

CS-121 階層型ニューラルネットワークを用いた道路橋RC床版の損傷要因推定

武蔵工大 学生会員 上谷 文和  
 武蔵工大 正会員 皆川 勝  
 (株)マエダ 正会員 佐藤 茂

1. はじめに

ニューラルネットワークは最近工学的分野に応用されている。その応用のほとんどが学習アルゴリズムとして誤差逆伝播を用いている。しかし、実際には誤差逆伝播アルゴリズムは学習速度が遅く、それ故に大きなネットワークを必要とする複雑な問題の学習には向いていない。本研究では、道路橋RC床版の損傷要因推定を対象問題とし、学習速度の速い対向伝播法と誤差逆伝播法の学習アルゴリズムの性能を比較・検討する。

2. 学習アルゴリズムの概要<sup>1)</sup>

(1) 誤差逆伝播

基本構造は、図-1に示すように入力層、中間層、出力層からなり、各層は人間の細胞を理想化した複数のユニットからなる。ニューラルネットワークは、入力信号を受け取ると入力層、中間層、出力層と信号が伝わり最終的に出力信号を出力する。入力層からの出力値  $a_j$  は、式(1)でユニット  $i$  からユニット  $j$  への重み  $w_{ji}$  を付加して加算される。 $S_j$  が計算された後、式(2)で示されるシグモイド関数を用いてユニット  $j$  の活性レベルが計算される。この順伝播がすべての中間層に対して行われ、出力層に出力値が提示される。順伝播終了後、教師信号  $t_k$  が出力値  $t_k$  と比較され出力層でのエラー値が式(3)により計算される。また、そのエラー値は逆伝播され、中間層の誤差が式(4)により求められる。このエラー値を用いて、重みは式(5)により更新される。ここで  $\eta$  は、学習率である。このような順伝播と逆伝播を繰り返し実行され、出力値と教師値の差を減少させる。

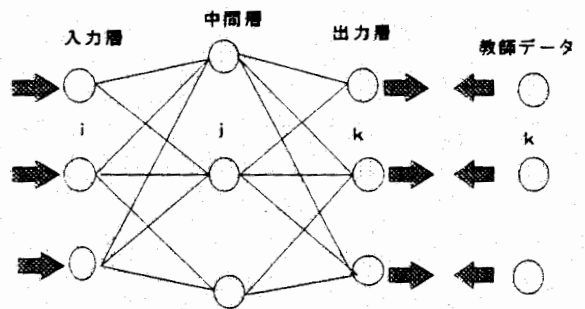


図-1 誤差逆伝播の概略

$$S_j = \sum_i a_i w_{ji} \dots \dots \dots (1)$$

$$f(S_j) = \frac{1}{1 + e^{-S_j}} \dots \dots \dots (2)$$

$$\delta_k = (t_k - a_k) f'(s) \dots \dots \dots (3)$$

$$\delta_j = \left[ \sum_k \delta_k w_{jk} \right] \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta w_{ji} = \eta \delta_j a_i \dots \dots \dots (5)$$

$$S_j = \sum_i x_i w_{ji} \dots \dots \dots (6)$$

$$S_c = \max S_j \dots \dots \dots (7)$$

$$Z_c = 1, Z_i = 0 \quad i \neq c \dots \dots \dots (8)$$

$$y = \sum_i v_{ji} a_i \dots \dots \dots (9)$$

$$y = v_{jc} \dots \dots \dots (10)$$

$$w_{ji}^{new} = \begin{cases} w_{ji}^{old} + \alpha (x_i - y_j) \\ w_{ji}^{old} & j \neq c \end{cases} \dots \dots \dots (11)$$

$$v_{ji}^{new} = \begin{cases} v_{ji}^{old} + \beta (y_j - y_j') & i = c \\ v_{ji}^{old} & i \neq c \end{cases} \dots \dots \dots (12)$$

(2) 対向伝播

基本構造は、誤差逆伝播と同様な構造であり、入力層、中間層、出力層(または入力層、競合層、書き換え層とも呼ばれる)がある。対向伝播の流れは、誤差逆伝播と同様に入力層のユニットに入力情報がそれぞれ提示される。その後、式(6)及び(7)より入力情報に応答する中間層のユニットを決定する。この決定された中間層のユニットは、ただ一つ存在する。また、このただ一つのユニットは、活性化されたユニット、その他のユニットは不活性

表-1 入力項目

目録できる損傷	輸送経路	適用示方書
ひび割れ	1) 縦横方向	23) 昭和31年5月示方書
	2) 縦横方向	14) 支間1/4付近
	3) 縦横方向	13) 支間中央部付近
	4) 一部集中	28) 昭和43年5月暫定基準
	5) 浮き有り	27) 昭和46年3月示方書
剥離	6) かぶり欠落	18) ハンチ部付近
	7) 剥離	17) 支間中央部付近
	8) 遊離石灰	18) 片持ち部
不純物の流出	9) 濁水	19) 桁梁部
	10) 錆	20) 中央分譲部付近

キーワード：対向伝播，誤差逆伝播，損傷要因推定

連絡先：武蔵工業大学工学部，〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1， TEL：03-3703-3111(内線 3252)， FAX：03-5707-2226

