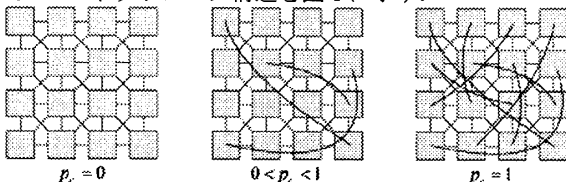


図 1. SWCNN のネットワーク・イメージ

このようなネットワークを形成するため、ランダムに結合する確率を導入する。確率  $p_c$  が 0 の時、オリジナルの CNN と同じである。確率  $p_c$  が 1 の時、すべてのセルが 1 対 1 にリンクしている。

以下に SWCNN の状態方程式、出力方程式を示す。状態方程式

$$\begin{aligned} x_{ij}(t+1) = & -x_{ij}(t) + I + w_c M(ij, pq) y_{pq}(t) \\ & + \sum_{k \in N_c(i,j)} A(ij, kl) y_{kj}(t) \\ & + \sum_{k \in N_c(i,j)} B(ij, kl) u_{ij} \end{aligned}$$

† 東洋大学大学院工学研究科情報システム専攻

† Department of Open Information Systems Graduate School of Engineering

出力方程式

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

#### 3. Fault Tolerance technique for SWCNN

##### 3.1 二重化比較器

本研究では、二重化比較器を用いて、SWCNN のフォルト・トレランス性の向上を図る。二重化比較器では、同一のモジュールを並列にし、同一データに対して演算を同時に行いその出力結果を比較することにより、故障を検出する[4][5]。

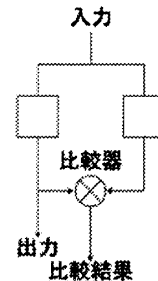


図 2. 二重化検出方式

##### 3.2 SWCNN with TMR

SWCNN に TMR[4][5]を用いることにより、耐故障性を高めることができる[6]。この手法では、SWCNN を 3 つ並べ、出力の多数決を行う。多数決の結果により、出力を決定する(図 2)。しかしながら、TMR 方式では、ニューロン素子が通常の SWCNN より 3 倍必要となる。

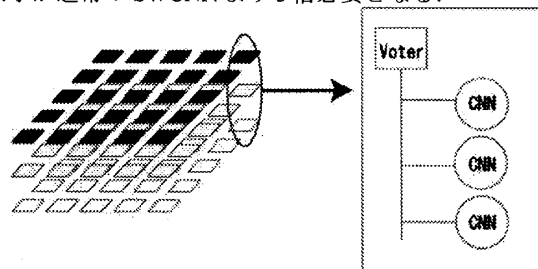


図 3. SWCNN with TMR

##### 3.3 SWCNN with Duplex

本論文では、二重化比較方式を用いて故障ニューロンの検出を行う。検出された故障ニューロンは、切り離しを行いフォルト・トレランス性の向上を図る(図 3)。

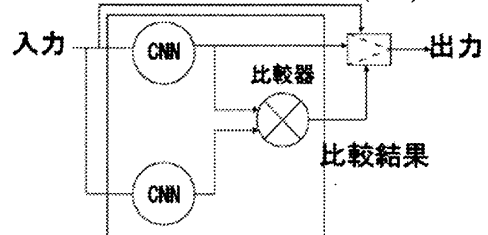


図 4. SWCNN with Duplex

切り離された箇所ニューロンは、入力画像のデータを利用する。

4. 実験

4.1 実験, 評価方法

実験方法として、以下の条件で行う。

- 故障モデル 1, 0の固定故障
- 故障率 0~0.1
- ランダム結合確率 1で固定

評価に利用するテンプレート、ランダム結合荷重を以下に示す。

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

$$w_c = 2.0, p_c = 1.0$$

評価として、以下の点を注目し、評価を行う。

- 故障率0時の出力画像との比較

以下の画像を用い評価を行った。

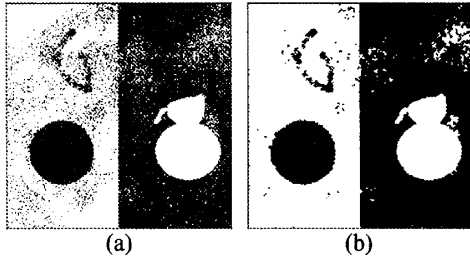
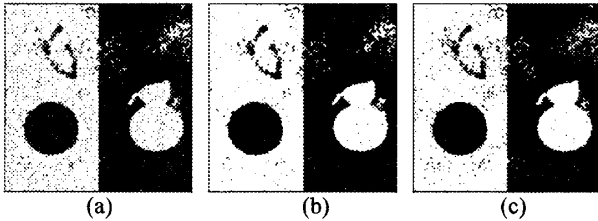


