

車群のDPマッチングを用いた車の旅行時間推定

井上 健士 横田 孝義 高橋 一哉 小林 芳樹
(株) 日立製作所 日立研究所

道路交通の状態を把握する新しい技術としてカメラを使用しない旅行時間計測手法を開発する目的で、感知器情報のみを使用した旅行時間計測の検討を行った。ここで、感知器から得られたデータを元に、上流側感知器、下流側感知器を通過した車をそれぞれ上流車群、下流車群とし、その車群のマッチングを取ることで車の対応を決め、旅行時間を求めることにした。さらに、計測区間内での流入、流出車の対策として、DPマッチングを適用した。この手法の実証実験を行った結果、閑散交通時、および渋滞の生じる重交通時ともに目標精度内で旅行時間を求めることが出来た。

Vehicle Travel Time Estimation Using Dynamic Programming Pattern Matching of Vehicle Platoons

Takeshi Inoue, Takayoshi Yokota, Kazuya Takahashi, Yoshiki Kobayashi
Hitachi Research Laboratory, Hitachi LTD.

As a new approach to grasping road traffic situation, a measurement method has been developed which measures travel time using information obtained by vehicle detectors. The travel time is determined by performing matching of vehicle platoons, which are based on the data of vehicle that pass the corresponding vehicle detector, at the upper point and the lower point of the road where the vehicle detectors are placed. In addition, to cope with flow-in and flow-out, DP-matching is applied. Experimental results show that the proposed method gives the travel time with the promising accuracy both for the traffic jam situation and smooth traffic situation.

1. はじめに

車の旅行時間を計測することは、情報提供や信号機制御¹⁾を行う上で今後ますます重要になると思われる。ここで、旅行時間の計測としては、カメラによるナンバープレート照合²⁾があるが、設置コストの面で設置箇所が限定されるといった課題がある。このため、路上に広く設置されている車両感知機の情報のみを用い旅行時間を計測するといった試み³⁾もある。しかしながら、この手法は時間平均旅行時間を求めるにすぎなく、信号による車両の停止の影響により誤差が生じていた。ここで、本報告では1台毎の旅行時間を求めるために、上流地点と下流地点の2地点の複数の車即ち車群のマッチングを取ることにより車の対応を決め更に到着時間の差を取ることにより旅行時間を求めた。また区間に脇道があり車の流入流出が有るため、この対策として車群の対応にDPマッチング⁴⁾を適用した。更にこの実際の適用実験を行った。

2. 原理

感知機により得られる情報は、車長、占有率⁵⁾、交通量であるとする。ここで従来法による区間旅行時間算出法は、始めに占有率より平均速度を求め、次にこの平均速度により旅行時間を求めていた。ここでまず始めに、従来の平均旅行時間の求め方について紹介し問題点を述べる。次に車の対応の原理についてのマッチング方法を述べ、最後にDPマッチングの適用方法を述べる。

2.1 従来の平均旅行時間の計測

通常占有率と平均速度は次に示すような特性となる⁵⁾ことが知られている。

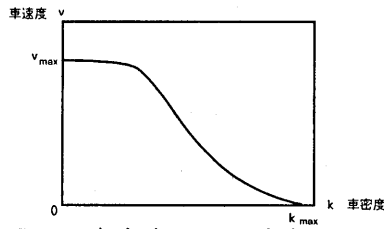


図1 占有率と平均速度の関係

このため、2箇所の感知機が有るとき、感知機に挟まれた区間を経験的に2つに分け、それぞれの感知機の影響範囲を決める。

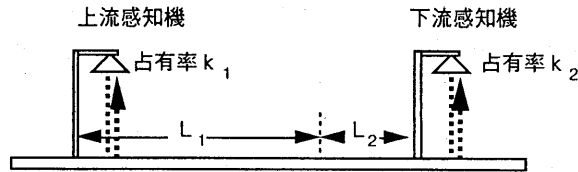


図2 感知機の影響範囲

そして、占有率 k_1 より図1のグラフから区間速度 v_1 が求められ更に感知機1の影響範囲の区間長 L_1 との関係より影響範囲の区間の平均旅行時間 t_1 が求められる。更に同じく感知機2の影響範囲よりその平均旅行時間 t_2 が求められる。この2つの平均旅行時間の和 $t_1 + t_2$ が、感知区間の旅行時間となる³⁾。

しかし、上記の方法は得られる旅行時間は、平均旅行時間であり（通常5分）、1台毎のきめ細かい旅行時間が得られる訳ではない。ここで、占有率の瞬間値を用いることが考えられるが、この瞬間値は車長の影響や、加速発進の影響を受けやすく、図1の様な明確な関係にならない。このため瞬間値を用いると旅行時間の計測誤差が増大するという欠点がある。また、影響範囲は道路により試行錯誤で決め

