

4M-9

ネットワークインバージョンを用いたロボットアーム関節角の逆推定

松浦 広通[†] 小川 毅彦[†] 金田 一[†]拓殖大学大学院電子情報工学専攻[†]

hmatuur@es.takushoku-u.ac.jp

1. はじめに

近年、科学や工学の分野において、逆問題を解く必要性が高まってきている[1]。逆問題の解法としては様々なものが提案されているが、特に多層型ニューラルネットワークで逆問題を解くための方法として、ネットワークインバージョンが提案されている[2]。

逆問題を解く際には一般に不適切性の問題が生じ、解の存在や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を用いて逆問題を解く場合にも同様である[3]。この不適切性の問題の解決のために正則化の方法が提案されている。

本研究では、3自由度ロボットアームの先端座標に対するアームの関節角の逆推定問題にネットワークインバージョンを適用することを提案する。さらに、正則化法を導入することによって逆問題を解く際に生じる不適切性を緩和できることをシミュレーションによって示す。

2. 逆問題とネットワークインバージョン

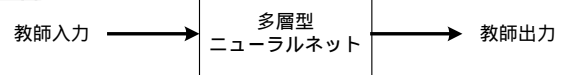
逆問題とは観測されたデータから原因やシステム構造を推定するものである。順問題においては問題の適切性、つまり解の存在や一意性が保証される。しかし逆問題においては、通常の因果関係とは逆に問題をたどり、観測者が得たデータから原因やシステムの構造・性質を求めるため、適切性が必ずしも保証されない[1]。

通常、多層型ニューラルネットワークではまず、学習時に入力から出力を得る方向で教師データを与え、順方向に学習を行なって順方向関係を構築する。続いて実行時には、学習時に得られた順方向関係を用い、確定した入力を与えて確定した因果関係から結果を求める。これに対してネットワークインバージョンは、図1に示すように学習時には通常、多層型ニューラルネットワークの場合と同様に学習を行ない、実行時には学習で得られた順方向関係を逆に用いて入力を推定する。具体的な入力の逆推定は、ランダムに与えた初期入力に対する出力と結果を比較し、入力を繰り返し修正することによって出力から入力を推定する形で行なう[2]。このネットワークの学習動作および逆推定動作

をそれぞれ、順方向学習フェーズおよび逆方向推定フェーズと呼ぶ。

しかし、ネットワークインバージョンを用いて逆問題を解く際にも不適切性の問題は生じる。逆問題の不適切性を緩和するための方法が正則化法である。ネットワークインバージョンにおける正則化は、出力誤差の式に正則化汎関数を加え、それらを同時に最小化する入力を求めることによって行なう。

学習



逆推定

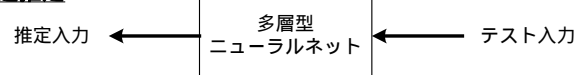


図1 ネットワークインバージョン

3. ロボットアームの関節角の逆推定

ロボットアームの関節角からそのアームが指示する先端座標を求める順キネマティクスに対し、その逆問題としてアームが指示する先端座標からアームの関節角を推定するのが逆キネマティクス問題である。逆キネマティクス問題においても、逆問題解法の際の不適切性が生じて正しい関節角の推定が困難になる可能性がある。図2の3自由度ロボットアームにおいて、関節角から先端座標を求める際にはその関係は1対1であるのに対し、逆キネマティクスでは先端座標から関節角を推定するための関係が図3のように1対多となる。そのため、先端座標の値のみから関節角を逆推定すると、その座標を支持するアームの関節角の組み合わせが何通りもあるため、与えている先端座標を正確に指示するアームの関節角の推定が困難になる可能性がある。

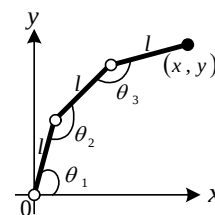


図2 3自由度ロボットアーム

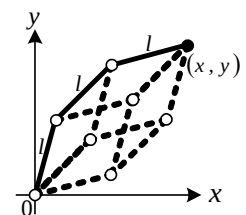


図3 同一の先端座標に対する複数の関節角の組合せ

Inverse Estimation of Joint Angles of Robot Arm by Network Inversion

[†]H.Matsuura, T.Ogawa and H.Kanada, Graduate School of Engineering, Electronics and Information Science Course, Takushoku University, 851-1, Tatemachi, Hachioji, Tokyo, 193-0985, Japan

本研究では、逆問題の不適切性の緩和を目的とした正則化法をネットワークインバージョンに付加し、逆キネマティクスにおける不適切性の解消を試みた。

4. シミュレーション

本研究では、3自由度アームの先端座標からの関節角の推定を行なう。関節角($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)を教師入力データ、アームが指示する先端座標(x, y)を教師出力データとしてネットワークに与えて学習し、順方向の入出力関係を構築する。逆方向の推定時には入力層に入力初期値をランダムにセットに、出力層に先端座標を与えて得られた出力誤差によって入力の修正を行ない、出力側から入力を推定する。

