

IV-63

高速道路における自己回帰モデルとカルマンフィルタを用いた
旅行時間の推定に関する研究

北海道大学 学生員 若尾 将徳
北海道大学 正員 藤原 隆
北海道大学 正員 中辻 隆

1. はじめに

近年、情報通信技術の高度化により、VICS などに代表される高度交通情報システム (ITS)が注目をあびている。その主な役割の一つが、旅行時間に代表される動的交通情報の提供である。適切な動的交通情報の提供は、高速道路利用者の経路選択、走行計画の変更、調整を容易にし、また交通管制上から、近年深刻な交通問題となっている渋滞の緩和や、高速道路網の効率的運用、安全で快適な走行につながる事が約束される。

旅行時間の算定は巻上らの AVI (自動車番認識装置) システムや、井上らの車両感知器情報を用いた車群マッチングによるリアルタイム旅行時間計測方式などがあるが、本研究では、独自に入手した高速道路の旅行時間を自己回帰モデルによってオンラインで推定し、観測値として車両感知器で得られた交通量、地点平均速度を重回帰モデルによって線形化しその2つの式からカルマンフィルタでフィルタリングを行い未来の旅行時間をリアルタイムで推定することを試みた。

2. モデルの概要

2. 1カルマンフィルタ

カルマンフィルタは、時系列 {x(0),x(1),...,x(k)} が直接正確に測定することができないときに、x(k)の何らかの関数である測定値 {y(0),y(1),...,y(k)} を用いて x(k)を推定する手法である。

信号Xが時間の推移と共に刻々と変わっていく場合を想定しよう。いま、時点はk=0,1,2...と進み、時点kにおけるn次元ベクトル値をとる信号を xk で表す。ここでは信号 xk が線形の差分式

$$x_k = A_{k-1}x_{k-1} + v_{k-1} \quad (1)$$

で支配されている場合を考える。式(2.1)は、カルマンフィルタの状態方程式と呼ばれる。Ak はn×nの確定行列である。ここにvk は時刻kの誤差ベクトルである。

信号 xk は直接測ることができないが、次のような測定機構を通してえられる出力 yk が式

$$y_k = C_k x_k + w_k \quad (2)$$

のように測れるものとする。式(2.3)は、カルマンフィルタの観測方程式と呼ばれる。ここにCk はm×nの確定行列であり、wk は時刻kの誤差ベクトルである。カルマンフィルタ理論より、信号 xk の最小二乗推定量は

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}_k &= \tilde{x}_k + P_k C_k^T W_k^{-1} \{y_k - (C_k \tilde{x}_k + \bar{w}_k)\} \\ \tilde{x}_k &= A_{k-1} \hat{x}_{k-1} + \bar{v}_{k-1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

と求めることができる。ここで、x̄はフィルタリング前の推定値、x̂k は最も良い推定値である。ここで、初期条件

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x}_0 &= \bar{x}_0 \\ M_0 &= X_0 \end{aligned} \right\}$$

を与えると、順々に測定値 yk を得るごとに共分散行列Pk を求めながらx̂k を求めることができる。こうして、式(3)は信号 xk の最適フィルタを形成しておりこれをカルマンフィルタという。

式(1)の行列Ak と式(2)の行列Ck は以下のような手法を用いて推定している。

A Study on Estimation of the Travel Time on High Way

using Autoregressive Model and Kalman-Filter on hiway

by Masanori Wakao, Takasi Fujiwara Takasi Nkatsuji,

2.2 自己回帰モデル (Ak の推定)

自己回帰モデルは、時系列ベクトル $\{x(0), \dots, x(i), \dots, x(k)\}$ を定義するときそれが、適当な次数の自己回帰過程に従うものと仮定した過去のベクトル $\{x(0), \dots, x(i), \dots, x(k-1)\}$ と現在のベクトル $x(k)$ にどのような関係をもっているのかを推定する手法である。基本式

$$x_k = A_1 x_{k-1} + A_2 x_{k-2} + \dots + A_m x_{k-m} \quad (4)$$

(4)式は、「時刻kの時のベクトルが時刻(k-m)間で関係している」ということを表している。本研究においては、 $m=1$ とすることにした。

2.3 重回帰モデル (Ck の推定)

重回帰モデルは、 m 個の独立変数 x (本研究では旅行時間の数) と従属変数 y の n 組の測定値 (本研究では交通量、地点平均速度) に変数間になんらかの関係式が成り立つとみなす手法である。式

$$y_k = C_k x_k + w_k \quad (2)$$

は重回帰の基本式であるから、このまま C_k を推定した。

2.4 自己回帰モデルのオンライン同定

時刻 $k=N-1$ までの測定値を得たときの推定量 A_{N-1} が定まっているとき、時刻 $k=N$ における測定値 x_N を得たときの A_N を次の式でオンライン的に求めることができる。

$$A_N = A_{N-1} - \frac{[A_{N-1} z_N - x(N)] z_N'}{1 + z_N' P_{N-1} z_N} P_{N-1} \quad (5)$$