図5. 原画像(a)と故障率0時の処理画像(b)

図4(a)は原画像で、(b)はノイズ除去を故障率0でシミュレーション結果の画像である。

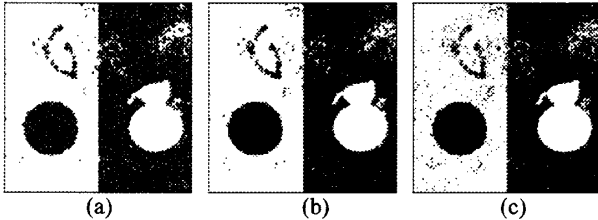
4.2 評価

提案した方法での出力画像を以下に示す。



(a)SWCNNのみ (b)TMR (c)Duplex

図6. 故障率0.1, 0故障時の出力画像



(a)SWCNNのみ (b)TMR (c)Duplex

図7. 故障率0.1, 1故障時の出力画像

提案した方法では、0故障, 1故障どちらもフォルト・トレランスを達成できた。

見た目では、TMR, Duplexを用いることにより、故障を抑えることができた。

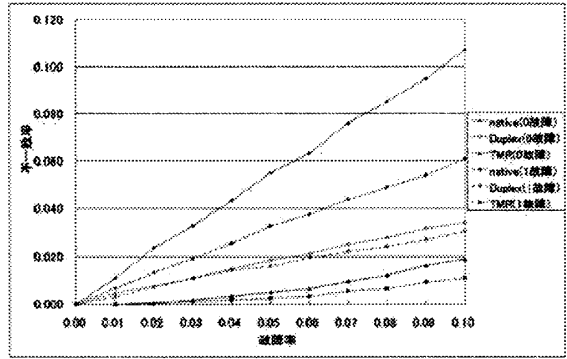


図8. 画素ごとの出力結果

図6は、故障率0の時の出力画像と SWCNNの故障率を変化させた場合の出力画像を画素ごとに比較し、不一致率をグラフ化した。

フォルト・トレランス手法を実装することにより、TMRでは、故障をおよそ1/5にすることができた。また、Duplexでは、0故障, 1故障問わずおよそ故障を半分を抑えることができた。

5. まとめ

本研究では、画像処理用SWCNNにおけるフォルト・トレランスを行うために、多重化技法TMR, 比較検出による故障箇所の分離を用いた。比較故障検出による故障箇所の分離では、故障をある程度抑えることができた。比較故障検出による分離方法では、故障箇所では、故障箇所が検出できない場合故障を回避できない。

今後の課題として、故障箇所分離方式での故障検出箇所の故障モジュールの特定を行い、復旧可能にすることが挙げられる。

参考文献

- [1] Kazuya Turuta, et al., "Small-World Cellular Neural Networks for Image Processing", ECCTD'03-European Conference on Circuit Theory and Design, vol. 1, pp225-228, 2003
- [2] Kazuya Turuta, et al., "On 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, 2004
- [3] L. O. Chua, L. Yang, "Cellular Neural Networks: Theory", IEEE Transactions Circuit and Systems vol. 35, 10, pp1257-1272, 1988
- [4] Dhira K. Pradhan, "Fault-Tolerant Computer System design", Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996
- [5] 向殿政男, 秋田雄志, 奥村幸一, 尾崎俊治, 菊野亨, 古賀義亮, 南谷崇, 藤原秀雄, 蓬原弘一, 船津重弘, 山田茂, "フォルト・トレラント・コンピューティング", 丸善, 1989
- [6] Katsuyoshi Matsumoto, et al., "Fault Tolerance in Small World Cellular Neural Networks for image processing", In Proc. of 21th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshop/Symposia 2007, Vol. 1, pp.835-839, 2007