

平成 30 年 5 月 10 日現在

機関番号：32638

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330284

研究課題名(和文)高次元ニューラルネットワークによる逆問題解法と正則化

研究課題名(英文) Solution and regularization of inverse problems using high-dimensional neural networks

研究代表者

小川 毅彦(Ogawa, Takehiko)

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号：50297090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：高次元領域に拡張されたニューラルネットワークによる逆問題解法および正則化法についての検討を行うとともに、高次元ニューラルネットワークの実際の工学的問題への適用を検討した。計算機シミュレーションを中心とした逆問題解法および正則化法の検討によって高次元ニューラルネットワークの有効性を示し、さらに表面筋電位やモーションセンサによる前腕姿勢推定、移動ロボットの軌道計画などの応用研究によって高次元ニューラルネットワークの適用可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：The solution and regularization method of inverse problems by the neural network extended to high-dimensional numbers were studied. In addition, the applications of high-dimensional neural network to actual engineering problems were examined. The effectiveness of high-dimensional neural network was shown by the examination of solution and regularization method of inverse problems by computer simulation. Furthermore, the applicability of high-dimensional neural network was clarified by applied research such as the forearm pose estimation using surface electromyography and the motion sensor, and the motion planning of mobile robot, and so on.

研究分野：情報学

キーワード：ニューラルネットワーク 高次元数 逆問題 正則化 写像問題 表面筋電位 姿勢推定 移動ロボット

1. 研究開始当初の背景

実数で表現されていたニューラルネットを複素数や四元数など高次元化したモデルが提案され、その情報処理能力や学習法、応用に関する研究が行われている。高次元数の中でも四元数は、3次元空間の代数表現を簡潔にできるため、人工衛星の姿勢制御やコンピュータグラフィクスなどに応用されている。高次元数を用いたデータ間の非線形関係の適応的なモデル化のために、さまざまな高次元ニューラルネットモデルが提案されてきた。

一方、様々な工学分野において観測結果から原因を推定する逆問題の解法が求められ、研究が行われてきた。逆問題の適応的解法の1つとして、多層型ニューラルネットを用いたネットワークインバージョン法が提案され、生体信号解析や運動制御などへの応用が検討されてきた。一般に逆問題には不良設定性による解法上の問題があり、解の存在や一意性、安定性が保証されない。この問題の解決のために、問題依存の拘束条件を課す正則化が検討されてきた。現在の高次元化・多チャンネル化された工学分野の諸問題に対応するため、高次元ニューラルネットによる逆問題解法について、不良設定性緩和のための正則化法を含めた理論的・定量的な枠組みを確立する必要があった。

高次元ニューラルネットは、高次元数の各成分間の位相関係を含めて学習・推定できるため、多チャンネル信号解析など位相関係に特徴のある問題への応用が有効である。例えば、多チャンネルの筋電波形解析において、観測された多チャンネルの波形から運動動作や行動を逆推定する問題は高次元の不良設定逆問題であり、高次元ニューラルネットによる逆問題解法が有効であると考えられる。そこで逆問題としての多チャンネル生体信号解析法という応用研究への展開によって、高次元ニューラルネットによる逆問題解法の有効性を実証することは、高次元ニューラルネットの1つの枠組みを確立するという点で意義があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、高次元ニューラルネットによる逆問題解法について、不良設定性に関する問題の解決を含めた枠組みを構築し、さらに実際の工学的問題への展開によって有効性を実証することを目的とする。具体的には、多層型ニューラルネットによる逆問題解法であるネットワークインバージョン法と、不良設定性の解決のための正則化を高次元領域に拡張して、高次元領域における不良設定逆問題のニューラルネット解法を構築する。さらに応用研究への展開として、逆問題としての多チャンネル生体信号解析問題への適用による有効性の実証を目的とする。

最初に不良設定問題解法のための正則化法を含む高次元ニューラルネットによる逆

問題解法の理論的・定量的な枠組みの構築を行うことを目標とする。具体的な高次元数としては複素数と四元数を対象とし、まず一意性に関する不良設定性について検討し、さらに存在性や安定性について議論していく。これらの基礎的検討の後に多チャンネル筋電位解析などの生体信号解析に応用し、解法の確立および有効性の実証を目標とする。

3. 研究の方法

高次元ニューラルネットによる逆問題解法および不良設定性緩和のための正則化法に関する理論的検討および計算機シミュレーションによる検討を行う。さらに、実際の高次元信号解析問題である多チャンネル筋電波形解析に応用する場合の有効性や適用可能性について検討する。当初は高次元ニューラルネットによる逆問題解法および不良設定性緩和のための正則化法の定式化や理論的検討に重点を置き、その後応用分野への適用に研究の重点を置くことで、理論・応用の両面から高次元ニューラルネットによる逆問題解法の枠組みの確立を目指す。