ここで

$$P_N = (Q_N Q_N')^{-1}$$

$$Q_N = \begin{pmatrix} x(n-1) & x(n) & \dots & x(N-1) \\ x(n-2) & x(n-1) & \dots & x(N-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(n-m) & x(n-m+1) & \dots & x(N-m) \end{pmatrix}$$

$$z_N = [x(N-1), x(N-2), \dots, x(N-m)]$$

とおく。

3. アルゴリズム

以下に2つのカルマンフィルタを用いた旅行時間の推定モデルを示す。

● オフライン推定

- (1) 自己回帰モデルの式(4)を使って A_k を算定する。
- (2) 重回帰モデルの式(2)を使って C_k を算定する。
- (3) 式(4)を状態方程式、式(2)を計測方程式とする。
- (4) カルマンゲイン K を算定する。
- (5) 式(3)から \hat{x}_k を算定する

これらの計算を $k=1 \sim N$ まで逐次行い \hat{x}_k を算定する。

● オンライン推定

- (1) の A_k を算定するときオンライン同定の式(5)を使ってリアルタイムに A_k を算定する。

また本研究では信号 x_k に旅行時間、計測値 y_k は交通量、地点平均速度をそれぞれ使い、比較した。

4. 観測データ

本研究で使われた旅行時間のデータの使用日時は、12月9日、11日の午前6:00~午後6:00に出口インターについたもの、使用区間は上り車線の札幌南~苫小牧西を入口インターとしているものである。

また交通量のデータは、この区間につけられている3カ所の車両感知器を使用した。(図1参照)

シミュレーション対象区間は、道央自動車道の札幌南ICから、登別室蘭ICの交通量の多い10区間のOD区間を用いた。(表1,2参照)

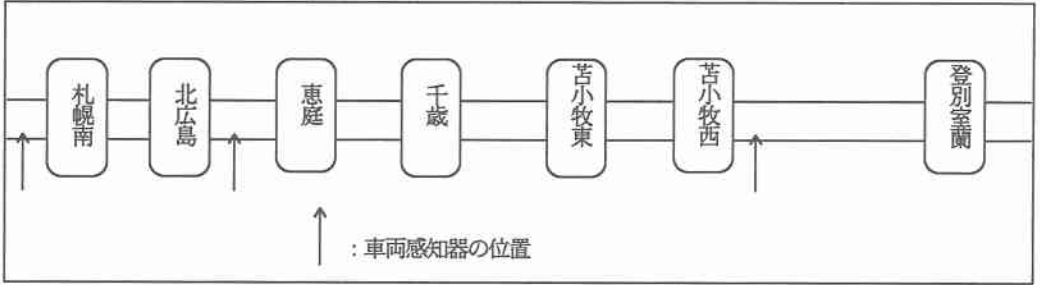


図1 シミュレーション対象区間

表1 OD交通量(12月9日6:00~18:00)

入口インター	出口インター										
	北広島	恵庭	千歳	苫東	苫西	白老	登別東	登別室蘭	伊達	室蘭	虹田洞爺湖
札幌南	2169	1908	3522	3030	440	175	205	641	101	130	190
北広島		230	770	660	105	36	76	141	13	27	59
恵庭			74	23	47	18	12	36	5	6	45
千歳				8	80	42	35	61	22	20	47
苫小牧東					51	35	50	166	28	33	73
苫小牧西						30	65	323	46	46	95

表2 解析区間

入口インター	出口インター						
	札幌南	北広島(x1)	恵庭(x2)	千歳(x3)	苫小牧東(x4)	苫小牧西(x5)	登別室蘭(x6)
		北広島	恵庭(x7)	千歳(x8)	苫小牧東(x9)		
	苫小牧西						登別室蘭(x10)

5. 解析結果

12月9, 11日の朝、昼、夕方の時間帯の平均旅行時間と標準偏差を図2~図6に示す。なお、この図のx1~x10は表2に示した区間に対応している。

図2~4より、平均旅行時間はどの区間においても日時の影響がほとんどないものと見なされる。若干夕方の時間帯の平均旅行時間が短くなっている。

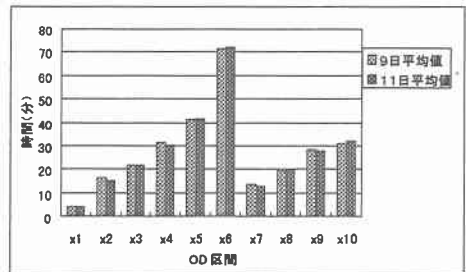


図3 平均旅行時間(11:00~14:00)

