

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：62615

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26540090

研究課題名(和文) 補助関数法による最適化アプローチの高速機械学習への展開

研究課題名(英文) Developing Fast Machine Learning Algorithm based on Auxiliary Function-based Optimization Approach

研究代表者

小野 順貴 (ONO, Nobutaka)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授

研究者番号：80334259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：タンジェントハイパボリック関数を活性化関数とする2層ニューラルネットワークに対して、ルックアップテーブルを利用した2次の補助関数を導出した。また、多層構造をもつニューラルネットワークを学習するために、この補助関数を出力側から入力側へ再帰的に設計できることを示し、目的値を出力層から入力層側に順次伝播させる目的値逆伝播というアイデアに基づく改良も行った。MNISTの手書き文字データを用いた実験では、従来の適応型勾配法よりも大幅に少ない反復回数で学習が収束することを示した。

研究成果の概要(英文)：We derived a quadratic auxiliary function with a look-up table for 2-layer neural network with a tangent hyperbolic activation function. Also, for training multi-layer neural network, we showed the auxiliary function could be designed from the output to the input recursively, and improved the algorithm based on a new concept of "back propagation of target". By experiments with MNIST handwritten digit database, we showed the derived algorithm needed much less iterations for convergence than a conventional adaptive gradient method.

研究分野：音響信号処理

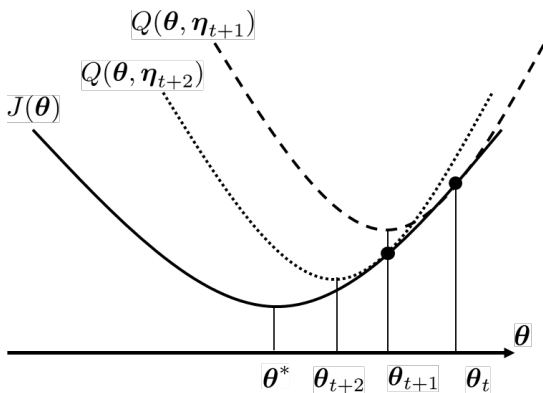
キーワード：深層学習 補助関数法 ニューラルネットワーク 最適化 パターン認識

1. 研究開始当初の背景

近年、機械学習分野においては、ディープラーニングと呼ばれる多層ニューラルネットワークに基づく手法が、様々なパターン認識やデータマイニングの問題に革新的な性能向上をもたらしている。従来のニューラルネットワークでは過学習や局所解の問題のため、多層のネットワークをうまく学習することができなかったが、2006年頃から autoencoder, Dropout といった学習テクニックが開発され、画像認識、音声認識などの様々な competition で、従来の state-of-the-art の技術を大きく凌駕する性能を示すに至った。今後は、SVM(Support Vector Machine)やGMM(Gaussian Mixture Model)などのパターン認識手法は、部分的、もしくは全体的にディープラーニングに置き換えられていくと予想される。一方で、入力データの増加(ビッグデータ)、ニューラルネットワークの深層化などにより、学習に要する時間は膨大となり、学習の高速化が大きな課題となっている。200x200ピクセルの1000万画像を入力とし10億個のパラメータを学習するのに、1000台もの計算機を使っても3日間を要したという報告もある(国際会議 ICML2012)。しかしながら、ニューラルネットワークの学習アルゴリズムは様々な研究されているものの、基本的にはバックプロパゲーション法の学習係数の動的チューニングやオンライン学習による計算データの間引き(例えば [Duchi2010][Schaul2012])に留まっており、抜本的な改善には至っていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、補助関数法という最適化のアプローチを用いてニューラルネットワーク(NN)の高速学習アルゴリズムを確立することである。近年の機械学習分野のホットな話題である多層ニューラルネットワークを用いたディープラーニング(Deep Learning)は、音声認識や画像認識を初めとする様々な分野で革新的な性能向上をもたらしており、今後の機械学習の基本的なツールの1つと



補助関数法によるパラメータ更新の模式図

なるのは間違いない。一方、学習データの増加やニューラルネットワークの深層化に伴い、学習アルゴリズムの高速化は根本的な課題の一つとなっている。本研究では、多層ニューラルネットワークを対象とし、従来のバックプロパゲーション学習則とは異なる、誤差の単調減少を保証する単純で高速な反復学習アルゴリズムを確立し、学習の速度と質を大幅に高めることにより、幅広い機械学習分野に貢献することを目指す。

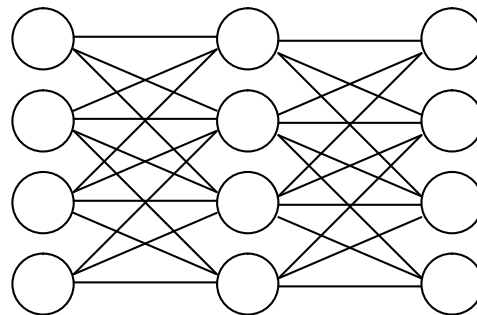
3. 研究の方法

1) 二層ニューラルネットワークの補助関数と学習アルゴリズムの導出

ニューラルネットワークにおける目的関数は一般に  $L(y, f(x))$  の形で表される。ここで、 $L$  は目標出力(正解データ)  $y$  とニューラルネットワークの出力  $f(x)$  の差を評価する、損失関数と呼ばれる関数であり、二乗誤差やクロスエントロピーなどが用いられる。一方、 $f(x)$  は活性化関数とよばれる非線形関数であり、シグモイド関数、双曲線正接関数、softmax 関数などが用いられる。まず本研究課題の基礎として、入力層1層、出力層1層からなるニューラルネットワークを考え、適当な損失関数  $L$  と活性化関数  $f(x)$  の様々な組み合わせに対し、closed-form で最小化可能な補助関数の導出を試みる。

