

4D-1

ニューラルネットワークによる後向き推論

梶原 信樹 小池 誠彦
(日本電気(株) C&Cシステム研究所)

1. はじめに

ニューラルネットワークモデルを使って後向き推論の機能を実現したので報告する。

ニューラルネットワークは、推論、パターン認識、制御等、多くの分野に適用可能で、特にその学習能力に期待が集められている。しかし現在までに提案されている学習アルゴリズムでは、実現できる機能は小規模なパターン変換に限られており、大規模な問題や、時間的に変化するパターンの処理機能の実現は困難である。

ニューラルネットワークを細粒度高並列の計算モデルと考へて、プログラムにより制御系、画像処理、前向き推論等の機能を実現し、その情報処理能力、プログラム可能性を検討してきた。本研究ではニューラルネットワークの知識処理への応用例として後向き推論の機能をプログラムと学習を併用することにより実現した。本推論システムは次のような特徴を持つ。

- ・前向き推論と後向き推論が並列に実行される。
- ・すべてのルールが並列に評価される。
- ・命題の持ついくつかの状態を複数のノードで表現。
- ・すべてのルールはネットワークの静的な構造(リンクの重み)として予め展開する。
- ・プログラムとBP(誤差逆伝播)学習を併用して推論機能を実現。

2. ニューラルネットワークモデル

後向き推論では推論が進むにつれてシステムの信念の状態が変化し、それに応じて推論が制御される。このためニューラルネットワーク(以下、ネットワーク)で後向き推論を実現するには何等かの方法で信念の状態を保持する必要がある。本システムではネットワークの各ノードが活性度という内部状態を持ち、入力と内部状態に依存して出力および内部状態が決まるモデルを用いる。したがって、システム内の信念の状態は各ノードの活性度の状態で表現する。各ノードは重み付の有向リンクを介して互いに影響を与える。ネットワークの構造は特に仮定しない。自分自身へのフィードバックも含めて任意の構造が可能とする。

ノードの活性度は次の微分方程式に従って変化する。

$$\tau \frac{d a_x(t)}{d t} = v_x(t) - a_x(t), \quad (1)$$

$$v_x(t) = \sum_y W_{xy} \times o_y(t),$$

$$o_x(t) = \mu(a_x(t)),$$

t : 時間, τ : 時定数, $a_x(t)$: ノード x の活性度, $v_x(t)$: ノード x への投票, $o_x(t)$: ノード x の出力, W_{xy} : ノード y から x へのリンクの重み, μ : 出力関数。

活性度 $a_x(t)$ は投票 $v_x(t)$ に追従する1次系である。 τ は時定数でこれが時間の単位となる。出力関数 μ は(2)式

に示すような非線形飽和特性を持つ増加関数である。

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 0, \\ 2x^2 & ; 0 < x < 0.5, \\ 2(1-x)^2 & ; 0.5 < x < 1, \\ 1 & ; 1 < x. \end{cases} \quad (2)$$

3. ルール

本システムでは変数を持たない次のようなルールを扱う。

```
IF{IsBird, NOT(Flies), Swims, IsBlackAndWhite}
THEN{IsPenguin}.
```

IsBird, Flies, Swims, IsBlackAndWhite, IsPenguinはそれぞれ命題である。命題IsPenguin(仮説)の真偽値は、命題IsBird, Flies, Swims, IsBlackAndWhite(証拠)の真偽値に依存して変化する。後方推論はある命題の検証が必要になるとその命題が依存している命題に検証要求を伝えることにより行われる。

本システムでは予め検証すべき仮説を設定しない。最初結論を仮定せずに与えられた事実のみを使って前向きに推論を行なう。ある程度結論が見えてきたらその結論を検証するために後向きに推論を行う。即ち、ある命題の確信度がある程度大きくなるとその命題をサポートする証拠となる命題の検証を行なう。実際には、前向き推論と後向き推論は別々に行われるのではなく両方の推論が同時に進行する。また、ルールは1つずつ評価されるのではなくすべてのルールが同時に評価される。これは本システムの並列推論システムとしての大きな特徴である。

