

TAM Networkにおけるプルーニング機能の有用性について

On the Usefulness of Pruning Mechanism in TAM Network

林 勲[†]
Isao Hayashi

ジェームズ R ウィリアムソン[‡]
James R Williamson

1. はじめに

人間の視覚系をモデル化したニューラルネットワーク [1] に TAM (Topographic Attentive Mapping) Network [2] がある。入力層は網膜に対応し受容野の ON センター OFF サラウンド反応を模擬するため、属性データを分布データとして取り扱う。カテゴリー層は外側膝状体に対応し、視覚野への中継機能と興奮性・抑制性学習を構造化している。出力層は視覚野の構造を模擬している。TAM Network は ART [3] の流れを汲み、共振学習とビジランス学習の機能をもつ。

一方、ニューラルネットワークからファジールールなどの知識を抽出する研究が多く行われている [4]。TAM Network からファジールールを抽出する方法として、情報量を用いたプルーニング手法を提案した [5]。情報量により入力属性の重要度を計算し、3 層間でのノード間の結合を評価して結合リンクを削減する。ここでは、3 つのプルーニングルールの正当性を定式化の観点と数値例から議論する。

2. TAM ネットワーク

TAM ネットワークのアルゴリズムを次に示す (図 1 参照)。
[Step 1] s 番目の属性データ f_{sih} , $s = 1, 2, \dots, R$, $i = 1, 2, \dots, M$, $h = 1, 2, \dots, L$ に対する TAM ネットワークの出力値 K を得る。

$$K = \{k\} \max_k \sum_{j=1}^N y_{js} p_{jk} \quad (1)$$

$$y_{js} = \prod_{i=1}^M x_{jis} \quad (2)$$

$$x_{jis} = \frac{\sum_{h=1}^L f_{sih} w_{jih}}{1 + \rho^2 b_{ji}} \quad (3)$$

[Step 2] K が教師値 K^* と一致しない場合、ビジランスパラメータ ρ を上昇させる。 ρ が最大値になった場合に、カテゴリー層のノードを 1 個分増加させる。

[Step 3] K が教師値 K^* と一致する場合、学習モードに入り、学習パラメータ w_{jih} , p_{jk} , b_{ji} を更新する。

[Step 4] ステップ 1~3 を学習データがなくなるまで繰り返す。

3. プルーニング機能

全データを学習用データ (TRD) と評価用データ (CHD) に分割する。TRD から情報量 $H(i)$ を計算し、重要な属性 i^* を順に選択する。

$$i^* = \{i\} \max_i H(i) \quad (4)$$

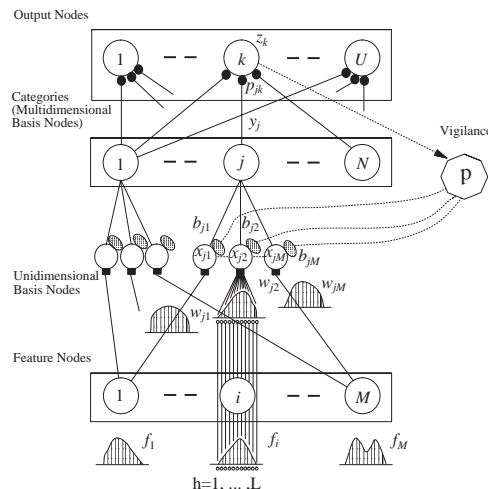


Fig. 1: TAM Network

$$H(i) = - \sum_{j=1}^N \frac{\sum_{s=1}^R x_{jis}}{\sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^R x_{jis}} \sum_{k=1}^U G_{jk} \log_2 G_{jk} \quad (5)$$

$$G_{jk} = \frac{\sum_{s \in \psi_k} \gamma_{js} \times p_{jk}}{\sum_{s=1}^R \gamma_{js} \times p_{jk}} \quad (6)$$

$$\gamma_{js} = \prod_{i \in I^*} x_{jis} \times x_{jis} \quad (7)$$

ただし、 ψ_k はクラス k をもつデータ集合を表す。プルーニングは次の 3 つの観点から行う。

- 第 j 番目のカテゴリーにおいて、各クラスとの結合の強さを評価し、不要な結合を削除する。
- 第 j 番目のカテゴリーにおいて、入力層の各属性との結合の強さを評価し、不要な結合を削除する。
- 第 k 番目のクラスにおいて、各カテゴリーとの結合の強さを評価し、不要な結合を削除する。

これらを 3 つのプルーニングルールとして表現する。

【第 1 プルーニングルール】

次の条件を満足した場合、 j と k' , $k' = 1, 2, \dots, U$, $k' \neq k$ との結合を削除する。また、 j と $i' \notin I^*$ との結合を削除する。 η はしきい値である。

$$G_{jk} \geq \eta \quad (8)$$

【性質 1】

続くプルーニング過程で、 $\sum_{s \in \psi_k} x_{ji''s} \geq \sum_{s \notin \psi_k} x_{ji''s}$ を満足する属性 i'' が選択された場合には、(8) 式は満足される。

【第 2 プルーニングルール】

[†] 阪南大学, Hannan University

[‡] ロックヒード・マーティン, Lockheed Martin Corp.

次の条件を満足した場合, j と i 及び $i' \notin I^*$ との結合を削除する. θ はしきい値である.

$$\frac{1}{R} \sum_{s=1}^R \gamma_{js} < \theta \quad (9)$$

【性質 2】

(9) 式が一度満足されると, 続くブルーニング過程 I^* でも, $x_{jis} \leq 1$ から $\prod_{i \in I^*} x_{jis} \geq \prod_{i \in I^*} x_{jis}$ となり, 条件は満足される.

