

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

深見 斉正[†]小川 毅彦[‡]金田 一[‡]拓殖大学大学院電子情報工学専攻[†]拓殖大学工学部電子システム工学科[‡]

1. はじめに

近年、科学・工学の分野において、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きている。ニューラルネットワークの分野においては、多層型ネットワークを用いて逆問題を解く方法として、ネットワークインバージョンが提案されている[1]。一般に逆問題を解く際には不良設定性の問題が生じ解の存在性・安定性・一意性が保証されない。それはネットワークインバージョンの場合でも同様である。この問題の解決方法として正則化の方法が提案されている。

従来のネットワークインバージョンの解法は、実数領域の入出力と荷重を持つ多層型ネットワークの解法である。しかし周波数領域での信号処理などでは、複素領域での逆問題が考えられる。そこで複素荷重と複素ニューロンを用いて複素入出力を扱うことが可能な複素ニューラルネットワークが提案された[2]。

本研究では、ネットワークインバージョンを複素領域に拡張した複素ネットワークインバージョン[3]による複素写像の逆推定問題について検討する。複素ネットワークインバージョンにおいても不良設定性の問題は存在する。そこで、不良設定性の問題を解決するために正則化法を導入し、その効果を確認する。逆推定に用いるデータにあえて不良設定性を含んだものを用い、不良設定性が正則化法によってどの程度緩和できるかをシミュレーションによって検討する。

2. 逆問題とニューラルネットワーク

順問題が、原因から結果を導くものであるのに対し、逆問題は結果から原因を求める、あるいは出力から入力を求めるものである。通常、多層型ニューラルネットワークでは、入力から出力への方で学習を行い、学習によって得られた順方向の関係を用いて入力から出力を推定しているため、順問題の解法である。これに対して出力から推定することによって、多層型ニューラルネットワークを用いて逆問題を解く方法がネットワークインバージョンである。ネットワークインバージョンとは学習済みのネットワークを用いて入力を推定する方法である。実際には勾配法に基づいた繰返し修正をすることにより、出力から入力を推定する。逆推定を解くためには、学習による順方向モデル化とその順方向モデルを逆に用いる逆推定の2段階処理を行う。

3. 複素ネットワークインバージョン

複素ネットワークインバージョンは、通常、多層型ニューラルネットワークを用いて実数領域の入出力関係を学習することで逆問題を解くネットワークインバージョンに対し、その方法を複素領域に拡張したものである。複素ニューラルネットワークでは、複素荷重と複素ニューロンを用いたネットワーク構成で複素入出力間の関係を学習することができる。複素ネットワークインバージョンでは、複素荷重と複素ニューロンから構成された学習済みの複素多層型ニューラルネットワークを用いて、複素入出力に拡張された逆問題を解くことができる。

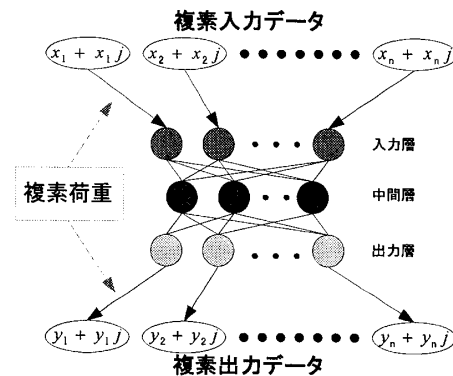


図1 複素ニューラルネットワーク

4. 不良設定性と正則化法

通常、原因から結果を求める順問題においては、解の存在性、解の一意性、解の安定性が保証される。そしてこの3つの要求がすべて満足されているとき問題は適切といえる。しかし逆問題においては、問題設定の適切性が必ずしも保証されない。そのため解を求めることが困難な場合がある。この問題を不良設定性と呼び逆問題を解く際に重要な問題となる。

不良設定性を有する逆問題解法としてネットワークに対し解の安定化を図るために正則化法を用いる。具体的には、ネットワークの出力誤差を現す汎関数に、問題に対する拘束条件を表す汎関数を加え、これらを同時に最小化することで、拘束条件を満たしつつ出力誤差を最小化する方法が考えられる。すなわち、

$$E = \|y - y'\|^2 + \gamma \|P\| \quad (1)$$

のように誤差を表す汎関数に解が滑らかでないときに罰を与える正則化項を直接付加し、解の空間を狭める手法を用いることで不良設定性の緩和を行う。また正則化法は、逐次過程の各段階において正則化パラメータ γ を修正する動的な正則化法を用いる。

A Solution for Ill-posed Inverse Problems Using Complex-Valued Network Inversion

[†]Seisho Fukami, Electronics and Information Science Course, Takushoku University

[‡]Takehiko Ogawa and Hajime Kanada, Dept. of Electronics and Computer Systems, Takushoku University

5. シミュレーション

複素ネットワークインバージョンの逆問題解法として、複素写像の逆推定問題を考える。複素写像の逆推定問題では、複素平面上のある1点を他の1点に写像する問題を考え、学習時に得た順方向の写像関係を逆に用いて任意の点の逆写像を求めることにする。

