

平成 2 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：1 2 1 0 2

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：2 2 3 0 0 0 7 9

研究課題名（和文）選択的不感化ニューラルネットによる関数近似とその応用

研究課題名（英文）Function Approximation Using Selective Desensitization Neural Networks and its Applications

研究代表者

森田 昌彦（MORITA, Masahiko）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：0 0 2 2 2 3 4 9

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000 円、（間接経費） 4,110,000 円

研究成果の概要（和文）：研究代表者らが開発した選択的不感化ニューラルネット（SDNN）は、既存の関数近似手法にはない優れた性質をもつ。このSDNNに関する研究と、それを人間の支援等に応用するための研究を行った。その結果、SDNNの能力に対する理解が深まると共に、これを筋電インタフェースの開発やロボットの強化学習に応用することによって、これまでにない性能を実現することができた。また、これらの成果を社会に役立てるために、子どもの教育やコミュニケーション支援の研究を並行して進め、ロボットやインタフェース技術の導入の有効性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Selective desensitization neural networks (SDNNs) have superior ability of function approximation to existing methods. We performed studies on SDNNs and their applications to human support systems. As a result, we achieved better performance in electromyogram classification and reinforcement learning of a robot. We also developed support systems for child education and communication using robot and human interface technologies.

研究分野：知的情報処理

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ニューラルネットワーク 関数近似 筋電位 強化学習

1. 研究開始当初の背景

ソフトコンピューティングは、記号操作に基づく古典的人工知能に比べて、より人間的な「賢さ」を実現するものとして期待されているが、現実の問題に適用しようとすると、しばしば大きな問題に直面する。この問題の多くは、突き詰めれば適切な関数近似手法がないことに起因すると思われる。

関数近似の手法には、大きく分けて大域的手法と局所的手法があるが、前者は線形関数またはある程度関数形が分かっている場合にしか適用できないし、後者にはいわゆる「次元の呪い」の問題がある。統計的手法を用いて実質的に次元圧縮を行う方法が取られるが、大量のサンプルが必要である上、環境の変化に追従することが困難である。大域的手法でありながら理論上は万能性をもつ（任意の連続関数をも任意精度で近似できる）多層パーセプトロンは、かつて大いに期待され、様々な課題に適用されたが、課題が少し複雑になると学習に膨大な時間がかかり、汎化誤差も大きいなど、あまり実用にはならなかった。

既存手法が適さない典型的な課題として、環境における各状態や行動の価値を自律的に獲得するという強化学習が挙げられる。現在の強化学習システムは、一般に状態空間が広いと非常に長い学習時間を要するため、元々は動物の行動学習のモデルでありながら、その能力は実空間で生きる動物に著しく劣る。この差は学習アルゴリズムではなく、価値関数の近似器の違いによるものと考えられる。

また、高い学習・汎化能力をもつ関数近似技法が求められる別の応用課題として、生体信号を用いたインタフェースが挙げられる。例えば腕に貼った複数の筋電センサによって手の動きを識別するという課題の場合、1つの運動に多くの筋肉が関与する上に、信号の重畳があるため、手の動きはセンサ群の出力の複雑な関数となる。また、信号は個人ごとに大きく異なり、同一人でも日や体調によって変動するため、多数の学習サンプルを用意することは難しい。さらに、同一時に同じ動作を行っても、力入れ具合や動かす速さによって筋電位信号は大きく変化する。そのため、既存の手法では、センサを最適に配置し、調整に長い時間をかけ、人間が一定の信号を安定して出すよう努力する必要がある。

2. 研究の目的

研究代表者らが開発した選択的不感化ニューラルネット (SDNN, 図 1) は、従来型ニューラルネットの大きな問題点を克服するだけでなく、冗長次元に対してロバストである、高い汎化能力と近似精度とを併せもつ、など既存の関数近似手法にはない非常に優れた性質を備える。

本研究の目的は、SDNN の更なる性能向上

を図りつつ、その特性を生かした工学的応用の可能性を検討することである。特に、筋電信号を用いたインタフェースの開発、実空間におけるロボットの自律的行動学習、子どもの教育やコミュニケーション支援など、人間の支援や能力増幅を目指した幅広い応用研究を展開することを目指した。

3. 研究の方法

(1) SDNN による関数近似の研究

人工的に設定した関数近似課題を用いて数値実験を行い、結果を数学的に解析すると共にグラフによる可視化によって解析する。

(2) 強化学習への応用

SDNN を価値関数近似器として用いることによって、高次元の連続状態空間において効率的に学習を行う方法を開発する。

(3) 表面筋電位信号からの動作推定への応用

SDNN をパターン分類器として用い多チャンネルの表面筋電位信号から、人間の手の動作種類を識別する。また、関数近似器として用いることにより、動作速度の推定も行う。

(4) 人支援技術への応用

ロボットや IT 技術を用いて、子どもの教育支援や異国間コミュニケーション支援を行うシステムを開発する。そこで生じる諸問題に SDNN の高い学習・適応能力が生かせないか検討する。

