

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号： 32638
 研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2009～2012
 課題番号： 21700260
 研究課題名（和文） 複素ネットワークインバージョンによる不良設定逆問題の解法に関する研究
 研究課題名（英文） Solution of ill-posed inverse problems using complex-valued network inversion
 研究代表者
 小川 毅彦 (OGAWA TAKEHIKO)
 拓殖大学・工学部・准教授
 研究者番号： 50297090

研究成果の概要（和文）： 複素領域に拡張した不良設定逆問題解法のための複素ネットワークインバージョン法および正則化法に関する検討を行い、実際の逆問題への適用を検討した。複素ネットワークインバージョンに正則化法を適用し、逆問題の各種不良設定性の緩和動作を示した。実際の逆問題として、分散電源逆推定や画像フィルタ変換、ロボットアーム逆運動学などを対象に有効性を検証した。結果として、複素ニューラルネットワークの一手法としての複素ネットワークインバージョン法の有効性と適用可能性を示した。

研究成果の概要（英文）： The complex-valued network inversion and the regularization method for solving ill-posed inverse problems has been studied and applied to the actual inverse problems. The solution of ill-posedness of the inverse problems was shown by the complex-valued network inversion with the regularization method. As the actual inverse problems, the inverse estimation of distributed generation, the inverse transforms of image filter, and inverse kinematics of robot arm were examined to show the effectiveness of the proposed methods. As a result, the effectiveness and the applicability of the complex-valued network inversion method were shown as a method of complex-valued neural networks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,700,000	510,000	2,210,000
平成22年度	500,000	150,000	650,000
平成23年度	500,000	150,000	650,000
平成24年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード： 逆問題・複素数・ニューラルネットワーク・ネットワークインバージョン・不良設定性・正則化法

1. 研究開始当初の背景

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の必要性が高まっており、これまで数理学の分野を中心に研究が行われてきた。ニューラルネットワークの分野においては、多層型ニューラルネッ

トワークを用いた逆問題の適応的解法としてネットワークインバージョンが提案され、医用信号解析や運動制御などへの応用が検討された。一方、複素入出力間の適応的なモデル構築を目的として複素ニューラルネットワークの研究が行われ、複素領域に拡張さ

れた逆問題の解法として複素ネットワークインバージョンが提案され検討が行われてきた。

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、逆方向解の存在や一意性、安定性が保証されず、これはネットワークインバージョンによる適応的解法においても同様である。この問題の解決のために、出力誤差の最急降下条件に加えて問題に依存する拘束条件を課すための正則化法や、ニューラルネットワークの汎化能力による不良設定性緩和効果が検討されてきた。さらに、複素領域に拡張された複素ネットワークインバージョンにおいても同様に、不良設定性緩和効果についてシミュレーションを中心に効果が明らかにされてきた。

このような状況を背景として、複素領域に拡張された複素ネットワークインバージョン法および正則化法による不良設定逆問題解法の枠組みの確立のためには、理論的・実験的な検討だけでなく実際の問題に応用してその有効性を示す必要がある。そのため、複素ニューラルネットワークの適用によって効果が得られると予測される周波数領域での逆問題解法等に実際に応用して、その適用可能性および問題点を検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、近年盛んに研究が行われている複素ニューラルネットワークの分野において、逆問題解法という1つの枠組みを確立することである。これまで、ニューラルネットワークによる逆問題解法に対する正則化法や、さらに複素ニューラルネットワークへの拡張について研究が行われてきたが、理論的にも応用分野的にも検討が不十分であった。本研究では、逆問題解法のための複素ネットワーク手法を理論的検討および応用問題の検討によって確立することを目的とする。

上記を実現するための具体的な目的は、複素ネットワークインバージョンおよび不良設定逆問題のための正則化法の導入の提案を基礎として、簡単な不良設定逆問題の例題を用いて詳細な検討を行うことと、実際の応用問題に適用して有効性や適用可能性に関する検討を行うことで、理論的・実験的に枠組みを確立することである。すなわち、提案した逆問題解法の枠組みを、様々な不良設定逆問題を想定した問題で理論的検討を行い、その結果を踏まえて実際の問題への適用可能性と、実際の問題における不良設定性の緩和について検討を行い、理論・応用の両面から枠組みを確立することが目的である。これによって複素領域の逆問題解法のための有効な結果を得ることで、複素領域の逆問題解

