

不完全な情報下におけるシステム同定

— 画像情報を用いた移動ロボットのシステム同定 —

正員 足立 修一* 非会員 高梨 宏之*
正員 山口 亨**

System Identification Under Imperfect Information

— System Identification of Mobile Robot By Using Image Information —

Shuichi Adachi*, Member, Hiroyuki Takanashi*, Non-member, Toru Yamaguchi**, Member

In this letter, system identification problem under imperfect information is considered. As an example, system identification of a mobile robot by using image information is treated. To cope with the imperfect measurement data, a data processing method by support vector machine is proposed.

キーワード：システム同定，画像情報，サポートベクターマシン，特異値分解法

Keywords: system identification, image information, support vector machine, singular value decomposition.

1. はじめに

本報告では，不完全な情報下におけるシステム同定について，具体的に移動ロボットの動特性を画像情報を用いて同定する例を通して考察する。ここで取り扱う画像情報は異常値が混入しやすく，またサンプリング周期が不等間隔である，といった問題点を有していた。そこで，本報告ではサポートベクターマシン⁽¹⁾に基づくデータ処理を画像情報に適用することにより，このような状況下でも精度よく動特性を求めることができるシステム同定手順を提案する。

2. 画像情報に基づくシステム同定

2.1 同定対象 本報告では図1に示す移動ロボット LABO-3⁽²⁾をシステム同定の対象とする。このロボットにはモータが左右車輪に独立に装備されているため，ホスト PC からの指令によって左右車輪を独立に駆動することができる。ここで考えているシステム同定問題は，モータへの指令電圧から，移動ロボットの速度までの数学モデル（伝達関数）を求めることである。

2.2 システム同定実験 図2に示す実験装置を構築し，システム同定実験を行った。本実験では，天井に CCD カメラ（解像度：640×480 ピクセル）を取り付け，LABO-

3 の上部に本体と異なる色のマーカを取り付けた。そのマーカを画像処理ソフトによって認識させ，画像平面内のマーカの位置を時系列データとして収集した。LABO-3 の主要な動特性をモデリングするため，並進・回転運動実験を行った。PC から左右車輪にステップ指令を与えることによって並進（両輪に同一の指令を印可）・回転運動（一方の車輪

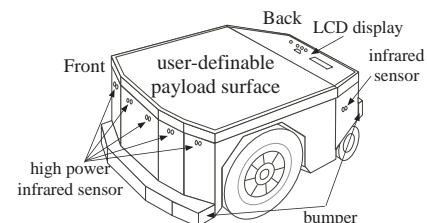


図1 LABO-3の概観

Fig. 1. Overview of LABO-3

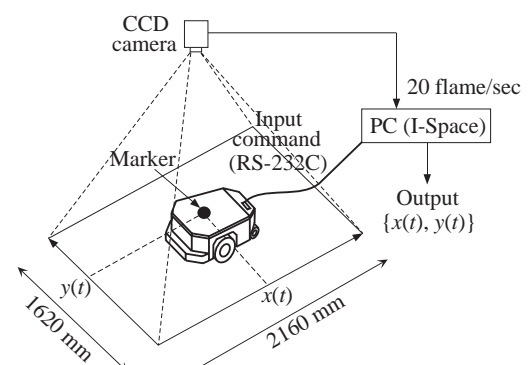


図2 システム同定実験

Fig. 2. Experimental setup

*宇都宮大学 工学部

〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

Faculty of Engineering, Utsunomiya University

7-1-2, Yoto, Utsunomiya, Tochigi 321-8585

**東京都立科学技術大学 工学部

〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan Institute of Technology

6-6, Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

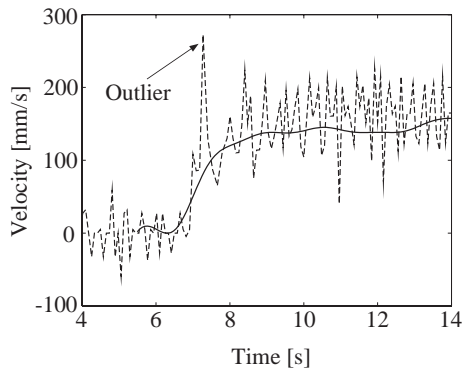


図3 並進運動のステップ応答（破線：実測データ，実線：SVMによりデータ処理した結果）
Fig. 3. Step response in translation motion

