

S 字関数形重み制限を用いたフォールトトレラントニューラル ネットワークの設計

Design of the Fault-Tolerant Neural Networks Using the Weight Limitation Shaped S-Function

苫米地 宣裕*, ○佐々木 格*

Tomoyuki Tomabechi*, ○Itaru Sasaki*

*八戸工業大学

*Hachinohe Institute of Technology

キーワード: ニューラルネットワーク (neural network), フォールトトレラント
(fault tolerance), 重み制限 (weight limitation)
S 字関数 (S-function), 設計 (design)

連絡先: 〒031-8601 青森県八戸市妙字大開 88-1 八戸工業大学苫米地研究室
苫米地 宣裕, Tel0178-25-3111, E-mail:tomabechi@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

本研究では機器のリアルタイム制御に用いるニューラルネットワークの耐故障設計について論ずる。

ニューラルネットワークの静的な応用においては、故障が生じた場合、再処理、あるいは再学習などの処置をとることができる。しかし、機器のリアルタイム制御においては故障の影響が一瞬でも外部に現れることが問題となる。

本研究では、次のことを明らかにした。

- ① ニューロン 1 個が故障すると、ニューラルネットワークのパラメータをどのように選択しても、認識不能／誤認識が生ずるか明らかにした。

- ② シナプスの重みの取りうる範囲を制限することにより、故障の影響を軽減するような耐故障ニューラルネットワークの構成法を提案した。

- ③ 重み制限関数として、対称 S 字関数を適用すると、耐故障設計が容易になること、および、誤認識の度合いが低下することを明らかにした。

2. 対象とするニューラルネットワークと故障モデル

リアルタイム制御応用については、故障が生じた場合、故障の影響が外部に現れないことが重要である。すなわちフォールトトレラント（故障の被覆）が要求される。

2.1 対象とするニューラルネットワーク

本研究では3層階層型ニューラルネットワークを使用する。図1にニューロンモデルを示す。入力を I_i 、シナプスの重みを W_i しきい値を H 、出力を O とするとニューロンの機能は次式で表される。

$$x = \left(\sum_i W_i I_i \right) - H \quad (1)$$

$$O = 1 / (1 + e^{-x})$$

図2に3層階層型ニューラルネットワークの構成を示す。本ニューラルネットワークの学習には、誤差逆伝播法を用いる。その計算は次式のようにになる。但し、教師信号を T_j ($j=0 \sim 9$)、出力層ニューロンの出力を O^0_j 、中間層ニューロンの出力を O^1_j 、シナプスの重みを W_j 、重み修正係数を ε と表している。

$$d^0_j = (O^0_j - T_j) O^0_j (1 - O^0_j) \quad \text{出力層の場合} \quad (2)$$

$$d^1_j = \sum_a d^0_a W^1_{j,a} O^1_j (1 - O^1_j) \quad \text{中間層の場合} \quad (3)$$

