

IV-35

車両感知器データを用いた交通状態推定法に関する研究

北海道大学工学部 学正員 花岡 真也
 北海道大学工学部 学正員 若尾 将徳
 北海道大学工学部 正員 中辻 隆

1. はじめに

今日、交通渋滞を緩和するための対策の検討、あるいは、各種交通規制が交通流の円滑性や環境の保全に与える影響を評価するときに不可欠な解析手段として交通流シミュレーション解析が重要な役割を果たしている。交通流シミュレーションの技法自体は、交通流理論の発展やコンピュータ技術の進歩によりモデル構造の高度化と表現能力の向上が行われてきた。しかし、人間の介在等によりその現象が非線形、非定常な特性を示す交通流は、再生精度が今なお満足の域に達していない。このような現象を高い精度で表現するには、計測データの持つ情報を最大限活用することが重要である。これまでのシミュレーションモデルでは、実際に計測された車両感知器データがそのモデルに反映されていすものは少ない。

本研究では、マクロモデルとハイブリッドモデルを用意し、交通状態を精度高く再現するためにカルマンフィルタの手法を応用して車両感知器データをシミュレーションに組み込み、実際の交通量と比較する。また、その結果を踏まえた上で、計測情報をシミュレーションに反映させる際のカルマンフィルタの有効性を検証する。

2. 交通流モデル

(1) マクロモデル

本研究では、マクロモデルとして最初 Payne によって提案され、後に Cremer によって改良されたモデ

ルを採用した。このモデルでは、各リンクを複数のセグメントに分割して、各セグメントにおける密度を $c_i(k)$ 、空間平均速度を $v_i(k)$ 、交通量を $q_i(k)$ 、地点平均速度を $w_i(k)$ と表す時、それらの変動は以下のように記述される。

$$c_i(k+1) = c_i(k) + \frac{\Delta t}{\Delta L_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k)] \quad (1)$$

$$v_i(k+1) = v_i(k) + \frac{\Delta t}{\tau} [V(c_i) - v_i]_{(k)} + \frac{\Delta t}{\Delta L_i} [v_i(v_{i-1} - v_i)]_{(k)} + \frac{v}{\tau} \frac{\Delta t}{\Delta L_i} \left[\frac{c_i - c_{i+1}}{c_i + \kappa} \right]_{(k)} \quad (2)$$

$$q_i(k) = \alpha c_i(k) v_i(k) + (1 - \alpha) c_{i+1} v_{i+1}(k) \quad (3)$$

$$w_i(k) = \alpha w_i(k) + (1 - \alpha) w_{i+1}(k) \quad (4)$$

式(1)は、交通状態の連続条件に基づいている。式(2)は、速度に関する経験的、実験的考察によってその補正を行っている。補正の第1項は調整項と呼ばれ、次式に規定された密度-速度特性に基づいて補正を行う。

$$V(c) = V_f \left[1 - \left(\frac{c}{C_{\max}} \right)^m \right] \quad (5)$$

ここで、 V_f は自由速度、 C_{\max} は渋滞密度を表している。 1 と m は追従理論におけるパラメータである。第2

項は変位項と言い、直前のセグメントにおける速度の影響を表している。最終項は密度勾配項と呼ばれ、前方のセグメントにおける交通状態による補正を行っている。式(3)、(4)は、セグメントの交通量 q 、地点平均速度 w が、両セグメントにおける交通量、地点平均速度の重み付き平均によって算定される。

(2) ハイブリッドモデル

ハイブリッドモデルとは、計算が単純であり、短時間で済むというマクロモデルの利点と、個々の車両に関するデータが得られるので、個々の車両の評価値の出力が可能であるというマイクロモデルの利点を組み合わせたモデルである。

このモデルは、マクロモデルと同様に1つのリンクを複数のリンクに分割し、個々の車がマクロな交通特性式 $V(c)$ の関係に従って走行速度を決定し、セグメント内を移動する。この個々の車の位置と速度に

