

ロボット教示高度化のためのセンシング手法に関する研究

柘植 英明 谷 和男* 稲葉 昭夫** 棚橋 英樹***

Study of Sensing Methods for Sophisticated Robot Teaching

Hideaki Tsuge Kazuo Tani* Akio Inaba** Hideki Tanahashi***

あらまし ロボットへの教示は、現在もティーチングペンダントを用いた方法が最も多く利用されている。しかし、教示には熟練と多くの時間が必要とされるため、特に、連続的な経路を教示することが必要な、バリ取り等の倣い作業の教示には、多くの時間が必要となる。そこで本研究では、人が操作するツールの位置・姿勢を計測し、その計測データを基にして教示データを作成する手法に着目する。これにより、バリ取り等の倣い作業における教示時間の短縮を目指す。しかし、人が使用するツールの動きから教示データを作成するためには、位置・姿勢を高精度に計測することが必要不可欠であるが、現在のセンシング方法には位置・姿勢を高精度に且つ安定して計測する方法はない。このため、より精度を向上させるためには複数のセンサを組み合わせることが必要である。本研究では、複数のセンサを組み合わせることによって、より高精度に位置を計測する手法を検討する。その手法として、オブザーバを用いて位置を推定する手法を提案する。そして、シミュレーションにより本手法の有効性を検討する。

キーワード ロボット教示、センシング、オブザーバ、ティーチング

1. まえがき

ロボット教示は、現在もティーチングペンダントを用いた方法が最も多く用いられているが、依然として教示作業には多くの時間を費やしている。特に、バリ取り等の倣い作業の教示に関しては、連続的な経路を指定する必要があるため、教示により多くの時間が必要となる。この問題に対し、対象物の動きを計測し、そのデータからスキルを抽出して、教示データを作成する手法[1]や、作業における速度や押しつけ力から加工データベースを構築し、そのデータベースを利用した教示方法[2]、仮想環境内で教示を行う手法(オフラインティーチング)[3]が研究されている。また、鋳物製品などのバリ取り作業の教示において、レーザレンジファインダーにより、先行して形状を計測し、その計測したデータを基に教示データを補正する方法が提案されている[4]。しかし、これらの方法では、スキルの抽出やデータベースの構築に時間が必要となることや、センサの計測ミスによってロボットが異常な動作を行う危険性を有しているため、研究の段階に留まっている。オフラインティーチングでは、実

環境とのキャリブレーションが必要となる。

そこで、実際の現場で教示時間の短縮を行うためには、人が操作しているツールや移動させる対象物の動きを計測し、その計測したデータを基に教示データを作成する手法が有効であると考えられる。現在、位置・姿勢を計測して、教示データに利用する製品も存在するが、教示点を指定するためのツールであり、人の動作の計測は困難である。

一方、空間の位置・姿勢を計測する方法として、超音波センサや、ステレオ画像等を利用した製品が販売されている。しかし、これらの方法では、実際の計測環境では、データの欠けや環境に大きく左右される等の問題があるため、高精度に位置・姿勢を計測することができない。そこで本研究では、複数のセンサを組み合わせることで、位置をより高精度に計測する手法を提案する。さらに、シミュレーションにより提案した手法の有効性について検討する。

2. センシング手法

位置・姿勢を計測するセンサとしては、表1に示すようなセンシング方法があり、製品として販売されている。しかし、これらのセンシング方法では、精度や計測環境が限定される等の問題があり、人の作業を計測する方法には適していない。そこで、複数のセンサを組み合わせることで、センサの欠点を互いに補うことにより、より

*岐阜大学工学部応用情報学科
Gifu University Department of Information Science
**兼製品技術研究所
Research Institute of Industrial Products Technology
***兼ソフトウェアジャパン
Softpia Japan

精度を向上させる必要がある。

しかし、複数のセンサから得られた計測データから、どの様に真値を推定するのかという問題がある。そこで本研究では、人の作業モデルを用いたオブザーバを構成し、このオブザーバに複数のセンサから得られた計測データを入力することで、より高精度で信頼性の高い真値の推定値を求める手法を提案する。

表1．主なセンシング方法

Table 1 Sensing methods

	長所	短所
磁気計測	非接触式 位置・姿勢計測	環境依存大
超音波計測	非接触式 位置・姿勢計測	精度低い
光学式ステレオ計測	非接触式	環境の影響大 データの欠け
機械的計測 (リヤ, アム等)	環境の影響小	接触式 拘束が多く作業の計測は難しい