$$\Delta W = -\varepsilon d_j O_j \quad (4)$$

$$W_j = W_j + \Delta W \quad (5)$$

すべての入力データについて、(1)~(5)の計算を繰り返す。このとき、認識誤差 R は次式で表される。

$$R = \sum_j (O^0_j - T_j)^2 \quad (6)$$

(1)~(6)の計算をさらに繰り返し、 R が

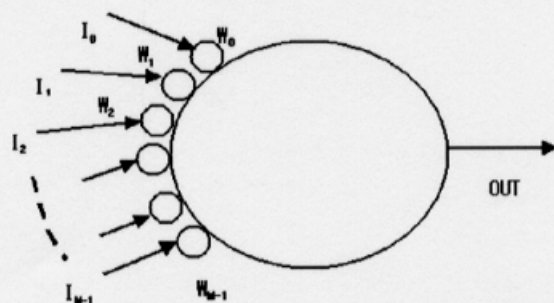


図1 ニューロンモデル

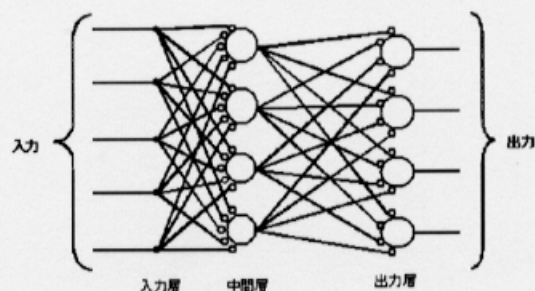


図2 3層階層型ニューラルネットワーク

$R < R_{\min}$ となったとき学習終了とする。 $R_{\min}$ の値は別途定めるが、大略0.1~0.01ととる。

2.2 文字認識システム

3層階層型ニューラルネットワークを用いて、文字認識システムを構成し、その耐故障性について検証する。故障状況が明快に把握できるよう出来るだけ簡単なシステムを選択することとする。次の3つを取り上げる。

- システム1：日の字(7セグメント)数字認識システム
- システム2：田の字(12セグメント)数字認識システム

図3に日に字認識システムの構成を示している。

2.3 故障モデル

故障モデルを以下のように設定する。

- ① 中間層ニューロンの故障についてのみ

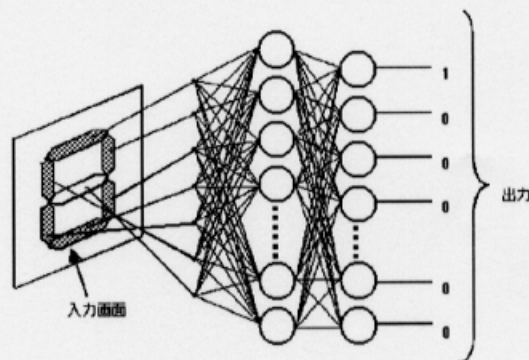


図3 日の字数字認識システム

検討する（出力層ニューロンについては、別途検討する）。

- ② 故障はニューロン1個単位で発生する。当面、故障は1個だけとする。
- ③ 故障が生じたニューロンの出力は0に固定される。
- ④ 故障が生じても影響が外部に出力されない事を目標とする。

3. 故障対策を持たないニューラルネットワークの故障シミュレーション

3.1 シミュレーションの方法

故障は、中間層ニューロンの1つを選び、その出力を0に固定する形式で与える。

またシステムの変数を次のように取る。

- 中間層ニューロンの個数
 $I_M = 6 \sim 10$ (10は出力の数)
- 重み修正係数
 $\varepsilon = 1 \sim 0.1$
- 学習終了条件
 $R_{min} = 0.1 \sim 0.01$

入力データを $I(i)_K$ ($K=0 \sim I_M-1$) と表し、対応する出力層出力を $O(i, j)_K$ と表す。ただし i は入力データの番号(英数字の番号)、 K は故障位置、 j は出力層の端子番号を表す。

このとき、 $O(i, j)_K > 0.5$ が成り立つならば、 k 番目のニューロンが故障しているという条件下で、 i 番目の入力データが正常に認識されたことを意味する。従って、システムが誤認識なしに正常に機能しているかどうかは、次のように判断することが出来る。

【判定】 $O(i, i)_K > 0.5$ がすべての i, K について成り立つとき、システムは正常である。

なお $O(i, i)_K \leq 0.5$ が、 K, j の在る値について、ひとつでも生ずれば、認識不能、または誤認識となる。以下、認識不能/誤認識を

まとめて誤認識と取り扱う。以下、 $O(i, i)$ を「一致点出力」と呼ぶこととする。

3.2 日の字数字認識システム

1) 故障を与えない場合

表1に故障を与えない場合の一致点出力、 $O(i, i)$ の値を示している。ただし、 $I_M=6$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ としている。

$O(i, i) > 0.5$ がすべての i について成り立ち、数字認識が正常に行われていることが分かる。

2) 故障を与えた場合

故障を与えたとき、すべての故障位置について、 $O(i, i) \leq 0.5$ となる箇所の数の合計を求める。この値を誤認識発生数とよび、故障の影響の大きさを表す指標とする。以下、誤認識発生数を D と表記する。

一般に、中間層ニューロンの個数： I_M を大きくすると誤認識発生数： D が減少する。また、 ε と R_{min} を小さくするほど、 D が減少する傾向が見られる。但し、 ε と R_{min} をあまり小さくすると学習に要する時間が極端に長くなる。

図4に中間層ニューロンの個数： I_M と誤認識発生数： D の関係を示している。図より、 $I_M=10$ (最大値) としても、誤認識が生ず

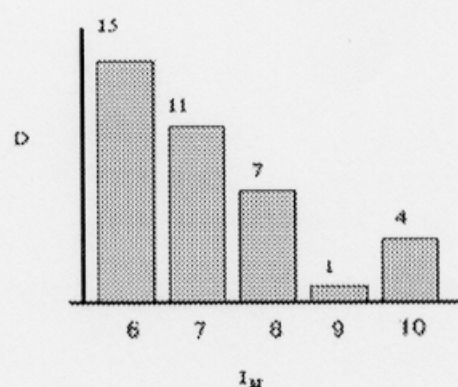


図4 I_M 対 D (日の字、故障なし)

$O(0,0)$	$O(1,1)$	$O(2,2)$	$O(3,3)$	$O(4,4)$	$O(5,5)$	$O(6,6)$	$O(7,7)$	$O(8,8)$	$O(9,9)$
0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.9	0.89	0.87

表1 $O(i, i) - 1$ 日の字数字認識システム、故障対策なし、障注入なし

$I_M = 6$ 、 $\varepsilon = 2$ 、 $R_{min} = 0.1$ の場合 $O > 0.5$ が正常認識、 $O \leq 0.5$ が誤認識

る事がわかる。表2は、 $I_M = 10$ とした場合の $O(i, i)_k$ ($k = 0 \sim I_M - 1$) を示している。4つの箇所で誤認識が生じている事が分かる。

3.3 田の字数字認識システム

図5に、中間層ニューロンの個数： I_M と誤認識発生数： D の関係を示している。図より、 $I_M = 10$ （最大値）としても、誤認識が生ずる事がわかる。表3は、 $I_M = 10$ としたばあいの $O(i, i)_k$ ($k = 0 \sim I_M - 1$) を示している。1つの箇所で誤認識が生じている事がわかる。ただし、0.5近傍の値が多く、状況によっては、容易に誤認識に陥る危険性が高いことが分かる。

日の字数字認識システムの場合と比較すると、田の字数字認識システムの方が誤認識の発生が少ない事が分かる。これは、田の字数字認識システムの方が、入力数が多く、冗長度が大きいためと考えられる。

以上より、次が得られる。

〔結果1〕誤り対策を施さないシステムでは、ニューロン1個の故障が生ずると、システムのパラメータをどのように選択しても、認識不能／誤認識が生ずる。

中間層ニューロンの出力が、出力層のすべてのニューロンに接続されているため、中間層ニューロン1個の故障が、出力層に大きな影響を及ぼす事が理解される。

4. 重み制限に基づく耐故障ニューラルネットワークの構成法

故障による誤認識の発生は、故障した中間層ニューロンに結合している中間層ニューロンのシナプスの重みが大きな値となっていることに起因すると考えられる。そこで、

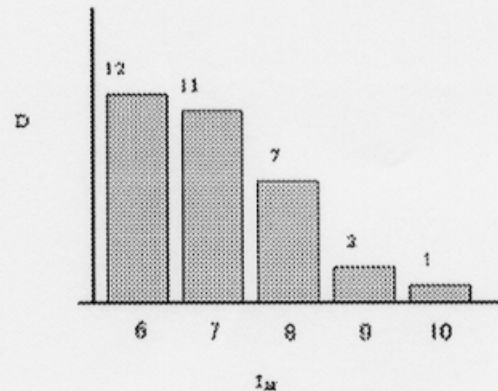


図5 I_M 対 D (田の字、故障なし)