4. 命題

命題は真偽値、真偽の確信度、検証要求等の内部状態を持ち、これは推論の進行とともに変化する。またこれらの状態に応じて推論が制御される。命題の状態には次のものがある。

- ・PEvidence, NEvidence: 命題を正/負にサポートする証拠の強さ
 - ・PBelief, NBelief: 命題を正/負に信じる確信度
 - ・Known: 命題の真偽値が確定している度合
 - ・WantToKnow: 命題に対する検証要求
 - ・PBWantToKnowSelf, NBWantToKnowSelf: 命題の正/負の確信度に応じて変化する自発的検証要求
 - ・Verify: 命題をサポートする証拠への検証要求
- 命題の真偽値をユーザに質問可能な命題(ASKABLE命題)にはさらに次の状態がある。

- ・SAsked: 質問を発したことを保持
- ・SPBelief, SNBelief: 質問に対する答えを保持
- ・Ask: 命題に対する質問要求

本システムでは以上の命題の状態を複数のノードの活性度で表現した。各ノードはノードに与えられた意味を反映するように、重み付リンクで図1のように接続されている。

PBWantToKnowSelf (NBWantToKnowSelf) ノードは、命題の真偽値が曖昧な時に、すなわち命題の真偽をサポートする証拠が少しあるが真偽を確定できるほどではないときに活性化される。箱 WTKS は、この PBWantToKnowSelf (NBWantToKnowSelf) ノードの特性を実現する層状ネットワークである。WTKS のリンクは誤差逆伝播 (BP) 学習アルゴリズムを使って実現した。PBelief (NBelief) ノードの出力値とその時に PBWantToKnowSelf (NBWantToKnowSelf) ノードの出力が取るべき値を教師信号として与えた。

ルールは、図2のように構成される。証拠 e_1, e_2, e_3 の真偽値がそれぞれ真、偽、真と確定すると命題 h の真偽値が確定する。証拠 e_1, e_2, e_3 のうち1つでも命題 h をサポートする真偽値とは逆の値になると命題 h は強く否定される。命題 h からの検証要求が活性化すると証拠の検証要求が活性化される。これにより後向き推論が実現される。

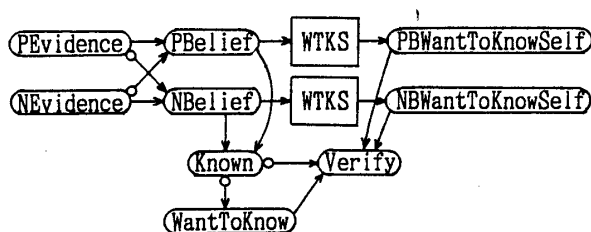


図1. 命題の構成 (ASKABLE命題に固有な部分は省略)

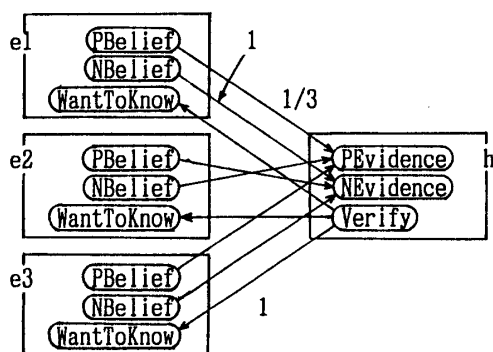


図2. ルールの構成 IF $\{e_1, \text{NOT}(e_2), e_3\}$ THEN $\{h\}$

ASKABLE命題はAskノードを持つ。これはVerifyノードが活性化すると活性化される。Askノードが活性化するとその命題に対する質問がユーザに発せられ、ユーザの答えに応じて命題の真偽値がセットされる。ユーザへの質問は同時には1つしか行うことができない。すべてのASKABLE命題のAskノードがお互いに他を抑制するようなリンクを設けた。これにより質問要求の小さな命題のAskノードは抑制される。

5. 実験

P. Winstonの教科書にある動物あてのルールを例題として用いた。これは、動物の特徴から動物の種を推論するルールである。実験では、同時には真になり得ない命題(例えば『哺乳類』と『鳥類』)の排他的な関係のようなIF THENルール以外の関係もネットワークで実現した。ルール数は14、命題数は32の小規模なシステムで、これをネットワークに展開すると529ノード、1566リンクとなった。

最初にユーザが動物の特徴を1つ与えるとそれをもとに推論が始まる。推論例を図3に示す。

ユーザは最初に動物の特徴としてHasTawnyColorを与える

- ① システムはこの特徴を持つ動物を3種(トラ, チータ, キリン)知っている。特徴HasDarkSpotsはチータとキリンに共通の特徴である。このためHasDarkSpotsの検証要求が強くなる②。また哺乳類であること(IsMammal)は3種に共通の特徴で、これを検証するために特徴GivesMilk, HasHairの質問を行う③④。また、トラとチータは肉食獣(IsCarnivore)なのでそれを検証するための質問を行う⑤~⑧。以上で、HasTawnyColor, IsMammal, IsCarnivoreが検証できた。この3つはトラとチータに共通の証拠であるが特徴HasDarkSpotsは否定されているのでチータではない。最後に特徴HasBlackStripesに対する質問を行い、動物がトラであることを結論づける⑩。

- ① I BELIEVE that the animal HasTawnyColor.
- ② Is it TRUE that the animal HasDarkSpots?
Type T) rue F) alse N) otknown: f
- ③ Is it TRUE that the animal GivesMilk?
Type T) rue F) alse N) otknown: n
- ④ Is it TRUE that the animal HasHair?
Type T) rue F) alse N) otknown: t
- ⑤ Is it TRUE that the animal HasForwardEyes?
Type T) rue F) alse N) otknown: t
- ⑥ Is it TRUE that the animal HasClaws?
Type T) rue F) alse N) otknown: t
- ⑦ Is it TRUE that the animal HasPointedTeeth?
Type T) rue F) alse N) otknown: n
- ⑧ Is it TRUE that the animal EatsMeat?
Type T) rue F) alse N) otknown: t
- ⑨ Is it TRUE that the animal HasBlackStripes?
Type T) rue F) alse N) otknown: t
- ⑩ I BELIEVE that the animal IsTiger.

図3 『トラ』の推論例

6. おわりに

その他の動物についても同様に推論することができる。各命題の状態(特にPBelief, Ask)の変化をモニタすると、質問をして新しい証拠が得られるとその証拠と矛盾が少なくなるようにシステムの信念の状態が変化することを観測できる。本システムは、推論システムとしての機能の他にTMS (Truth Maintenance System) のような機能も持っているといえる。

本システムで扱うルールは変数を持たない。より複雑な推論を実現するためには変数の機能が必要である。変数の機能の実現と、より大規模なルールでも妥当な推論ができることを確認することが今後の課題である。

7. 参考文献

- 1) 梶原信樹, 辻三郎: ニューラルネットワーク推論システム, 情報処理学会研究会資料 知識工学と人工知能 45-10, (1986)
- 2) Guy E. Blelloch: CIS: A MASSIVELY CONCURRENT RULE-BASED SYSTEM, AAAI (1986)
- 3) D. S. Touretzky, G. E. Hinton: Symbols among the Neurons: Details of a Connectionist Inference Architecture, IJCAI (1985), pp. 238-243
- 4) 梶原, 中田, 松下, 小池: 並列ニューラルネットワークシミュレータ, 情報処理学会研究会資料 88-ARC-71 (1988)
- 5) P. H. Winston, B. K. P. Horn: 情報処理シリーズ 4 LISP, 培風館, pp. 237-239