法のための標準的なニューラルネットワーク手法の確立が可能である。

3. 研究の方法

最初に、逆問題解法のための複素ネットワークインバージョン法の不良設定逆問題に対する適用可能性の理論的・実験的検討を行う。複素写像逆推定やフーリエ逆変換などの基本的かつ汎用的な例題を用いて、不良設定性を解の存在性、一意性、安定性に分けてそれぞれ定量的な検討を行い、有効性を示す。複素ネットワークインバージョンにおける不良設定性の緩和効果について定量的な議論を行うために、ワークステーション上で計算機シミュレーションを行う。統計的な議論を行うために多数のデータを集める。

続いて、複素ネットワークインバージョンの実際の問題への応用を検討する。複素ネットワークインバージョン法は、複素数の実部と虚部の位相関係を学習・推定することができるために、位相情報が重要となる波形のモデル化や逆推定の問題への適用が効果的であると考えられる。そのような問題として、エネルギー分野の1つのテーマである分散電源回路の逆推定や、画像処理分野のテーマである2次元画像フィルタの逆推定などの問題について不良設定性の検討を行い、複素ネットワークインバージョン法や正則化法を適用して有効性を示す。

最後に、これまでに検討した逆問題解法のための複素ネットワークインバージョンと正則化法を、さまざまな逆問題に適用する場合の効果について、その効果を定量的に検討する。扱う問題については、分散電源逆推定や画像フィルタ変換、ロボットアーム逆運動学を対象とし、特に不良設定性の緩和効果について定量的に検討する。また、正則化法の種類についても検討を行い、効果的な方法を提案し有効性を示す。

4. 研究成果

逆問題解法のための複素ネットワークインバージョン法および正則化法に関する基礎的な検討を行い、さらに実際の逆問題への適用を検討した。本研究で得られた成果を以下に挙げる。

(1) 複素ネットワークインバージョン法の実際の問題への応用として、分散電源逆推定問題を取り上げ、検討を行った。需要地近傍に分散配置される小規模な電源が分散電源であり、分散電源パラメータを推定する問題は重要である。この問題は複数の測定点における複素電位・電流データから分散電源の複素電圧データを推定する逆問題である。本研究では、まず複素ネットワークインバージョンを用いて複素領域に渡る逆問題としての

ネットワーク構築および学習データ作成を行い、不良設定性のない状態での推定動作を確認し、分散電源逆推定問題への適用可能性を示した。さらに、一意性に関する不良設定性が存在する場合の学習データを作成し、問題解決の必要性和困難さを提示した。その上でこの不良設定性を解決するための正則化法を提案し、計算機シミュレーションによってその有効性を示した。これによって、分散電源逆推定というエネルギー分野における逆問題解決のための1つの方法を確認するとともに、複素ネットワークインバージョン法の有効性を明らかにした。

(2) 複素ネットワークインバージョンおよび複素ニューラルネットワークの実際の問題への応用として、2次元画像フィルタ変換問題を取り上げ、検討を行った。画像フィルタは、生体システムやロボットビジョン、画像処理において重要であり、各種画像フィルタを用いて得た画像から適切な情報を抽出、あるいは不要な情報を低減できる。本研究では、画像フィルタに非線形な変換を行い、適応的なフィルタを構成することを考え、複素ニューラルネットワークを用いて2次元画像フィルタの順変換および逆変換を行う方法を提案した。またこの方法において、2次元画像フィルタの入出力関係を用いて逆フィルタを構成する逆問題が考えられ、この逆推定に複素ネットワークインバージョンの適用を提案した。複素ニューラルネットワークによる複素写像および逆写像の能力を示すために、アフィン変換の学習シミュレーションを示し、さらに、変換後の画像フィルタによる画像フィルタリングの結果を示すことで有効性を示した。これによって、画像フィルタの適応的逆推定という画像処理分野における逆問題解決のための1つの方法を確認するとともに、複素ネットワークインバージョン法の有効性を明らかにした。

