光ビーコンからの情報を利用した所要時間の動的予測

信州大学工学部　正会員　奥谷　巌
信州大学工学部　　　　○戸田　穣

1. はじめに

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、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）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。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、光ビーコンから得られる時事刻々の所要時間の情報からカルマンフィルタを用いて、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。

カルマンフィルタは、新しい観測値が得られるたびに旧い推定値を修正して、新しい推定値を計算するので、複雑なパラメータの設定や計算が不要で精度がよいとされているので同理論を用いる。

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＝200m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。

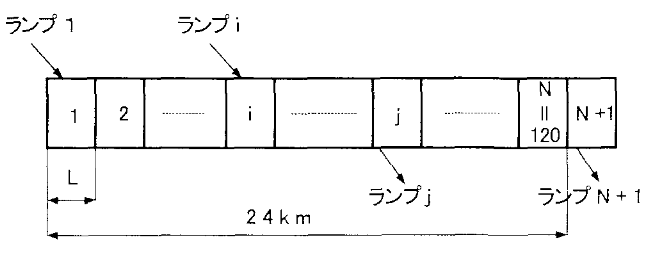

図 1　高速道路モデル

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・・・N）からなる道路網を考える。今、時刻ｔにおけるリンクｉの所要時間を$x_i(t)$とし、その値は光ビーコンを通して観測されるものとする。このとき、$x_i(t+k)$を予測する方法として以下のような方法を考える。

$x_i(t+1)$をまず予測することを考える。その値関連すると思われる上下流のリンクを$i_1, i_2, \cdots, i_{n-1}$とする。今定式化の簡単のために、予測対象リンク番号１、予測に利用するほかのリンク番号に２，３、・・・ｎなる番号を与えるものとし、ベクトル$x_i(t)$を

$$x_i(t)=\{x_1(t), x_2(t), \cdots, x_n(t)\}$$

として定義する。

我々はこの$x_i(t)$の時間遷移方程式として次のような式を仮定する。

$$x\ (t+1)=H(t)x(t)+v(t) \qquad (3)$$

$$H(t)=\begin{bmatrix} h_{11}(t) & h_{12}(t) & \cdots & h_{1n}(t) \\ h_{21}(t) & h_{22}(t) & \cdots & h_{2n}(t) \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1}(t) & h_{n2}(t) & \cdots & h_{nn}(t) \end{bmatrix}$$

遷移行列（n×n 行列）

$v\ (t)$：雑音　（n ベクトル）

のように与えられたとき

$$h\ (t)=\{h_{11}(t),h_{12}(t),\cdots,h_{1n}(t),h_{21}(t),h_{22}(t),\cdots,h_{2n}(t),\cdots,h_{n1}(t),h_{n2}(t),\cdots h_{nn}(t)\}^{\mathrm{T}}$$

という n^2 の要素からなるベクトルを考える。

$$\Lambda(t)=\begin{bmatrix} x^{\mathrm{T}}\ (t) & & & 0 \\ & x^{\mathrm{T}}\ (t) & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & x^{\mathrm{T}}\ (t) \end{bmatrix}\ (n\times n^2\ \text{行列})$$

$z(t)=x(t+1)$　とすると（3）式は

$$z(t)=\Lambda(t)h(t)+v(t) \qquad (4)$$

として書くことができる。

（2）式において、$z(t)$ を仮想的な観測量、$h(t)$ をシステムの状態量、$\Lambda(t)$ を変換行列と考えると、同式は $h(t)$ に関する観測方程式とみなすことができる。

また $h(t)$ の状態遷移式としては、その滑らかな変化を仮定して

$$h(t+1)=h(t)+w(t) \qquad (5)$$

なる方程式を考える。$w(t)$ は雑音ベクトル。

（4）式（5）式にカルマンフィルター理論を適用することにより、$h(t)$ の最適推定値 $\hat{h}(t\mid t)$ が次式のように与えられる。

$$\hat{h}(t\mid t)=\hat{h}(t\mid t-1)+K(t)\left[z(t)-\Lambda(t)\hat{h}(t\mid t-1)\right] \quad (6)$$

ここに、$\hat{h}(t\mid t)$ は観測量 $z(t)$ が得られた時点における $h(t)$ の最適推定値であり、$\hat{h}(t\mid t-1)$ は $z(t-1)$ が得られた段階における $h(t)$ の最適推定値である。

（5）式のような遷移式構造を考えると

$$\hat{h}(t\mid t-1)=\hat{h}(t-1\mid t-1) \qquad (7)$$

となるので、（7）式を（6）式に代入して

$$\hat{h}(t\mid t)=\hat{h}(t-1\mid t-1)+K(t)\left[z(t)-\Lambda(t)\hat{h}(t-1\mid t-1)\right] (8)$$

を得る。$K(t)$ カルマンゲイン行列である。

$h(t)$ の最終的な推定値としては $\hat{h}(t\mid t)$ を採用するが、これを元の係数行列として並べたものをここでは新たに $H(t)$ として表すこととする。

$x(t)$ の観測値を $y(t)$ とすると

$$y(t)=x(t)+e(t) \qquad (9)$$

（3）、（9）式より

$$\hat{x}(t\mid t)=H(t-1)\hat{x}(t-1\mid t-1)+K(t)\left[y(t)-\hat{x}(t-1\mid t-1)\right] \qquad (8)$$

（1）式から　$\hat{x}(t+1\mid t)=H(t)\hat{x}(t\mid t)$　（9）

以上の方法により $\hat{t}(t+1\mid t)$ が求められると、k 時点先の所要時間の予測値 $\hat{t}(t+k\mid t)$ は

$$\hat{x}(t+k\mid t)=H(t+k-1)H(t+k-2)\cdots H(t+1)\hat{x}(t+1\mid t)$$

として表される。

3.2　所要時間の推定

今回は全部で 120 個の地点を大きく 7 つのリンクに分け、推定してみる。例えば、この理論によって連続する 3 つのリンク 1，2，3 の所要時間が予測されているものとすると、リンク 1 の上流端からリンク 3 の下流端までの所要時間で t 時点における予測値 $\hat{T}(t_1)$ は

$$\hat{T}(t_1)=\hat{x}_1(t_1)+\hat{x}_2(t_2)+\hat{x}_3(t_3)$$

一般に連続するリンク 1～N からなる経路の所要時間の予測値は

$$\hat{T}(t_1)=\sum_{i=1}^{N}\hat{x}_i(t_i)$$

ただし $t_i=t_{i-1}+\hat{x}(t_{i-1})$　　$i\geq 2$

4. おわりに

上述の方法では、以前は前日の情報をもとに推定していたが、今回は当日で予測対象リンクの上下流の情報をもとに推定している。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

高橋　史晶：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