

北大工学部 正員 中 辻 隆
建設省工研 明 嵐 政 司
北大工学部 正員 加 来 照 俊

1. まえがき

自動応答系統式の信号制御においては、系統制御する路線上の代表的な点に設置された車面感知器から得られる交通量や時間占有率に基づいて制御パターンを選択し各交差点の信号機が制御されるので出来る限り正確な予測を行なう事が望ましい。現在、最も一般的に行なわれている交通需要の推定法は、前ステップの交通量(占有率)と新たに測定された交通量(占有率)とを加重平均する指数平滑化法であるが(1)ある地点の交通需要は、他の地点と相互に関連している。(2)観測データには、誤差が含まれている。事などを考慮することにより、モデルの精度向上を図れるものと思われる。しかしながら、作成されるモデルは制御の特性上オンライン処理が可能でなければならぬ。

自己回帰モデルは、気象、経済、地盤、河川など多くの分野で用いられている予測手法であるが、ここでは、各交差点の交通需要を説明変数とする多変数自己回帰(AR)モデルのオンライン同定法、感知器データから求める各地点の交通需要の相関特性、実測データを用いた予測結果などについて述べる。

2. 自己回帰モデル

多変数ARモデルは次のように表わることが出来る。

$$X(R) = - \sum_{l=1}^n A_l X(R-l) + E(R) \quad (1)$$

$X(R)$ は時刻 R における各交差点の交通量、占有率から成る P 次元列ベクトル、 $E(R)$ が誤差ベクトル、そして、 A_l が決定すべき係数行列である。

$\varphi_n = E\{E(R)E(R)\} = E\left\{\sum_{l=0}^n A_l X(R-l)\right\} \left\{\sum_{j=0}^n A_j X(R-j)\right\}$
を $A_0 = I$ の条件で最小にするように A_l を決定する。

$$R(n) = \begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \dots & R_n \\ R_1 & R_0 & \dots & R_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_n & R_{n-1} & \dots & R_0 \end{bmatrix}, \quad R_0 = E\{X(R)X(R)\}$$

$$Q(n) = \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & \dots & A_n \end{bmatrix}, \quad C(n) = \begin{bmatrix} I & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

とすると、解くべきYule-Walker方程式は

$$Q(n)R(n) = E_A(n)C(n), \quad E_A(n) = E\{E(R)E(R)\}$$

実際の計算において、 $R=n, n+1, \dots, N$ のデータが得られた時、観測値 $Y(R) = X(R) + V(R)$ ($V(R)$ は観測誤差) (1)式は次のように変形される。

$$Y_N = A_N Q_N + E_N \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで, } Y_N &= \begin{bmatrix} Y(n), Y(n+1), \dots, Y(N) \end{bmatrix} & P \times (N-n+1) \\ A_N &= \begin{bmatrix} -A_1 & -A_2 & \dots & -A_n \end{bmatrix} & P \times nP \\ Q_N &= \begin{bmatrix} Z_n & Z_{n+1} & \dots & Z_N \end{bmatrix} & nP \times (N-n+1) \\ Z_N &= \begin{bmatrix} Z(n), Z(n+1), \dots, Z(N) \end{bmatrix} & nP \times 1 \end{aligned}$$

また、 $\varphi_N = E\{E_N E_N^T\} = E\{(Y_N - A_N Q_N)(Y_N - A_N Q_N)^T\}$ を最小とするように A_N の推定値($\hat{A}_N$)を求めると

$$\hat{A}_N = Y_N Q_N^T (Q_N Q_N^T)^{-1} \quad (3)$$

オンライン同定のための算法を導くためには、(3)式において Y_N, Q_N を $R=n, n+1, \dots, N-1$ と $R=N$ の部分とに分割して展開すれば良い。結果を示すと、

$$\begin{aligned} \hat{A}_N &= \hat{A}_{N-1} - \{A_{N-1} Z_{N-1}^T Y_N\} Z_{N-1}^T R_{N-1} / \{Z_{N-1}^T Z_{N-1} + 1\} \\ R_N &= (Q_N Q_N^T)^{-1} = R_{N-1} - R_{N-1} Z_N (Z_N^T R_{N-1} Z_N + 1)^{-1} Z_N^T R_{N-1} \end{aligned}$$

なお、(1)式は、 A_l ($l=1, 2, \dots, n$)の各行要素を一繋ぎにした列ベクトルに変形することによって、カルマンフィルタ表示する事も出来る。

3. 解析結果

各感知器から得られた交通量、および時間占有率相互の相関を調べるために、図1に示す札幌市内西5丁目通り(北大前通り)の6地点の観測データ(1980年9月8日升旗~14日土曜)を用いて、各量の相互相関係数を計算した。この路線の信号機は、直接、および運動により系統制御が行われている。感知器は超音波式で15分毎に、交通量 Q 、時間占有率 O 、平均速度が平均、集計されている。図-1 感知器の設置位置

