

カルマンフィルタを利用した速度計測法について

The Measurement of Velocity Using Kalman Filter

石黒智子, 一條健司, 成田明子, 吉岡良雄

Ishiguro Tomoko, Ichijo Kenji, Narita Akiko, Yoshioka Yoshio

弘前大学

Hirosaki University

キーワード: 速度計測 (measurement of velocity), 高速カルマンフィルタ (fast kalman filter), 最適推定 (optimal estimation), 相互相関 (Cross-Correlation)

連絡先: 〒036-8224 弘前市文京町3 弘前大学大学院 理工学研究科 吉岡研究室
吉岡良雄, Tel.: (0172)48-2101, Fax.: (0172)39-3513, E-mail: slyoshi@eit.hirosaki-u.ac.jp

1. はじめに

カルマンフィルタとは, 線形動的システムの状態推定を行うために作られたアルゴリズムである. 1960年代に発表されてから様々な分野で用いられ, 今では宇宙工学, 制御工学, 通信工学にとどまらず, 土木工学, 経済学, 統計学, オペレーションズ・リサーチなどでも見ることができる³⁾. また, 応用例として, 線形動的システムそのものの推定に使うこともでき, 実際にはこちらの方が状態推定よりも使われることが多い. カルマンフィルタを普及させた大きな要因である米国の宇宙船軌道推定も, システムそのものの推定にカルマンフィルタを用いた一例である⁴⁾.

このように, 多種多様な場面への適合性だけでなくその実用性も評価されているカルマンフィルタは, 現在, 物体の速度推定への適用手法が提案されている¹⁾. これは, 2つのセンサを利用し, 各センサの近くを物体が通過したときの時間差をカルマンフィルタで推定して, 速度を計算すると

いうものである. しかし, 1)ではこの手法を用いた速度計測プログラムが作られ, 動作確認が行われているが, 人工的に作成したデータを用いた確認のみであり, 実測データによる確認はまだ行われていない.

そこで, 本研究では, 速度推定対象を車両とし, 磁力計による実測データ²⁾を用いて, 本手法が実用向きな手法かどうかを検証する.

2. カルマンフィルタによるシステム推定

カルマンフィルタによるシステム推定は, Fig. 1に示されているようなモデルが対象である. 直接観測可能な入力 x と出力 y から, 線形動的システムを構成する各パラメータを推定する. カルマンフィルタは雑音による影響を考慮したうえで設計されているため, 雑音が白色性, ガウス性を有していれば, 元の信号が雑音による影響を大きく受けていても正確な推定結果を得られる確率が高いとい

う特徴がある．



Fig. 1 線形動的システムの推定

3. 物体の速度計測システム¹⁾

3.1 構成

Fig. 2に，物体の速度計測システムの構成を示す．速度測定対象の物体がある道をまっすぐに進んでいる場合，その進行方向の上流側と下流側にそれぞれ同等の性能を持つセンサX，Yを離して設置する．各センサにて，対象物体の通過時を含むデータを測定すると，センサ間に距離があるため，センサXによる測定値とYによる測定値には時間差が生じる．この時間差を推定し，センサ間の距離を求めた時間差で割ると，対象の速度が得られる．なお，センサ間の距離を短くとすることで，センサで挟まれた区間での対象の速度が一定であるとみなすことができる．

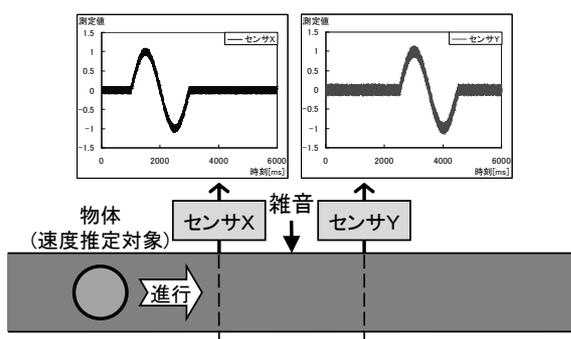


Fig. 2 物体の速度計測システムの構成

ここで，2つのセンサで挟まれた部分が線形動的システムであると仮定し，センサXから得られるデータを線形動的システムへの入力 x ，Yから得られるデータを出力 y とすると，Fig. 2はFig. 1と同

じ構成であることがわかる．そのため，Fig. 2の線形動的システムの推定にはカルマンフィルタが適用可能である．また， x と y の間に生じる時間差は， x と y をそれぞれ入力，出力にもつ線形動的システムのパラメータと関係があるため，カルマンフィルタによるシステム推定は時間差の推定にもつながり，最終的には物体の速度推定に至ることができる．