シナプスの重みの取り得る範囲を制限することにより、故障の影響を軽減する事が出来ると考えられる。

4.1 重み制限の方法

出力層ニューロンのシナプスの重みを、ある範囲内に制限する方法を検討する。シナプスの重みを一般に W 、重みの限界値を $\pm W_0$ と表すと、次のようにする。

$$W \geq W_0 \geq -W_0$$

これは、学習時の誤差逆伝播計算における式(5)において、 $(W_j + \Delta W)$ の値が上記範囲を超えると判定された場合、増分 ΔW の加算を取りやめることによって実現する。

$$W_j = W_j + \Delta W \quad \text{再掲(5)}$$

なお、中間層ニューロンについては、重み制限はとくに行わない。

4.2 日の字数字認識システム

表4に、中間層ニューロンの個数： I_M と誤認識が発生する数： D の関係を示している。表より、 $I_M \geq 9$ とすると、誤認識が生じない事がわかる。表5は、 $I_M = 10$

k	O(0,0)	O(1,1)	O(2,2)	O(3,3)	O(4,4)	O(5,5)	O(6,6)	O(7,7)	O(8,8)	O(9,9)
0	0.98	0.95	0.98	0.56	0.75	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
1	0.63	0.91	0.53	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.97
2	0.96	0.71	0.98	0.98	0.93	0.97	0.98	0.69	0.98	0.98
3	0.9	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.91	0.94	0.47	0.97
4	0.9	0.98	0.93	0.99	0.98	0.94	0.97	0.99	0.98	0.87
5	0.97	0.98	0.98	0.98	0.93	0.98	0.97	0.95	0.88	0.7
6	0.99	0.98	0.99	0.89	0.96	0.99	0.98	0.87	0.85	0.19
7	0.98	0.98	0.84	0.94	0.98	0.97	0.96	0.98	0.76	0.98
8	0.98	0.99	0.98	0.84	0.98	0.86	0.98	0.9	0.98	0.96
9	0.98	0.98	0.98	0.97	0.94	0.15	0.2	0.98	0.98	0.98

表2 O(i, i) - 2 日の字数字認識システム、故障対策なし、故障注入

$I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{\min}=0.01$ の場合

k	O(0,0)	O(1,1)	O(2,2)	O(3,3)	O(4,4)	O(5,5)	O(6,6)	O(7,7)	O(8,8)	O(9,9)
0	0.97	0.66	0.94	0.9	0.92	0.97	0.98	0.97	0.97	0.98
1	0.53	0.98	0.89	0.97	0.98	0.97	0.98	0.94	0.97	0.98
2	0.97	0.96	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.73	0.98	0.91
3	0.97	0.99	0.99	0.97	0.95	0.98	0.93	0.95	0.89	0.98
4	0.74	0.98	0.99	0.95	0.98	0.95	0.97	0.99	0.98	0.84
5	0.98	0.98	0.97	0.98	0.89	0.98	0.98	0.98	0.5	0.72
6	0.98	0.98	0.98	0.81	0.95	0.96	0.98	0.93	0.83	0.85
7	0.98	0.91	0.65	0.94	0.98	0.98	0.9	0.98	0.94	0.96
8	0.98	0.98	0.98	0.94	0.98	0.46	0.93	0.97	0.98	0.98
9	0.97	0.98	0.94	0.98	0.94	0.55	0.5	0.97	0.98	0.98

表3 O(i, i) - 3 田の字数字認識システム、故障対策なし、故障注入

$I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{\min}=0.01$ の場合

$W_0=1.8$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{\min}=0.1$ とした場合の $O(i, i)_k$ ($k=0 \sim I_M-1$) を示している。 $O(i, i) > 0.5$ 、がすべて i について成り立ち、認識が正常に行われている事が分かる。

なお、重み制限を行うと、学習時に収束性が損なわれる場合が多く観測される。とくに、

I_M	8	9	10
D	-	0	0
収束条件		$\varepsilon=0.5$ $R_{\min}=0.2$	$\varepsilon=1$ $R_{\min}=0.1$

表4 I_M 対 D 田の字数字認識システム、重み制限あり、 $I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{\min}=W_0=1.8$ の場合