(3) ネットワークインバージョンおよび正則化法の実際の問題への応用として、多自由度ロボットアーム逆運動学問題を取り上げ、検討を行った。多自由度のロボットアームの制御において、目標の手先位置を実現するための関節角を求める問題は逆運動学と呼ばれ、逆問題の1つである。本研究では、多自由度ロボットアームの逆運動学問題にネットワークインバージョンを適用することを検討し、特に逆問題を解く際の不適切性の問題による解の存在や一意性・安定性について、その緩和法をそれぞれ示した。具体的には、2次元空間内で動作する3自由度ロボットアームを考え、解の存在性・一意性・安定性が満たされない問題を設定し、それぞれについて正則化法等に基づく不良設定性緩和法を提案し、シミュレーションによって有効性を示した。これによって、ロボットアーム逆

運動学の問題を通して、不良設定問題に対する概念やその対策法についての枠組みを確立した。

(4) 複素ネットワークインバージョンにおける有効な正則化法の1つとして、位相角に制限を与える方法を提案し、基本的な問題であるべき乗関数とロボットアーム逆運動学を対象に、解の一意性に関する不良設定性の生じるデータを用いて効果を定量的に評価した。一般に多価関数において解を限定して特定の解を求める場合、位相角を制限することにより1価関数とする方法がある。しかしこの方法では、解空間の限定を適切に行う必要があり、不適切な場合は解の存在や一意性が得られない。本研究では、複素ネットワークインバージョンのための複素入力位相角に目標を与える正則化法を提案し、べき乗関数の逆関数の推定や、多自由度ロボットアーム関節角の逆推定の問題によって効果を示した。複素入力位相角に目標を与えることによって、複数の解候補の中から特定の解を効果的に推定可能であることを示した。これによって、複素ネットワークインバージョンのための効果的な正則化法を示した。

以上の通り、本研究では逆問題解決のための複素ネットワークインバージョン法および正則化法の有効性と、実際の逆問題への適用可能性という成果を得た。さらに関連研究の成果として、ネットワークインバージョン法の高次元数への拡張や、移動ロボットの群行動生成のための複素ニューラルネットワーク構成の提案、材料特性推定のためのニューラルネットワークによる画像処理法の提案などの成果が得られた。関連研究を含めた本研究の成果は、複素ニューラルネットワークの枠組みを拡張するものであり、今後の研究の深化・拡充に貢献するものと考えている。

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8件)

- ① 小川毅彦, 高根覚, 「複素ネットワークインバージョンのための目標位相角による正則化法」, 計測自動制御学会論文集, 投稿中, 第49巻6号掲載決定, 査読有, 2013.
- ② Tsubasa Iura and Takehiko Ogawa, "Quaternion Network Inversion for Solving Inverse Problems", Proceeding of the SICE Annual Conference, pp.1802-1805, 査読有, 2012.
- ③ Kyouhei Kawashima and Takehiko Ogawa, "Complex-Valued Neural Network for Group-Movement Control of Mobile Robots", Proceeding of the SICE Annual Conference, pp.1806-1809, 査読有, 2012.
- ④ Takehiko Ogawa, "Complex-Valued Network

