

通行時間計測のための多点交通流測定データの融合

曹麗†、劉傑†、小泉寿男‡、遠藤祐‡

† 清華大学 自動化系

caoli@mail.au.tsinghua.edu.cn

中国 100084 北京市海澱区

‡ 東京電機大学 システム工学専攻

koizumi@k.dendai.ac.jp, yu@itlab.k.dendai.ac.jp

要旨

路上に一定間隔に配置される多点の交通流センサから通行時間を推測する方法について分析する。計算機シミュレーションにより、交通流を発生し、交通流の多点観測データを処理し通行時間計測結果を示すとともに、流速と流量データ融合の利点を述べる。さらに、通行時間計測精度を上げるための観測点設定方法やデータ融合のポイントを検討する。

Data Fusion for Travel Time Estimation Based on Multiple Traffic Measurement Spots

Cao Li †, Liu Jie †, Hisao Koizumi ‡, Yu Endo ‡

† Dept. of Automation, Tsinghua University, caoli@mail.au.tsinghua.edu.cn

Beijing, 100083 China

‡ Dept. of System Engineering, Tokyo Denki University,

koizumi@k.dendai.ac.jp, yu@itlab.k.dendai.ac.jp

Abstract

Travel time has been estimated by multiple spot measurements. The purpose of this study is to simulate traffic flow, gather multi-spot detective data, test the estimation methods and to drive a key point of data fusion for good travel time estimation. Firstly, the definition of travel time estimation and the estimation methods are reviewed. Then the simulation results are shown that traffic speed data fused by traffic flow data is effective to estimate the traffic time on the congested occasion. Lastly, the setting of multi-spots and a hint for data fusion are discussed.

1、はじめに

渋滞を避けるための動的交通誘導を決めるには、通行時間は一重要なパラメータである。通行時間計測方法は多く研究されているが、車両番号自動認識システム (AVI) のほかに、精度よく計測する方法はまだ確立されていない。一方、多数の観測点における通過速度および通過量の測定データには交通状況を分析・判断するのに十分な情報が含まれているとも考えられる。

本研究の方針としては、まず計算機シミュレーションにより、可能な交通流について観測デ

ータの性質と関連性を調べ、データ融合を行う上で精度よく通行時間を計測することを目指す。

2、多点における交通流計測

交通流計測には、各種のセンサデバイスと信号処理方法が用いられている。従来より、埋設電磁コイルによって通過車体を検出する電磁コイル方式、そして埋設圧電軸方式がある。今では、路上に設置される超音波や赤外線ビーコンによる無侵蝕計測法が多く使われるようになった。また、広範囲にわたる交通情報の詳細が必

要とする中で、マイクロウェーブスキャンや画像計測技術もよく使われている。

本稿では、計測方法を問わず、観測点における車の通過速度および通過量（流量と呼ぶ）が測定でき、ある一定時間内（計測時間と呼ぶ）における通過速度および流量の平均値が求められている。またこのような観測点は路上に多数に設置されており、平均通過速度と流量のデータが多数集められているものとする。

3、通行時間の定義と計測方法

3. 1 通行時間の定義

通行時間の定義とは、時間帯 (t1,t2) 内において、区間[A,B]を通行する車両の平均通行時間のことをいう。

通常不可観測な車両通行軌跡に対して平均通行時間を求めるには、車両通行軌跡の平均速度を推定する必要がある。また、車両通行軌跡の平均速度の不偏推定値はある時刻における区間内車両の空間平均速度である。

しかし、観測で得られるデータはある空間点における時間平均速度である。時間平均速度は

$$E(v_{space}) = E(v_{time}) - \frac{\sigma^2(v_{space})}{E(v_{space})} \quad (1)$$

空間平均速度の不偏推定ではなく、それらの関係は下式となる。

空間平均速度の分散は時間平均速度の分散で近似し、(2)式のように空間平均速度を時間平均速度で表す近似式が得られる。

$$\bar{v}_{space} \approx \frac{\bar{v}_{time}}{2} + \sqrt{\frac{\bar{v}_{time}^2}{4} - \hat{\sigma}^2(v_{time})} \quad (2)$$

