

[フェロー記念講演] 忘却から好奇心へ

石川 眞澄[†]

[†]九州工業大学大学院生命体工学研究科 〒808-0196 北九州市若松区ひびきの2-4

E-mail: †ishikawa@brain.kyutech.ac.jp

あらし フェロー称号のきっかけとなった研究は、忘却という概念をニューラルネットワークの学習に導入したことに端を発する。忘却というのはネガティブな印象を与えがちであるが、これが実は知識獲得に役立つことを提案した。またモジュール型ネットワークの学習にも有効である。様々な応用例に適用し、理論的な解明も進めた。この延長上にある価値や好奇心に基づいた自律移動ロボット研究についてもその一端を紹介する。

キーワード 忘却、学習、ニューラルネットワーク、知識獲得、モジュール型ネットワーク、価値、好奇心

From forgetting to curiosity

Masumi ISHIKAWA[†]

[†] Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, 2-4 Hibikino, Wakamatsu, Kitakyushu 808-0196, Japan

E-mail: †ishikawa@brain.kyutech.ac.jp

Abstract The study to which IEICE conferred Fellow started by introducing a concept of "forgetting" to learning of neural networks. Although forgetting conveys negative impression, its usefulness in knowledge acquisition was proposed. It was also proposed that forgetting is effective in learning of modular networks. It was applied to various applications, and was also analyzed theoretically. Recent research on autonomous mobile robots with values and curiosity is also presented.

Keyword Forgetting, Learning, Neural network, Knowledge acquisition, Modular networks, Value, Curiosity

1. はじめに

フェロー称号のきっかけとなった研究は、忘却という概念をニューラルネットワークの学習に導入したことに端を発する。忘却というのはネガティブな印象を与えがちであるが、これが実は知識獲得に役立つことを提案した。またモジュール型ネットワークの学習にも有効である。様々な応用例に適用し、理論的な解明も進めた。この延長上にある価値や好奇心に基づいた自律移動ロボット研究についてもその一端を紹介する。

2. 忘却付き構造学習

2.1. 背景

階層的ニューラルネットワークの学習法として、広く用いられているバックプロパゲーション学習 (BP学習、誤差逆伝播学習) には次のような問題点がある。

- ①階層数や隠れユニット数に関する事前情報がない場合、様々なネットワーク構造を試行錯誤的に探索する必要がある。
- ②学習後のネットワークの隠れユニットの意味づけが困難で、ブラックボックスとなる。
- ③多くの場合極小解となる。これは勾配情報に基づい

て結合重みを修正する方法に共通の欠点である。

- ④ネットワーク規模の増大とともに、学習のための計算量は急増し、極小値問題は深刻化する。

①②の問題点を解決するには、ネットワークの構造や隠れユニットの意味づけを重視する構造学習が有効である。ほとんどの構造学習法は、計算時間の減少及びユニット数・結合数の減少に主たる関心がある。重要なのは、データ中に含まれる規則性を反映した単純なネットワーク構造を求めることである。そこで忘却付き構造学習を提案した。これにより骨格構造ネットワークが求まり、学習後のネットワーク構造からの規則の発見が可能になる。

③④の問題点に対しては、モジュール構造ネットワークが有効である。各モジュールが小さく、計算量も少なく極小値問題も深刻でないからである。

2.2. 手順

忘却付き構造学習の手順は以下の通りである。

- (1) 忘却学習: 概略の骨格構造を得るため忘却学習を適用する。具体的には通常の出力誤差自乗和+結合重みの絶対値和を評価関数とし、最小化を図る。
- (2) 隠れユニット明確化学習: 出力目標が二値の場合、

隠れユニットの出力値を二値にする評価を付加し、分散表現を抑制する。これにより隠れユニットの意味づけが明確になり、後述の規則の発見では、この二値化が本質的な役割を果たす。

- (3) 選択的忘却学習：絶対値が閾値より小さい結合重みのみを忘却の対象とする。これにより自乗誤差評価をBP学習と同程度に小さくでき、また一度消滅した不要な結合の復活を抑制できる。

ここで、忘却学習を正則化という観点から考えよう。通常の正則化学習は結合重みの自乗和、すなわちガウシアン正則化を用いる場合が多い。これは定式化が単純であり、直感的にも分かり易いからである。これに対して結合重みの絶対値和評価は、ラプラス正則化に相当している。これが単純構造をもたらすことから、いろいろな場面で使用されている。