本研究では、複素数の入力データに対して、実部が負の場合はその虚数部の絶対値をとった複素数の出力データに写像するような複素写像を考える。ただし、実部が正の場合は虚部も正のデータのみを考える。すなわち、

$$\begin{cases} y_R + iy_I = x_R + i|x_I| & \text{for } x_R < 0 \\ y_R + iy_I = x_R + ix_I & \text{for } x_R, x_I > 0 \end{cases} \quad (2)$$

という入出力データ間の対応を学習し、与えられた出力データに対応する入力データの逆推定を試みる。この写像では、複素数平面の第1象限に与えられた出力に対する入力は一意的に決まるが、第2象限に与えられた出力に対する入力は2通り存在し、さらに第3・第4象限に与えられた出力に対する入力は存在しないという、一部不良設定逆問題である。

表1に示すパラメータをもつネットワークを用いて、式(2)の関係を学習させた。最初に、一意性に関する不良設定性緩和の効果を確認するために、学習を行ったネットワークに対して、第1・第2象限に分布する出力を与えて逆推定を行った。図2は、正方向への拘束条件を加えた正則化による逆推定結果、図3は負方向への拘束条件による逆推定結果である。これらによると、解が一意的にきまる第1象限においてはどちらも同様な入力推定されているが、解が2通り考えられる第2象限出力に対しては、正則化法によってそれぞれ第2象限および第3象限の入力が選択的に推定されていることがわかる。

表1 ネットワークパラメータ

入力層	1
中間層	10
出力層	1
学習係数	0.01
最大学習回数	50000
最大逆推定回数	20000

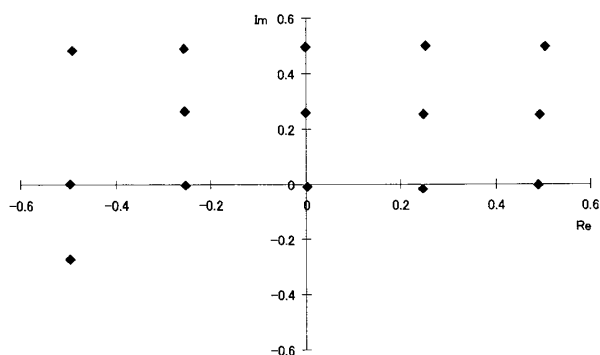


図2 逆推定結果(正方向への正則化)

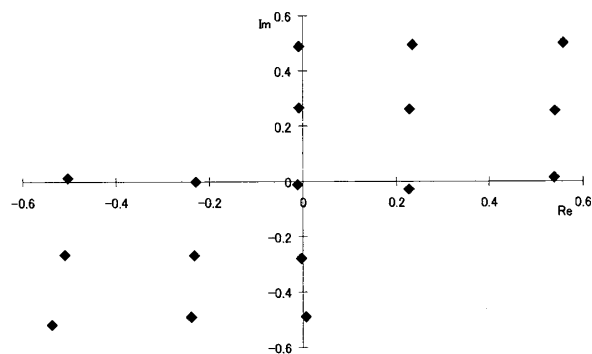


図3 逆推定結果(負方向への正則化)

続いて第3・第4象限に分布する出力を与えて逆推定を行った結果が図4である。この場合は対応する入力は存在しないため、与えられた入力分布の境界値が解として推定されていることがわかる。

以上より、一意性に関する不良設定問題に対しては、正則化法を加えることで選択的に解を推定できることが示された。また、存在性に関する不良設定問題に対しては、特定の推定入力分布が得られることが確認できた。

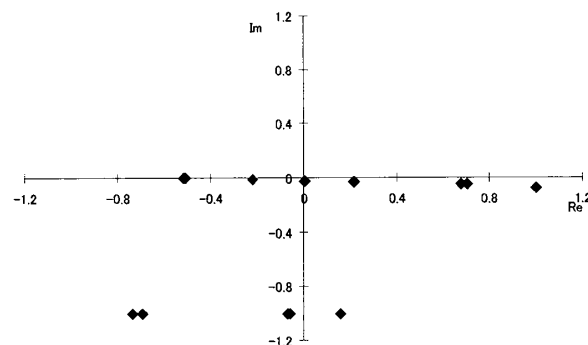


図4 逆推定結果(第3・第4象限出力に対する入力)

6. むすび

本研究では複素領域に拡張した複素ネットワークインバージョンに正則化法を導入することで一意性に関する不良設定性の緩和を試みた。また、存在性に関する不良設定性に対するネットワークの逆推定の特性を検討した。

今後の課題として不良設定性の影響を緩和するために正則化法や初期値の範囲の検討、実際の問題として画像処理や信号処理等の問題への応用が考えられる。

参考文献

- [1] A. Linden and J. Kindermann. "Inversion of Multilayer Nets", Proc. IJCNN, pp.425-430, 1989.
- [2] 新田 徹, 「複素ニューラルネットワーク」信学誌, vol.83-8, pp.612-615, 2000.
- [3] 小川毅彦, 金田 一, 「複素逆問題の解法のための複素ネットワークインバージョン」信学論, vol.J88-D-II, No.9, pp.1594-1962, 2005.