3.2 手順

時刻 t におけるシステムの入出力は以下の式で表わされる．

$$\sum_{i=0}^{M-1} a_i y_{t-i} = \sum_{i=0}^{M-1} b_i x_{t-i} + e_t \quad (1)$$

ただし， x_t はセンサXでの観測値， y_t はセンサYでの観測値， e_t は雑音， M は窓幅， $\{a_i\}$ は y の自己相関係数(要素数 M)， $\{b_j\}$ は x と y の相互相関係数(要素数 M)である．この未知パラメータ $\{a_i\}$ ， $\{b_j\}$ をカルマンフィルタで推定する．なお，計算時間のことを考慮して，ここでは高速カルマンフィルタを用いる．

$\{a_i\}$ ， $\{b_j\}$ を推定したら， $\{b_j\}$ に注目する． $\{b_j\}$ 中の最大成分を b_{max} とすると， b_{max} に対応した x と y_t との観測時刻の差 τ が求める時間差の最も確からしい値である．

センサ同士の距離を求めた時間差で割ると，速度が算出される．

4. 検証

4.1 検証に用いたデータ

検証には2種類のデータを用いた．一つは， x に磁力計Xによる実測データ， y には x を遅らせたデータを入れて正規化したもの(以下，データ1)である．もう一つは， x ， y それぞれに磁力計X，Yによる実測データを入れて正規化したもの(以下，データ2)

である．なお，データ2は2)より時間差は152[ms]であり，データ1はそれにあわせて y を x から152[ms]だけ遅らせて作成した．データ1のグラフをFig. 3に，データ2のグラフをFig. 4に示す．

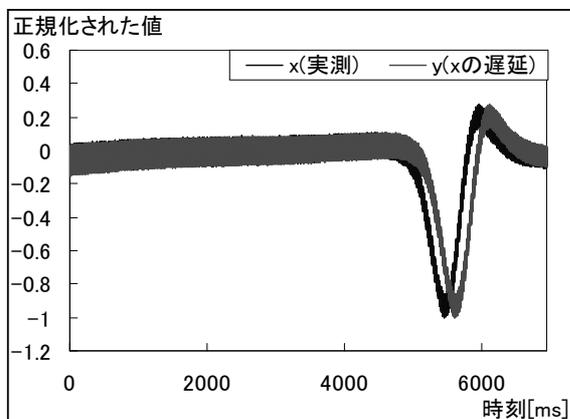


Fig. 3 データ1

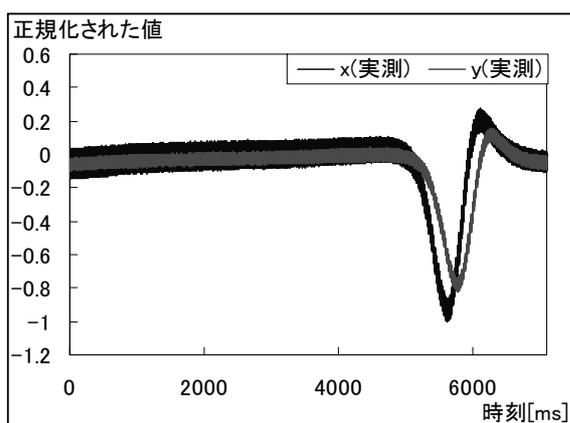


Fig. 4 データ2

4.2 データ1による検証結果

Fig. 5に， $\{a_i\}$ ， $\{b_j\}$ の要素数 M を200として推定したときの結果を示す．座標 (a, b) が，時刻 a までの x と y の値から推定された時間差 b を表わす．図より，推定値は時刻5011で設定した時間差152[ms]になり，その後は収束している．従って，実測データを元にしたデータ(ただし時間差は人工的に作成)での推定は可能であることがわかる．

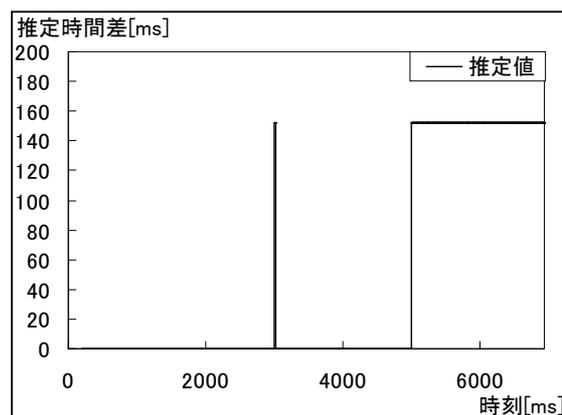


Fig. 5 データ1による推定結果

4.3 データ2による検証結果

Fig. 6に， $\{a_i\}$ ， $\{b_j\}$ の要素数 M を200として推定したときの結果を示す．データ1のときとは異なり，推定値が収束する部分がなく，時間差の推定がうまく行われなかった．

