

プローブカーによる車間距離測定を応用した交通流モニタリング

瀬尾 亨[†] 日下部 貴彦[‡] 朝倉 康夫[§]

東京工業大学 大学院理工学研究科 土木工学専攻^{†‡§}

1 はじめに

効率の良い自動車交通の実現には、最新の交通状態を把握 (i.e. 観測・推定) した上で、動的な交通マネジメントの適切な実施が欠かせない。このとき、把握する交通状態量は質・量ともに優れていることが望ましいが、金銭的・技術的課題から必ずしも十分な把握がなされているとはいえない。

プローブカーによる移動体観測は、一般的に定点観測と比較し低コストであり、かつ道路ネットワーク全体を観測できる。そのため、移動体観測のみによる交通流モニタリング (i.e. 流率・速度・密度の把握) の実現には大きな社会的意義がある。

GPS プローブカーは自動車交通における代表的な移動体観測手法であり、これを用いた交通流モニタリング手法は広く研究されている。例えば、多数の GPS プローブカーの観測データから速度を推定した研究 [1] や、定点観測とのデータ融合により密度等を推定した研究 [2] が存在する。しかし、GPS プローブカーの観測のみからの密度・流率の推定は、「他の観測に基づく仮定 (e.g. 速度-密度関係)」を置かない限り不可能である。すなわち、移動体観測のみによる交通流モニタリングは実現されていないといえる。

近年、車載機器により車間距離を測定する技術 [3] が開発され、実用化されつつある。現在のところ、本技術は主に運転者への注意喚起や半・全自動運転といった運転支援目的に供されている。

本技術によって観測される車間距離は、よりマクロな交通工学的視点からも非常に重要な状態量である。運転支援目的で車間距離を測定する車両が普及した場合、それら車両の観測データを通信等によって収集・統合することにより、非常に広範囲に渡る交通流のモニタリングが実現できる可能性がある (図 1)。著者ら [4] はこのような観点に基づき、車間距離を測定するプローブカーを用いた交通状態推定手法を提案しているが、実用性には課題が残る (e.g. 現実の交通流とは乖離した仮定, 検証がシミュレータであり限定的)。

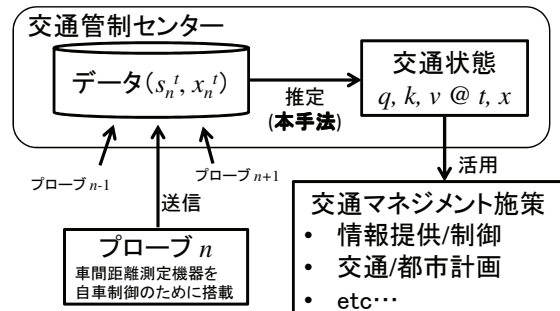


図 1 本研究が想定する車間距離測定技術を応用した交通流観測システム

本研究の目的は、車間距離測定技術を搭載したプローブカーによる交通流モニタリング手法の開発と検証である。具体的には、同プローブによる移動体観測のみに基づいた密度・流率の推定手法を開発し、実際の道路上での観測実験によって検証する。

2 交通状態推定手法

車間距離測定機器及び GPS を搭載するプローブカーの存在を想定し、ある交通流中に一定の割合でプローブカーが存在するときに、その観測データのみから交通状態を推定する手法について述べる。

推定手法は以下のように記述される (図 2)。

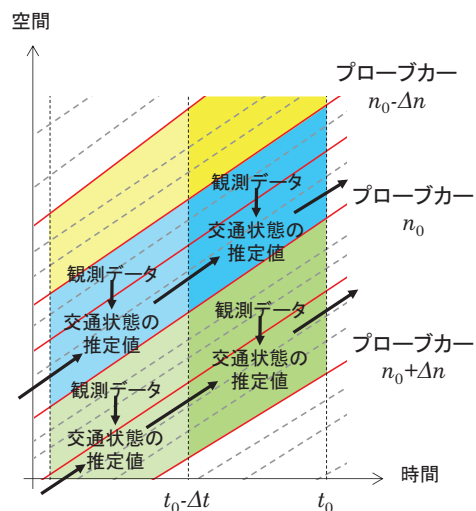


図 2 推定手法の概要

Traffic Flow Monitoring Utilizing Spacing Measuring by Probe Vehicle
[†]Toru SEO, [‡]Takahiko KUSAKABE, [§]Yasuo ASAKURA · Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

Step 1: ある時点 t_0 を考える

Step 2: 空間的に連続して存在する Δn 台のプロブカー集合 $\{n_0, n_0 - 1, \dots, n_0 - \Delta n + 1\}$ に着目する

Step 3 - 事前情報なしの推定: その集合の観測データから、交通密度 $k_{[x_{n_0}^{t_0}, x_{n_0-\Delta n}^{t_0})}^{t_0}$ を推定する (式 (1))

$$\hat{k}_{[x_n^t, x_{n-\Delta n}^t)}^t = \frac{\Delta n}{\sum_{m=n}^{n-\Delta n+1} s_m^t} \quad (1)$$