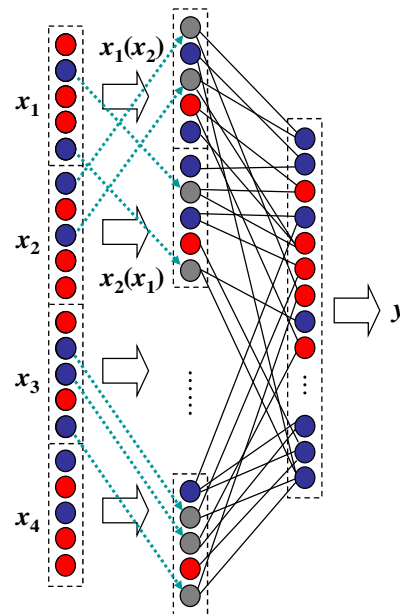


図1 選択的不感化ニューラルネット

4. 研究成果

(1) SDNN による関数近似の研究

数値実験の結果、SDNN は近似精度や汎化能力、学習速度や計算量などほとんどすべての点で、既存の関数近似器を凌駕することが示された。また、解析の結果、SDNN の高い関数近似能力には、分散表現と選択的不感化の両方が貢献していることなどがわかった。

そのほか,SDNN が特にどのような問題に有効であるかについても調べ,事前に有効性を評価するための指標を開発した.

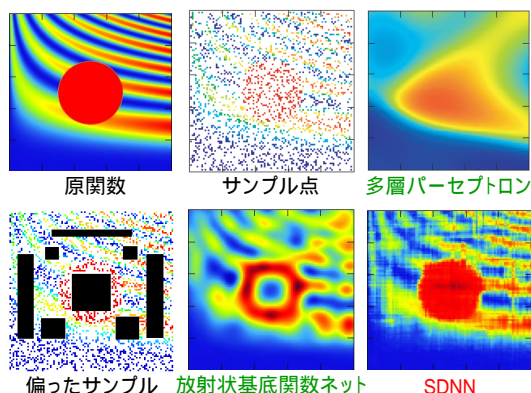


図2 関数近似器の比較

(2) 強化学習への応用

アクロボットの振り上げ課題を対象に比較実験を行った結果,SDNN を価値関数の近似器として用いると,学習効率が向上するだけでなく,事前の次元圧縮が不要である,次元が増加しても計算量があまり増加しないなど,既存手法にない特徴が明らかになった.

また,強化学習の手法,特に実用性の高いQ学習は,状態だけでなく行動次元も連続な場合には適用が困難であった.行動価値を表すSDNNの出力層の表現を工夫することによって計算量を抑える方法を開発し,その有効性を確かめた.これらの成果は,強化学習の実用性を大いに高めるものであり,今後ロボットの自律的行動学習などに応用することが期待される.

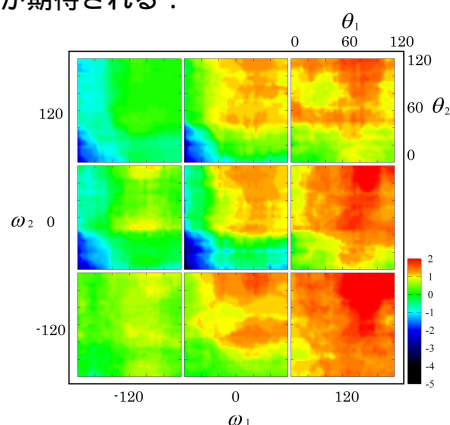


図3 価値関数の近似例

(3) 表面筋電位信号からの動作推定への応用

SDNN を用いて 6 種類の手動作を実時間で識別する方法を開発した.識別率に関しては,先行研究と同程度であったが,センサの位置決めや特徴量の選択の手間など,実用性の観点では本手法の方が優れていた.

さらに,6 種類の腕の動作速度をそれぞれ推定することにも成功した.これまで,位置や加速度から間接的に速度を推定する手法はあったが,誤差が大きく,時間遅れも大きい.これに対して本手法は,動作の数 10 ms 前の筋電位信号から直接現在の速度を比較

的精度良く推定することが可能である.



図4 筋電センサ電極(左)と推定した動作(右)

(4) 人支援技術への応用

幼児を対象としたテレプレゼンスロボット,特にその操作インタフェースの研究を行った.大人と違い口頭による詳しい説明を与えることが難しい幼児の場合,直感的なジェスチャなどでロボットを操作できることが望ましい.そのため,モーションセンサ付きの子ども向けデータグローブを開発し,3歳の幼児でもロボットを遠隔操作可能なことを確かめた.本研究では操作パターンとしてロボットの前後左右動と手の開閉のみを扱い,個人動作への適応学習などは行わずに済んだが,今後より複雑な操作パターンや正確な動作認識を行うに際してはSDNNの導入が有用であると考えられる.