2.3. 有効性

論理関数を見出す課題に適用すると、課題に対応した骨格構造が出現する。またアヤメの分類に適用すると、単純なネットワーク構造が得られ、汎化能力も高い。これらの課題について、BP学習、Rumelhartの複雑さ評価、エントロピー最小化評価、側抑制学習、Optimal Brain Damage(OBD)、ガウシアン正則化の各学習法と比較し、汎化能力、構造の単純性、計算時間、自乗誤差評価などの観点から、忘却付き構造学習が優れていることを示した[1]。

忘却付き構造学習法とリカレントネットワークのための通時的誤差逆伝播学習法(BPTT)を組み合わせることにより、フィードバックループを含む任意のネットワーク構造を、事前の構造情報なしに発見できる。また時系列予測においてもその有効性が示されている[3]。さらにファジィルールを生成する場面でも、忘却学習の有効性が示されている。

忘却学習はさらに、モジュール構造ネットワークの生成・学習に有効であり、また易しい対象から複雑な対象まで段階的に学習することが可能である[2]。

2.4. データからの規則発見

構造を重視するという特徴の副産物として、データ中の規則を構造という形で抽出することが可能になる。データからの規則発見は、機械学習の分野のみならず、ニューラルネットワークの分野でも注目されている。忘却付き構造学習により、キノコ、MONKS問題、DNA系列などの課題で、データから分類規則を発見することに成功した[3]。さらに段階的正則化により、主要な規則とその例外という形での階層的な規則群を発見することに成功した。これは人間の理解とも符合する[4]。

忘却付き構造学習は実験的に良い性能を示すことが分かってきたが、この理論的根拠を明らかにするため、多重回帰分析を対象として、汎化誤差最小化の基

準に基づいて正則化項を設計し、データ数やノイズレベルに応じて、ガウシアン正則化項、ラプラス正則化項あるいはこれらの組み合わせが出現することが分かった[5]。

ニューラルネットワークの学習は、本質的には結合重みをパラメータとするパラメータ最適化である。構造学習の利点は、パラメータ最適化を行うにもかかわらず、結果的に構造の最適化が行える点にある。

3. 価値及び好奇心に基づく行動創発

データからの規則発見では、各データが属性及び属性値を持ち、データの分類規則を発見するというタイプの課題を対象とした。これに対し、データが時間的・空間的に変動する情報であり、対応した行動を生成するという、より一般的な課題を考える。データを外界からのセンサー情報と考えれば、これはまさに生物の行動決定であり、例えば強化学習により、データからの行動決定規則の生成と解釈することができる。

本研究の目的は、哺乳類のように何をすべきかを具体レベルのみならず抽象レベルでも教えないで行動できる、真に自律的なロボットを構築することである。このため発達ロボットアプローチが効果的であると考えられる。学習や発達に寄与する重要な要因として、生存価値、特殊的好奇心、拡散的好奇心、新奇性を取り上げ、これらを内部報酬と考える。

環境からの外部報酬と合わせて強化学習を行い、興味深い行動を創発させる。その際、作りこみで内部報酬を作るのでは本末転倒なので、如何に課題と独立に作るかが鍵となる。自律移動ロボットを用い、追跡逃避課題を対象として、この有効性を実証した[6]。

文 献

- [1] Masumi Ishikawa, Structural learning with forgetting, *Neural Networks*, Vol. 9, No. 3, pp.509-521, 1996.
- [2] 石川真澄, モジュール構造ニューラルネットワークの学習, *人工知能学会誌*, 7巻2号, pp329-335, 1992.
- [3] Masumi Ishikawa, Structural learning and rule discovery, in I. Cloete and J. Zurada Eds., *Knowledge-Based Neurocomputing*, Ch.5, pp.153-206, The MIT Press, 2000.
- [4] Masumi Ishikawa, Rule extraction by successive regularization, *Neural Networks*, Vol.13, No.10, pp.1171-1183, 2000.
- [5] Masumi Ishikawa, Hirohito Shimada and Shun-ichi Amari, Iterative design of regularizers based on data by minimizing generalization errors, *IJCNN'2000*, pp.13-18, Como, Italy, 2000.
- [6] 石川真澄, 永松正博, 荻原隆男, 山本尚幸, 桐明美三子, 西田武彦, 山川烈, 石井和男, 中川秀樹, 章宏, 価値および好奇心に基づく移動ロボットの脳型行動創発, *電子情報通信学会総合大会*, TK-3-7, pp.SSS-24-25, 2008.