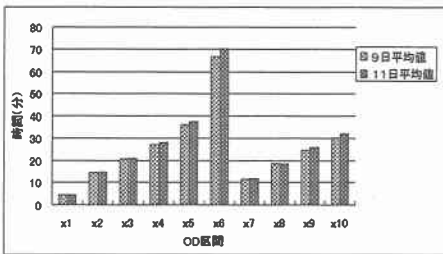


図2 平均旅行時間(7:00~10:00)

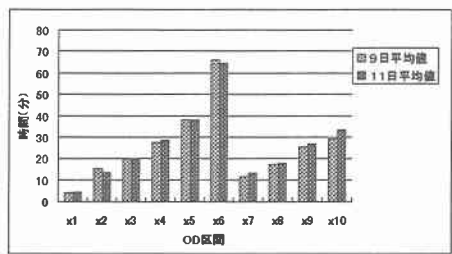


図4 平均旅行時間(16:00~17:00)

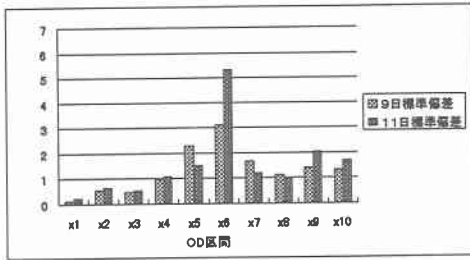


図5 標準偏差 (7:00~10:00)

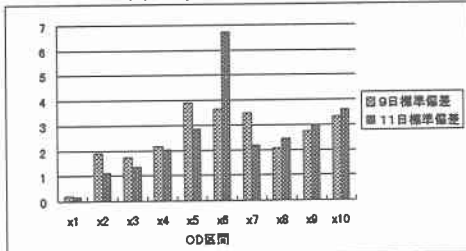


図6 標準偏差 (11:00~14:00)

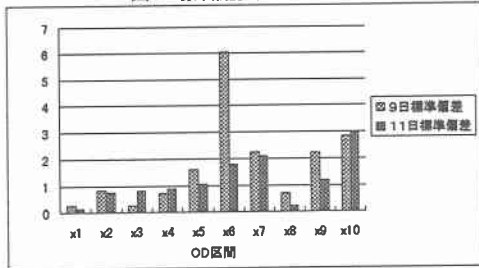


図7 標準偏差 (16:00~17:00)

図5~7より、札幌南~登別陸奥間(x6)の標準偏差が大きいことが分かる。また日にち、時間における違いも激しい。これは距離が、他区間に比べて長からだともわれる。またどの区間も昼間の標準偏差が大きい。

図8はオフライン同定で予測値 y_k に交通量をいれた推定値(推定値1)と地点平均速度をいれた推定値(推定値2)地点平均速度の方が若干精度がよくなっている。(表3参照)これは旅行時間が地点平均速度のほうが交通量よりも相関性が高いと思われる。

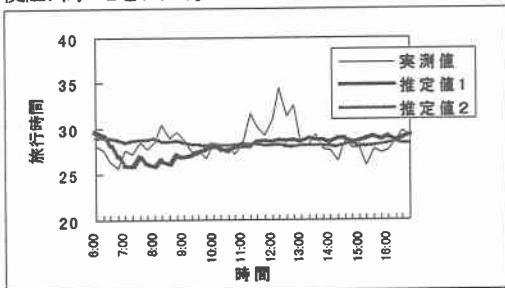


図8 オフライン同定の実際値との比較 (x4)

表3 RMS値(x4)

yk:交通量	6.67
xk:地点平均速度	6.21

6. まとめ

オフライン同定では、全体的な平均旅行時間はうまくいっているが各時間の変化にはついていっていない。これは、昼間の旅行時間の増加が交通量、地点平均速度とに相関性が少なく、サービスエリアでの休憩とに相関していると思われる。またオフライン同定のため A_k , C_k マトリクスが一定のために各時間帯の変化に対応できないのも一因である。

今後はオンライン同定における旅行時間に推定と、旅行時間の推定が最も重要とされる、渋滞流によって旅行時間が変化している高速道路での旅行時間の推定が課題とされる。

参考文献

- Iwao Okutani, Dynamic The Kalman Filtering Approaches in some Transportation and Traffic Problems, Transportation and traffic Theory, pp397~416, 1987
- Origin-Destination Matrix Estimation and Prediction for Real-Time Traffic Management Systems, MIT, Summer Prof essional Program, 1, 105, 1996

有本 卓, カルマンフィルター, 産業図書

有本 卓, 信号・画像のデジタル処理, 産業図書

有本 卓, 信号処理とシステム制御, 岩波講堂