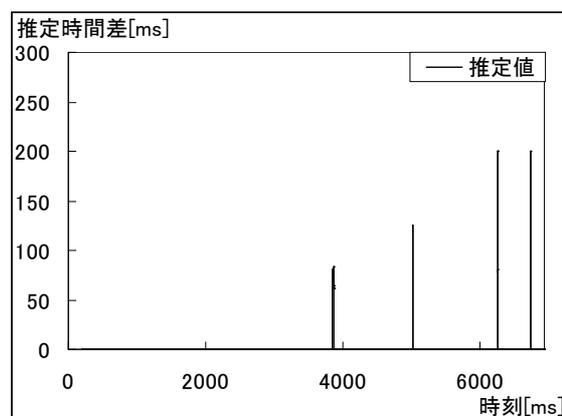


Fig. 6 データ2による推定結果

そこで，本研究ではこの問題に対し， M の大きさの変更を試みた． M の大きさは推定結果に大きく影響し，対象のシステムに対して適当な値を与える必要があるからである．Fig. 7は M を160に設定した場合のデータ2による推定結果，Fig. 8は M を240に設定した場合の推定結果である．これらの図より， M を変更しても推定結果の特徴に大きな変化はみられないことがわかる．したがって，データ2による推定がうまく行われぬ原因は M の大

きさではないと考えられる。

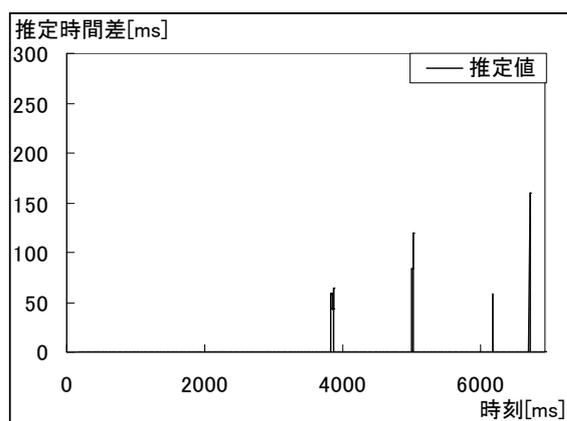


Fig. 7 $M=160$ での推定結果

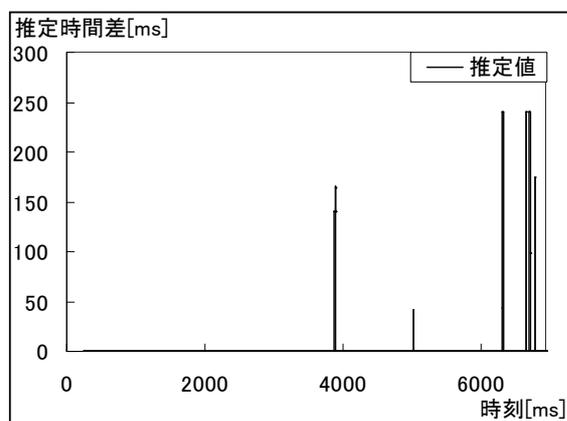


Fig. 8 $M=240$ での推定結果

5. まとめと今後の課題

カルマンフィルタは線形動的システムの状態推定だけでなく、線形動的システムそのものの推定にも用いられているアルゴリズムである。1)では、カルマンフィルタによるシステム推定を応用して、2つのセンサを用いて物体の速度を推定する手法が提案されている。しかし、実測データでの動作確認をまだ行っておらず、実用向きな手法かどうかの検討が必要であった。そこで、本研究では速度推定対象を車両に設定し、磁力計による実測データ²⁾を用いて本手法の有効性を検証した。その結果、 x に実測データ、 y に x を元に人工的に時間差を

作成したデータを設定して行ったときは適切な時間差を推定でき、実測データを元にしたデータでの推定は可能であることがわかった。しかし、 x 、 y をともに実測データに設定すると正しい時間差を推定することはできなかった。今後は、 x 、 y がともに実測データの場合に推定できなかった原因を究明する方針である。

参考文献

- 1) 古川 玲: 流速計測システムのソフトウェア開発, 平成18年度弘前大学卒業研究
- 2) R. Koide, S. Kitamura, T. Nagase, T. Araki, M. Araki and H. Ono: A Punctilious Detection Method for Measuring Vehicles' Speeds, ISPACS 2006, 967/970 (2006)
- 3) 片山 徹: 応用カルマンフィルタ, 5/5, 朝倉書店 (1983)
- 4) 有本 卓: カルマン・フィルター, 194/205, 産業図書株式会社 (1977)