都市内高速道路における所要時間のダイナミック推定法

信州大学工学部　正会員　奥谷　巖
信州大学大学院　　　　○高橋　史晶

1. はじめに

現在、車社会にある日本において、交通事故の増加や都市部での交通渋滞の慢性化は、非常に深刻な問題である。

このような交通渋滞を緩和させるための交通制御方法として、ITS（高度道路交通システム：Intelligent Transport Systems）が注目され、これを利用した様々な交通制御の開発、実用化が進められている。その中の１つとして、VICS(道路交通情報通信システム)があり、ドライバーが必要とする最新の道路交通情報をすばやくカーナビに提供している。これらの道路情報をより正確にドライバーに提供することが求められる。

そこで本研究では、シミュレーションから得られる時事刻々の情報を用いて、都市内高速道路における、経路のより最適な所要時間を予測する手法について検討する。

2. シミュレーションの方法

ここでは都市内高速道路を対象道路とし、交通状態量を得るため、高速道路上の交通流モデルの１つであるDYNEMOを用いたシミュレーション方法について述べる。

まず、図１のように全長24km都市内高速道路を１区間$L=200$mとして$N=120$区間にわけ、流入ランプiおよび流出ランプjを与える。さらに、初期状態として道路に車両を配置し、各流入ランプから流入する交通量，流入した車両がどの流出ランプへ流出するかの割合を与える。なお、$(N+1)$区間は流出ランプとしてのみ存在させることとする。

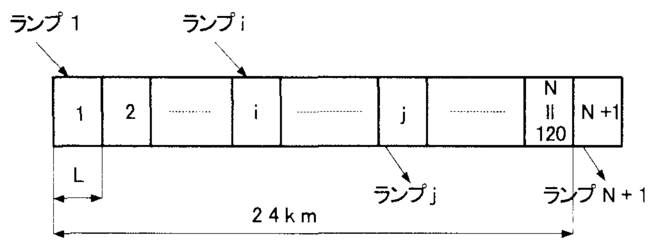

図 1　高速道路モデル

次に、任意の車両の希望速度V_δを一様乱数を発生させることにより決定する。そして、$x(t)$の位置に存在し、速度$V(t)$を有する車両の$(t+\triangle t)$における速度$V(t+\triangle t)$は、区間平衡速度u_i, u_{i+1}によって次式のように表される。

$$V(t+\triangle t)=\left(1-\frac{x(t)}{L}\right)u_i+\frac{x(t)}{L}u_{i+1} \qquad (1)$$

(1)式は、時間による速度変化を表し、それにより$(t+\triangle t)$時点の車両の位置$x(t+\triangle t)$は、次のように表すことができる。

$$x(t+\triangle t)=x(t)+\frac{1}{2}\left[V(t)+V(t+\triangle t)\right]\times\triangle t \qquad (2)$$

このようにして、$\triangle t$時間後の各車両の状態を決定する。これらを各区間，時点，日ごとの繰り返しにより車両のシミュレーションは実行される。

このシミュレーションにより、所要時間の推定に必要な各区間における時点ごとの交通量，流入ランプからの流入交通量，さらには、流入ランプiから流出ランプjまでの平均所要時間T_{ij}が得られる。

3. 所要時間の推定方法

シミュレーションから得られた交通量とカルマンフィルター理論からパラメータを同定し、そのパラメータを用いて所要時間の推定を行う。

3.1 パラメータの同定

図１のようなリンクj（$j=1\cdots N$）からなる高速道路モデルにおいて、リンクj(第j区間)の単位時間の交通量を$z(t)$とすると、次式のような予測モデルを考えることとする。

$$z(t)=\sum_{i=1}^{nj}\sum_{l=0}^{k}h_{il}(t)x_i(t-m_i-l)+v(t) \qquad (3)$$

ここで、nはリンクjより下流のランプでリンクjに最も近いランプ番号，m_iはランプiからリンクjまでの所要時間の最小値，$x_i(t)$は単位時間$[t-1,t]$の間にランプiから入った単位時間交通量，$h_{il}(t)$は現時点tよりm_i+l時点前にランプiから流入した台数に対する、t時点にリンクjを通過する台数の割

合を表すパラメータ，$v(t)$は誤差項を表す。

次に、$h(t)$と$\lambda_i(t)$を次式のように与える。

$$h(t)=(h_1(t)^T,h_2(t)^T,\cdots,h_i(t)^T,\cdots,h_n(t)^T)^T \tag{4}$$

$$\lambda_i(t)=(x_i(t-m_i),\cdots,x_i(t-m_i-l),\cdots,x_i(t-m_i-k)) \tag{5}$$

さらに、

$$\Lambda(t)=(\lambda_1(t),\lambda_2(t),\cdots,\lambda_i(t),\cdots\lambda_n(t)) \tag{6}$$

