

知識洗練機能を持つ診断エキスパートシステムの 相互結合型ネットワークによる構成

武蔵工大 正会員 皆川 勝 三菱建設 正会員 阿部和秀
東急建設 正会員 増田芳久 武蔵工大 学生員 佐藤 茂

1. はじめに エキスパートシステムの構築においては知識の獲得やメンテナンスに多くの労力を要することから、最近の土木分野での開発においても、知識の洗練や更新技術に関する研究が活発に行われている。本研究では、ニューラルネットワークの持つ学習機能を応用して、不確定性のある不完全な知識ベースと、やはり不確定さのある諸条件を用いて、それらの不確定さの程度に応じて知識を洗練しながら、同時に、推論結果を求める診断エキスパートシステムの基本的アルゴリズムを提案し、三上らの構築した知識ベース[1]に適用してその有効性を検討した。

2. 知識ベースとそれの相互結合型ネットワークによる表現

本研究では、三上らにより構築された道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷要因を推定するための知識ベース[1]を用い、これを図-1のような相互結合型ネットワークで表現している[2]。推論の流れは構造物に症状として現れた目視できる損傷から損傷種類を推定し、推定された損傷種類に、輪荷重通行位置および適用示方書の情報を加えて表-1に示す損傷要因の可能性を求めるものとなっている。

3. 推論及び知識洗練の方法

(1) 仮説と知識ベースの数値表現

ネットワークを構成する各ユニットを仮説、ユニット間の結合を仮説間の関係とみなし、各仮説の持つ様相と、仮説間の関係の強さを数値で表現することによりネットワークを構成する。

ユニットの仮説は、目視できる損傷や輪荷重通行位置等の既知の情報と、推定しようとする損傷要因などの未知情報からなる。これらは $[0, 1]$ の範囲の実数値をとるものとする。数値が“0”に近いほどその仮説の成立する可能性が低いことを示し、逆に“1”に近いほど可能性が高いことを示す。ユニット間の関係の強さ（結合係数）は現時点で有する知識ベースから、入力値として例えば表-2のように与える。本システムでは、結合係数を更新するためにすべての入力値に“確信度”を与えることを新たに提案する。結合係数と確信度との関係については、図-2に示すように結合係数が、“0”または“1”に近いほど確信度は高く、“0.5”に近いほど低くなるようにここでは2次曲線に設定する。また、仮説の確信度については、その初期値を入力データとして与える。それが事実である場合は“1”となる。

(2) 推論方法

まず、結論部のユニット値 a_j は、式(1)によりそれぞれの条件部のユニット値 a_i と結合係数 w_{ij} との間のMIN演算により求める。結論部のユニットに複数の仮説が関係する場合は、MAX演算によりそれらから導かれる結論を合成する。結論部の確信度は、式(2)によりユニット値

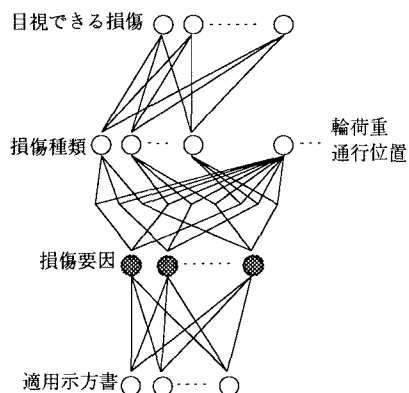


図-1 本システムのネットワーク[1,2]
表-1 損傷要因[1]

荷重等	(A) 過大な輪荷重の作用
	(B) 衝撃作用
	(C) 輪荷重通行位置と支持桁配置の関係
	(D) 床板厚不足による剛性不足
設計・構造上	(E) 鉄筋量不足による剛性不足
	(F) 配力鉄筋量の不足
	(G) 主鉄筋の曲げ上げ位置の不適性による鉄筋量の不足
	(H) 主桁が拘束するための乾燥収縮による引張応力
	(I) 主桁の不等沈下による付加曲げモーメント
	(J) 連続桁橋、アーチ系橋梁等で、載荷状態における床板の負の曲げモーメント、引張力の作用
	(K) 荷重分配横荷の有無
	(L) コンクリートの低品質
施工上	(M) 打設時における冬場の凍結影響
	(N) 養生の施工不良
	(O) 施工打継目の処理不十分
	(P) 鉄筋の誤差
	(Q) かぶり不足
その他	(R) 気象作用による凍結、融解等の影響
	(S) 塩分
	(T) 表面排水の良否

の確信度 CA_i に結合係数の確信度 CW_{ij} を乗じて求める。複数の結合がある場合にはそれぞれから式(2)より得られる確信度 CA_{j1} と CA_{j2} に対して式(3)により確信度の結合演算を行う。以上をすべてのユニットに対し実行して、全ユニットのユニット値と確信度を求める。

