

IV-114 車両の追従挙動測定システム

千葉工業大学 正員 赤羽弘和
東京大学 正員 越 正毅建設省 正員 大庭孝之
東京大学 正員 桑原雅夫

1. はじめに

高速道路のトンネル部やサグ部を隘路とする自然渋滞は、個々の車両の追従挙動が集積した結果である¹⁾。したがって、渋滞発生仕組みを明かにし、これを防止するためには、この追従挙動を定量的に把握することが不可欠である。そこで、著者らは実走行状態における車両の追従挙動を解析するために、種々の測定・記録機材を搭載した走行測定車、および走行データを電子計算機により処理するソフトウェアからなる測定システムを開発し、改良を重ねてきた²⁾。

この測定システムは、写真解析あるいはビデオ画像解析により車両位置の時間変化を測定する方法と比較すると、以下のような特長を有する。

- ① 特定の車両の追従挙動を、たとえトンネル内を走行しているときにでも、連続して測定できる。
- ② 加速度や速度などの短時間変動も、高精度に測定できる。
- ③ 運転者のアクセルペダルの踏み込み量なども、直接測定できる。

本稿では、この測定システムの現状を紹介する。

2. 走行実験の方法と走行測定車の構造

実際の道路上において補助測定車、それに続いて主測定車を走行させる。各測定車の加速度、速度、および測定車間の距離などを測定し、アナログデータレコーダに記録する。諸量の測定方法などについては、概ね以下のようにまとめられる。

- 1) 加速度 歪ゲージ式一軸加速度計により、車両進行方向の加速度に比例する電圧を得る。
- 2) 速度 変速機の回転をパルス発電機に入力し、その出力を周波数／電圧変換することにより、回転数に比例する電圧を得る。発電機は車軸1回転あたり120パルスを発生するため、0.1秒程度の短時間の速度変動も測定できる。キロポスト間の発生パルス数に基づいて、校正を行なう。
- 3) 車間距離 レーザパルス距離計を、主測定車の前部バンパーに取り付けている。最大測定距離

は約70m、精度は±2m程度(仕様)である。

なお、データレコーダに記録した同期パルスにより、各車の測定値間で同期をとっている。

3. 走行データの平滑化

走行データを研究室内で12ビット精度でA/D変換して、電子計算機に入力する。サンプリング周波数は、現在のところ10Hzとしている。つづいて、このデータを、カルマンスムージングアルゴリズムにより平滑化する。このアルゴリズムを採用したのは、重み付き移動平均法などと異なり、測定諸量間の物理的相互関係を取り込んで、測定値の平滑化を行えるからである。平滑化の目的は以下の通りである。

- ① 各測定値に含まれるランダム誤差を低減する。
- ② 車間距離計の発するレーザーのビーム幅は、非常に狭い。このため、走行位置の変化や車体の動揺などにより、レーザーが先行車を捉えられない状況が、かなりの頻度で発生する。このときに、速度あるいは加速度などから車間距離を推定する。
- ③ 加速度の測定値には、加速度計の取付精度および縦断勾配の影響で、偏りが含まれる。この偏りを補正する。

離散時間カルマンスムーザは、次式のように差分式で表されるシステムの状態の最小二乗推定量を与える³⁾。

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{F}(k) \mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{H}(k) \mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k) \quad (2)$$

ここに、 k は時間、 $\mathbf{x}(k)$ はシステムの状態を示すベクトル、 $\mathbf{y}(k)$ は測定値ベクトル、 $\mathbf{w}(k)$ および $\mathbf{v}(k)$ は白色雑音ベクトル、そして $\mathbf{F}(k)$ 、 $\mathbf{H}(k)$ は要素の値が既知の係数行列である。カルマン固定区間スムージングにより、 $0 \sim N$ までの測定値 $\mathbf{y}(0)$ 、 $\mathbf{y}(1)$ 、 $\dots$ 、 $\mathbf{y}(N)$ に基づいて、システムの状態 $\mathbf{x}(0)$ 、 $\mathbf{x}(1)$ 、 $\dots$ 、 $\mathbf{x}(N)$ の最小二乗推定量を推定できる。