最初に、高次元ニューラルネットによる逆問題解法の理論的検討および計算機シミュレーションとして、高次元逆写像問題やロボットアーム逆運動学問題などの基本的な問題で動作や特性について詳細に検討を行う。理論的に検討した結果に基づき、計算機シミュレーションを行う。さらに、不良設定逆問題に適用するために、高次元ネットワークインバージョン法への正則化法の拡張や、高次元ニューラルネットの汎化能力による不良設定性の緩和効果について検討を行う。高次元数に拡張した正則化法やニューラルネットの汎化能力による不良設定性の緩和効果について詳細に検討する。

続いて、高次元ニューラルネットの実際の問題への応用として、高次元信号解析問題に適用するための検討を行う。高次元信号解析問題への適用のために、生体信号の計測データを収集する。具体的には、運動時の多チャンネル筋電波形解析を想定して実験を行う。高次元信号解析のための効果的なネットワーク構成やデータ前処理法を検討し、検討結果に基づき計算機シミュレーションを行う。さらに、数値解析ツールを用いて結果の考察・検討を行い、高次元ニューラルネットの適用可能性を検証する。

さらに、高次元生体信号解析の検討に加え、高次元ニューラルネットをさまざまな問題に適用する場合の効果について検討する。扱う問題については、移動ロボットの軌道計画問題や、運動動作の評価問題などを対象とし、その結果に基づき高次元ニューラルネットの有効性と問題点を明らかにする。最後に、これまでに検討してきた基礎的な解法の構築と応用研究への展開について総括し、理論および応用の両面から高次元ニューラルネットによる逆問題解法の枠組みを確立する。

4. 研究成果

高次元領域に拡張されたニューラルネットワークによる逆問題解法および正則化法についての検討を行うとともに、高次元ニューラルネットの実際の工学的問題への適用可能性を検討した。計算機シミュレーションを中心とした逆問題解法および正則化法の検討によって有効性を示し、さらに表面筋電位やモーションセンサによる前腕姿勢推定問題、移動ロボットの軌道計画問題などの応用研究によって高次元ニューラルネットの適用可能性を示した。本研究で得られた成果を以下に挙げる。

(1) 高次元ネットワークインバージョンによる逆問題解法の有効性の確認

高次元ニューラルネットによる逆問題解法に関して、四元数ネットワークインバージョン法を対象とし、簡単な例題による学習・推定データによる計算機シミュレーションを行い、有効性を示した。まず、四元数に拡張したネットワークインバージョン法による逆推定処理を数式により定式化した。続いてその動作を示すための例題として、3次元空間における逆写像問題と2自由度ロボットアーム逆運動学問題を取り上げ、学習・推定データを作成し、計算機実験によって有効性を明らかにした。四元数ニューラルネットの有効性を示すために実数型ニューラルネットとの比較実験を行った結果、四元数ニューラルネットは不十分なデータからの学習において実数型ニューラルネットよりも優れているとの知見を得た。以上の通り、高次元ネットワークインバージョンによる逆問題解法の基礎的検討によりその有効性を明らかにした。

(2) 表面筋電位による前腕姿勢推定問題への応用の有効性の確認

高次元ニューラルネットの応用の1つとして生体信号による3次元姿勢の推定の問題を考え、データの計測と計算機シミュレーションを行った。最初に予備実験として、前腕部の表面筋電位とじゃんけん動作の関係の学習・推定問題を取り上げ、ニューラルネットによる解法を試みた。測定した表面筋電位からのじゃんけん動作の判別の基本的な動作を確認した。予備実験に続いて、上腕部の多チャンネル表面筋電位と前腕の3次元姿勢の関係の学習・推定問題を取り上げた。四元数ニューラルネットを用い、多チャンネル表面筋電位と3次元姿勢の四元数入出力に対する学習と推定を行いその動作を確認した。四元数ニューラルネットの有効性を示すために、実数型ニューラルネットに対する学習データ次元と推定精度の比較実験を行った結果、データの次元が低い場合に、四元数ニューラルネットによる学習・推定が有利であるとの知見を得た。以上の通り、多チャンネル表面筋電位からの前腕姿勢推定に四元数ニューラルネットを適用する場合の有効性を明らかにした。

(3) 移動ロボットの軌道計画問題への応用の有効性の確認

高次元ニューラルネットのもう1つの応用として、移動ロボットの軌道計画問題を考え、問題設定と計算機シミュレーションを行った。具体的には、ロボットの現在位置から軌道を生成する問題に、複素ニューラルネットによる学習・推定を導入することを提案し、データを作成して計算機シミュレーションを行った。複素ニューラルネットの有効性を示すために、実数型ニューラルネットに対する学習データの次元と推定精度の比較実験を行った。その結果、複素ニューラルネットは実数型ニューラルネットと比べて、低次元すなわち不十分な学習データからでも高い精度で学習できることが明らかになり、複素ニューラルネットの有効性が示された。以上の通り、複素ニューラルネットによる移動ロボットの軌道計画問題に取り組み、実数型ニューラルネットに対する複素ニューラルネットの効果を検討し、計算機シミュレーションで有効性を明らかにした。