(3)知識洗練と仮説更新

推論により得られる結論部の確信度と初期値として与えた値の確信度とを比較し、確信度の小さい方のユニット値を式(4)により算出された Δa だけ更新する。ここで、 α は更新率である。また、確信度については、それが小さい方に式(5)により算出される確信度修正量 ΔC の絶対値を加える。これは階層型ニューラルネットワークのアルゴリズムである誤差逆伝播の考え方を取り入れたものである。このことにより、不確定さの高い方の情報がよりよい情報に更新され、それと同時に不確定さが減少する。すなわち、その時点

で有する情報以上に確信の持てる情報によって、仮設の様相や知識ベースが更新されていくことになる。この推論と更新を繰り返し、確信度が収束した時点でのユニット値が仮説の可能性を、結合係数が洗練後の知識ベースとなる。

4. 適用例

損傷要因および損傷種類以外の仮説と知識ベースを確定値として与え、損傷要因を求めた結果を図-3に示す。この例では、昭和39年道示適用の橋梁で、縦横方向のひびわれと遊離石灰がハンチ付近に観測された場合を想定している。また、輪荷重位置はスパン1/4付近とした。なお、比較のため、三上らが開発したエキスパートシステムにおける結果もあわせて示した。図中の横軸のA～Tは前出の表-1の各損傷要因を示している。三上らによる結果との相違は明らかにみられるが、これについては同じシステムを用いて、知

識ベースに対応する結合係数の確信度を下げて、確信度の高い教師データを与えることで知識洗練が可能である。本研究で新たに導入した確信度を仮設の様相と別に与える方法は不確定さの異なる情報を含む推論に有効であると思われる。

参考文献

- 1) 三上市蔵・松井繁之・田中成典・新内康芳：道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷要因推定のためのルールとフレームによる知識ベース・エキスパートシステム，構造工学論文集，Vol.34A，土木学会，pp.551-562，1988.3.
- 2) 三上市蔵・田中成典・土田貴敬・北岸秀一：ネットワークモデルによる知識生成機能を持った診断型推論エンジン，土木学会論文集，No.453/VI-17，pp.41-50，1992.9.

$$\begin{aligned} a_j &= \min(a_i, w_{ij}) & \dots & \dots & \dots & (1) \\ CA_j &= CA_i * CW_{ij} & \dots & \dots & \dots & (2) \\ CA_j &= CA_{j1} + CA_{j2} - CA_{j1} * CA_{j2} & \dots & \dots & \dots & (3) \\ & \text{(MYCINの結合則)} \\ \Delta a &= \alpha (a_j - t_j) & \dots & \dots & \dots & (4) \\ \Delta C &= \alpha (CA_j - CT_j) & \dots & \dots & \dots & (5) \end{aligned}$$

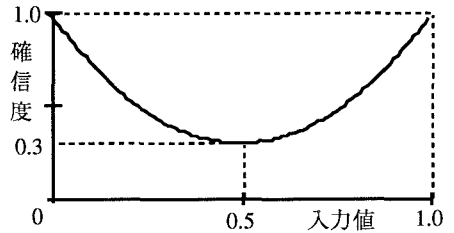


図-2 入力値と確信度の関係

表-2 目視できる損傷から損傷種類を推定

目視できる損傷	ひびわれ						はく離				鉄筋露出				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
ひびわれ	(a)	0.75													
	(b)		0.75												
	(c)			0.75	0.5	0.5	0.3								
	(d)				0.5	0.5	0.75	0.3							0.5
はく離	(e)		0.3	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75							0.5
	(f)			0.3	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75			0.75	0.75	0.5	0.3
	(g)				0.5	0.5	0.75	0.75	0.75			0.75	0.75	0.5	0.5
	(h)					0.75	0.5	0.5	0.5	0.75					0.75
鉄筋露出	(i)						0.75	0.5	0.5	0.75					0.75
	(j)										0.75	0.75			0.75
	(k)												0.75		0.75
(l)														0.75	0.5

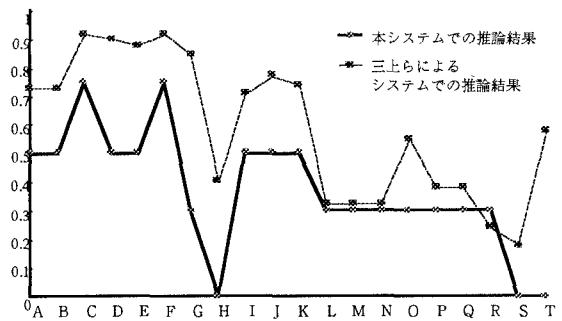


図-3 推論結果