なければならないといった欠点もあった。

このため、本方式ではこの方法により得られた平均旅行時間は計算補助として使用するのみとし、別の方法で旅行時間を計測することにする。

2.2 車の対応マッチングの原理

感知機により車種が得られる車種だけでは車を1台1台特定することはできないため、このままではナンバープレートを用いる方法のように、旅行時間を算出することはできない。そこで複数の車、即ち車群についての特徴量（例えば大型車混入率）を求め、その特徴の相関をとることにより旅行時間を算出する方法を考案する。旅行時間推定の原理図を図3に示す。ここでは、異なる地点で計測した車群の大型車混入率の系列を比較し旅行時間を求めている。

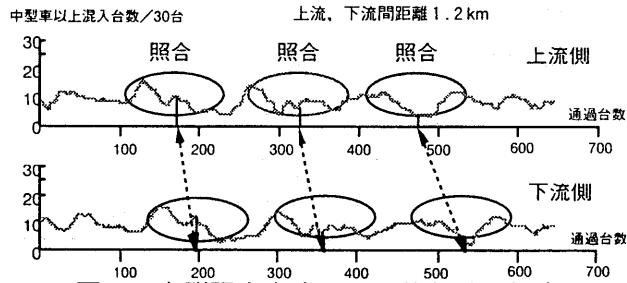


図3 車群照合方式による旅行時間推定

ここで、車の対応は次式の線形マッチングで得られる値とする。

$$\text{上流通過台数}s\text{台目に対応する下流の通過台数} = \underset{k}{\operatorname{argmin}} V_k \quad \dots(2.1.1)$$

$$V_k = \frac{1}{2w} \sum_{j=-w}^w |f_{s+j} - g_{k+j}|^2 : \text{評価関数} \quad \dots(2.1.1)$$

$$s = w, \dots, N - w$$

f_i : 上流の通過台数*i*番目の大型車混入率($i=1, \dots, N; N$:総通過台数)

g_i : 下流の通過台数*i*番目の大型車混入率($i=1, \dots, N; N$:総通過台数)

ここで、大型車混入率の平均値を p とすると、大型車混入率の標準偏差は次式となる。

$$f \text{ の標準偏差} : \sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{m}} \quad \dots(2.2)$$

また大型車混入率の差の2乗の平均値は次式となる。

$$|f_i - g_j|^2 \text{ の平均値} : 2\sigma^2(1 - p^2) \quad \dots(2.3)$$

このため、ここで評価関数の値が $2\sigma^2(1 - p^2)$ の値より大きくなる車の候補はキャンセルする。

しかし、実際の区間には脇道が存在し、車の流入流出がある。このため車群に乱れが生じる。この結果車の対応に誤差が起り、旅行時間に誤差が出ることになる。このため、この線形マッチングだけではうまくいかない。このため、流入流出の有る場合でもうまく対応の付けられるDPマッチングを利用した。以下その適用について述べる。