【第 3 ブルーニングルール】

次の条件を満足した場合, K と $j' \neq j$ との結合を削除する. ただし, $\Gamma_K = \{s | K = K^*, K = \max_k \sum_{j=1}^N y_{js} p_{jk}\}$ であり, ξ はしきい値である.

$$\varphi_{jK} = \frac{\sum_{s \in \Gamma_K} \gamma_{js} \times p_{jK}}{\sum_{j=1}^N \sum_{s \in \Gamma_K} \gamma_{js} \times p_{jK}} \geq \xi \quad (10)$$

【性質 3】

ξ が次式を満足する場合には, 出力値と教師値との一致度は維持される.

$$\xi \geq \max_{k \neq K} \frac{\sum_{s \in \Gamma_K} \sum_{j=1}^N p_{jk}}{\sum_{s \in \Gamma_K} \sum_{j=1}^N y_{js} p_{jk}} \quad (11)$$

【証明】

いま, $\phi_k = \{j | \varphi_{jk} \geq \xi\}$ として, クラス k と $j \notin \phi_k$ を満足する j との結合を削除することを考える. 他のクラス $k' \neq K$ との関係から, $s \in \Gamma_k$ なる任意の s に対して, 次式が満足されなければならない.

$$\sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk} - \sum_{j \in \phi_k} \gamma_{js} p_{jk} - \max_{k'} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk'} \geq 0 \quad (12)$$

上式は求められない. ここでは, 次の条件を考える.

$$\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j \in \phi_k} \gamma_{js} p_{jk} - \max_{k'} \sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk'} \geq 0 \quad (13)$$

この条件を満足させるには,

$$\frac{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j \in \phi_k} \gamma_{js} p_{jk}}{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk}} \geq \xi \geq \max_{k'} \frac{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk'}}{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk}} \quad (14)$$

となる ξ を決定すれば良い. しかし, ϕ_k はブルーニング過程で決定されるので, γ_{js} は求められない. したがって, $x_{jis} \leq 1$ より,

$$\xi \geq \max_{k'} \frac{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N p_{jk'}}{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk}} \geq \max_{k'} \frac{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk'}}{\sum_{s \in \Gamma_k} \sum_{j=1}^N \gamma_{js} p_{jk}} \quad (15)$$

とする. 故に, (11) 式が得られた.

ブルーニングのアルゴリズムを次に示す.

- [Step 1] 情報量 $H(i)$ を計算し, i^* を選択する. $I^* = \{i^*\}$
- [Step 2] CHD に対して, 第 1 ブルーニングルールを適用する.
- [Step 3] CHD に対して, 第 2 ブルーニングルールを適用する.
- [Step 4] CHD に対して, 第 3 ブルーニングルールを適用する.
- [Step 5] 全結合が削除されたノードを削除する.
- [Step 6] ステップ 1 において全ての属性が選択されるまで, ステップ 1~5 を繰り返す.

アルゴリズム終了後, 各属性の重要度が I^* により表現され, 各カテゴリーの重要度が φ_{jk} により表現され, 不要な結合やノードが削除されたネットワークが得られる. TAM ネットワークの処理過程はファジィ推論と同じであるので, ブルーニングアルゴリズムにより, 属性数, クラス数およびルール数が調整されたファジィルールが獲得できる.

4. ブルーニング機能の有効性

ブルーニング機能の有用性を検討するため, DELVE(Data for Evaluating Learning in Valid Experiments)[6] で公開されている画像データを用いた. 3×3 ピクセルからなる画像データ(煉瓦, 空, 葉, セメント, 窓, 道, 芝)を 16 属性から判断する. データ数は 70 個である. 結果を表 1 に示す. 学習データに対する認識率は 92.86% であった. TAM Network の評価データに対する認識率は他手法と比較して高い. また, ブルーニング機能により, 16 属性が 8 属性に削除されている. これらの結果から, ブルーニング機能の有用性が示されている. ここで, Cart は決定木を構成する手法であり, 1NN と KNN-Class はユークリッド距離に基づいたクラスタリング手法である.

Table 1: Result of Image Data

Methods	Recognition	Categories	Class	Features
	Rate			
TAM+Pruning	72.9	30	7	8
TAM	72.9	30	7	16
Cart	63.9	-	-	-
1NN	66.2	-	-	-
KNN-Class	64.6	-	-	-

5. おわりに

TAM Network のブルーニング機能の有用性を定式化と数値例から議論した. 本研究の一部は, 文部科学省科学研究補助金(基盤研究 C) 課題番号 14580433 の一環として行われた.

参考文献

- [1] S.Grossberg. How does the cerebral cortex work? Learning, attention, and grouping by the laminar circuits of visual cortex. *Spatial Vision*, 12(2):163-185, 1999.
- [2] J.R.Williamson. Self-organization of topographic mixture networks using attentional feedback. *Neural Computation*, 13:563-593, 2001.
- [3] G.A.Carpenter, S.Grossberg, N.Markuzon, J.Reynolds, and D.B.Rosen. Fuzzy ARTMAP: A neural network architecture for incremental learning of analog multi-dimensional maps. *Transactions on Neural Networks*, 3:698-713, 1992.
- [4] R.Reed. Pruning algorithms - A survey. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 4:740-747, 1993.
- [5] 林 勲 and 前田 利之. Tam network のブルーニング手法の一提案. 第 16 回インテリジェント・システム・シンポジウム予稿集, pages 127-130, 2000.
- [6] C.E.Rasmussen, R.M.Neal, G.E.Hinton, D.van Camp, M.Revow, Z.Chahramani, R.Kustra, and R.Tibshirani. The delve manual, version 1.1. <http://www.cs.toronto.edu/~delve>, 1996.