本研究では、ノルム最小解による正則化法を導入する。入力 x_j により生じる出力 y_i と $\tilde{y}_i$ により生じる出力誤差 E の式を、

$$E = \sum_{i=1}^M (y_i - \tilde{y}_i)^2 - \lambda \|x_j\| \quad (1)$$

とし、 $\|x_j\|$ に正則化パラメータ λ を乗じた形で定義し、 $\|x_j\|$ のノルム最小解を求める方法により、入力を修正していく。ここで入力は、

$$x_j(t+1) = \lambda x_j(t) + \eta \delta_j \quad (2)$$

によって修正される。また、正則化パラメータ λ は、

$$\lambda' = \lambda/T, \quad \lambda = \lambda - \lambda' \quad (3)$$

によって1回の推定ごと減らしていき、 λ の初期値は指定する。実際には、 $\lambda = 0.0001$ の値を用いた。ここで T は最大学習回数とする。

さらに、推定によって得られた関節角から先端座標を算出し、実際の先端座標の値と比較することにする。なお、教師データおよびネットワークパラメータを表1に、ネットワーク構成を図4に示す。

図5および図6に示すシミュレーションの結果から、正則化法を付加していない場合では推定結果に大きなばらつきが見られるが、正則化法を付加した結果、そのばらつきをうまく抑えることができ、安定したアームの軌道が得られていることがわかる。

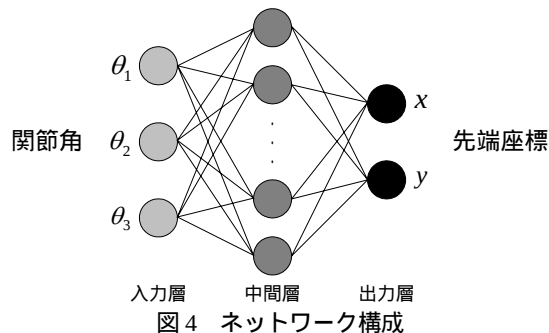


図4 ネットワーク構成

表1 教師データおよびネットワークパラメータ

関節角 θ_1	$0^\circ, 10^\circ, \dots, 90^\circ$
関節角 θ_2	$0^\circ, 15^\circ, \dots, 330^\circ$
関節角 θ_3	$0^\circ, 30^\circ, \dots, 330^\circ$
アーム長	30.0cm
入力層・中間層・出力層	3・50・2
学習係数・入力修正係数	0.001・0.001
慣性係数(学習・逆推定)	0.01・0.01
学習回数・入力修正回数	10000・10000

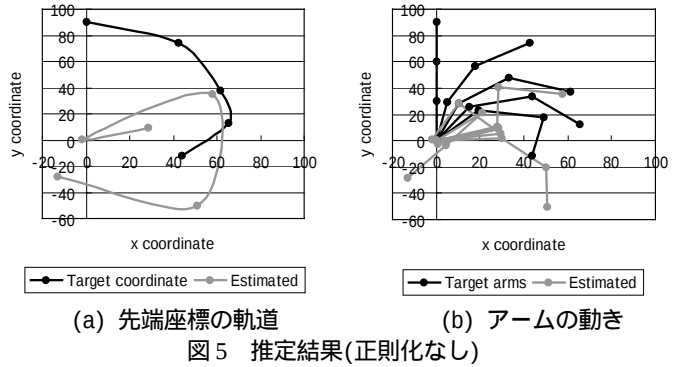


図5 推定結果(正則化なし)

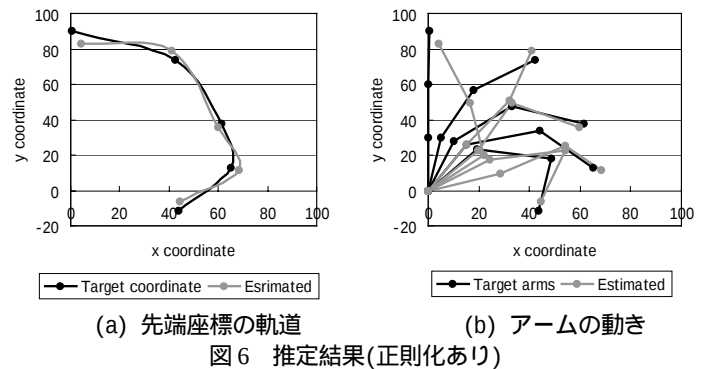


図6 推定結果(正則化あり)

5. まとめ

本研究では、ネットワークインバージョンによってロボットアーム関節角の逆推定を行なう方法を提案し、シミュレーションによって効果を確認した。さらに、正則化法を導入することによって、推定される関節角の値のばらつきを抑えることができた。今後の課題として、多自由度アームの関節角の逆推定および、他の正則化法の検討が挙げられる。

参考文献

- [1] 久保司郎 (1992) “逆問題” 培風館
- [2] A.Linden and J.Kindermann (1993) “Inversion of Multilayer Networks.” Proc. IJCNN, 3: 188-193.
- [3] T.Ogawa, Y.Kosugi and H.Kanada (1998) “Neural Network Based Solution to Inverse Problems.” Proc. IJCNN, 3: 2471-2476.