基づいて、セグメントの交通状態(密度、空間平均速度、交通量、地点平均速度)が規定され、次のステップにおける個々の車の運動に反映される。

3. 交通状態の推定

交通流モデルにおいては、式(1)(2)(3)(4)は、交通状態の時間的変化を表現しているので、カルマンフィルタを導入しなくても、始端部における流入交通量 $q_0(k)$ と交通状態の初期値 $c_i(0)$ 、 $v_i(0)$ を与えることによって、逐次密度 $c_i(k)$ と空間平均速度 $v_i(k)$ の変動を求めることができる(図1)。ここで、カルマンフィルタを導入することにより、始端部における交通量 $q_0(k)$ に加え、同部の地点平均速度 $w_0(k)$ 、終端部における $q_n(k)$ 、 $w_n(k)$ の計測データが得られている時(図2)に、交通状態がどの程度改善されているかを比較、検討する。

まず、状態変量($c_i(k)$ と $v_i(k)$, $i=1, 2, \dots, n$)を $x(k)=(c_1, v_1, \dots, c_n, v_n)'$ とベクトル表示し、状態方程式(1)(2)もベクトル表示する。

$$x(k) = f[x(k)] + \Phi(k) \tag{6}$$

ここで、 $\Phi(k)$ は交通量の推定から派生する白色雑音である。

次に、計測変量($q_i(k)$ と $w_i(k)$, $i=1, 2, \dots, n$)を $y(k)=[q_0, w_0, q_1, w_1, q_n, w_n]'$ とベクトル表示し、計測方程式(3)(4)もベクトル表示する。

$$y(k) = g[x(k)] + \Psi(k) \tag{7}$$

ここで、 $\Psi(k)$ は計測誤差であり白色雑音を仮定する。式(6)(7)がカルマンフィルタを構成する。関数 f と g は非線形関数であるので、拡張カルマンフィルタの手法を導入し、推定値 $x(k)$ の近傍において線形を行い、次の図3に示すアルゴリズムに従い新たな計測値 $y(k)$ が得られるたびにオンラインで状態変量 $x(k)$ の推定値を求めることができる。

1st Segment i-th Segment n-th Segment

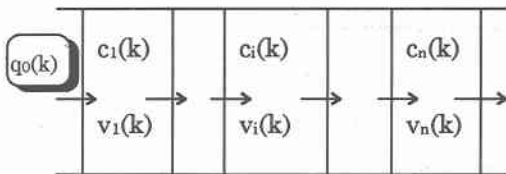


図1 マクロ交通流モデル

1st Segment i-th Segment n-th Segment

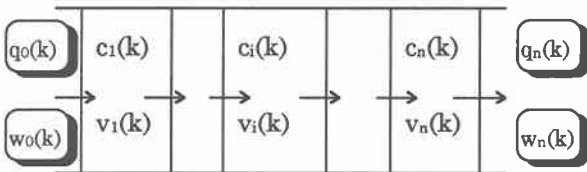


図2 地点観測データの組み込み

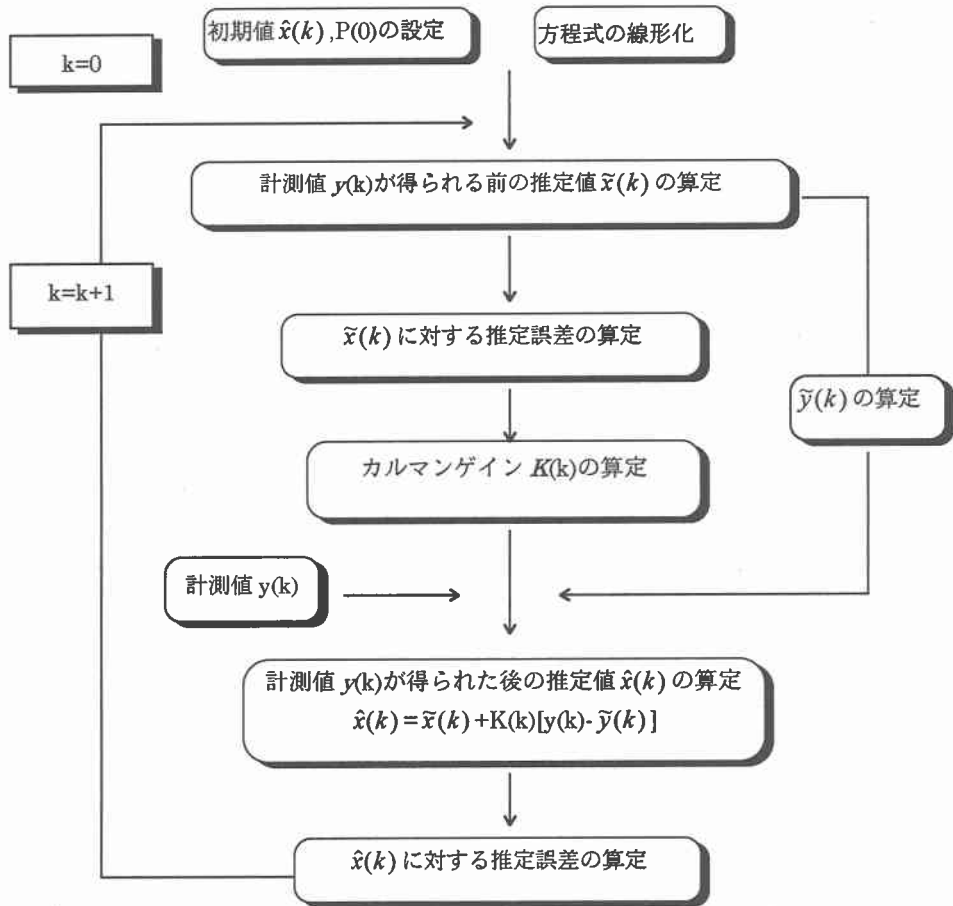


図3 カルマンフィルタによる交通状態推定

4. シミュレーション結果

実際に計測された片側2車線の高速道路上の単路区間のデータに基づき、2つの交通流モデル、マクロモデルとハイブリッドモデルのシミュレーションを行った。当該単路区間は、5つのセグメント(500m×2と550m×3)から構成され、両端部と1中間部(始点より1000m)において交通量が10秒ごとに累計され、地点平均速度が1分ごとに平均されて計測が行われている。計測時間は60分で、この間に毎分10台の自由走行状態から毎分400～500台の交通量で時速数km/sという渋滞状態へ、

そして再び毎分数十台の交通状態へと交通状態が推移している。

2つのシミュレーションモデルに組み込む感知器のデータは、カルマンフィルタを用いない場合は始端部の交通量 $q_0(k)$ のみ、カルマンフィルタを用いる場合は始端部と終端部の交通量と地点平均速度 $q_0(k)$ 、 $w_0(k)$ 、 $q_n(k)$ 、 $w_n(k)$ である。これらのデータを用いてシミュレーションを行い、評価値として中間部における交通量と地点平均速度を算出し、カルマンフィルタの有効性を検証した。

交通量を図4(マクロモデル)、図5(ハイブリ

ッドモデル) に示す。縦軸が交通量、横軸が時間である。マクロモデルに関しては、自由走行状態では実測値に近い値がでていますが、渋滞状態では誤差が出てきている。ハイブリッドも出るに関しては、グラフ上の山が実測値のそれと比べて大きくなっていることから、増減の幅が大きくなっており、まだ精度の高いものとは言えない。

次に、地点平均速度を図6 (マクロモデル)、図7 (ハイブリッドモデル) に示す。縦軸が速度、横軸が時間である。マクロモデルに関しては、カルマンフィルタを用いていないモデルでは時速数 km/h の渋滞状態を表現できていないが、カルマンフィルタを用いることにより渋滞状態を精度高く表現できているのがわかる。

5. まとめ

車両感知器データを交通流モデルに直接反映させているものはまだ少ないが、交通渋滞時における経路誘導システムにおいて、誘導後の交通状況を限られた車両感知器データに基づいて的確に予測できるモデルは今後注目されるであろう。本研究では、カルマンフィルタの手法を応用して交通量と地点平均速度の計測データをマクロモデルとハイブリッドモデルに取り込んだ。マクロモデルに関しては、精度高く表現できたが、ハイブリッドモデルに関しては、今回の結果を見ると適合性に不安なところがある。これからは、パラメータの補正や計算処理の工夫などの作業により改善したいと考えている。

参考文献

- 1) M.Cremer: A Macroscopic Simulation Model of Urban Traffic Flow and its Application for Traffic Control Systems, 2nd Intern ,CARDI Semi, 1992
- 2) Payne, H, J: Models of Freeway Traffic Control in Mathematical Models of Public Systems, Simulation Council Proceedings, 1971
- 3) T.Schwerdtfeger: DYNEMO: A Model for the Simulation of Traffic Flow in Motorway Networks ,Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory
- 4) 有本 : カルマン・フィルタ、産業図書、1977

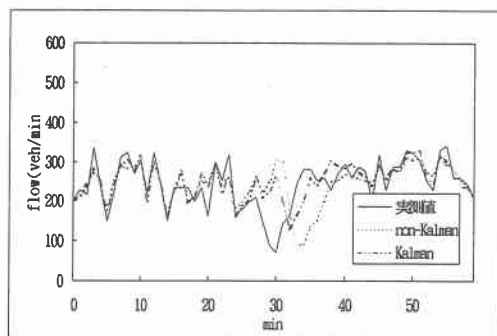


図4 交通量の比較 (マクロモデル)

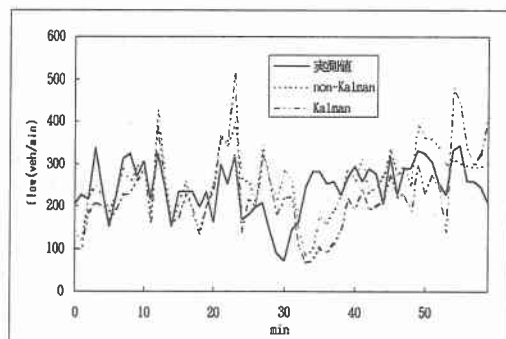


図5 交通量の比較 (ハイブリッドモデル)

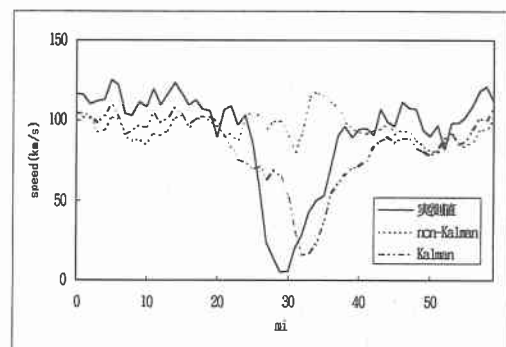


図6 地点平均速度の比較 (マクロモデル)

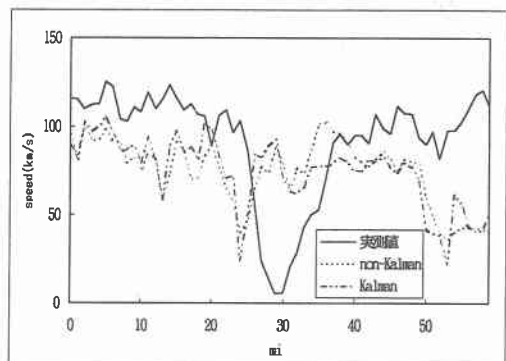


図7 地点平均速度の比較 (ハイブリッドモデル)