

H-12

多冗長ロボットアームの人操縦特性モデリング Human-Machine Interface Modelling of a Robot Arm with Multiple Degrees of Redundancy

三原 健志†
Kenji Mihara

長坂 研†
Ken Nagasaka

1. まえがき

今日では、ロボットアームは様々なところに導入されている。そのほとんどが非冗長であるが、障害物回避や可操作性を考慮した冗長なロボットアームもある。ロボットアームを制御するときにまず解かなければならない問題として、逆運動学問題がある。これは、ある手先位置を実現する関節角度を求めるもので、冗長な場合、解は無数に存在する。このため、何らかの拘束条件を用いて解を一意にすることがよく行なわれる。しかし、冗長自由度が多くなると、ヤコビ行列及びその擬似逆行列の計算量が多大になってくる。

近年新しい手法として、ニューラルネットワークを利用した学習制御の研究が行なわれている。学習後のニューラルネットワークを用いると、瞬時に欲しい関節角度が得られるというメリットがある。まず逆モデルの獲得法として、直接逆モデリングが提案され[1]-[4]、Jordan らによる順逆モデリング[5]、川人らによるフィードバック誤差学習法などが提案されている[6]。順逆モデリングとフィードバック誤差学習法は、冗長ロボットアームにも対応できるが、これらの手法は基本的にオンライン学習のためのものであり、対象とするロボットを実際に動かし、その先端位置を観測する過程を繰り返す必要がある。実際には、ロボットを動かす回数は少ないほうがよいし、不適当な制御で動作させるのは好ましくない。直接逆モデリングは、オフライン学習のための手法であるが、冗長なロボットアームの逆運動学を獲得するのは困難である。またフィードバック誤差学習法では、フィードバックコントローラを必要とする。

そこで本研究では、まず障害物回避を考慮し、平面において 6 自由度を有する多冗長ロボットアームとその制御回路の設計製作を行なった。これを人が特異姿勢にならないようにかつ操作性が良くなるような、できるだけ自然な動き・姿勢になるように各関節を動作させて、オフライン学習のためのデータを収集し、直接逆モデリング法で学習を行なってみて、多冗長ロボットアームから得られたデータが学習可能か、つまり人操縦特性に直接逆モデリングで学習できないほどの冗長性が含まれているかどうかを検証する。

2. 冗長ヒューマンインターフェース

多少の位置決め誤差は、手先の 2 自由度を用いて解消できるように、自由度は平面において多めの 6 自由度のロボットアーム兼ヒューマンインターフェースとした。

各リンク長は、100[mm]、各軸に DC モーターと角度計測用のアブソリュート型ロータリーエンコーダーを図 1 の

ように取り付けた。

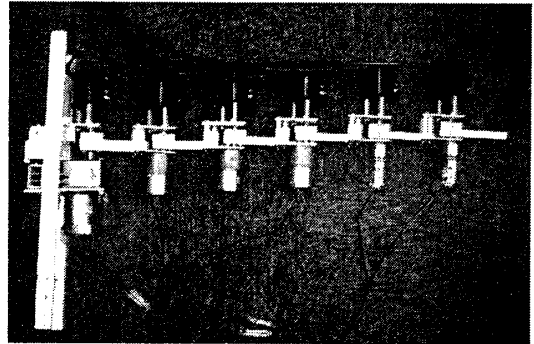


図 1 冗長ヒューマンインターフェース

3. データ収集・処理

図 2 のように自然な姿勢で様々な軌跡を描かせる。マイコンに集められた角度情報は、シリアル通信により PC に逐次伝送される。

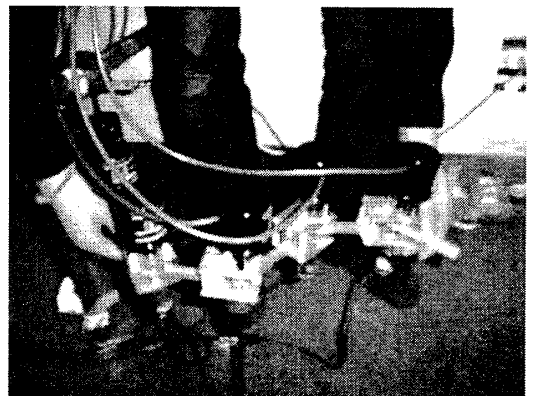


図 2 データ収集法

得られたデータは、全部で 1713 地点のデータがある。このデータを 572 地点にまで間引き、ニューラルネットワークに入力するために正規化処理を行なった。

今回のニューラルネットワークは、入力に現在位置、現在の関節角度の他に現在位置から目標位置までの偏差を、出力に現在の角度から目標位置を実現するための角度偏差を使用する構造にした。偏差は、現在位置までに到達するまでの 5 地点、現在位置、現在位置から 5 地点あとの計 11 偏差を用いて計算した。これによりニューラルネットワークの教師パターンとして、572 地点での 11 パターンで合計 6182 パターンとなった。

またデータは、Unseen データ地点でのニューラルネットワークの汎化能力を試すために、データ地点をあえて少なめに収集している。

† 東京農工大学工学研究科、小金井市

Graduate School of Technology, Tokyo University
of Agriculture & Technology, Koganei-shi, 184-8588
Japan

4. NNによるモデリング

図3に今回使用したニューラルネットワーク構造を示す。3層構造、10入力、6出力、中間層40ニューロン、学習は最も一般的な誤差逆伝播法を用いた。そのときの学習率は0.1、モーメンタムは0.6が最適であった。