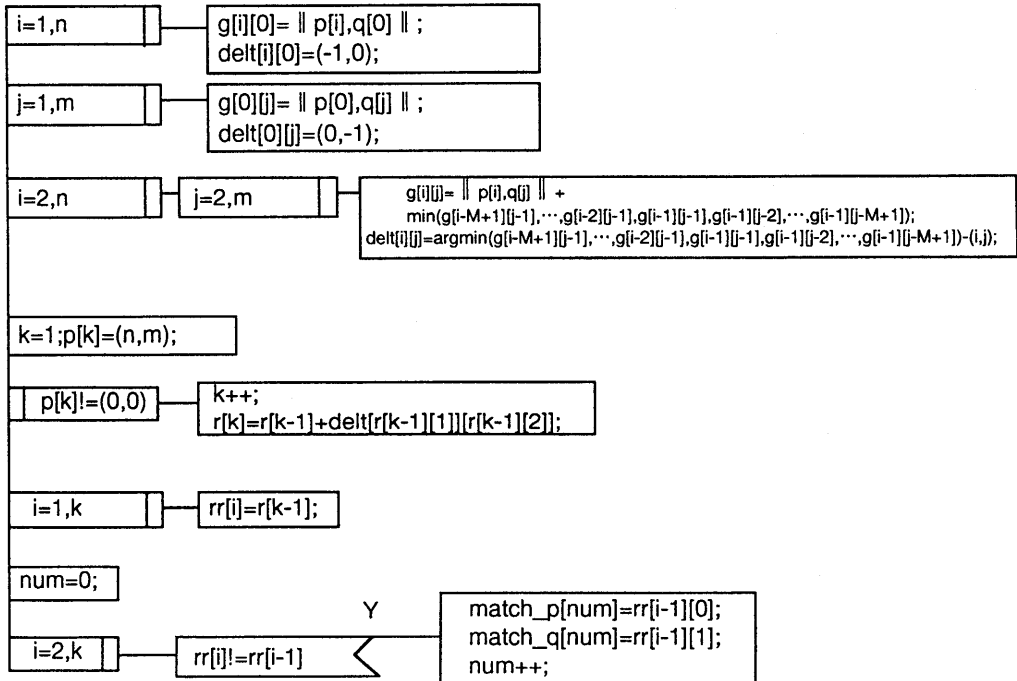
2.3 DPマッチングの適用

DPマッチングは、基本的に照合パターンと対象パターンを用意し、対象パターンを変形しながら適合を検討する方式である。しかし、この場合上流車群と下流車群が対対であり、照合パターンと対象パターンが明確でない。さらに、パターンである上流と下流の車群の数は一致しない。このため、照合パ

ターンと対象パターンが対等な、対称パターンマッチングを適用する。また、1つの要素を複数に対応付けるが、この場合1台の車が複数の車に対応することは無いので、この場合複数対応を禁止することにする。このようにすれば、2つのパターンの数が一致しなくても対応できるようになる。さらに、旅行時間の最小値と最大値を決め、その範囲に旅行時間が収まるようにするため、ノルムを改造した。具体的なアルゴリズムを図3に示す。

$delt[i][j]$: 2次元ベクトル($i=0, \dots, n, j=0, \dots, m$)、P,Qの対応を示す。

$r[i][j]$: D P 距離 num : マッチした車の台数 $r[i], rr[i]$: 2次元ベクトル



$\|x, y\|$: 占有率によって旅行時間の上限下限を決め、その範囲内ならば $|x$.車長- y .車長;
旅行時間の制約を満たさないならば無限大を帰す。

match_p[i] : 上流のi番目の車の対応 match_q[i] : 下流のi番目の車の対応

図3 適用DP法のアルゴリズム

ここで、旅行時間の上限、下限値は、前述の方式である占有率により求めた暫定的な旅行時間に定数倍したものとする。また車の車群の切り出しは、下流の車群を時刻 t を始めに下流側の一定通過時間の車、上流側の車群を、前述の方式である占有率により求めた暫定的な旅行時間 t_p をもとに、時刻 $t - t_p$ を始めに下流側の一定通過時間の車とした。また車の対応を決めた後、旅行時間を算出する際には、車群の始めと終わりの車の対応が乱れるため、途中の対応の車のみを使用する。

3. 実証実験

本手法の効果を調べるため、地点aから地点bまでの600mの区間について実験を行った。始めに閑散交通時について調べるため昼1時40分から2時までの旅行時間を実測値と本方法について比較した。次に渋滞時での状態を調べるため、夕方5時40分から6時までの旅行時間を実測値と本方法について比較し

た。

3.1 閑散交通での実験

3/9PM1:40からPM2:00まで、地点aから地点bまでについて、実測（ビデオ撮影によるナンバープレート照合方式）による旅行時間と、本システムによる旅行時間計算結果の比較を図4に示す。また車の台数の誤差と、旅行時間の誤差の絶対値を図5に示す。この結果、旅行時間の平均誤差は6.4秒と、車3台程度の誤差に留まりかなり良い結果になっていた。ここで、図5中に旅行時間の誤差の大きい部分もあるが、ここでの台数の誤差は1台であり、閑散交通の為車間時間間隔の長い部分に遭遇したためと思われる。また図4中の旅行時間の急激な立ち上がりについては、信号機により停止した車両によるものと思われる（区間中押しボタン信号機2箇所）。

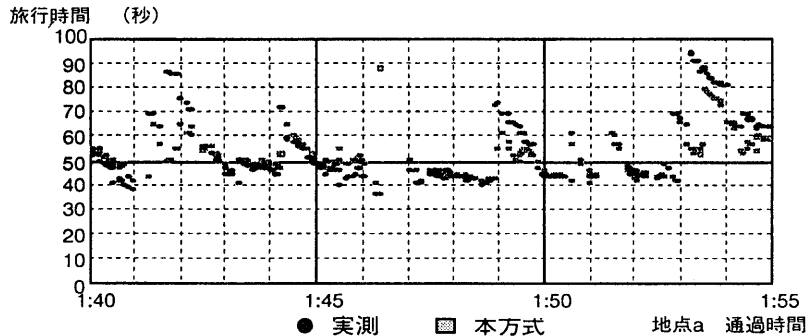


図4 閑散交通時の結果

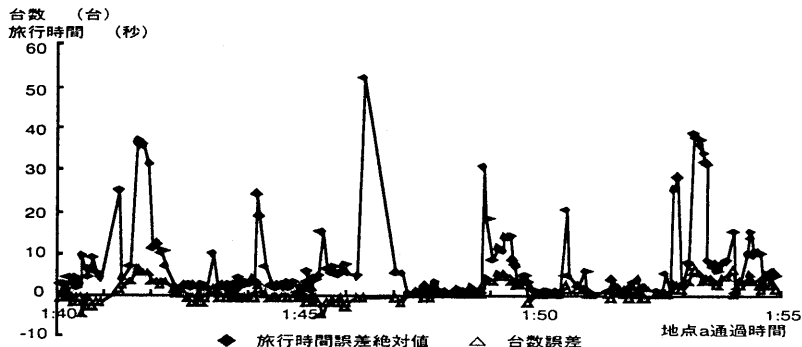


図5 閑散交通時の誤差結果

3.2 渋滞時での実験

PM5:40からPM6:00まで、地点aから地点bまでの国道上り車線について、実測（ビデオ撮影によるナンバープレート照合方式）による旅行時間と、本システムによる旅行時間計算結果の比較を図6に示す。また誤差の比較結果を図7に示す。

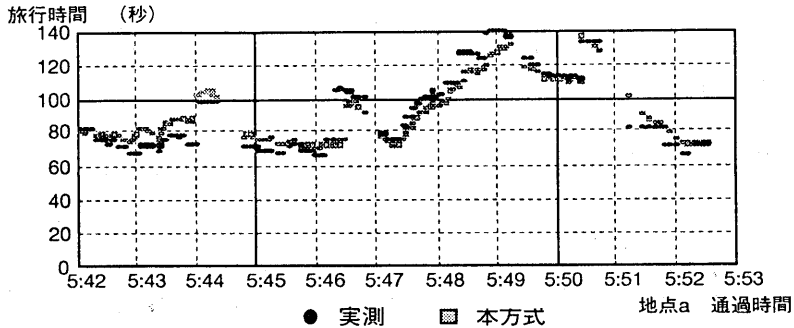
この結果、旅行時間の平均誤差は6.8秒と閑散時と同等の良好な結果であった。また閑散交通時の最小旅行時間35秒に比べ、140秒に達する旅行時間の増加が認められる。この様に渋滞時にも実測と非常に近い推定が可能であることがわかった。また2地点での交通量を比較すると、5分間に10台程度の流出が生じているが、この程度の車群の乱れに対してはほとんど問題が無いことがわかった。

4. おわりに

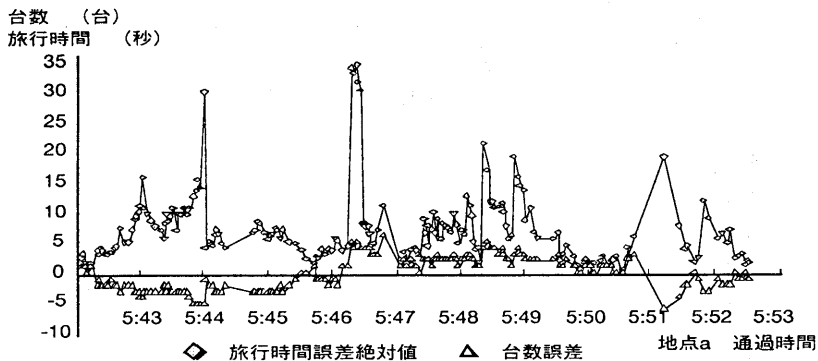
車長データを用いて車群のパターンを形成しDPマッチングを適用することにより、旅行時間を計算

する手法について述べた。また本手法の妥当性を確かめるため、600m区間で実験を行った。その結果渋滞時でも、閑散時でも平均誤差が7秒以内に収まる精度を得た。本手法では、従来の占有率による旅行時間計測方法ではできなかった、信号待ちによる旅行時間の増大も計測出来ることから信号制御に本計測結果を利用出来る可能性がある。

今後の課題としては、多区間連結による広域化及び、複数車線への対応である。



● 実測 ■ 本方式
図6 渋滞時の結果



◇ 旅行時間誤差絶対値 ▲ 台数誤差
図7 渋滞時の誤差結果

5. 参考文献

- 1) (財) 日本交通管理技術協会:"交通管制システムの高度化に関する調査研究報告書",pp.231-361,平成4年3月
- 2) 三島忠明ほか:"画像処理を用いた車番認識システムの開発",電気学会論文誌D,109巻,pp333-338(1998-5)
- 3) 山根憲一郎ほか:"高度道路交通システムのための旅行時間計算方式",電気学会産業応用部門全国大会-I,S.4-7,pp.S.109(1995-7)
- 4) 上坂吉則,尾関和彦:"パターン認識と学習のアルゴリズム",文意積総合出版,pp.91-108(1990-5)
- 5) (社) 交通工学研究会:"交通工学ハンドブック",技報堂出版,(1984-1)

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり実フィールドの提供を頂いた茨城県警察本部交通規制課に深く感謝いたします。