3. 2 通行時間の計測方法

1) 直接法

例えば、ナンバープレート認識ターミナルを設置し、通行する車のIDと時刻を記録する。2つのAVIターミナルからのデータを比較し、一致したIDのデータから通行時間を計算する。

ある計測時間（3分～5分）内に観測した結果の平均値を直接通行時間結果となる。すなわち直接計算法は車両の運動軌跡を求める計測方法である。

2) 間接計算法

一般に平均通行速度を求めてから、区間通行時間を計算する方法は間接法と言われる。

・間接法（1）：

各区間の通行時間は(3)式のように、区間両端における計測時間内の平均速度を用いて計算する。全行路通行時間 T_1 は(4)式の区間

$$t_i = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{v_1} + \frac{L}{v_2} \right) \quad (3)$$

通行時間の単純加算結果となる。

$$T_1 = \sum_i t_i \quad (4)$$

・間接法（2）：

上記各区間通行時間の加算に区間流量（区間両端における流量の平均値）を荷重として考え

$$T_2 = L \frac{\sum_i t_i q_i}{\sum_i L_i q_i} \quad (5)$$

る。流量の多い区間における通行時間は流量の少ない区間より多く見積もる意味を持つ。

3) 直接計測法と間接計測法の融合

間接法(2)はすでに一種の基本データ融合法だと考えられる。このほかに、直接計測法から得られたデータを用いて、間接測定法に使われるモデリング係数を最適化する手法がある。この時、評価水準は通行時間推定結果との差が最小となることである。モデリング係数が学習できれば、平均速度を推定できる。また、間接法(1)、(2)およびモデリング係数の学習方法などのような静的推定法に対して、NNやカルマンフィルタに基づくダイナミック推定法も提案されている。

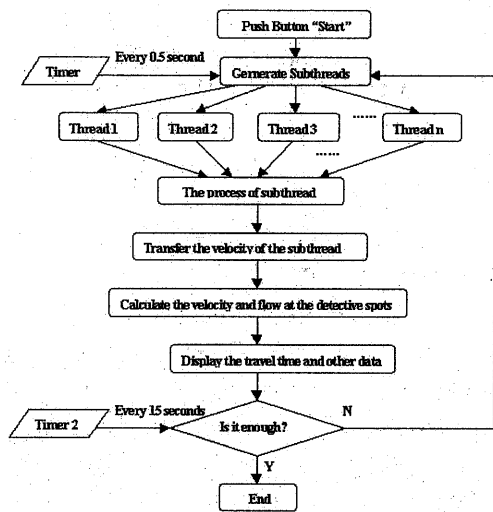


Fig.1 (a) The process of the main thread

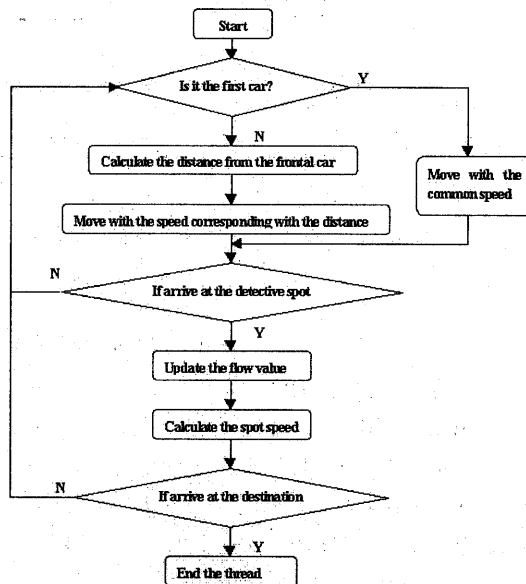
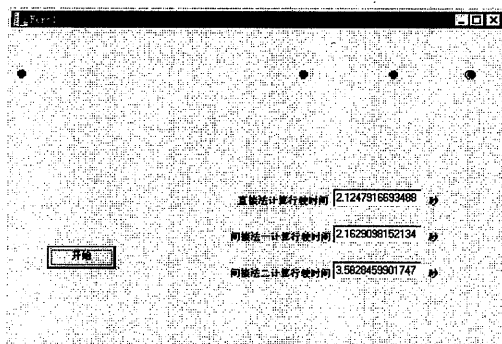
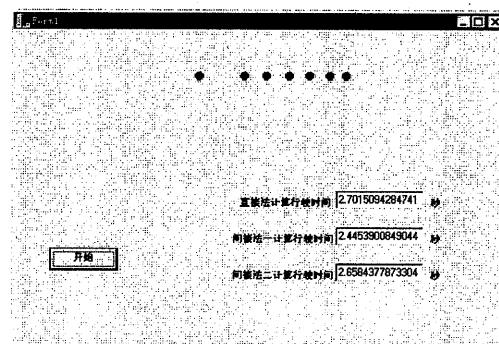


