

マルチセンサシステムによる運動物体の構造モデルの動的推定

7J-5

長崎 健 川嶋 稔夫 青木 由直  
北海道大学工学部

1 はじめに

ロボットの活動範囲を拡大する時、ロボットが活動すべき環境が、未知であったり、時々刻々と変化したりする場合が出てくる。この場合、ロボットは随時、センサから得られる情報を基に、環境の認識や環境モデルを獲得することが重要になる。従来の知能ロボットで用いられる環境の認識では、環境や環境内のそれぞれの物体の幾何学的形状の獲得が主に行われてきた。しかし、ロボットが知的作業を行う為には、それぞれの物体の幾何学的形状の獲得の他に、作業に用いる対象物体の運動構造、すなわち部品間の拘束関係の獲得も必要となる。

物体間の運動の拘束関係に用いる情報は、センサからしか得られないので、対象物体が運動を行わなければ、必要な情報が得られない。また、対象物体が行なえる運動のなかで、特定の運動しか行っていない場合を、観測から判定することができない。そのため、対象物体を運動モデルを獲得するために、いつまで観測すれば良いかの判定はできない。そこで本研究では、観測が行なわれる度に、対象物体のモデルの評価を行ない、観測に矛盾のないモデルを推定する手法を提案する。

2 物体の状態推定

部分状態のみを観測するセンサデータから、運動状態を推定するとき、モデルが既知の物体では、モデルベースト推定が使用できる。しかし、観測空間内に新たな物体が現れたときなどの、モデルが未知の物体を観測した場合は、モデルの構築から行なわなければならない。そこで図2に示すように、本研究では、複数のセンサ情報をもとに、以下の3種類の処理を並行実行し、モデルの適合性や推定、物体の状態推定を行なう。

運動状態推定 対象物体のモデルを用いた、モデルベースト・センサフュージョンによって、物体の運動

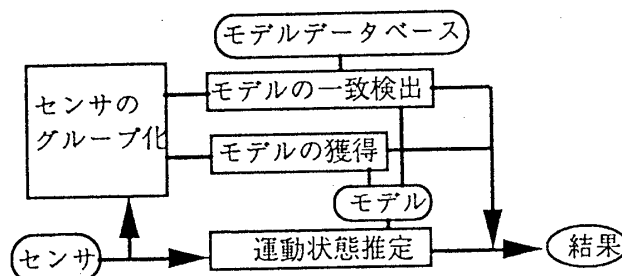


Fig. 1 状態推定処理の構造図

を推定する。

モデルの獲得 センサの観測値から、観測対象のモデルを推定する。

モデルの一致検出 センサの観測値から一時的に観測不可能になった物体か、まったく新たな物体かの判別を行う。

2.1 運動状態の推定

対象物体の構造モデルが既知であるので、拡張カルマンフィルタによるモデルベースト・センサフュージョンの手法を用いて、対象物体の状態は推定される。拡張カルマンフィルタによる状態推定は、以下のように計算される。

部分状態 $\tilde{x}_i(k+1|k+1)$ は、時刻 $k$ の状態から線形予測を行なって求めた予測値 $x_i(k+1|k), P_i(k+1|k)$ より、

$$\begin{aligned} \tilde{x}_i(k+1|k+1) &= x_i(k+1|k) + K(z_i(k+1) - h_i(x_i(k+1|k))) \\ \tilde{P}_i^{-1}(k+1|k+1) &= P_i^{-1}(k+1|k) + J_{h_i}^T R_i^{-1}(k+1) J_{h_i} \end{aligned} \quad (2)$$

$$K = \tilde{P}_i(k+1|k+1) J_{h_i}^T R_i^{-1}(k+1) \quad (3)$$

のように推定できる。ここで、 $J_{f_i}, J_{h_i}$ は $f_i, h_i$ のJacobian行列を表す。

2.2 センサ情報のグループ化

複数のセンサから観測される多数の情報からモデルを推定するとき、計算コストの増加を押さえるために、物体間の拘束関係を推定は、処理速度3ステップに分けて実行する。

The dynamic estimation of object structure using multi-sensor system.  
Takeshi NAGASAKI, Toshio KAWASHIMA and Yoshinao AOKI  
Department of Information Engineering,  
Faculty of Engineering, Hokkaido University  
Nishi 8, Kita 13, Sapporo, Hokkaido 060, Japan