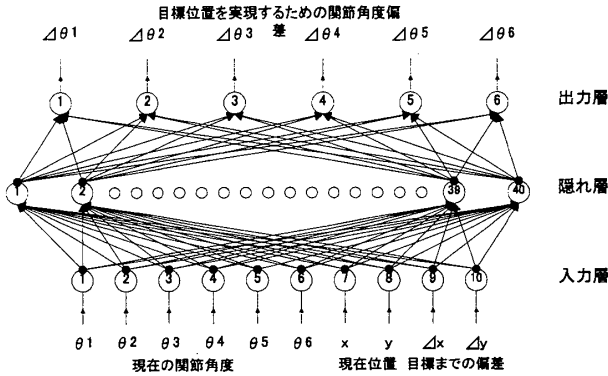


図3 使用したニューラルネットワーク

5. 検証

図4に検証用データを示す。実験の結果テストデータを6.44[cm]ごとに分割すると最も誤差が少なかった。テストデータ1では、7分割、テストデータ2では5分割した。

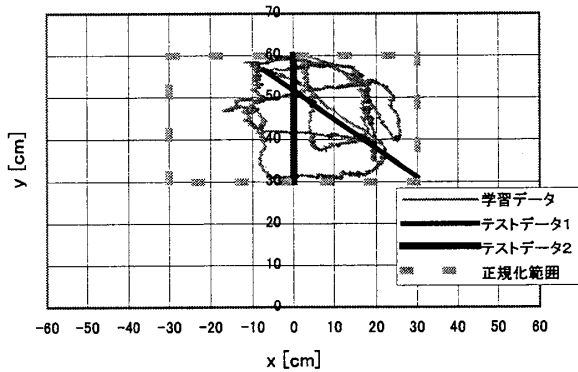


図4 テストデータ

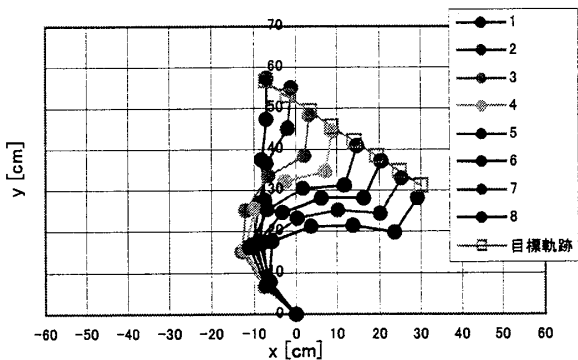


図5 テストデータ1結果

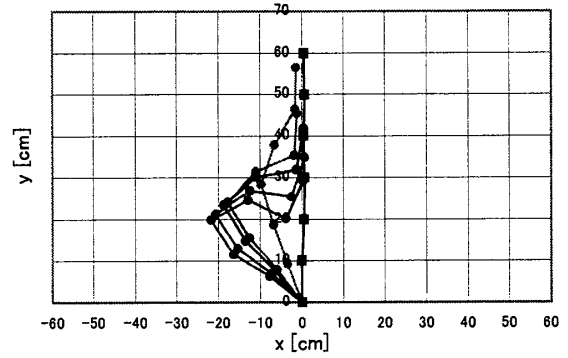


図6 テストデータ2結果

図5、図6の結果は1000回学習で打ち切ったものである。1000回以上学習した場合は比較的近くに学習データのあるテストデータ1では精度が良くなったが、逆に学習データのない経路であるテストデータ2ではかえって悪化した。

上記の結果より多少誤差は大きいですが、単純な方法かつオフライン学習で人操縦特性がおおよそ獲得できており、人操縦特性を学習するだけで自然な姿勢も同時に実現できている。

学習データになかった経路でも、誤差が大きいですが、おおよそ対応できている。多少の誤差は、手先の2自由度を使って補正できるものと思われる。

6. むすび

本研究では、人が冗長ヒューマンインターフェースを操縦するときの特性に注目し、実際に製作した冗長ヒューマンインターフェースを用いて収集した少ないデータで、その特性をニューラルネットワークでモデリングできることを確認した。

モデリングしたニューラルネットワークは、ロボットアーム制御に応用できるのはもちろん、冗長物操作特性研究のきっかけになることも期待できる。

今後の課題として、データ数の影響を検証したりや誤差を減少させていきたい。

文 献

- [1] S.I.Colombano, Compton Michael and M. Bualat : "Goal Directed Model Inversion," Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'91 Singapore), pp.2422-2427, 1991
- [2] 阪口豊、前田太郎、座間雅夫、大森隆司、中野馨 : "感覚系と運動系の協調システム (I)", 第26回計測自動制御学会大会予稿集, pp.73-74, 1987
- [3] 橋本秀紀、久保田孝、佐藤基夫、原島文雄 : "感覚情報によるマニピュレータの位置・姿勢制御", 日本ロボット学会誌, vol.8, no.4, pp.390-396, 1990
- [4] B.S.Kermanshahi, N. Sepehri, "Human-Machine Interface Modelling in Telerobotics", ICAM'93, Tokyo, Japan, 1993
- [5] M.I.Jordan : "Supervised learning and systems with excess degrees of freedom," COINS Technical Report, 88-27, pp.1-41, 1988
- [6] M.kawato, K.Furukawa and R.Suzuki : "A Hierarchical neural network model for control and learning of voluntary movement," Biol. Cybern., 57, pp.169-185, 1987