3. オブザーバを利用した計測モデル

3.1 オブザーバ

オブザーバは、システムの入力値と出力値から内部の状態変数を推定する機構であり、制御に必要な状態量が推定できるため、システムの制御に広く用いられている[4]-[8]。一般のシステムは、状態変数表現を用いることにより、

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx \quad \dots$$

と表すことができる。ここで、 x は n 次元状態ベクトル、 u は r 次元入力ベクトル、 y は m 次元出力ベクトルである。同様に、オブザーバも z を n 次元状態ベクトルとすると、

$$\dot{z} = Az + Bu, \quad \hat{y} = Cz \quad \dots$$

と表すことができる。システムの入力 u とオブザーバによって推定された出力 \hat{y} との差にオブザーバゲインをかけてフィードバックする(\dot{z} に足しこむ)ことにより、オブザーバの推定状態量 z がシステムの状態量 x に近づくことになる。

3.2 作業計測のためのオブザーバモデル

人の作業をシステムと考えた場合、機械システムのように入力値を知ることができない。このため、センサにより計測された位置・姿勢等の出力情報のみから、状態量を推定する必要が生じる。そこで、図1に示すように、オブザーバは入力値を用いることなく、センサからの出力データのみから状態量を推定することが可能な、未知入力オブザーバの構成を試みる。

人の作業モデルは、バネ・マス・ダンパモデルを用い

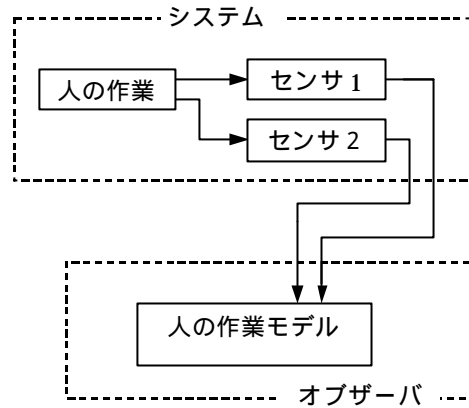


図1 未知入力オブザーバの概要

Fig.1 Unknown input observer

て表現することとし、質量を m 、粘性係数を c 、バネ定数を k とする。このシステムの運動方程式は、加えられた力を u 、変位を x とすると、

$$u = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \quad \dots$$

となる。ここで、状態変数を $z = [x \quad \dot{x}]^T$ として、状態変数表現すると次式となる。

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m & -c/m \end{bmatrix} z + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/m \end{bmatrix} u$$

$$y = [1 \quad 0]z \quad \dots$$

しかし、人の動作では制御システムのように入力値を知ることができないため、センサにより計測された位置や姿勢の出力情報から、状態量を推定する必要が生じる。そこで、入力 u をシステム内部に生じる外乱と考えることで、入力を必要とすることなく状態量を推定する、未知入力オブザーバを構成することができる。ここで、状態変数を $z = [x \quad \dot{x} \quad u]^T$ とすると、

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -k/m & -c/m & 1/m \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} z$$

$$y1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} z, \quad y2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} z,$$

$$y3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} z \quad \dots$$

となる。ここで、 $y1$ はセンサ1、センサ2両方の出力を利用するオブザーバの出力ベクトル、 $y2$ はセンサ1、 $y3$ はセンサ2のみを利用するオブザーバの出力ベクトルで

ある。

図2に、人の作業計測のための未知入力オブザーバのブロック線図を示す。このモデルでは、人の動作により計測された、センサ1およびセンサ2の計測データから、人の作業モデルを通して、状態量である位置を推定することができる。また、センサ1またはセンサ2の一方が計測不能(データの欠け)などの異常状態になった場合、異常な計測データは、センサ1およびセンサ2の両方を用いたオブザーバと、それぞれ一方のセンサ情報のみを用いたオブザーバとの推定値の差から、推測することができる。そのため、この情報を用いてデータの接続および切断を行うことにより、正常に動作しているセンサのみから、位置を推定することが可能となる。また、センサの特性に応じたモデルの設計を行うことにより、予測されるノイズを軽減することが可能となる。