2台の相前後して走行する車両の速度、加速度、車間距離の間の物理的関係、および測定値と真値との関係は、式(1)、(2)および以下の定義により表わすことができる。

$$x(k) = \begin{bmatrix} d(k) \\ v_2(k) \\ v_1(k) \\ a_2(k) \\ a_1(k) \\ p_2(k) \\ p_1(k) \\ b_2(k) \\ b_1(k) \end{bmatrix}, \quad w(k) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ w_2(k) \\ w_1(k) \\ u_2(k) \\ u_1(k) \end{bmatrix}$$

$$F(k) = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta & \Delta & -\frac{\Delta^2}{2} & \frac{\Delta^2}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta & 0 & \frac{\Delta^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta & 0 & \frac{\Delta^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} D(k) \\ V_2(k) \\ V_1(k) \\ A_2(k) \\ A_1(k) \end{bmatrix}, \quad v(k) = \begin{bmatrix} e_d(k) \\ e_{v_2}(k) \\ e_{v_1}(k) \\ e_{a_2}(k) \\ e_{a_1}(k) \end{bmatrix}$$

$$H(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ここに、 k は時刻、 d は車間距離、 v_2 は後続車の速度、 v_1 は先行車の速度、 a_2 は後続車の加速度、 a_1 は先行車の加速度、 p_2 は後続車の加加速度、 p_1 は先行車の加加速度、 b_2 は後続車加速度のバイアス、 b_1 は先行車加速度のバイアス、 w_2 は後続車加加速度の変動成分、 w_1 は先行車加加速度の変動成分、 u_2 は後続車バイアスの変動成分、 u_1 は先行車バイアスの変動成分、そして Δ はサンプリング周期を示す。また、 D は車間距離の測定値、 e_d は車間距離の測定誤差、 V_1 および V_2 は速度の測定値、 e_{v_1} および e_{v_2} は速度の測定誤差、 A_1 および A_2 は加速度の測定値、そして e_{a_1} および e_{a_2} は加速度の測定誤差を示す。加加速度は加速度の1次微分であり、アクセルペダルまたはブレーキペダルの踏み込み速度に対応している。各変動成分は平均値が0の白色雑音であると仮定している。また、レーザービームのねらいがはずれたときには、車間距離の測定誤差 e_d を非常に大きく見積り、他の測定値により車間距離を推定している。

4. 適用結果

図-1に、先行車および後続車の加速度、速度、そ

して車間距離の測定値の平滑結果を示す。車間距離についてのみ、測定値もプロットしている。同図のほぼ中央で車間距離計のねらいが明らかにはずれ、測定値の変動が乱れている。しかし、車間距離の平滑曲線には、その影響はみられず、ほぼ妥当な結果が得られている。また、このとき加加速度および速度の平滑値への影響も見られない。さらに、特に加速度の短時間変動が、良好に観測されている。

参考文献

- 1) 越 正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集第371号/IV-5，1986.
- 2) 大庭孝之：車両の追従挙動に関する実験的研究，東京大学修士論文，1988.
- 3) 片山 徹：応用カルマンフィルタ，朝倉書店，1983.

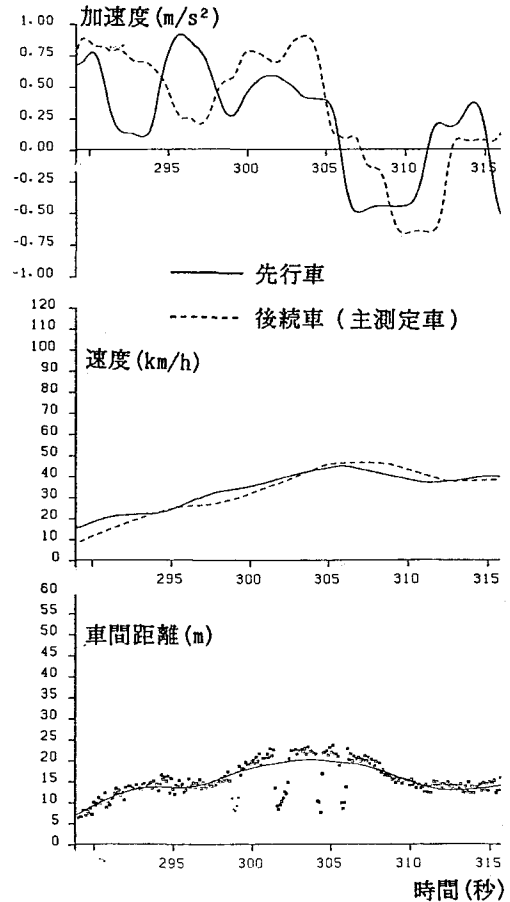


図-1 加速度、速度、車間距離の測定値の平滑結果