I_M の値が小さい場合に顕著となる。

4.3 田の字数字認識システム

表6に、 I_M と D の関係を示している。表より、 $I_M \geq 9$ とすると、誤認識が生じない事がわかる。表7は、 $I_M=10$ 、 $W_0=1.8$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{\min}=0.1$ とした場合の $O(i, i)_k$ ($k=0 \sim I_M-1$) を示している。 $O(i, i) > 0.5$ 、がすべての i について成り立ち、認識が正常に行われている事が分かる。

以上より、次が得られる。

〔結果2〕重み制限を施す事により、フォールトレラントシステムが得られる。

k	0(0,0)	0(1,1)	0(2,2)	0(3,3)	0(4,4)	0(5,5)	0(6,6)	0(7,7)	0(8,8)	0(9,9)
0	0.94	0.75	0.93	0.85	0.93	0.73	0.92	0.95	0.92	0.94
1	0.8	0.72	0.76	0.94	0.92	0.93	0.68	0.95	0.93	0.93
2	0.9	0.71	0.94	0.94	0.68	0.93	0.92	0.78	0.93	0.93
3	0.81	0.95	0.94	0.94	0.92	0.94	0.66	0.79	0.69	0.93
4	0.95	0.93	0.74	0.94	0.93	0.82	0.98	0.96	0.98	0.79
5	0.75	0.94	0.96	0.94	0.68	0.94	0.92	0.96	0.72	0.71
6	0.95	0.93	0.94	0.88	0.93	0.94	0.92	0.96	0.93	0.85
7	0.95	0.95	0.72	0.73	0.92	0.93	0.9	0.95	0.7	0.93
8	0.94	0.94	0.94	0.83	0.95	0.92	0.83	0.79	0.92	0.86
9	0.94	0.93	0.94	0.94	0.68	0.71	0.65	0.95	0.83	0.94

表5 0(i, i) - 4 日の字数字認識システム、重み制限あり

$I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ 、 $W_0=1.8$ の場合

k	0(0,0)	0(1,1)	0(2,2)	0(3,3)	0(4,4)	0(5,5)	0(6,6)	0(7,7)	0(8,8)	0(9,9)
0	0.92	0.73	0.93	0.82	0.88	0.93	0.93	0.95	0.92	0.94
1	0.68	0.96	0.72	0.94	0.95	0.92	0.93	0.79	0.93	0.93
2	0.91	0.73	0.93	0.94	0.96	0.69	0.93	0.97	0.92	0.69
3	0.97	0.96	0.93	0.94	0.79	0.93	0.68	0.83	0.68	0.93
4	0.67	0.94	0.91	0.95	0.95	0.95	0.98	0.93	0.98	0.93
5	0.92	0.94	0.8	0.95	0.85	0.93	0.94	0.94	0.67	0.75
6	0.92	0.94	0.94	0.74	0.96	0.94	0.93	0.71	0.8	0.68
7	0.95	0.75	0.94	0.9	0.96	0.93	0.68	0.93	0.68	0.93
8	0.92	0.94	0.93	0.77	0.95	0.69	0.82	0.72	0.92	0.94
9	0.92	0.94	0.77	0.94	0.81	0.68	0.68	0.93	0.93	0.93

表7 0(i, i) - 5 田の字数字認識システム、重み制限あり

$I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ 、 $W_0=1.8$ の場合

I_M	8	9	10
D	-	0	0
収束条件		$\varepsilon=0.5$ $R_{min}=0.2$	$\varepsilon=1$ $R_{min}=0.1$

表6 I_M 対D 田の字数字認識システム、重み制限あり $I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ 、 $W_0=1.8$ の場合

4.4 考察

図6に、重み制限を加えない場合の重みWの分布を示している。但し、田の字数字認識システム、 $I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ の場合を示している。重みが正規分布に近い形をしている事が分かる。図7に、重み制

限を加えた場合の重みの分布を示している。但し、田の字数字認識システム、 $I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ 、 $W_0=1.8$ の場合を示している。おもみWが、 $W_0 \geq W \geq -W_0$ 制限されていることがわかる。