(4) その他の問題への応用の有効性の確認

高次元ニューラルネットの応用の1つとして研究を続けてきた生体信号による3次元姿勢の推定の問題について、表面筋電位センサだけでなく、モーションセンサによるデータ計測に拡張して実験を行い、学習・推定動作を確認した。これによって、各種センサからの生体信号による姿勢推定問題への四元数ニューラルネットの適用可能性を明らかにした。また生体信号からの生体動作推定の関連研究として、深層学習によるスポーツ動作評価や、深層学習による日本語弁別、自己組織化ニューラルネットによる材料のテクスチャ評価などに取り組んだ。具体的には、表面筋電位によるアーチェリー射的動作の評価や、パラグラフベクターによる日本語文章の弁別、透明アクリル板のテクスチャ評価等の問題である。これらの関連研究は、深層学習や自己組織化マップなどを用いているが、今後四元数や複素数などに拡張して高次元ニューラルネットを適用することが考えられる。以上、ニューラルネットの応用分野を模索することで、将来の応用についての幅広い知見を得た。

以上の通り、研究期間を通じて高次元ニューラルネットの基礎的検討により有効性を示し、さらにロボットアーム逆運動学問題、生体信号による姿勢推定問題、移動ロボットの軌道計画問題、生体信号によるスポーツ動作の評価などの応用研究への適用可能性を示した。研究期間は終了となるが、研究期間を通じて得られた成果や知見をもとに、さらに高次元ニューラルネットに関連した研究を進展させることを予定している。また、現在投稿中または投稿準備中の論文を含めて、研究期間中に得られた成果について研究発表を進めていく予定である。

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4件)

小川毅彦, 「ニューラルネットワークとその高次元化 複素数・四元数へ」, 工業教育資料, vol.357, pp.7-11, 査読無, 2014.

Takehiko Ogawa, "Neural Network Inversion for Multilayer Quaternion Neural Networks", Journal of Computer Technology and Application, vol.7, pp.73-82, 10.17265/1934-7332/2016.02.002, 査読有, 2016.

Takehiko Ogawa, Yoshihito Kagawa, Akira Okazaki, and Takehiro Takahashi, "Planning the Circular Motion of a Mobile Robot by Using Complex-Valued Neural Network", Proceeding of the 2017 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI2017), pp.313-314, 査読有, 2017.

Hafizzuddin Firdaus bin Hashim, and Takehiko Ogawa, "Application of Quaternion Neural Network to EMG-Based Estimation of Forearm Motion", Proceeding of the 2017 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI2017), pp.317-318, 査読有, 2017.

[学会発表](計12件)

小川毅彦, 「四元数ニューラルネットワークのロボットアーム逆運動学問題への応用」, 第8回コンピューテーショナルインテリジェンス研究会, 2015.

鈴木 亨, 小川毅彦, 林 誠治, 「四元数ニューラルネットワークによる運動学の学習」, 電子情報通信学会総合大会学生ポスターセッション, 2016.

阪本 彩, 小川毅彦, 林 誠治, 「Paragraph Vector の日本語弁別の応用と既存手法との比較」, 電子情報通信学会総合大会学生ポスターセッション, 2016.

Takehiko Ogawa, "Multilayer Neural Networks Extended to High-Dimensional Numbers", The 14th Symposium on Engineering, North China University of Technology-Takushoku University, 2016.

小川毅彦, 「ニューラルネットワークの高次元化とその応用について」, IEEE SMC Hiroshima Chapter 講演会(招待講演), 2016.

ハフィズディン フィルダウス ビン ハシム, 小川毅彦, 「四元数ニューラルネットワークによる表面筋電位からの前腕動作の推定」, 計測自動制御学会システム・情報部門講演会, 2016.

小川毅彦, ハフィズディン フィルダウス ビン ハシム, 「四元数ニューラルネットワークを用いた筋電位による前腕姿勢の推定」, 第10回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会, 2016.

ハフィズディン フィルダウス ビン ハシム, 小川毅彦, 「四元数ニューラルネットワークを用いた9軸モーションセンサによる前腕姿勢の推定」, 第12回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会, 2017.

西川佳男, 香川美仁, 小川毅彦, 高橋 丈博, 岡崎 章, 「孤独感軽減のためのロボット開発」, 計測自動制御学会第18回システムインテグレーション部門講演会, 2017.

Hafizzuddin Firdaus bin Hashim, and Takehiko Ogawa, "Estimation of Forearm Motion based on EMG using Quaternion Neural Network", The 16th Symposium on Engineering, Takushoku University - North China University of Technology, 2016.

村井宏旭, 小川毅彦, 「深層学習を用いた表面筋電位によるアーチェリー動作の評価」, 第13回日本感性工学会春季大会, 2018.

若林祐次, ガンラヤーシャントセン, 吉田瞬, 川端康介, 小川毅彦, 杉林俊雄, 「自己組織化マップを用いた透明アクリル樹脂のテクスチャ評価」, 日本機械学会九州支部第71期総会・講演会, 2018.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川毅彦 (OGAWA TAKEHIKO)

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号: 50297090

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし