平面道路におけるリアルタイム走行時間予測に関する基礎的研究

信州大学工学部　正会員　奥谷　巌
信州大学工学部　○渡辺　剛

1　はじめに

現在、道路交通需要の増大による、交通事故の増加、交通渋滞の慢性化などの解決に向けて、交通流全体の管理を行う新交通管理システムが研究開発されている。その中の１つとして走行時間提供システム、つまりナビゲーションシステムの高度化がある。これにより、交通流の自律的な分散、交通渋滞の解消、運転者の心理状態の改善などをはかろうと言うものである。これには、道路網における交通流状態のオンライン情報が必要となってくるのであるが、道路上に設置された車両感知器より得られる情報はわずかであり、当然、現時点より先の情報は得られないのである。したがって、わずかな情報を元に現時点よりも先の交通状態を見通し、それをもとに走行時間の予測をする必要がある。

本研究では、このための方法論開発を目指した基礎的な検討を行う。

2　走行時間の予測方法

本研究は基礎的研究であり従って必要なデータはシミュレーションによって得ることとした。そして、そのデータを用いてカルマンフィルタ理論を利用した２つのモデルと区間走行時間予測モデルの結合によって平面道路におけるリアルタイムでの走行時間のを予測を行う。

我々が提案する走行時間の予測方法では、将来の任意時点における隣接交差点間道路区間の車両存在台数の予測が必須条件となっているが、この予測にあたっては区間下流端からの流出交通量、上流端からの流入交通量の予測値を必要とする。従って、以下では個々の変量の予測サブモデルについて順次説明し、最後に走行時間の予測モデルを示すこととする。

2.1　区間流出交通量の予測

区間流出交通量はすなわち交差点の流入交通量であるが、殆どの交差点においてその値は交通感知器により計測されており、時系列データの入手は容易である。問題は将来時点の予測であるが、これについても我々は既にいくつかの方法を提案しているので[1]その中の適当な一つの方法を用いるようにすれば良いであろう。因みに、最も精度の高い方法の一つであるカルマンフィルタ理論を用いた方法では、複数の交差点における計測交通量（感知器による）の時系列を用いる構造となっている。

2.2　区間流入台数の予測

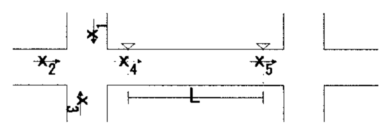

図 1: 街路区間

図1のような任意の街路区間（交差点間）において、ある任意時点tの上流端の入力交通量$x_4(t)$は次の式(1)の様にして表すことができる。

$$x_4(t) = x_1(t)h_1(t) + x_2(t)h_2(t) + x_3(t)h_3(t) \quad (1)$$

ここで、$h_1(t)$は$x_1(t)$の左折率、$h_2(t)$は$x_2(t)$の直進率、$h_3(t)$は$x_3(t)$の右折率であり未知量である。

$x_4(t)$の計測データは一般には期待できないので$x_4(t)$を$x_5(t)$で代用し屈折率$h_i(t)$を交差点予測流入交通量$\hat{x}_1(t), \hat{x}_2(t), \hat{x}_3(t)$および下流端の予測流出交通量$\hat{x}_5(t)$から予測する。各変数の関係より、次の式(2)のような観測方程式を導き出す事ができる。

$$y(t) = \Lambda(t)h(t) + e(t) \quad (2)$$

ここで、
$$\begin{aligned} y(t) &= \hat{x}_5(t) \\ \Lambda(t) &= [\hat{x}_1(t), \hat{x}_2(t), \hat{x}_3(t)] \\ h(t) &= [h_1(t), h_2(t), h_3(t)]^T \end{aligned}$$
$e(t)$　:　誤差（平均値0，分散R_2）

また、状態量である$h(t)$に関するシステム方程式は、各屈折率等が時間的に緩やかな変動をすると

仮定すれば、次のような簡単な式で表せる。

$$h(t+1)=h(t)+v(t) \tag{3}$$

ここで、誤差ベクトル$v(t)$は、平均値0、分散共分散行列R_1である。

(2)、(3)式の方程式体系にカルマンフィルタ理論を適用させた次の式(4)によって、上流交差点の屈折率$h(t)$の予測値$\hat{h}(t)$を求める事ができる。

$$\hat{h}(t+1)=\hat{h}(t)+K(t)[y(t)-\Lambda(t)\hat{h}(t)] \tag{4}$$

ここに$K(t)$はカルマンゲインである。

この収束値を$\hat{h}=(h_1,h_2,h_3)^T$としたとき、$\hat{x}_1(t)$の左折率、$\hat{x}_2(t)$の直進率、$\hat{x}_3(t)$の右折率として、それぞれh_1,h_2,h_3の値を用いる事ができる。それにより区間上流端の入力交通量$\hat{x}_4(t)$を予測できる。