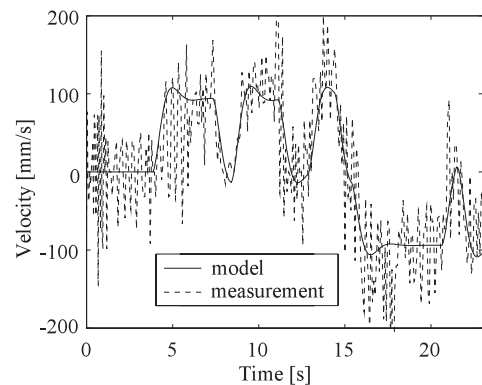


図4 同定モデルの検証結果（実線：モデル出力，破線：測定出力）
Fig. 4. Validation results

だけに指令を印可)を行い、マーカの位置を測定した。測定データ数は約 250 個であり、サンプリング周期の公称値は 70 ms であった。

本報告では、ステップ応答を差分することによって得られるインパルス応答を用いた特異値分解法⁽³⁾によりシステム同定を行う。そこで、並進運動実験で取得したステップ応答の一例を図3に破線で示す。図より、得られたステップ応答は雑音の影響を強く受けている。また、撮影開始の約7秒後にアウトライア(異常値)が含まれている。これは、ステップ入力指令を与えた瞬間にマーカを捉えられていないことが原因として考えられる。さらに、図からは陽にわからないが、サンプリング周期が40~140msにわたって広く分布する不等間隔サンプリングデータであった。これは、画像処理システムの性能に起因している。

2.3 SVMによるデータ処理 前節で示した測定データの問題点のうち、不等間隔サンプリングデータであることが、システム同定を適用する際に特に問題となる。この問題に対処するために、統計的学習理論の有力な方法であるサポートベクターマシン(SVM)⁽¹⁾を適用することを提案する。ここでは、不等間隔の時刻を入力、そのときのステップ応答の値を出力として、放射状基底関数を用いたSVMの学習を行う。すなわち、図3の破線をトレーニングデータとする。そして、得られたSVMに等間隔(ここでは、70ms)の時刻を入力し、そのときの応答を求める。このようにしてSVMによってデータ処理した結果を図3に実線で示す。図より、SVMを用いることによって、激しく変動する不等間隔のサンプリングデータを滑らかに補間(関数近似)できていることがわかる。この滑らかさは、放射状基底関数の幅を与えるパラメータによって決定されるが、現時点ではこの決定法は試行錯誤に頼らざるを得ない。また、SVMはアウトライアに強いという特徴も有しているため、その影響もきれいになくなっている。さらに、SVMは少数データからの学習も可能であるため、データ数が少ない場合に対する有効性も期待できる。

2.4 特異値分解法によるシステム同定 インパルス応答からハンケル行列を構成し、それを特異値分解する

ことによって状態空間実現する方法は、特異値分解法⁽³⁾と呼ばれる。これは理論的には間接的な部分空間法として位置づけられ、また実用的なシステム同定法であることが知られている。ここでは、SVMによるデータ処理の結果得られたステップ応答を差分したものをインパルス応答の推定値として、特異値分解法を適用した。特異値の大きさより、モデル次数候補としてを1,2次が考えられたが、得られたモデルのステップ応答と実データを比較することにより2次モデル

$$G_S(z) = \frac{0.02344z^{-1} - 0.0005625z^{-2}}{1 - 1.744z^{-1} + 0.7653z^{-2}} \dots\dots\dots(1)$$

を採用した。得られたモデルの妥当性を時間領域で評価した結果を図4に示した。モデル出力(実線)は、雑音に汚された測定出力(破線)を滑らかに近似してことがわかる。回転運動についても同様のシステム同定実験を行い、同様のよい結果が得られたが、紙面の都合で省略する。

3. おわりに

本報告では、移動ロボットの動特性を画像情報に基づいて同定する例を通して、不完全な情報下におけるシステム同定問題について考察した。不完全な情報の例として、雑音を含む不等間隔サンプリングデータとアウトライアを対象とし、それらに対処するためにSVMを用いたデータ処理法の適用を提案した。本報告では、移動ロボットの同定問題を考えたが、提案したSVMに基づくデータ処理法は幅広い対象に適用可能である。

最後に、システム同定実験にご協力いただいた吉田 稔君(宇都宮大学)に感謝する。
(平成14年9月20日受付, 同14年10月25日再受付)

文 献

- (1) V.N. Vapnik : *Statistical learning theory* ; J. Willey & Sons, New York (1998)
- (2) Applied AI Systems Inc., : *LABO-3 User's Manual* (1999)
- (3) S.Y. Kung : A new identification and model reduction algorithm via singular value decomposition, 12th Asilomar Conference on Circuits, Systems, and Computers, 705/714 (1978)