2) 多層ニューラルネットワークの再帰的補助関数系の構築

多層ニューラルネットワークにおいては、各層間の重みが最適化したいパラメータとなるが、目的関数は最終段の出力と正解データ間の損失関数として定義され、各層間の重みは各層の出力を介して間接的にこの目的関数に寄与するものであり、重みパラメータは目的関数に陽な形では含まれない。古典的なバックプロパゲーション法の成功は、この目的関数の各重みについての勾配を、誤差がネットワークを逆伝播するというわかりやすい形式で陽にかき出した点にあり、逆にこの表現により、層の数や素子数に関わらず、勾配を容易に計算することができる。補助関



$$Q(w^{(n-1)}) \geq Q(w^{(n)}) \geq L$$

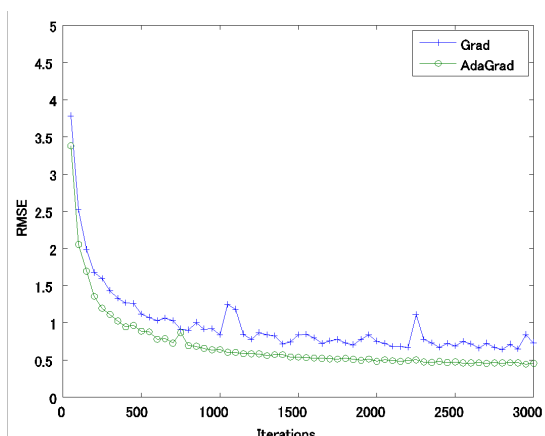
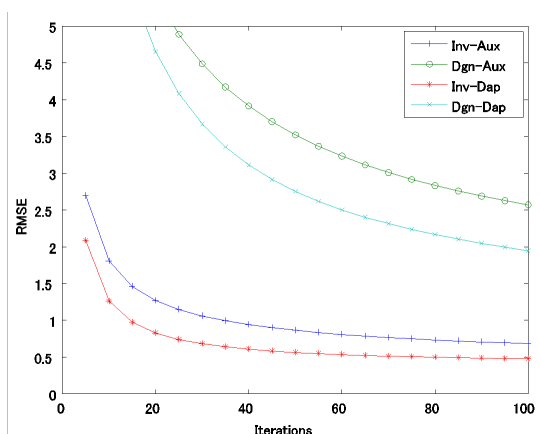
多層ニューラルネットワークと再帰的補助関数系の概念図

数法においてもこれと同様の構造が望ましい。そのためには、図のように、第  $n-1$  層の重み  $w(n-1)$  に関する補助関数が、第  $n$  層における重み  $w(n)$  に関する補助関数の補助関数（上限関数）となる構造をもてばよい。このような再帰的補助関数系の設計により、バックプロパゲーションと同様、層の数に依存しない、多層ニューラルネットワークの高速学習アルゴリズムを構築する。

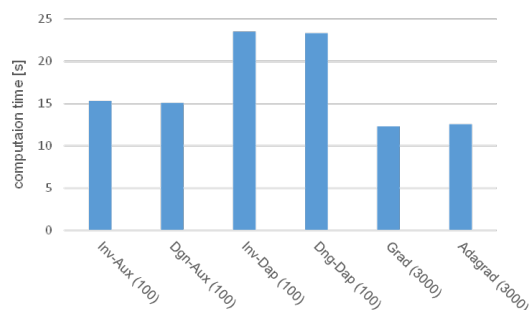
#### 4. 研究成果

1) 2層ニューラルネットワークに対する基本的な補助関数を設計した。活性化関数としては、原点対象なタンジェントハイパボリック関数を用い、ルックアップテーブルを利用した2次の補助関数を導出した。また、多層構造をもつニューラルネットワークを学習するために、この補助関数を出力側から入力側へ再帰的に設計できることを示した。

2) 多層構造の学習においては学習効率が低下する点を改善するために、目的値を出力層から入力層側に順次伝播させる目的値逆伝播というアイデアに基づく新たな学習アルゴリズムを構築した。MNISTの手書き文字データを用いた実験では、従来の適応型勾配



反復回数の比較：提案法（上）  
従来の勾配法（下）



計算時間の比較。括弧内は反復回数

法よりも大幅に少ない反復回数で学習が収束することを示した。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1件)

Dung Tran, Nobutaka Ono and Emmanuel Vincent, "Fast DNN Training Based on Auxiliary Function Technique," Proc. ICASSP, pp. 2160-2164, Apr. 2015. 査読有 (DOI: 10.1109/ICASSP.2015.7178353)

〔学会発表〕(計 1件)

小野 順貴, "二次補助関数を用いたニューラルネットワークの高速学習則の検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 521, pp. 361-366, 3月, 2016年 (別府国際コンベンションセンター B-ConPlaza, 大分県別府市)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 順貴 (ONO, Nobutaka)  
国立情報学研究所・情報学プリンシプル研  
究系・准教授  
研究者番号：80334259

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：