Fig.1 (b) The process of the sub-threads



(a) Normal traffic flow



(b) Congested traffic flow

Fig.2 Simulation monitor of traffic flow

4、シミュレーションによる検討

各観測点における測定データを有効に活用し、交通流モデルに適するデータ融合法を見つけるために、まず計算機シミュレーションにより、観測データを詳しく分析してみた。

4.1 シミュレーション方法

交通流シミュレーションモデルはマクロモデルからマイクロモデルまで、また連続流体モデルから離散化モデルまでトータル評価や最適に経路探索まで含むものが多く、通行時間計測のためのものはまだ見当たらない。本稿では、まず簡便に、単一車線における車両運行状況と観

測点におけるデータ採取をシミュレーションすることにした。

PC (Pentium III 450MHz、128MB、10GB) に Borland C++ Builder 5.0 によるプログラミングを行った。Fig.1(a)(b)に交通流を発生するサブ Thread と時間制御や通行時間の計算を行うメイン Thread の流れを示す。Fig.2(a)(b)に一般交通流と渋滞交通流の場合をシミュレーションした様子を示す。

具体的に Fig.3 に示すように、4つの観測点、3つの通行区間が考えられている。

シミュレーションに含まれる機能は次のように分けられる。

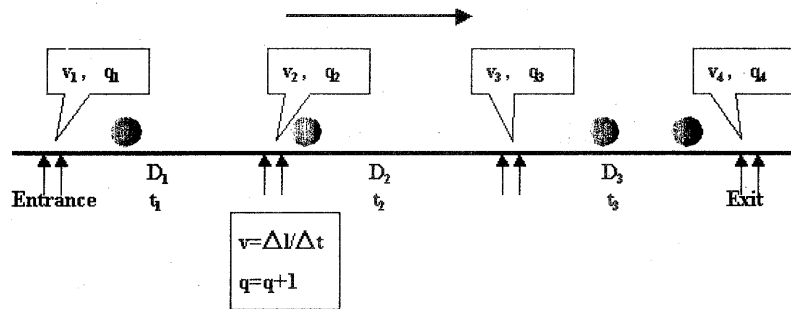


Fig. 3 Multi-spots detection for travel time estimation

1) 交通流発生と画面表示機能：

Canvas を用いて車両を代表する丸い点を画面に表示させ、一定時間後にまたその点を消して、新しい点を表示する。点の x 座標を指定することによって、車両の移動パターンを制御することができる。異なる車両の動きは複数の Thread で対応し、ひとつの Thread では、車両速度変更と画面に表示するほかに、その車両に対する通過検知および速度計測も行う。

メイン Thread にて 2 つの Timer を用いる。ひとつの Timer は車両発生間隔 (0.5sec) を制御する。全行程 720pixels を走ったら、Thread が終了する。もうひとつの Timer は計測時間間隔 (15sec または 20sec) を制御する。その間データ処理を行い、計測および処理結果を画面に表示する。

2) 速度と流量の計測機能：

入り口に入る時刻、出口を出る時刻を記録し、両者の差がその区間を通過する時間となり、直接方法 AVI 法で計る通行時間に相当する結果が得られる。観測点付近にある短い距離 (2 つの検知器を置くことに相当) を置いて、その通過所要時間を記録して、近似的に点速度を測る。また車両が通過するたびに、カウンタの数が増え、流量を計測することとする。

3) 速度制御機能：

路上に道路分岐点を含まない、また追い越しはないことを前提としたうえで、前の車両との距離またはその変化によって加減速を調整する。一番先頭の車両は自由な運動パターン (加

速、均一速度、減速など) が取れる。

渋滞を模擬する場合、まず 2 台の車間距離が短くなるように加速と減速を行い、後ろの車両が着いてくるまで、先の車が減速し続ける。また渋滞列の長さや発生場所がある程度設定できるようにした。すなわち、先頭の車両が遅ければ遅いほど渋滞列が長くできる。逆に、間引くような不連続交通流は車両間の発生時間間隔を大きくすればよい。

4. 2シミュレーション結果

Table1(a)(b)と Table2(a)(b)に示す結果が得られた。Table1 と Table 2 はそれぞれ無渋滞の通常交通流と渋滞有りの交通流の場合に対応する。4 つの各観測点において、ランダムにサンプリングした 5 つの流量と速度データ (計測時間内の平均値)、各区間距離、真の通行時間 (計測時間内の平均値) および区間推定時間は途中結果として Table1,2(a)に表示されている。間接計測方法 1 と 2 による通行時間の計算結果、両方法の絶対誤差と相対誤差を比較したものが Table1,2(b)に表示されている。

Table 1 (a) Process data for normal traffic flow

Data	Spot speed 1	Spot speed 2	Spot speed 3	Spot speed 4	Spot flow 1	Spot flow 2	Spot flow 3	Spot flow 4
1	152.765	217.469	252.228	258.688	29	27	26	24
2	245.875	166.619	209.332	265.195	22	22	22	22
3	143.271	202.485	251.205	298.982	22	22	22	22
4	196.501	258.448	304.280	340.969	22	22	21	21
5	233.565	273.233	279.701	374.550	23	22	22	22

Data	Distance 1	Distance 2	Distance 3	True time 1	True time 2	True time 3	Estimating time 1	Estimating time 2	Estimating time 3
1	247	215	255	1.042	0.950	0.891	1.376	0.921	0.998
2	240	233	237	1.081	1.399	1.132	1.208	1.364	1.013
3	249	225	232	0.995	0.968	0.856	1.484	1.003	0.850
4	241	265	239	0.934	0.743	0.948	1.079	0.948	0.743
5	242	264	239	0.940	0.912	0.719	0.960	0.955	0.746

Table 1 (b) Result of the two methods for normal traffic flow

Data	True time	Result of method 1	Result of method 2	Absolute error of method 1	Absolute error of method 2	Relative error of method 1	Relative error of method 2
1	3.083	3.295	3.216	0.212	0.133	6.9%	4.3%
2	3.609	3.585	3.585	-0.024	-0.024	0.7%	0.7%
3	3.000	3.337	3.337	0.337	0.337	11.2%	11.2%
4	2.707	2.771	2.756	0.064	0.049	2.4%	1.8%
5	2.576	2.662	2.662	0.086	0.086	3.3%	3.3%

	Mean Absolute error	Mean Relative error
Method 1	0.145	4.9%
Method 2	0.126	4.3%

Table 2 (a) Process data for congested traffic flow

Data	Spot speed 1	Spot speed 2	Spot speed 3	Spot speed 4	Spot flow 1	Spot flow 2	Spot flow 3	Spot flow 4
1	124.971	157.418	181.495	223.393	15	13	13	13
2	168.326	123.635	251.728	321.519	16	15	14	13
3	164.470	176.088	369.045	285.025	14	14	13	11
4	190.859	153.834	227.895	282.234	11	12	9	8
5	99.921	170.712	179.451	158.957	13	13	11	12

Data	Distance 1	Distance 2	Distance 3	True time 1	True time 2	True time 3	Estimating time 1	Estimating time 2	Estimating time 3
1	243	250	237	1.508	1.327	1.073	1.744	1.483	1.183
2	239	258	244	1.259	1.109	0.733	1.328	1.556	1.041
3	246	267	230	1.166	1.276	0.748	1.446	1.120	0.715
4	247	268	230	1.195	1.043	0.746	1.450	1.460	0.912
5	249	259	229	1.549	1.328	1.292	1.975	1.309	1.240