と定義すると、(3)式は、

$$z(t)=\Lambda(t)h(t)+v(t) \tag{7}$$

と書きかえられる。

パラメータ$h(t)$について、その滑らかに変化を許容するものとして、次式のような状態方程式を考える。

$$h(t)=h(t-1)+e(t-1) \tag{8}$$

ただし、$e(t)$はパラメータ$h(t)$の時間的な変動に伴う$n(k+1)$次元の誤差項である。

本研究では、類似の交通量変動パターンを示すと考えられる日の集合Γを考え、各時刻tごとにパラメータを同定していく。そのため、$z(t)$，$\Lambda(t)$，$h(t)$，$v(t)$，$e(t)$を${}^tz(d)$，${}^t\Lambda(d)$，${}^th(d)$，${}^tv(d)$，${}^te(d)$のように表し、${}^th(d)$の推定式を次式で与える。

$${}^t\hat{h}(d)={}^t\hat{h}(d-1)+{}^tK(d)\left[{}^tz(d)-{}^t\Lambda(d){}^t\hat{h}(d-1)\right] \tag{9}$$

ここに、${}^tK(d)$は、カルマンゲインベクトルで、以下のような漸化式により求められる。

$${}^tK(d)={}^tS(d){}^t\Lambda(d)^T\left[{}^t\sigma^2(d)+{}^t\Lambda(d){}^tS(d){}^t\Lambda(d)^T\right]^{-1} \tag{10}$$

$${}^tS(d+1)={}^tP(d)+R_1 \tag{11}$$

$${}^tP(d)={}^tS(d)-{}^tK(d){}^t\Lambda(d){}^tS(d) \tag{12}$$

ただし、${}^t\sigma^2(d)$は${}^tv(d)$の分散，R_1は${}^te(d)$の分散共分散行列，${}^tS(d)$は（$d-1$）日までの観測量を用いて、${}^th(d)$を推定したときの推定誤差の分散共分散行列，${}^tP(d)$はd日までの観測量を用いて、${}^th(d)$を推定したときの推定誤差の分散共分散行列である。

これらの理論を踏まえ、パラメータhの計算手順は以下のようになる。

① ${}^th(1)$の期待値及び分散共分散行列，${}^tv(d)$の分散，${}^te(d)$の分散共分散行列をデータとして与える。

② $d=1$として、${}^tS(1)$を求める。

③ ${}^tK(d)$を(10)式より求める。

④ ${}^th(d)$を(8)式より求める。

⑤ ${}^tP(d)$を(12)式よりもとめる。

⑥ ${}^tS(d+1)$を(11)式より求める。

⑦ $d=d+1$として、③にもどる。

3.2 所要時間の推定

ランプiから$(t-m_i)$時点に流入した交通量$x_i(t-m_i)$に着目すると、まず(3)式の$z(t)$を構成する一部として$h_{i0}(t)$を伴って現れ、$z(t+1)$の中に$h_{i1}(t+1)$を伴って、･･･$z(t+k)$の中に$h_{ik}(t+k)$を伴ってそれぞれ現れる。従って、

$$x_i(t-m_i)=\sum_{l=0}^{k}h_{il}(t+l)x_i(t-m_i) \tag{13}$$

が、成り立つことが期待される。しかし、

$$h_{i0}(t),h_{il}(t+1),\cdots,h_{il}(t+l),\cdots,h_{ik}(t+k) \tag{14}$$

(14)はパラメータ同定理論により同定されたものであり、それらの和が1となる保証はなく、(13)式は近似的にのみ成立することになる。

いま、これらのパラメータを

$$\theta_{il}(t)=\frac{h_{il}(t+l)}{h_{i0}(t)+h_{i1}(t+1)+\cdots+h_{il}(t+l)+\cdots+h_{ik}(t+k)} \tag{15}$$

のように基準化すると、これはランプiから$(t-m_i)$時点に流入した交通量$x_i(t-m_i)$が、注目するリンクjに所要時間$(m+l)$を要する確率と解され得る。よって、その所要時間の平均値$T_i(t-m)$は、

$$T_i(t-m)=\left[\sum_{l=0}^{k}(m+l)\theta_{il}(t)\right]\times\varDelta t \tag{16}$$

となる。従って、現時点をtとした時、$(t+1)$時点に流入ランプiから流入しようとする車に提供すべき所要時間情報$T_i(t+1)$は、

$$T_i(t+1)=\left[\sum_{l=0}^{k}(m+l)\theta_{il}(t+m+1)\right]\times\varDelta t \tag{17}$$

となる。この方法では、前日のパラメータθ_{il}を使うことになる。

4. おわりに

上述の方法では、前日の情報をもとに推定しているが、当日の情報を用いて推定する方法についても考えていく必要がある。今回の推定結果および考察については当日に発表する。

＜参考文献＞

Thomas Schwerdtfeger ; DYNEMO : A model for the simulation of traffic flow in motorway network