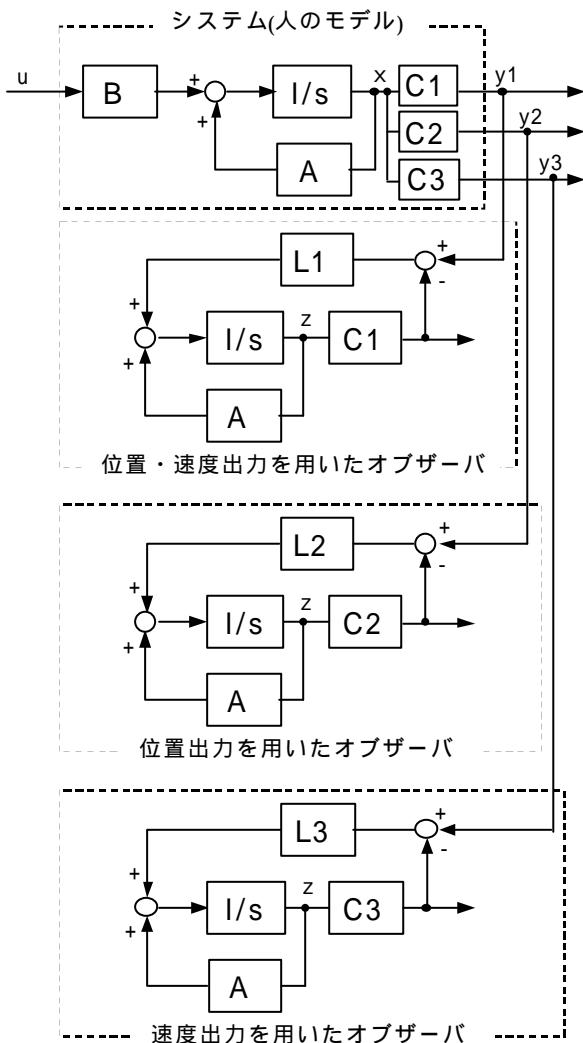


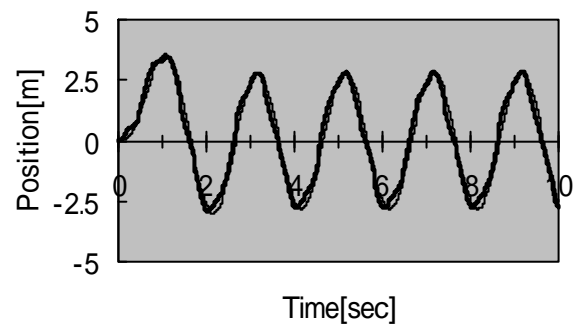
図2 未知入力オブザーバのブロック線図
Fig.2 Block diagram of unknown input observer

3.3 結果および考察

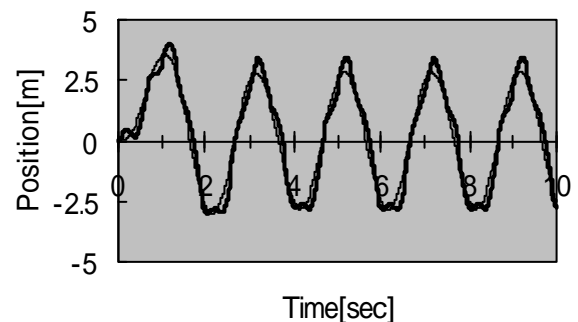
構成したオブザーバシステムの評価として、MatlabのSimulinkによるシミュレーションを行った。このシステムモデルにおける質量 $m=0.1\text{kg}$ 、粘性係数 $c=0.3\text{Ns/m}$ 、バネ定数を $k=0.5\text{N/m}$ とした。また、センサ1の出力を位置、センサ2の出力を速度とした。オブザーバへのフィードバックゲインLは、A-LCの固有値の実部が全て負となるように設計した。

(1) センサ1への正弦波ノイズ

次に、センサ1の位置センサが、時間関数として定義されるノイズを発生すると仮定し、センサ1へのノイズとして、 \sin 波(8Hz, 振幅0.5)を加えた。ここで、加えるノイズを8Hzの \sin 波としたのは、人の動作は5Hz以下程度であるため、それ以上の周波数(8Hz)をノイズとした。入力は、 \sin 波(0.5Hz, 振幅1)を用いた。その結果を図3に示す。図3-(a)の太線は、位置・速度両方のセンサ出力を用いたオブザーバにより推定された位置出力、細線は実際の位置出力である。図3-(b)の太線は、位置のセンサ出力を用いたオブザーバにより推定された位置出力、細線は実際の位置出力である。位置・速度両方の出力を用いたオブザーバの方が速度の情報を用いているため、よりノイズの影響が小さくなっている。