Table 2 (b) Result of the two methods for congested traffic flow

Data	True time	Result of method 1	Result of method 2	Absolute error of method 1	Absolute error of method 2	Relative error of method 1	Relative error of method 2
1	4.283	4.410	4.395	0.127	0.112	3.0%	2.6%
2	3.730	3.923	3.847	0.193	0.117	5.2%	3.1%
3	3.216	3.281	3.210	0.065	-0.006	2.0%	0.2%
4	2.986	3.821	3.700	0.835	0.714	28%	23.9%
5	4.357	4.524	4.490	0.167	0.133	3.8%	3.1%

	Mean absolute error	Mean Relative error
Method 1	0.277	8.4%
Method 2	0.216	6.0%

結論として：

- 1) 無渋滞の場合、間接法(1)と(2)では大差はない。渋滞がある場合について、間接法(1)と(2)とも精度が悪くなるが、流量荷重を考慮した間接法(2)の方がより精度がよいと言える。
- 2) 無渋滞と渋滞のどちらの場合においても、両方法とも著しく精度が悪くなる結果がある(Table1のData3とTable2のData4のように)。これは区間両端の平均速度は区間内を通行する平均速度からかけ離れているから、この場合、単なる流量荷重では校正しきれないためと考えられる。これは観測点における一時的な速度変化が生じるような交通状況に相当する。

考察として：

- 1) 観測点を設置するとき、まず渋滞発生が検知できるような場所に観測点を置くと同時に、観測点区間内の速度分布を代表できるような非特異な観測点を設置することが重要である。例えば、埋設センサで計測を行う場合、計測点付近の路面は必ず普通路面と変わらないようにするなどの注意が必要。でなければ、通行時間計測の精度が明かに悪くなる。
- 2) データフュージョンの課題として、計測時間内の平均通過速度および流量を用いる代わりに、瞬時計測結果の融合を図り、区間通行時間をより精度よく計測する方法を探索する必要がある。すなわち、瞬時計測結果の積分を十分利用してきたわけだが、微分も利用する価値があると考えられる。

5、おわりに

本稿では、計算機シミュレーションによる交通流発生および交通流の多点観測データによる通行時間計測結果を示した。速度データに基づく通行時間計算法よりも流量データを荷重として融合する方法のほうが渋滞のある交通流の測定に適していることがわかった。またシミュレ

ーション結果より、観測点の設定指針やデータ融合のポイントが検討された。

今後の課題としては、実観測データに対する実験によって、計測誤差を評価し、大きく計測誤差が生じる道路状況を分析し、そこで問題対処のためのデータ融合方法を探索する。また、停止信号待ちや合流などをシミュレーションできるように工夫するなどが考えられる。

参考文献

- 1) K.Yamane, T.Fushiki, M.Furuta & Y.Sano: Deployment of travel time estimation system combining license plate recognition AVI and ultrasonic vehicle detectors, the 6th ITS World Congress, Toronto 1999, No.3078.
- 2) Lindeld, Ch.D.R. and Thijs, R.: On-Line Travel Time Estimation Using Inductive Loop Data: The Effect of Instrumentation Peculiarities, the 6th ITS World Congress, Toronto 1999, No.2213.
- 3) T.Yokota, K.Yamane, T.Namizuka & K.Takeuchi: Evaluation Advanced Mobile Information Systems (AMIS) for the Winter Olympic Games in Nagano, Japan 1998, the 5th ITS World Congress, Seoul 1998, No.3115.
- 4) Application of a Neural-Kalman Filter Technique for Dynamic Estimation of O-D Travel Time and Flow, the 5th ITS World Congress, Toronto 1999.
- 5) 小泉寿男: ITSと情報処理技術、情報処理、40巻10号、1999.
- 6) 小泉、遠藤、曹: 6th ITS World Congressにみる分野別 ITS 研究内容のポイント、情報処理学会高度道路交通システム研究報告、Vol.99, No.ITS-4、1999.