

論文の要旨

題 目 A Family of Probabilistic Model-based Neural Networks and Related Application to Biosignal Classification

(確率モデルニューラルネットワーク族の提案と生体信号識別への応用)

氏 名 早志 英朗

人工ニューラルネットワーク（以下，NN）は生体の神経回路網をモデル化したものであり，その学習能力の高さからパターン識別，回帰分析，時系列信号予測など多くの分野で応用されてきた．NNは多数のパラメータと非線形関数により任意の写像を近似できる万能近似器であるが，その表現能力の高さから学習用データに適合しすぎてしまい新たなデータに対する汎化能力が失われる過学習状態にしばしば陥ることや，内部構造がブラックボックスとなり解析が困難となる問題がある．これら問題に対して，入力データの既知の情報を確率分布として NN に展開することで，ネットワークの挙動を適切に制限する方法がある．例えば，Tsuji ら（1999）は混合正規分布モデルを NN 構造に展開した **Log-linearized Gaussian mixture network** を提案し，少ない学習データで精度良い識別を実現している．しかしながら，これまでに NN に展開された分布の種類はごく限られており，体系づけられた方法論は存在しなかった．

本研究では確率モデルを NN へ展開する方法を体系づけた，確率ニューラルネットワーク族を提案する．また，この方法論に基づき新たな NN を 2 種類提案するとともに，ヒューマン・マシン・インタフェースへの応用について述べる．以下，本論文の概要を示す．

第 1 章では，本研究の背景と目的について述べた後，従来研究と本研究の位置付けを明確にする．

第 2 章では，確率モデルニューラルネットワーク族の定式化を行う．一般に NN は各ユニットの活性化関数による非線形計算および，ユニット間の結合と重み係数による線形計算の繰り返しで表現される．本章では，指数型分布族を用いた事後確率計算を線形計算と非線形計算の繰り返しの式変形することで，NN 構造へ展開できることを示す．また，この方法論が適応可能な条件について述べるとともに非指数型分布族や時系列モデルに対しても拡張できることを示し，これらと従来の識別器との関連について議論する．さらに，確率モデルニューラルネットワーク族の学習則について述べたのち，この方法論の利点をニューラルネットワークおよび確率モデルの観点から議論する．

第 3 章では，Johnson 分布を展開した NN である **Johnson distribution network** を提案する．パターン識別ではデータが従う分布を正規分布と仮定することが多いが，筋電位信号のような実データは正規分布に従わず歪んだ分布になる場合がある．この場合，

正規分布の線形和である混合正規分布を用いることが考えられるが、分布をいくつ足し合わせるかはデータに応じて試行錯誤的に決定する必要がある。Johnson 分布は 4 種類のパラメータと非線形変換を組み合わせた確率分布であり、歪度や尖度を持つ非正規分布を表現可能である。提案法では NN の構造に Johnson 分布を展開することにより、分布パラメータを重み係数として学習的に獲得し、歪んだ分布を持つデータを識別可能である。実験では、人工的に生成した歪度・尖度を持つデータに対して提案 NN が精度よくフィッティングできることを示す。また、筋電位信号に対する識別能力を他手法と比較することで、試行錯誤的なパラメータ設定を行うことなく精度よく識別できることを示す。

第 4 章では、Time-series Discriminant Component Analysis (TSDCA) を展開した次元圧縮型リカレント確率 NN である Time-series Discriminant Component Network (TSDCN) を提案する。TSDCA は混合正規分布を確率密度関数に持つ隠れマルコフモデルと、正規直交変換行列を組み合わせたモデルであり、高次元時系列信号の次元を圧縮して識別可能である。また、TSDCA を NN へ展開することにより、次元圧縮と識別に関するパラメータを重み係数として一括的に学習できる。これにより、識別に適切な次元圧縮を獲得でき、高次元時系列信号の精度良い識別と計算時間の削減を実現できる。実験では、人工データを用いて識別精度を低下させることなく学習時間を削減できることを示すとともに、識別クラス数や圧縮次元数の変化に応じた NN の特性変化について確認し、主成分分析や線形判別分析などの次元圧縮法との比較を行なう。また、2 種類のデータセットを用いた脳波識別実験により提案法が従来法と比較して高い精度で識別できることを示す。

第 5 章では、確率モデルニューラルネットワークを応用したブレイン・マシン・インタフェースを提案する。提案法では、人の頭皮表面から計測した脳波信号に対しウェーブレットパケット展開を施すことにより信号の特徴を抽出する。抽出した特徴量に対して次元圧縮型リカレント確率 NN を用いて識別することにより、使用者の意図を推定可能である。推定した被験者の意図に基づき選択したコマンドを赤外線家電機器へ送信することにより、体を動かすことなく家電機器を操作可能である。実験では、提案法により被験者の脳波から運動イメージを精度よく識別できることを示すとともに、家電機器をリアルタイムで制御可能であることを示す。

第 6 章では、本論文の要約と今後の研究課題について述べる。