

Dynamic Estimation of Traffic States on Expressway for Advanced Traffic Surveillance Systems

(高速道路の高度交通制御システムにおける
交通状態の動的推定法に関する研究)

学位論文内容の要旨

Reliable traffic information is essential for the development of efficient traffic control and management strategies. Real-time traffic information is utilized for various purposes, such as dynamic route guidance, incident detection, freeway ramp metering control, and the operation of variable message signs. Traffic information from probe vehicles has great potential for improving the estimation accuracy of traffic situations, especially where no traffic detector is installed. However, so far, the applications for probe vehicle data are still limited. Most studies have focused on using probe data directly for travel time detection.

The objective of this study is to propose a method for dealing with probe vehicle data along with conventional detector data to estimate and predict traffic states and travel time on a freeway. The probe data was integrated into the observation equation of the Kalman filter, in which state equations are represented by a macroscopic traffic flow model. Estimated states were updated with information from both stationary detectors and probe vehicles.

This study covers the systematic process of the traffic state and travel time estimation, including traffic flow model calibration, traffic state estimation, and travel time estimation/prediction. The dissertation is organized in 6 chapters. Chapter 1 introduces the background, objective, outline of the study framework, and scope and limitation of the study. Chapter 2 summarizes the literature concerning with this study including mathematical models of traffic flow, parameter estimation techniques, travel time prediction techniques, the Kalman filtering technique, and applications of the probe vehicle technique. Chapter 3 presents the formulation of the proposed method, which considers how to treat the observation variables (i.e. stationary detector data, and probe vehicle data) for the Kalman Filtering technique in order to overcome the inconsistency of the observation data. Prior to introduce the state estimation method, the methods for identification of macroscopic model parameter are described. Lastly, a method to predict short-term travel time is also proposed, as a by-product of traffic state prediction. Chapter 4 presents the detail of traffic data used in the numerical experiment and the method to generate the data, together with the calibration method of a traffic simulation tool. Chapter 5 presents the

numerical analysis of the proposed method. Firstly, the performances of macroscopic model parameter identification techniques are investigated. Then, the traffic state estimation performance of the proposed method is examined using several sets of hypothetical data under different traffic conditions. The effects of the level of market penetration and the sampling interval of probe reports are determined. Then the travel time estimation/prediction performance is also examined. Finally, the travel time prediction results are compared with the results from some existing methods. Chapter 6 concludes this dissertation by highlighting the main contributions and discussing directions for future research.

The special features of the proposed method are: 1) it can treat both conventional fixed detector data and probe vehicle data in a unified manner, regardless of the observation conditions; 2) it can handle the inconsistencies in the probe vehicle data (i.e., the probe data may not be available for the whole simulation period in a certain segment). Experimental results show that the proposed method can improve the traffic state estimation significantly. Furthermore, the performance of travel time estimation/prediction is comparable to those of some existing methods.

What has been found in this study is encouraging for dynamic traffic state estimation. Both the macroscopic model and the numerical technique adopted in this study were very simple. Thus, a highly complex model might not be necessary if available traffic data were able to cover most parts of a network. However, the findings have been validated only for a single freeway section. For the further analysis, the proposed method should be applied to diverse road configurations, particularly to a large network. In addition, as this study assumed that the probe data could be obtained, and the effect of the biased data due to individual willingness of probe drivers was neglected, field experiments to determine the feasibility of the proposed method should be conducted. The conclusion drawn from this study still requires supporting real-world data.

学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 中 辻 隆
副 査 教 授 佐 藤 馨 一
副 査 教 授 加 賀 屋 誠 一
副 査 教 授 森 吉 昭 博

学 位 論 文 題 名

Dynamic Estimation of Traffic States on Expressway for Advanced Traffic Surveillance Systems

(高速道路の高度交通制御システムにおける
交通状態の動的推定法に関する研究)

本論文は、交通情報システム、あるいは交通通信システムの発展を背景として高度化された交通制御システムの中で中枢を構成する交通状態の動的推定に関して、近年の技術革新によって新たな交通情報データとして期待されている GPS を搭載したプローブ車の位置／速度データと従来から使用されている地点データとしての感知器データを統合することによって、これまで推定困難であった交通密度や空間平均速度、あるいは旅行時間などの交通状態変量をリアルタイムに推定する手法を確立するとともに、Probe 車データの有用性を定量的に検証することを主な骨子としている。本研究の概要は以下の通りである。

第 1 章では本研究の背景および目的について延べ、さらに本論文の内容・構成、および研究の範囲と限界についてまとめた。

第 2 章では既往の文献レビューを行い、マクロ交通流モデル、カルマンフィルターを応用した動的な交通状態推定法、旅行時間の短期オンライン推定法、プローブ車のデータ計測法、あるいは交通シミュレーションモデリングに関する現状と課題について考察を行った。

第 3 章ではプローブ車データと既存の車両感知器データを統合した交通状態と旅行時間のリアルタイム推定法の提案を行った。モデル化に先立ち、推定モデルの中で使用しているマクロ交通流モデルのパラメータを正しく同定することの重要性を指摘した。次に、プローブ車データをカルマンフィルタの観測変量として定義し、地点データとしての車両感知器データと組み合わせてその定式化を行った。さらに、推定された交通密度や空間平均速度を用いることによって任意の地点間の旅行時間を推定することが可能であることを示した。

第 4 章では本研究で用いたデータについて、タイ国バンコク市内の高速道路、およびわが国の首都

高速道路で計測されたデータに関して計測システムやデータの内容について説明するとともに、広範な交通条件に対応して交通シミュレーションによって作成されたプローブ車データに関して、作成に当たっての交通条件や道路条件について述べた。

第5章では提案された手法を数値計算によって定量的に評価を行った。まず、マクロ交通流モデルのパラメータの同定に当たっては、勾配法に基づく最適化手法よりもランダム探索原理に基づく手法が有効であることを示した。次に、車両感知器データとプローブ車データの組み合わせに応じて交通密度や空間平均速度の推定を行い二乗平均誤差などのいくつかの指標を用いて推定精度の検証を行い、プローブ車データが何れの交通状況においても推定精度の向上に大きく貢献することを示した。また、交通事故等の突発事象が生じたような遷移状態でも追従性に優れていることを示した。さらに、プローブ車の割合が全体の4～6%程度、あるいは計測のインターバルが30秒ほどであれば十分な推定精度が確保できることを示した。また、旅行時間の短期予測に関しても、従来行われてきた時系列的な手法との比較を通して、提案された手法がその推定精度に優れていることを示した。

第6章には本論文の結論と今後の課題をまとめている。本提案手法においては、交通条件の如何に拘わらず従来の車両感知器データとプローブ車データを一貫してとりあつかうことができることから、近い将来、現下の交通状況や予想される交通状況について交通情報を得た車両がその位置情報を交通管理者に提供する双方向の交通情報システムが実現した際には、本論文で提案された手法によって交通状態や旅行時間の推定精度を格段に向上させることができると結論づけている。しかしながら、本論文でのモデル化は、比較的規模の小さな高速道路は限られており、大きな道路網への拡張、および信号制御を考慮した市街地道路網への適用は、今後の課題とされていることを指摘している。

これを要するに、著者は、従来リアルタイム推定が困難であった交通渋滞時の交通状態を精度良く推定するために、既存の車両感知器データと近年技術革新の著しくその普及が期待されているプローブ車データを首尾一貫して取り扱うためにフィードバック原理に基づく新たな手法の提案を行うとともにその有効性の検証を行っている。ここでの成果は、交通工学、とりわけ交通制御工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。