- Inversion with Regularization for Ill-Posed Inverse Problems”, Journal of Computer Technology and Application, vol. 3, No. 6, pp. 408-417, 査読有, 2012.
- ⑤ Takehiko Ogawa and Kyosuke Nakamura, “Solution of Inverse Problem on Distributed Generation Using Complex-Valued Network Inversion”, Journal of Mechanics Engineering and Automation, vol. 1, No. 6, pp. 436-444, 査読有, 2011.
- ⑥ Takehiko Ogawa, Kyosuke Nakamura and Hajime Kanada, “Solution of Ill-Posed Inverse Problem of Distributed Generation Using Complex-Valued Network Inversion”, Proceeding of the IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications, vol. 1, pp. 159-162, 査読有, 2011.
- ⑦ Takehiko Ogawa and Hajime Kanada, “Solution for Ill-posed Inverse Kinematics of Robot Arm by Network Inversion”, Journal of Robotics, DOI: 10.1155/2010/870923, 査読有, 2010.
- ⑧ Takehiko Ogawa, Seisho Fukami and Hajime Kanada, “Inverse Estimation of Distributed Generation by Complex-Valued Network Inversion”, Proceeding of the SICE Annual Conference, pp. 247-250, 査読有, 2010.
- [学会発表] (計 10 件)
- ① 高根 覚, 小川毅彦, 「複素ネットワークインバージョンによる不良設定逆運動学解法」, 電子情報通信学会総合大会, 2013 年 3 月 19 日, 岐阜大学.
- ② 山根明博, 小川毅彦, 「自己組織型エージェントによる教室内環境の学習」, 電子情報通信学会総合大会, 2013 年 3 月 19 日, 岐阜大学.
- ③ 井浦 翼, 小川毅彦, 「高次元ネットワークインバージョンによる逆問題解法」, 第 2 回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会, 2012 年 9 月 28 日, 岡山大学.
- ④ 中村恭介, 小川毅彦, 「複素ネットワークインバージョンによる分散電源推定」, 電子情報通信学会総合大会, 2012 年 3 月 20 日, 岡山大学.
- ⑤ 川嶋恭平, 小川毅彦, 「移動ロボットの群行動生成のための複素ニューラルネット」, 電子情報通信学会総合大会, 2012 年 3 月 20 日, 岡山大学.
- ⑥ 井浦 翼, 小川毅彦, 「四元数ニューラルネットワークによる逆問題解法」, 電子情報通信学会総合大会, 2012 年 3 月 20 日, 岡山大学.
- ⑦ 中村恭介, 小川毅彦, 「複素ネットワークインバージョンによる逆問題解法と正則化」, 第 1 回コンピューテーショナル・イ

ンテリジェンス研究会, 2011 年 9 月 30 日, 京都工芸繊維大学.

- ⑧ 中村恭介, 小川毅彦, 「複素ネットワークインバージョンによる分散電源推定と正則化」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2011 年 9 月 13 日, 北海道大学.
- ⑨ 中村恭介, 小川毅彦, 金田 一, 「複素ネットワークインバージョンによる分散電源推定」, 第 20 回インテリジェントシステムシンポジウム, 2010 年 9 月 26 日, 首都大学東京.
- ⑩ 鬼原 健, 小川毅彦, 金田 一, 「ネットワークインバージョンによるロボットアームの不良設定逆運動学解法」, 電子情報通信学会総合大会, 2010 年 3 月 17 日, 東北大学.

[図書] (計 4 件)

- ① Takehiko Ogawa, “Transformations of Image Filters for Machine Vision Using Complex-Valued Neural Networks”, Human-Centric Machine Vision, (F. Solari ed.), In-Tech, Chapter 8, pp. 143-164, 2012.
- ② Takehiko Ogawa, Kyosuke Nakamura and Hajime Kanada, “Estimation of Distributed Generation Using Complex-Valued Network Inversion with Regularization”, Intelligent Control and Innovative Computing, (S. I. Ao, et al. eds.), Springer, Chapter 11, pp. 137-148, 2012.
- ③ Takehiko Ogawa, “Image Clustering and Evaluation on Impact Perforation Test by Self-Organizing Map”, Self-Organizing Maps, (G. K. Matsopoulos ed.), In-Tech, Chapter 13, pp. 211-230, 2010.
- ④ Takehiko Ogawa, “Image Recognition on Impact Perforation Test by Neural Network”, Image Processing, (Y.-S. Chen ed.), In-Tech, Chapter 19, pp. 345-356, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 毅彦 (OGAWA TAKEHIKO)
拓殖大学・工学部・准教授
研究者番号：50297090

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし