

交通渋滞の検知方法について

信州大学工学部 正会員 奥谷 巖
 学生員 ○国友 良行

1. はじめに 道路ネットワーク中の流れは、様々な交通条件により時々刻々と変化していて、その中の至る所で交通渋滞が発生している。その交通渋滞の大きさや有無を調べるには、その区間における交通密度を測定することが得策であり、また、交通密度を測定することにより交通制御システムが確立されると考えられる。また、一般に区間の交通密度は、上流端と下流端に設置してある感知器により観測されたデータをもとに推定するのであるが、対象とする区間が長いほど検知技術が必要となってくる。

そこで、本研究では、検知方法の候補となる1つの方法（カルマンフィルターを用いた方法）について、高速道路を具体的な対象とし、検討を行なう。

2. 推定方法 区間の交通密度を推定するために、次のような状態方程式を考える。

$$x(t+1) = x(t) + [u_1(t) - u_2(t)] / aL + w(t) \quad (1)$$

ここに、 $x(t)$: 区間の交通密度の推定値、 $u_1(t)$: $t \sim t+1$ 時点の間に区間に流入する車両台数、 $u_2(t)$: $t \sim t+1$ 時点の間に区間から流出する車両台数、 a : 車線数、 L : 区間距離、 $w(t)$: 観測値 $u_1(t), u_2(t)$ より生ずる誤差（平均値 = 0, 分散 = R_1 ）である。

いま、式(1)のみで逐次計算により区間の交通密度を推定しようとする、推定値は初期の交通密度に大きく左右されると考えられる。また、正確な初期値を与えるのは困難であるので、式(1)のみで推定するのは避けたい。それで、次に示す観測方程式を考え、効力を表わすだろうと思われるカルマンフィルターを用いて推定を行なう。

$$y(t) = x(t) + v(t) \quad (2)$$

ここに、 $y(t)$: 観測値、 $v(t)$: 誤差（平均値 = 0, 分散 = R ）である。

そうすると、 $x(t+1)$ の最適な推定値 $\hat{x}(t+1)$ は、次式によって与えられる。

$$\hat{x}(t+1) = \hat{x}(t) + [u_1(t) - u_2(t)] / aL + K(t+1) \{ y(t+1) - \hat{x}(t) - [u_1(t) - u_2(t)] / aL \} \quad (3)$$

ここに、 $K(t)$ は、カルマンゲインであり、次に示す漸化式から計算される。

$$K(t) = \sigma^2(t) / [R + \sigma^2(t)] \quad (4) \quad \sigma^2(t) = \sigma^2(t-1) + R_1 - K(t-1) \sigma^2(t-1) \quad (5)$$

ここに、 $\sigma^2(t+1)$ は、次に示す推定値 $\hat{x}^*(t+1)$ と真値との誤差の分散である。

$$\hat{x}^*(t+1) = x(t) + [u_1(t) - u_2(t)] / aL \quad (6)$$

式(3)に示した推定値 $\hat{x}(t+1)$ は、観測値 $y(t+1)$ と推定値 $\hat{x}^*(t+1)$ の差を考慮した再構成システムになっているので、式(1)に示した推定値 $\hat{x}(t+1)$ よりも良好な結果を与えてくれると期待できる。このように、式(3), (4), (5)で、初期値と分散 R, R_1 が与えられると、入力データ $u_1(t), u_2(t), y(t)$ により逐次計算が可能となり、交通密度が推定できる。

さて、ここで観測値 $y(t)$ に関してであるが、 $y(t)$ は次のような予測モデルにより推定されるものと仮定する。

$$y(t) = \sum_{m=0}^{\infty} h_u^m(t) o_u(t-m) + \sum_{m=0}^{\infty} h_d^m(t) o_d(t-m) + e(t) \quad (7)$$

ここに、 $h_u^m(t), h_d^m(t)$: システムパラメーター、 $o_u(t)$: t 時点における区間上流のオキュパンシー、 $o_d(t)$: t 時点における区間下流のオキュパンシー、 $e(t)$: 誤差（平均値 = 0, 分散 = R_2 ）である。また、物理的な意味づけから、式(7)は、第1項のみでも計算可能である。

$y(t)$ を推定するために、ここではカルマンフィルターをパラメーター同定に適用する。さて、いま

$$h(t) = [h_u^0(t), h_u^1(t), \dots, h_u^{\infty}(t), h_d^0(t), h_d^1(t), \dots, h_d^{\infty}(t)]^T \quad (8)$$

なる $2(r+1)$ 次元のベクトルを考える。さらに、

$$\Lambda(t) = [o_u(t), o_u(t-1), \dots, o_u(t-r), o_a(t), o_a(t-1), \dots, o_a(t-r)] \quad (9)$$

を定義すると、式(7)は、次のように表わされる。

$$y(t) = \Lambda(t)h(t) + e(t) \quad (10)$$

そして、この式を観測方程式と考え、さらにシステム方程式としては、次式を考える。

$$h(t+1) = h(t) + s(t) \quad (11)$$

ここに、 $s(t)$:誤差(平均値=0, 分散= R_s)である。

式(10)と式(11)よりカルマンフィルターを用いると、最適な推定値 $\hat{h}(t+1)$ は、次式で与えられる。

$$\hat{h}(t+1) = \hat{h}(t) + K(t)[y(t) - \Lambda(t)\hat{h}(t)] \quad (12)$$

ここに、 $K(t)$ は、カルマンゲイン行列であり、次に示す漸化式から計算される。

$$K(t) = p(t)\Lambda^T(t)[R_z + \Lambda(t)p(t)\Lambda^T(t)]^{-1} \quad (13)$$

$$p(t) = p(t-1) + R_s - p(t-1)\Lambda^T(t-1)[R_z + \Lambda(t-1)p(t-1)\Lambda^T(t-1)]^{-1}\Lambda(t-1)p(t-1) \quad (14)$$

ここに、 $p(t)$ は、推定値 $\hat{h}(t)$ と真値との誤差の分散である。よって、 $y(t)$ は、次式より計算される。

$$y(t) = \Lambda(t)\hat{h}(t) \quad (15)$$

このように、式(12),(13),(14),(15)で初期値と分散 R_z, R_s が与えられると、入力データ $o_u(t), o_a(t)$ により逐次計算が可能となり、 $y(t)$ が推定できる。

3. 適用例

図-1に示す3

車線高速道路上の交通密度を推定する。

この場合、観測値 $y(t)$ は、区間上流のオキュパンシー $o_u(t)$ のみで推定する。

推定モデルを実行させるためのデータは、

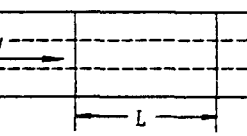


図-1 推定区間

あるシミュレーション(DYNEMO)を用いて与える。また、シミュレーションの入力交通量は、任意時点の交通量の平均値を図-2のように与え、ポアソン分布の乱数に従って発生させるものとする。シミュレーションによる解析結果(真値;実線)と推定値(×印)の時間の変化によるグラフを図-3に示す。ただし、 $L = 2\text{ km}$, $\beta = 0$ の場合である。ここに、 β は真の流入台数 $u_i^*(t)$ と観測値 $u_i(t)$ の誤差を平均値=0, 分散= $U_1(t)$ の正規乱数で与える場合、 $U_1(t) = \beta u_i^*(t)$ なる式を仮定する場合の係数である。一見してわかるように、実線と×印の動きは、ほぼ一致している。また、他の場合の真値と推定値の誤差指標を表-1に示す。

Input Flow (veh/hr)

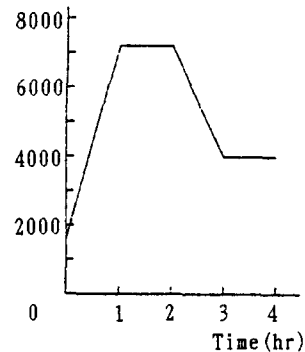


図-2 入力交通量

Density (veh/km)

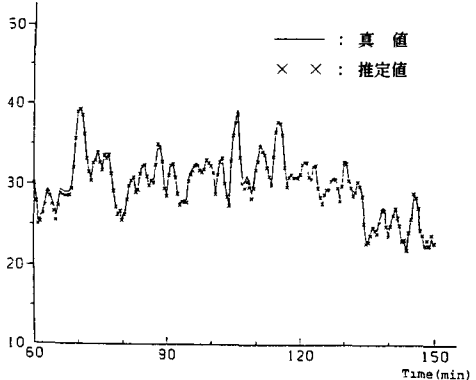


図-3 交通密度の時間的变化

表-1 誤差指標

	L = 1 km		L = 2 km	
	$\beta = 0$	$\beta = 0.1$	$\beta = 0$	$\beta = 0.1$
MARE	0.035	0.063	0.023	0.053
MAE	0.490	1.207	0.364	1.029
RMSE	0.654	1.582	0.462	1.343
EC	0.997	0.983	0.998	0.986

(参考文献) 奥谷 巖: The Kalman Filtering Approaches in Some Transportation and Traffic Problem Proceeding of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 1987.7