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 15 件)

Kazumasa Horie, Atsuo Suemitsu and Masahiko Morita, Direct estimation of hand motion speed from surface electromyograms using a selective desensitization neural network, Journal of Signal Processing, 査読有, 掲載決定済.

Fumihide Tanaka, Takahashi Toshimitsu, Shizuko Matsuzoe, Nao Tazawa and Morita Masahiko, Telepresence robot helps children in communicating with teachers who speak a different language, Proceedings of the 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 査読有, pp.399-406, 2013. DOI: 10.1145/2559636.2559654

Fumihide Tanaka, Takahashi Toshimitsu and Morita Masahiko, Tricycle-style operation interface for children to control a telepresence robot, Advanced Robotics, 査読有, Vol.27, No.17, pp.1375-1384, 2013.

田中文英, 幼児教育現場におけるソーシャルロボット研究とその応用, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol.29, No.1, pp.19-22, 2011.

野中和明, 田中文英, 森田昌彦, 階層型ニューラルネットの2変数関数近似能力の比較, 電子情報通信学会論文誌(D), 査読有, Vol.J94-D, No.12, 2114-2125, 2011.

Hiroshi Kawata, Fumihide Tanaka, Atsuo Suemitsu and Masahiko Morita, Practical surface EMG pattern classification by using a selective desensitization neural network, Neural Information Processing (Part II), 査読有, Lecture Notes in Computer Science, Vol.6444, pp.42-49, 2010.

Ken Yamane and Masahiko Morita, Brain-like computing based on distributed representations and neurodynamics, New Generation Computing, 査読有, Vol.28, No.4, pp.321-338, 2010.

新保智之, 山根健, 田中文英, 森田昌彦, 選択的不感化ニューラルネットを用いた強化学習の価値関数近似, 電子情報通信学会論文誌(D), 査読有, Vol.J93-D, No.6, pp.837-847, 2010.

〔学会発表〕(計 25 件)

丹野智博, 堀江和正, 小林高彰, 森田昌彦, ニューラルネットによるパターン分類におけるパターンコーディングの効果, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2013 年 6 月 28 日, 沖縄科学技術大学院大学.

Fumihide Tanaka, Educational use of robots manipulated by children, 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Workshop on Collaborative Manipulation (招待講演), 2013 年 3 月 3 日, 日本科学未来館(東京都).

堀江和正, 末光厚夫, 森田昌彦, Half-vs-Half 法を適用した選択的不感化ニューラルネットによる筋電パターンの多クラス分類, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2012 年 6 月 28 日, 沖縄科学技術大学院大学.

Fumihide Tanaka, Care-Receiving Robot to Promote Children's Learning by Teaching, 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (招待講演), 2012 年 3 月 7 日, Boston, USA.

野中和明, 田中文英, 森田昌彦, 選択的不感化ニューラルネットの2変数関数の

近似能力, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2011 年 6 月 24 日, 琉球大学.

小林高彰, 澁谷長史, 田中文英, 森田昌彦, 選択的不感化ニューラルネットを用いた連続状態行動空間における Q 学習, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2011 年 6 月 24 日, 琉球大学.

川田浩史, 末光厚夫, 森田昌彦, 選択的不感化ニューラルネットを用いた表面筋電位信号からの手の動作識別, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2010 年 6 月 18 日, 琉球大学.

新保智之, 山根健, 田中文英, 森田昌彦, 選択的不感化ニューラルネットを用いた関数近似器による強化学習, 情報処理学会創立 50 周年記念全国大会, 2010 年 3 月 10 日, 東京大学本郷キャンパス.

川田浩史, 山根健, 末光厚夫, 森田昌彦, 選択的不感化ニューラルネットを用いた表面筋電位信号からの手の動作推定, 情報処理学会創立 50 周年記念全国大会, 査読無, 2010 年 3 月 10 日, 東京大学本郷キャンパス.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 3 件)

名称: Classification Estimating System and Classification Estimating Program
発明者: Masahiko Morita, Hiroshi Kawata
権利者: University of Tsukuba
種類: US Patent
番号: 13/350,711
出願年月日: 2012 年 1 月 13 日
国内外の別: 国外

名称: 分類推定システムおよび分類推定プログラム
発明者: 森田昌彦, 川田浩史
権利者: 国立大学法人 筑波大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-522736
出願年月日: 2011 年 10 月 28 日
国内外の別: 国内

名称: 分類推定システムおよび分類推定プログラム
発明者: 森田昌彦, 川田浩史
権利者: 国立大学法人 筑波大学
種類: 特許
番号: PCT/JP2010/004585
出願年月日: 2010 年 7 月 14 日
国内外の別: 国外

〔その他〕

ホームページ等

<http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/demo/>

6．研究組織

(1) 研究代表者

森田 昌彦 (MORITA, Masahiko)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号：00222349

(2) 研究分担者

田中 文英 (TANAKA, Fumihide)
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号：50512787

(3) 連携研究者

長谷川 泰久 (HASEGAWA, Yasuhisa)
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号：70303675