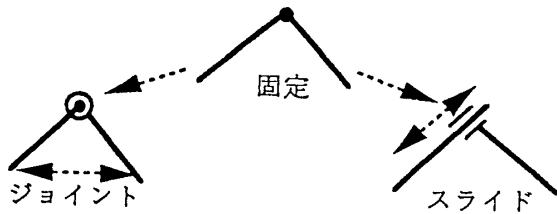


Fig. 2 単一の剛体、ジョイント構造、スライド構造

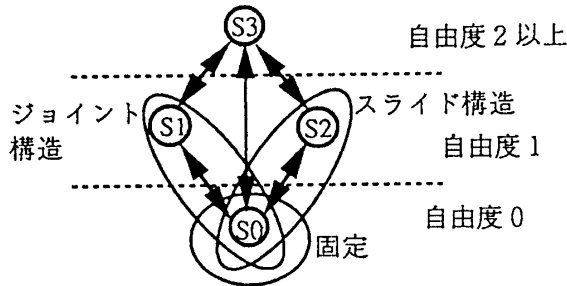


Fig. 3 各構造間についての状態遷移

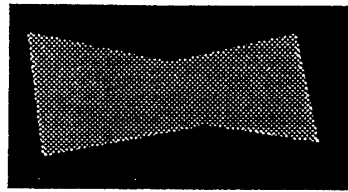


Fig. 4 シミュレーション対象

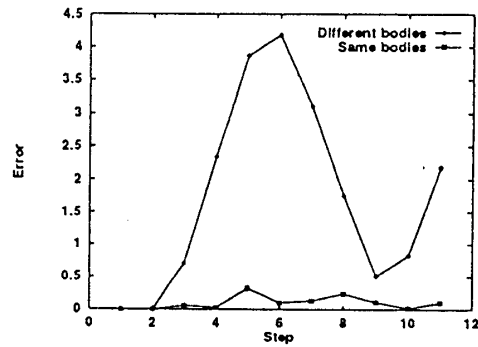


Fig. 5 モデルと観測の誤り

センサレベル 各センサについて、同一の特徴量を観測しているセンサ同士をグループ化する。

ボディレベル センサレベルでグループ化された特徴量のうち、同一の剛体に属するもの同士を、グループ化する。

オブジェクトレベル ボディレベルでグループ化された特徴量(剛体のモデル)の内、各剛体間に拘束関係の存在するもの同士をグループ化する。

下位のレベルほど処理するデータ数は大きい、一回の計算量が小さく、上位のレベルほど処理するデータ数が少ないが、一回の計算量が多くなる。このようにレベルわけを行なうことで、計算量の増加の割合を小さくできる。

センサ情報のグループ化を行なった後、各グループについてセンサの情報を元に、各レベルについてモデルの推定と、既知のモデルとのマッチングをとる。モデルの推定は、今までに得られた観測情報を元に、矛盾のない最も特殊なモデルを求める。例えば、Fig.2.2の様に、ジョイント構造の物体が、軸を中心に回転を行なわないとき、2つの物体は固定されているように観測される。このように、自由度の低い構造は、自由度の高い構造の特殊な場合と考えられるため、本手法では、上記のようにモデル推定を行なう。

また、各レベルでグループ化されたセンサ情報から、そのモデルが未知のものか既知のものかの判定を行なう。そして、既知のモデルの物体を再度観測した場合、新たなモデル推定を行わず、既存のモデルを用いて状態推定を行なうようにモデル選択を行なう。

### 3 実験

Fig.2.2のような二次元平面上を運動する物体について、各センサが対象物体の特徴点を観測する場合のシミュレーションを行なった。シミュレーション対象はまず相対的な自由度が0の運動を行ない、その後、それぞれジョイント構造を持った運動を行なった。そのときのそれぞれの剛体上にある特徴点の運動の変化から、ボディレベルで行なわれるモデルの推定の際の、モデルと観測の誤差は、Fig.2.2のように得られた。

### 4 おわりに

部分状態しか観測できないセンサを用い、運動物体のモデルの推定を行ない、対象物体の状態推定を行なう手法の提案を行なった。物体間のモデルを求めることにより、推定される状態の精度の向上や、処理速度の向上が図れる。今後の課題として、センサの数に応じて組合せ論的に計算量が増加するので、その計算量の増加の対策などがあげられる。

本研究は、文部省科学研究費補助金の援助により行なわれたものである。

### 参考文献

- [1] 石綿陽一, 稲葉雅幸, 井上博允, "複数の運動物体の連続画像から不変の幾何学的な関係を発見するアルゴリズム", 第9回日本ロボット学会学術講演会
- [2] 長崎健, 川嶋稔夫, 青木由直, "マルチセンサシステムによる複雑物体の運動追跡", 第10回日本ロボット学会学術講演会