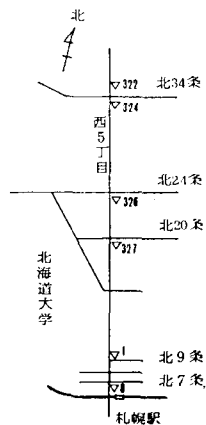


表-1は、6地点のQとQ_cとの間の自己および相互相関係数の最大値(タイムラグは必ずしも一致しておらず、0または15分のラグを持っている)の一覧である。QとQとの相関係数は0.89~0.97と比較的大きいが、Q_cとQ_cでは、その多くが0.6前後の値で、しかもそのばらつきも大きい。これは、占有率が交通状況の変動に対して鋭敏に反応するためと考えられる。QとQ_cの相関は、中間的相関を示している。表-1の値は3日間(9月8日0時~10日24時)72時間のデータを用いたものであるが、データ数の影響を調べたのが表2である。12時間データでの値が大きな相関値を示しているのは、深夜、早朝を含む、0~12時のデータであるためと推察される。

表 1 各感知器間の相互相関係数の最大値

	Q8	Q1	Q327	Q326	Q324	Q322	Q _c 8	Q _c 1	Q327	Q326	Q324	Q322
Q8	1.00											
Q1	0.94	1.00										
Q327	0.95	0.93	1.00									
Q326	0.91	0.89	0.97	1.00								
Q324	0.93	0.91	0.96	0.92	1.00							
Q322	0.92	0.90	0.95	0.91	0.97	1.00						
Q _c 8	0.83	0.79	0.77	0.69	0.77	0.77	1.00					
Q _c 1	0.74	0.70	0.72	0.65	0.71	0.71	0.68	1.00				
Q327	0.69	0.72	0.76	0.72	0.78	0.76	0.61	0.60	1.00			
Q326	0.81	0.79	0.87	0.90	0.84	0.83	0.65	0.61	0.68	1.00		
Q324	0.86	0.86	0.89	0.85	0.94	0.91	0.72	0.68	0.81	0.78	1.00	
Q322	0.61	0.65	0.71	0.66	0.74	0.76	0.56	0.60	0.82	0.65	0.79	1.00

表 2 相互相関係数に与えるデータ数の影響

時間	Q1-Q326	Q1-Q _c 326	Q _c 1-Q326	Q _c 1-Q _c 326
6	0.94	0.79	0.82	0.69
12	0.97	0.89	0.89	0.89
24	0.91	0.83	0.66	0.63
48	0.88	0.82	0.64	0.60
72	0.89	0.79	0.65	0.61
120	0.88	0.80	0.64	0.59
168	0.87	0.79	0.62	0.56

図-2と図-3はARモデルによる予測結果を示したものである。ここでは、最も単純な例として、地点相互の影響を考慮せずに1地点のみのモデルを用いた。感知器のデータが15分間隔と、制御のための予測としては疎であるため、信号の各サイクル毎の交通量を日視により得たデータを観測データとした。

図-2は、n=4とした場合のA₁~A₄(単変数)の変動状態を示したものである。横軸がステップ(サイクル)数を、縦軸が係数値を表わしているが、10ステップ後には、ほぼ定常的な値となっているのが見られる。図-3は交通量(各サイクル毎)の予測値と観測値の比較である。予測値が若干の時間遅れを示しているが、予測値が観測値によく並列していることがわかる。

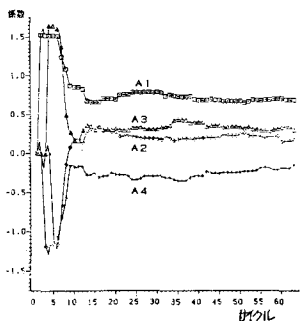


図-2 各回帰係数の推移

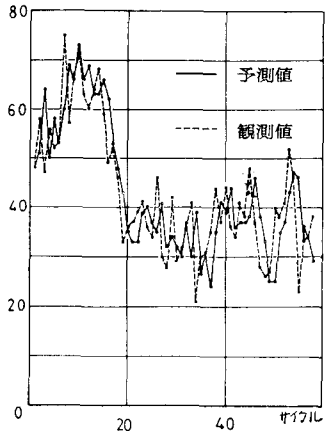


図-3 交通量の予測値と観測値

4. おとがき

自己帰帰モデルを交通制御のための予測手法として用いるためには、観測に伴う誤差の特性、モデルに取り入れる感知器設置位置の選択基準、回帰次数、あるいは、交通変量のもつ周期性の考慮など検討しなくてはならない問題は多い。ここでは、各感知器間の相関特性、および最も単純なモデルによる予測しき及する事が出来なかつたが、今後、順次検討を進めて行きたい。なお、最後に運着者の制限から車を運搬する事が出来ませんでし

参考文献

- (1)有本：信号画像のデジタル処理 産業図書
- (2)有本：信号処理とシステム制御 岩波書店
- (3)相良也：システム 計測自動制御学会
- (4)片山：応用カルマンフィルタ 朝倉書店