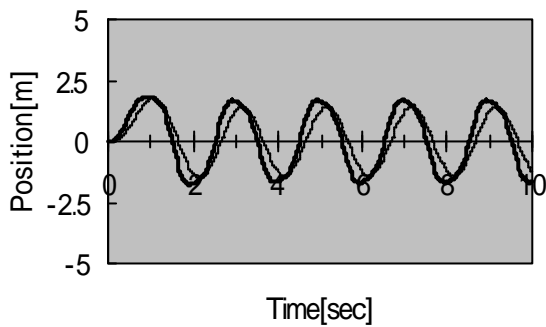


(a)位置・速度両方の出力を用いたオブザーバ

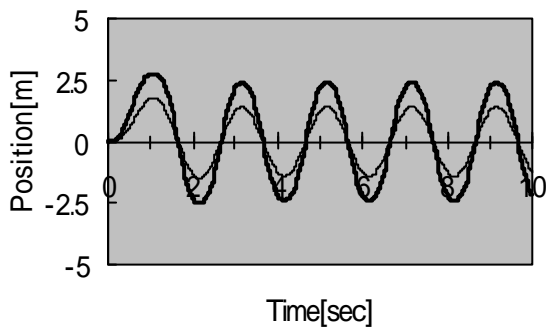


(b)位置出力を用いたオブザーバ

図3 シミュレーション結果(2)
Fig.3 Results of simulation (2)



(a)位置・速度両方の出力を用いたオブザーバ



(b)速度出力を用いたオブザーバ

図4 シミュレーション結果(3)

Fig.4 Results of simulation (3)

(2) センサ2への位置歪ノイズ

カメラを用いたセンサや磁気センサでは、計測位置により位置の歪が生じることが多い。このため、センサ2へのノイズとして、計測位置によって生じる歪を加えた場合のシミュレーションを行った。位置情報に位置歪として位置関数のノイズを加え、これを時間微分して、センサ2の出力(速度出力)とした。位置関数のノイズは、位置を x として、 $0.5 \cdot \sin(x)$ として加えた。入力 u は、 \sin 波(0.5Hz 振幅2)を用いたシミュレーション結果を、図4に示す。図4-(a)の太線は、位置・速度両方のセンサ出力を用いたオブザーバにより推定された位置出力、細線は実際の位置出力である。図4-(b)の太線は、速度のセンサ出力を用いたオブザーバにより推定された位置出力、細線は実際の位置出力である。位置・速度両方の出力を用いたオブザーバでは、位置の出力情報により歪が補正されるため、実際のセンサ出力に近い位置の推定を行っていることがわかる。よって、位置・速度両方の出力を用いたオブザーバでは、速度情報にドリフトのようなノイズが生じる場合についても有効であることがわかる。

4. まとめ

本研究では、複数のセンサを利用した人の作業計測モデルにおいて、

1) 計測データから状態量である位置情報を推定できる、未知入力オブザーバモデルを構築した。これにより、一方のセンサが計測不能になった場合にも、もう一方のセンサを用いて、状態量である位置の推定を行うことが可能となる。

2) 本提案モデルの有効性を評価するために、MatlabのSimulinkを用いてシミュレーションを行った。その結果、一方のセンサが計測不能になった時も、もう一方のセンサ情報を用いて状態量である位置情報を推定することができた。

今後の課題としては、実際に人が行う作業を計測し、本モデルの有効性を評価していく予定である。また、計測データを利用して、ロボットの教示データを作成する方法についても研究を行い、より短時間に教示を行うことができるシステムについて検討を行っていく予定である。

文献

- [1] 池内克史, カン S.B, “ 視覚によるハンドの教示 ”, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.5, pp599-602, 1995.
- [2] 下倉健一郎, 浅田春比古, 劉申, “ バリ取り作業におけるヒューマンスキルの教示方法に関する検討 ”, 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.1, pp144-149, 1996.
- [3] 川崎晴久, 中山寛二, グラハム パーカー, “ VR環境での人間の動作意図に基づくロボット教示 ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.5, No.2, pp899-906, 2000.
- [4] 野中潔, “ 不確実性を持つ離散的センサデータに基づく空間経路生成法とそのロボット備い作業への応用-第2報:シミュレーションによる特性評価- ”, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.2, pp221-229, 2000.
- [5] 岩井善太, 井上昭, 川路茂保, “ オブザーバ ”, コロナ社, 1994.
- [6] 谷和男, 松本治, 白井清一, 堀内英一, “ 不整地走行アクティブサスペンションロボット ”, 機械技術研究所報告, Vol.46, No.2, pp139-155, 1992.
- [7] 松本治, 梶田秀司, 谷和男, “ 移動ロボットの内界センサのみによる姿勢検出とその制御 ”, 日本ロボット学会誌, Vol.8, No.5, pp37-46, 1990.
- [8] 谷和男, 川村拓也, 宮永正雄, “ 複数オブザーバを用いた変動ダイナミクス機構の適応制御 ”, ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMEC'00), 2000.
- [9] バグス マハワン, 羅正華, 韓京清, 中嶋新一, “ 拡張オブザーバによるロボットの高速度・高精度運動