Step 4 - 更新: $k_{[x_{n_0}^{t_0}, x_{n_0-\Delta n}^{t_0})}^{t_0}$ と、一期前の時点 $t_0 - \Delta t$ にそのプロブカー組によって推定された区間存在台数 $X_{[x_{n_0}^{t_0-\Delta t}, x_{n_0-\Delta n}^{t_0-\Delta t})}^{t_0-\Delta t}$ を考え、交通流理論 (交通量保存則) に基づくフィルタリングにより現時点 t_0 の区間存在台数 $X_{[x_{n_0}^{t_0}, x_{n_0-\Delta n}^{t_0})}^{t_0}$ を推定する (式 (2), (3))

$$X_{[x_n^t, x_{n-\Delta n}^t)}^t = \int_{[x_{n+\Delta n}^{t-\Delta t}, x_{n+\Delta n}^{t-\Delta t})}^{[x_n^{t-\Delta t}, x_n^{t-\Delta t})} X_{[x_n^{t-\Delta t}, x_{n+\Delta n}^{t-\Delta t})}^{t-\Delta t} + v \quad (2)$$

$$\hat{k}_{[x_n^t, x_{n-\Delta n}^t)}^t = \frac{1}{x_{n+\Delta n}^t - x_n^t} X_{[x_n^t, x_{n-\Delta n}^t)}^t + w \quad (3)$$

Step 5: 推定に供していないプロブカーが残っている場合、 $n_0 := n_0 + \Delta n$ とし、**Step 2** へ戻る

Step 6: $t_0 := t_0 + \Delta t$ とし、**Step 1** へ戻る

Step 4 - 更新について、システム方程式 (式 (2)) におけるシステムモデル f は保存則を表す (First-In-First-Out 則が厳密に成立し、かつ分合流が無い場合 $f = 1, v = 0$)。また、観測方程式 (式 (3)) における観測値は、**Step 3 - 事前情報なしの推定**での推定量 \hat{k} を観測値とみなして扱っている。これら式 (2), (3) に対し、カルマンフィルタを適用して区間存在台数 X を推定する。

本手法の長所は、移動体観測のみに基づき流率・密度を推定できること、速度-密度関係といった「他の観測に基づく仮定」を置いていないこと、である。短所は、空間解像度を柔軟に設定できないことが考えられる。

3 実道実験による検証

本手法の検証のため、以下の実道実験を行った。

- 日時 2013年9月24日(火), 14:00~16:00
- 場所 首都高都心環状線内回り, 走行車線(約12km)
- 車両数 20台(プロブカー混入率約4%に相当)
- 観測機器 単眼カメラ+GPSロガー

車間距離測定は、誤差を最小限にするため、車載カメラで前方向を撮影した画像から、先行車両の見かけ上の幅を手作業で得てカメラ画角等と合わせて算出した。

プロブデータから本手法で推定した密度の時空間図上の可視化例を図3に、車両感知器が観測した密度を図4に示す。渋滞の発生・延伸, 自由流の疎密といった交通状態をある程度再現していることが分かる。

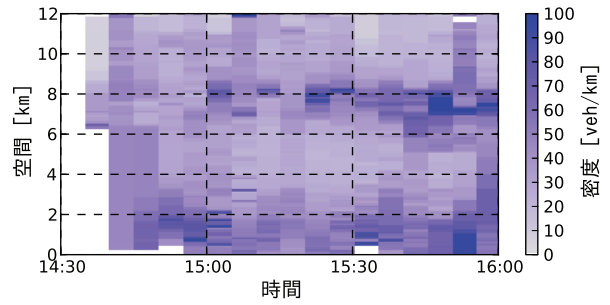


図3 本手法によって推定された密度

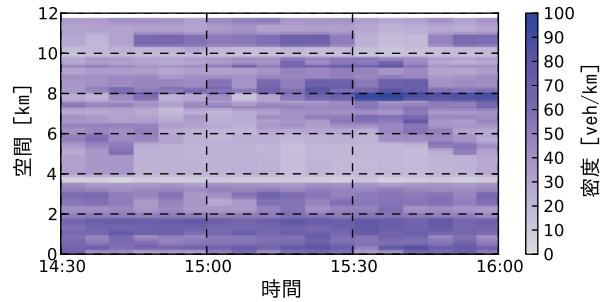


図4 感知器によって観測された密度

なお、各時点、空間における密度について、真値の平均は 42.9 veh/km, 推定値の平均は 42.1 veh/km, RMSE は 17.1 veh/km であった。

4 まとめ

以上の検討より、車間距離測定技術の交通流モニタリングへの応用可能性を示した。例えば、今回のプロブカー混入率であれば、都市高速道路での動的交通制御に供しうる交通状態推定が可能と考えられる。今後の展開は、他車線の推定, 解像度の柔軟な設定, 極小混入率への対応, ネットワークへの拡張等が存在する。

謝辞 感知器データは首都高速道路(株)に提供頂いた。実道実験の一部は(株)道路計画に協力頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Herrera, J. C., Work, D. B., Herring, R., Ban, X. J., Jacobson, Q. and Bayen, A. M.: Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The Mobile Century field experiment, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 18, No. 4, pp. 568-583 (2010).
- [2] Yuan, Y., van Lint, J. W. C., Wilson, R. E., van Wageningen-Kessels, F. and Hoogendoorn, S. P.: Real-Time Lagrangian Traffic State Estimator for Freeways, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 59-70 (2012).
- [3] 例えば, Saneyoshi, K.: Drive assist system using stereo image recognition, *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, pp. 230-235 (1996).
- [4] 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 車間距離を計測するプロブカーを前提とした交通状態の推定手法, 土木学会論文集 D3, Vol. 69, No. 5, pp. I.809-I.818 (2013).