E-mail：mminagaw@eng.musashi-tech.ac.jp

化されたユニットとする。ここで、活性化された中間層のユニットを勝者、またその他の不活性となったユニットを敗者と呼ぶことにする。式(8)に示すように、勝者のユニット値は“1”に設定され、また敗者のユニット値は“0”に設定される。更に、勝者は式(9)及び(10)により出力層のユニットに影響を及ぼすのに対して、敗者はそのユニット値が“0”と設定されていることから出力層のユニットに影響を及ぼさない。その後、重みの更新が行われる。勝者ユニットへ行く結合の重みが式(11)により調整される。次にネットワークの出力値が目標パターンと比較され第二層の重みが更新される。第二層の重みの修正は式(12)の Widrow-hoff の規則によって行われる。

4. 適用例

表-1 に示した項目を入力条件として対向伝搬法 (Cp 法)、誤差逆伝搬法 (Bp 法) により RC 床版の損傷要因の推定を行った。推定にあたっては、佐藤によるエキスパートシステムの推論結果<sup>2)</sup>を教師データとして用いた。また、教師データ数は 1, 10, 20, 40 及び 50 個とした。図-2 及び 3 では学習回数と平均二乗誤差 (rms 値) の関係を示す。その結果、誤差逆伝播法の場合は学習速度が遅く緩やかな曲線を描きながら少しずつ収束していることが分かる。また、教師データの数は収束状況にあまり影響を与えていないことが分かる。一方、対向伝播の場合は学習回数 10 回程度でほぼ収束しており、誤差逆伝播法に比べて速い。また、教師データの数が多いほど収束速度が速くなる傾向が見られた。教師データが 50 個の場合の誤差逆伝播法と対向伝播法による損傷要因の推定結果と既存システムの推定結果を比較して、図-4 及び表-2 に示す。同図より、誤差逆伝播法では既存システムと一致している値が対向伝播法に比べ多いものの、一致していない点での差が大きいこと、対向伝播法は誤差逆伝播法より既存システムと一致している点は少ないものの大きな差は生じないことなどが明らかとなった。

5. おわりに

本論文では、誤差逆伝播と対向伝播による収束速度や教師データに対する出力値の観点から比較・検討を行った。この結果、収束速度において、対向伝播の方が誤差逆伝播よりも優れていることが分かった。また対向伝播においては、教師データの数が収束状況に大きな影響を与えていることが分かった。また、既存システムとの比較により対向伝播法による推論方法が誤差逆伝播法の推論方法と比べ遜色なく、対向伝播法による推論方法は有効と思われる。

参考文献 1) J. デイホフ (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 1992.4. 2) 佐藤 茂 : 事例ベースを採用した知識洗練機能付き損傷エキスパートシステムの開発, 武蔵工業大学修士論文, 1997.3.

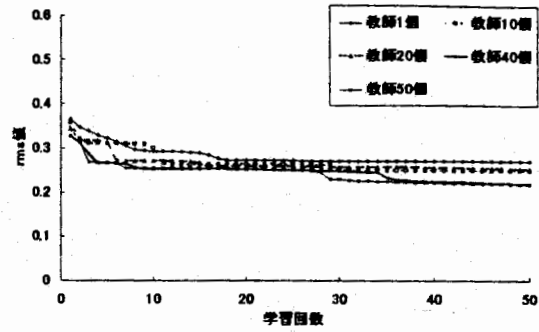


図-2 Bp 法の学習回数と rms 値

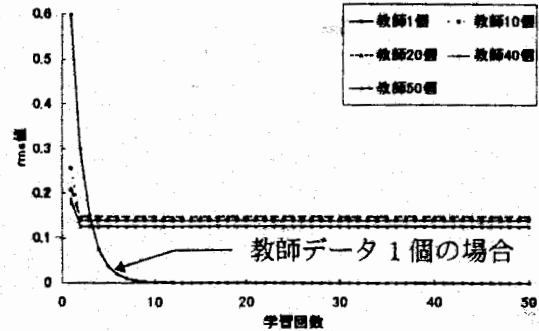


図-3 Cp 法の学習回数と rms 値

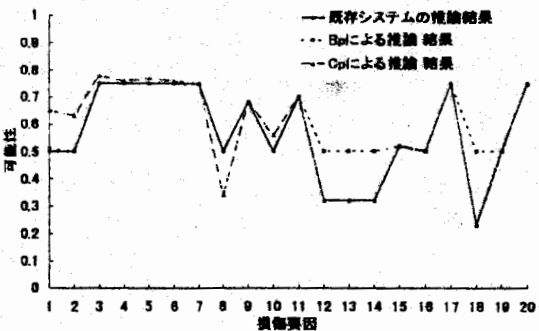


図-4 Bp 法及び Cp 法を用い推定した損傷要因

表-2 既存システムの推論結果と Bp 法及び Cp 法を用いた場合の推論結果との差

既存システムの推論結果	Bpによる推論結果	Cpによる推論結果	既存システムと Bpの差	既存システムと Cpの差
1	0.5	0.51	0.05	-0.15
2	0.5	0.5	0	-0.13
3	0.75	0.75	0	-0.03
4	0.75	0.75	0	-0.01
5	0.75	0.75	0	-0.02
6	0.75	0.75	0	-0.01
7	0.75	0.75	0	0
8	0.5	0.5	0	0.16
9	0.68	0.68	0	0
10	0.5	0.5	0	-0.06
11	0.7	0.7	0	0
12	0.32	0.5	-0.18	0
13	0.32	0.5	-0.18	0
14	0.32	0.5	-0.18	0
15	0.52	0.52	0	0
16	0.5	0.5	0	0
17	0.75	0.75	0	0
18	0.23	0.5	-0.27	0
19	0.5	0.5	0	0
20	0.75	0.75	0	0