

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.

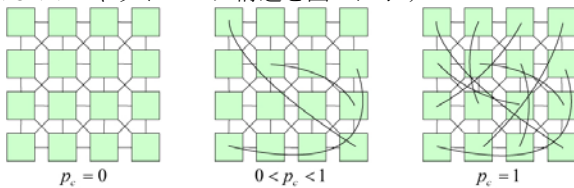


図 1. SWCNN のネットワーク・イメージ

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

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

† 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実行し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].

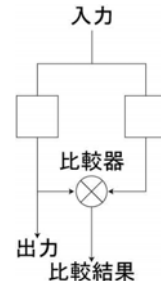


図 2. 二重化検出方式

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.

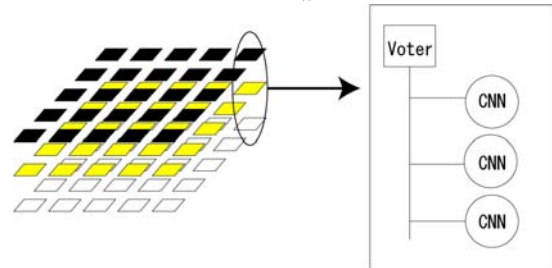


図 3. SWCNN with TMR

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).

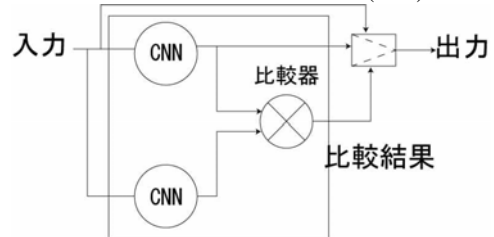


図 4. SWCNN with Duplex

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。

ノイズ除去

このタスクは、以下のテンプレートを用いることにより、画像中のノイズを除去することが可能となる。

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

$$w_c = 2.0, p_c = 1.0$$

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。

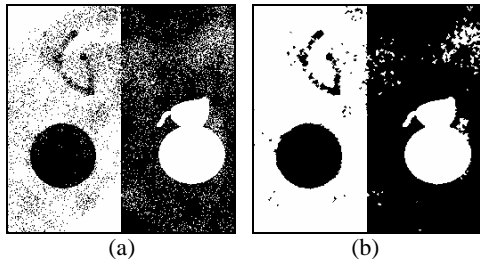
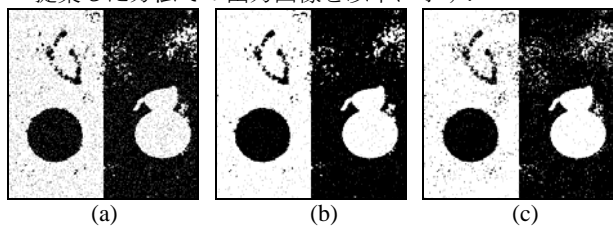


図 5. 原画像(a)と故障率 0 時の処理画像(b)

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。

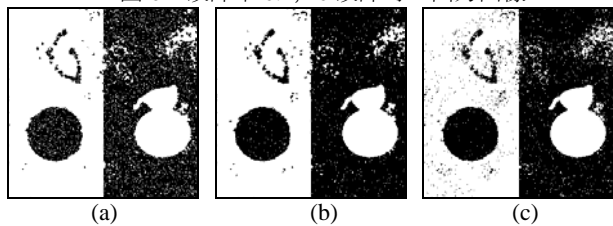
4.2 評価

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。

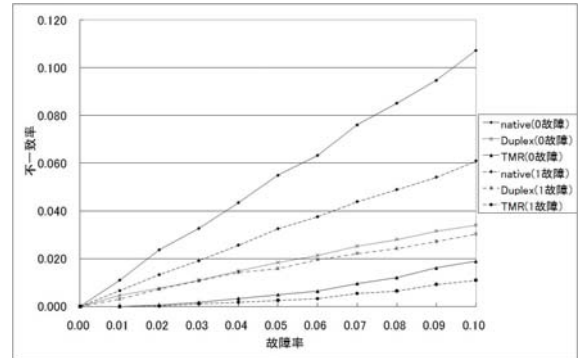


図 8. 画素ごとの出力結果

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