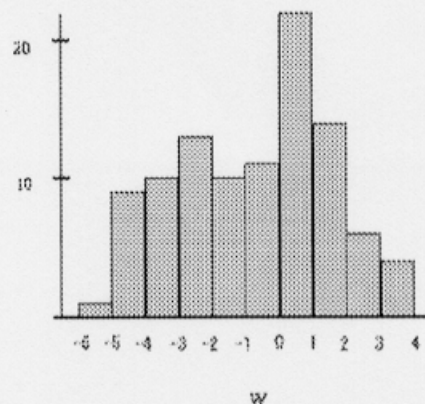


図6 重みの分布(重み制限なし)

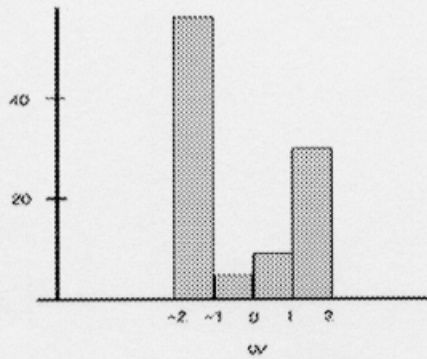


図7 重みの分布(重み制限あり)

5. 対称S字型重み修正係数の適用

5.1 対称S字関数

重み制限の問題点は、「誤差逆伝播」で保証されていた収束性が保証されなくなる事である。学習過程で、偏差Rがある限度以上には小さくならない事が、しばしば観測される。また、ある繰り返し以後、Rがむしろ増大していくような現象も観測される。できるだけ収束性を維持しながら重み制限する方法が望まれる。

重み制限関数としては、種々考えられるが、以下、対称S字関数を提案する。本関数を σ と表記し、次式で定義する。但し、Wは重み、 W_0 はしきい値、Bは指数関数の底を表している。

$$\sigma = 1/(1 + B^{(W-W_0)}) \quad (W \geq 0)$$

$$= 1/(1 + B^{(-W-W_0)}) \quad (W < 0)$$

図8は、 $B = 20$ 、 $W_0 = 2$ とした場合の対称S字関数 σ を示している。

σ による重み制限は、誤差逆伝播計算における式(4)を、次の式(7)、(8)に修正することによって実現する。

$$\Delta W = -\sigma d_j O_j \quad (7)$$

($W_j \geq 0$ 、かつ、 $\Delta W \geq 0$) または ($W_j < 0$ 、かつ、 $\Delta W < 0$) の場合

$$\Delta W = -\sigma d_j O_j \quad (8)$$

($W_j \geq 0$ 、かつ、 $\Delta W < 0$) または ($W_j < 0$ 、

かつ、 $\Delta W \geq 0$) の場合

式(8)は、重み制限範囲内に向かう方重み修正に対しては、 σ による制限をかけないことを意味する。

以下、前章で用いた重み制限関数を、方形重み関数と呼ぶ事にする。

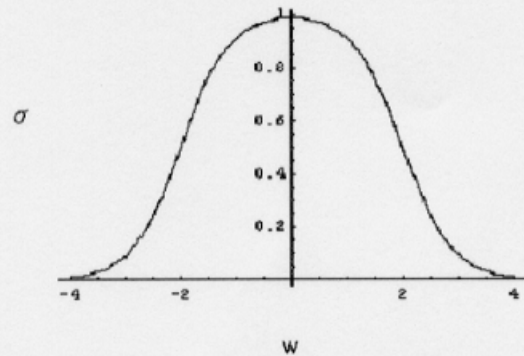


図8 対象S字関数グラフ

* $B = 20$ 、 $W_0 = 2$ の場合

5.2 日の字数字認識システム

学習過程で偏差Rが、単調減少するという結果が得られた。また、方形重み関数の場合と同様に、 $I_M \geq 9$ とすると、誤認識が生じないことがわかった。表8は、 $I_M = 10$ 、 $B = 20$ 、 $W_0 = 1.5$ 、 $\varepsilon = 1$ 、 $R_{min} = 0.1$ とした場合の $O(i, i)_k$ ($k = 0 \sim I_M - 1$)を示している。