2.3 区間内存在台数の予測

2つの隣接する交差点に挟まれた道路区間の1車線あたりの交通密度を$\rho(t)$とすると、2.1から得られた下流端の予測出力交通量$\hat{x}_5(t)$と2.2で得られた区間上流端の予測入力交通量$\hat{x}_4(t)$を用いて、次の式(5)の関係式が導き出される。

$$\rho(t+1)=\rho(t)+[\hat{x}_4(t)-\hat{x}_5(t)]/aL+\omega(t) \tag{5}$$

ここで、 a ： 車線数
L ： 区間長
$\omega(t)$ ： 誤差(平均値0, 分散Q)

また、$\rho(t)$の観測値$z(t)$としては、下流端で計測されたオキュパンシの定数倍の値をとることとすれば、次の式(6)のような観測方程式が導き出される。

$$z(t)=\rho(t)+u(t) \tag{6}$$

ここで、観測誤差$u(t)$は平均値0、分散Rである。

(5)、(6)式の方程式形態にカルマンフィルタ理論を適用させた次の式(8)によって対象区間の交通密度の予測値$\hat{\rho}(t|t)$を求めることができる。

$$\begin{aligned}\hat{\rho}(t|t) &= \hat{\rho}(t-1|t-1)+U(t-1)\\ &\quad +K(t)[z(t)-\hat{\rho}(t|t-1)]\\ &= \hat{\rho}(t-1|t-1)+U(t-1)\\ &\quad +K(t)[z(t)-\hat{\rho}(t-1|t-1)-U(t-1)]\end{aligned} \tag{7}$$

ここで $U(t)=[\hat{x}_4(t)-\hat{x}_5(t)]/aL$
$\hat{\rho}(t|t)$ ： $z(t)$を用いた$\rho(t)$の推定値
$K(t)$ ： カルマンゲイン
$\hat{\rho}(t|t-1)$ ： $z(t-1)$を用いた$\rho(t)$の推定値

これより、交通密度の予測値$\hat{\rho}(t|t)$を利用する事により存在台数$N(t)$の予測値$\hat{N}(t)$は次式(8)より、

$$\hat{N}(t)=\hat{\rho}(t|t)L \tag{8}$$

として計算される。

2.4 走行時間の予測

任意時点に任意区間の入口に着いた任意の車両はその区間内の車両が無くなれば必然的に区間出口に着くことができる。

まず、先で求められた予測存在台数$\hat{N}(t)$が、初めて$\hat{N}(t)<\sum\hat{x}_5(t)\Delta t$となる$t$を求めそれを$t^*$とする。しかし、$t^*$まで進むと区間内の車両が流出しすぎてしまうので、次式(9)の様に単位時間前の時点t^*-1に区間内に残っている（任意車両よりも前にある）車両が流出してしまうまでの時間を加える事により、任意区間内のすべての車両が流出するまでの時間、つまり任意の車両が区間出口に到着する時間$T(t)$が求められる事になる。

$$T(t)=(t^*-1-t)\Delta t+\frac{\hat{N}(t)-\sum_{t=t}^{t^*-1}\hat{x}_5(t)\Delta t}{\hat{x}_5(t^*)} \tag{9}$$

以上より、将来の任意時間tに、ある任意区間入口にいる車両の区間走行時間が予測できるので、複数個の信号が連なった区間の場合でも、はじめの区間の走行時間を計算し次の区間ではその走行時間分だけ進んだ時点を任意時点として予測して、順番に計算をしていくことにより最終的に複数個の信号の並んだ任意区間でも走行時間をリアルタイムに予測する事ができる。

計算結果等は当日にまとめて発表する。

参考文献

[1] 奥谷 巌、國友 良行：「道路交通状態の動的な推定・予測方法に関する研究」（土木学会中部支部研究発表会講演概要集 IV-8,1989）

[2] 奥谷 巌 ：「交通需要予測諸手法の適用性の検討」（電気学会論文誌D 110巻6号,1990）