

論文の内容の要旨

論文題目 Neural Networks Learning Differential Data
(微分情報を学習するニューラルネットワーク)
氏名 益岡 竜介

学習するシステムは将来人類にとって大きな影響を与えるであろう。学習するシステムは、いかに行動するのかを指示しなくとも、なにをすればいいのかを示すだけで必要な作業を実行できるようになっていく。

我々は「学習するシステム」を、特定の状況における次の行動をその状況を経験したことがなくとも以前の経験あるいは適切な行動の例示に基づいて適切に決定できるシステムと定義する。

指示どおりにしか動かないシステムと(たとえ学習が一部であったとしても)学習するシステムは全く別の存在である。将来的に、プログラム言語、スクリプト言語、GUI (Graphical User Interface)、音声インタフェースなどシステムに指示を与える手段は非常に高機能になることが予測される。しかしそれらの手段がいかに高機能になろうとも、システムに学習機能がなければ、我々はシステムが遭遇する各状況でいかに行動するのかを指示しつづける必要がある。そのためには手間だけではなく、目的にとって本質的ではないシステムがどのように動くかについての理解も必要となり、システムを使うものにとって負担となる。

一方、学習するシステムに対しては、なにをすればいいのかを示すだけでよい。学習システムはそれにより自分自身を適応させ、設定し、あるいはブ

プログラムしなおす。これはシステムやシステムが対象とするものが複雑である、巨大である、あるいは非常に早く変化していて、人間がその全体を把握できないような場合に特に有効である。例えば、現在そのような対象の一つとしてインターネットがある。インターネットは人間の把握できる能力を超えており、今後インターネットを有効に使うためには学習するシステムが必要不可欠になっていく。

そのような対象を扱う学習システムは人々をシステムのプログラミングや、調整や、設定などの複雑かつ退屈な作業から開放する。また学習によって、学習システムが徐々により抽象的になる目的の指定に対処することも可能になっていくであろう。

学習するシステムには、学習アルゴリズムが必要である。学習アルゴリズムやその枠組にはクラスタリング、強化学習、論理ベースのシステム、ニューラルネットワーク、ファジーシステム、遺伝学習アルゴリズムなどがある。

学習アルゴリズムの一つの分け方は、教師つき学習/教師なし学習によるものである。「教師つき学習」とは与えられた例から学習する学習アルゴリズムの分類である。そういった「教師つき学習」にとって、与えられる例とともに論理表現、確率分布、あるいは微分に関する制約などの形で与えられる知識を学習に活用できることは、効率がよくより正確な学習に不可欠である。

そのような「教師つき学習」での例と共に知識を学習に活用する枠組として、微分情報を学習するニューラルネットワークがある。微分に関する制約を学習するニューラルネットワークはすでに、パターン認識や微分方程式に適用されており、ロボティクスなどその他の分野への適用も提案されている。

本研究では学習するシステムとしての微分情報を学習するニューラルネットワークに対して、微分に関する制約をニューラルネットワークの学習に導入するための枠組を拡張し、より一般的な枠組を研究した。またその枠組を実際のアプリケーションに適用するために基本となる事項を研究した。

まず多層パーセプトロンが微分情報を学習するための非常に汎用的な新しいネットワークアーキテクチャとアルゴリズムを提案した。アルゴリズムは一階も含めて二階以上の微分情報にも適用可能であり、通常のバックプロパゲーションと同様に各ユニットに対して完全に局所的な形で記述されている。

次にそのアーキテクチャとアルゴリズムをコンピュータプログラムとしてインプリメントした。このプログラミングは高いプログラミング技術と細心の注意を要した。コアとなる部分は C++ でプログラムされている。さらにこの実装を用いて、微分情報を学習するニューラルネットワークに関する各種実験を行なった。その中で実際に三階までの微分情報に関して収束することを示した。

また微分情報を学習するニューラルネットワークについて、より多くデータを与えた場合との比較、学習の機構、必要な学習データ量の評価、スケラビリティ、ノイズ耐性などに関する解析を行なった。

微分情報を学習するニューラルネットワークの新しい応用として、強化学習における連続行動出力の問題を扱い、その枠組と実装を使った実験結果を記述した。この問題は与えられた確率分布を実現する乱数発生器を実現することであり、具体的には一階の微分方程式を解くことに相当する。二つの確率分布に適用し、与えられた確率分布を近似することを確認した。

他にも、実際には実験などは行なわなかったが、微分情報を学習するニューラルネットワークの応用として、微分方程式と人間の腕の軌道のシミュレーションへの応用について提案した。前者の微分方程式については微分方程式、境界条件、その他の制約条件を包括するような非常に一般的な枠組を提案した。後者のシミュレーションでは、最小トルク変化モデルのニューラルネットワークによる自然な実装を提案した。

最後に Radial Basis Function (RBF) ネットワークに関する高階への拡張に関する結果を与えた。微分エラー項を持った場合の極小解の形やそれらの best approximation property、RBF ネットワークの C^l 稠密性の別証明を与えた。

以上本研究で得られた成果は、次のように要約することができる。

1. 微分情報を学習するニューラルネットワークのアーキテクチャとアルゴリズム
2. 項目 1 のコンピュータプログラムによるインプリメンテーション
3. 項目 2 のインプリメンテーションを使った実験
4. 微分情報を学習するニューラルネットワークに関する各種解析
5. 項目 1 の強化学習における問題への応用と項目 2 を使った実験
6. Radial Basis Function (RBF) の高階微分の場合への拡張

本研究のアーキテクチャ、アルゴリズム、実装、実験、解析、アプリケーションの詳しい記述により、本研究は学習するシステムとしての、微分情報を学習するニューラルネットワークを実際の問題に適用していく際の基礎を築いた。これにより、微分情報を学習するニューラルネットワークの更なる適用が促進されるであろう。