図9は、 $O(i, i)$ の値の分布を示している。(a)は方形重み関数(b)は対称S字関数の場合を示している。 $O(i, i)$ の値が0.5より大きくても、0.5に近いほど、誤認識に陥る危険が高いと言えることができる。このことから、対称S字関数の方が誤認識の危険が低い事が分かる。

5.3 田の字数字認識システム

日の字システムの場合と同様に、学習過程でRが、単調減少するという結果が得られた。また、方形重み関数の場合と同様に、 $I_M \geq 9$ とすると、誤認識が生じないことが分かった。表9は、 $I_M = 10$ 、 $B = 20$ 、 $W_0 = 1.5$ 、 $\varepsilon = 1$ 、 $R_{min} = 0.1$ とした場合の $O(i, i)_k$ ($k = 0 \sim I_M - 1$)を示

k	O(0,0)	O(1,1)	O(2,2)	O(3,3)	O(4,4)	O(5,5)	O(6,6)	O(7,7)	O(8,8)	O(9,9)
0	0.93	0.86	0.88	0.9	0.85	0.87	0.95	0.91	0.91	0.93
1	0.81	0.95	0.94	0.89	0.94	0.95	0.81	0.91	0.79	0.92
2	0.82	0.85	0.96	0.93	0.93	0.71	0.94	0.78	0.9	0.93
3	0.93	0.89	0.96	0.93	0.86	0.94	0.74	0.76	0.73	0.92
4	0.87	0.95	0.96	0.94	0.94	0.93	0.92	0.95	0.96	0.95
5	0.88	0.96	0.81	0.93	0.88	0.94	0.93	0.93	0.95	0.79
6	0.93	0.94	0.96	0.77	0.96	0.95	0.93	0.95	0.81	0.86
7	0.93	0.95	0.93	0.91	0.85	0.93	0.95	0.91	0.78	0.78
8	0.94	0.88	0.96	0.78	0.96	0.93	0.86	0.75	0.91	0.82
9	0.94	0.95	0.96	0.93	0.9	0.84	0.82	0.76	0.74	0.84

表8 O(i, i)-6 日の字数字認識システム、対称S字重み制限

$I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ 、 $B=20$ 、 $W_0=1.5$ の場合

k	O(0,0)	O(1,1)	O(2,2)	O(3,3)	O(4,4)	O(5,5)	O(6,6)	O(7,7)	O(8,8)	O(9,9)
0	0.81	0.75	0.84	0.84	0.82	0.86	0.95	0.95	0.93	0.9
1	0.8	0.96	0.85	0.93	0.95	0.93	0.94	0.86	0.91	0.93
2	0.8	0.86	0.95	0.94	0.97	0.84	0.94	0.96	0.91	0.85
3	0.82	0.89	0.96	0.93	0.87	0.94	0.82	0.89	0.79	0.92
4	0.78	0.94	0.97	0.92	0.95	0.9	0.92	0.95	0.95	0.86
5	0.94	0.94	0.89	0.94	0.85	0.94	0.95	0.95	0.78	0.77
6	0.92	0.94	0.96	0.8	0.86	0.95	0.94	0.78	0.71	0.71
7	0.93	0.81	0.94	0.82	0.96	0.94	0.83	0.94	0.7	0.92
8	0.92	0.94	0.95	0.86	0.97	0.85	0.87	0.83	0.91	0.94
9	0.91	0.94	0.84	0.93	0.85	0.78	0.82	0.94	0.92	0.92

表9 O(i, i)-7 田の字数字認識システム、対称S字重み制限

$I_M=10$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{min}=0.1$ 、 $B=20$ 、 $W_0=1.5$ の場合。

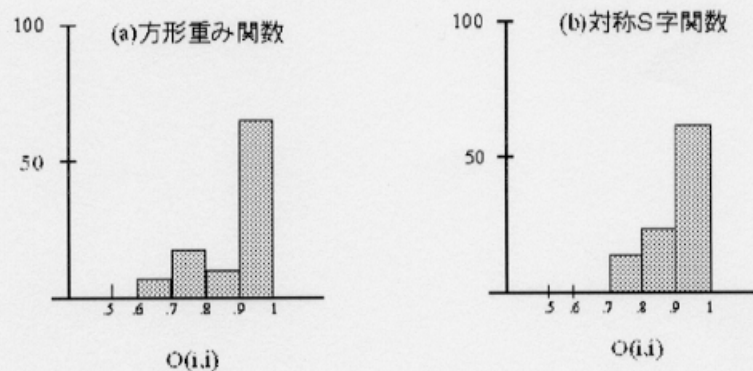


図9 O(i, i)の分布(日の字)(a)方形重み(b)対称S
縦軸：値に対する度数 横軸：一致点出力の値

している。

5.4 考察

図10に、対称S字関数の重みの分布を示している。ただし、田の字数字認識システム、

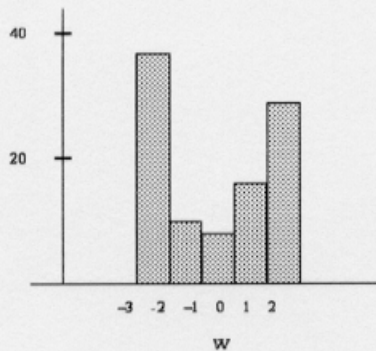


図10 重み分布(対称S字関数)

$I_M=10$ 、 $B=20$ 、 $W_0=1.5$ 、 $\varepsilon=1$ 、 $R_{mi_n}=0.1$ の場合を示している。図7に示した方形重み関数の場合に比較して、重みが分散していることが分かる。

対称S字関数は、鋭い立ち上がり・立下りを実現しながらも、不連続点が無いので、重み制限機能と誤差逆伝播法の収束性の両者を満足できると考えられる。

なお、重みの分布が、均一に近くなるような重み制限の方法が得られるのなら、耐故障性が一層向上すると考えられる。

6. 結論

本研究では、機器のリアルタイム制御に用いる専用ハードウェア型ニューラルネットワークの耐故障設計について検討し、次のような点を明らかにした。

- ① 3層階層型ニューラルネットワークを用いて数字・英字認識システムを構築し、ニューロンを単位とする故障を与えたとき、認識誤りを生ずるか否かを調べた。その結果、ニューロン1個の故障が生ずると、ニューラルネットワークのパラメータをどのように選択しても、認識不能/誤認識が生ずることが分かった。
- ② シナプスの重みの取り得る範囲を制限することにより、故障の影響を軽減するような耐故障ニューラルネットワークの構築を提案した。そして、本構成によれば、ニューロン1個の

こしょうによる認識不能/誤認識が生じないように設計できることを明らかにした。

- ③ 重み制限関数として、対称S字関数を提案した。本関数を用いると、誤差逆伝播法に基づく収束が得られやすく、耐故障設計が容易となること、かつ、誤認識の危険性が低下することを明らかにした。

今後、次のような課題について研究する予定である

- より複雑なシステムに関する検討
- 複数のニューロンの故障に関する検討
- 重み修正係数の更なる改善
- 出力層ニューロンの故障対策

参考文献

- (1)J. E. Dayhoff, 桂井浩訳, ニューラルネットワークアーキテクチャ入門, 森北出版, 1992.
- (2)岩井, 雨宮, ニューラルネットワーク LSI, 電子情報通信学会, 1995
- (3)苔米地宣裕, “全ハードウェア形高速ニューロプロセッサの設計”, 八戸工業大学情報システム工学研究所紀要, Vol. 10, pp. 1-4, 1998-3.
- (4)苔米地宣裕, “WSI 規模高速ニューロプロセッサ階層冗長構成法”, 電子情報通信学会論文誌, D-1, Vol. J81-D-1, No. 7, pp. 933-936, 1997-7.
- (5)N. C. hammadi and H. ito, “A learning algorithm for fault tolerant feedforward neural networks”, IEICE Trans. INF. & SYST., Vol. E80