

# New Development in Dynamic Estimation of Traffic States and Origin-Destination Demands for Advanced Transportation Systems

(高度交通システムのための交通状態および  
起終点交通需要の動的推定における新手法の開発)

## 学位論文内容の要旨

With substantial increasing of travel demands to support economic activities and human daily life in modern society, traffic congestion has become a serious issue in many major cities. Utilizing the existing infrastructure more efficiently has been suggested as a solution to solve the congestion problem. One way to achieve this is by means of Advanced Traffic Management Systems (ATMS) to better manage and control the transportation system, and at the same time by Advanced Traveler Information Systems (ATIS) to provide better information to system users. However, the success of these systems relies on the ability to know the current and future traffic conditions as well as travel demands in a road network.

The objective of this study is to develop a new framework for dynamic estimation of traffic states and origin-destination (OD) demands in a road network. The framework is based on a recently developed filtering technique, called Unscented Kalman Filter (UKF), rather than the conventional Extended Kalman Filter (EKF). This filter has a number of unique advantages over the EKF such as the ability to capture the true mean and covariance accurately to second-order Taylor expansion (the EKF only achieves first-order accuracy) and does not require explicit computation of matrix derivative (Jacobian matrix). These properties can help in eliminating several difficulties found in the previous researches and provide some flexibility to the estimation framework.

The framework employs the UKF as a recursive estimator with the dynamic traffic simulation model being as the measurement equation. A modified first-order macroscopic model and its extension to multi-commodity traffic are developed and used as traffic simulation models in the estimation algorithm. Since traffic simulation model typically provides the prediction of density, flow rate, space mean speed, and average spot speed at any specified location, this makes the developed framework to be flexible enough to incorporate any new types of measurement data such as those from probe vehicles, Automatic Vehicle Identification (AVI), Electronic Toll Collection (ETC) system, etc. into the estimation algorithm. Moreover, with the UKF being as the estimator, the framework is not only specific to the traffic flow model developed in this study. It can be used with any macroscopic model for the problem of traffic state

estimation and any types of traffic flow model for the problem of OD estimation.

This study covers the development as well as the evaluation of the new framework for dynamic estimation of traffic states and OD demands. It starts from the development of two traffic flow models to be embedded in the estimation algorithm followed by the development of the dynamic estimation algorithms. The performance of the proposed traffic state estimation method is examined using a real data set from Hanshin expressway and the performance of the proposed OD demand estimation method is examined using the same real data as well as several sets of hypothetical data. Finally, theoretical analysis and some applications of shockwave based on the first-order traffic flow model are made in order to gain insight how to improve the performance of the traffic flow model, and hence the performance of the dynamic estimation of traffic states and OD demands.

Experimental results in dynamic traffic state estimation clearly show the superiority of the proposed method (using UKF) over the conventional method (using EKF). The proposed method can improve the traffic state estimation significantly and be able to capture the abrupt change of traffic condition. The examination of the proposed OD estimation method with hypothetical data illustrates a high ability of the method in tracking the unknown OD flows based on limited amount of measurement data but with a perfect traffic flow model. The tests with real data in which the traffic flow model is subject to some errors still provide very good estimation results. This indicates the high potential of the proposed method even if the embedded traffic flow model contains some errors. However, it is expected that with better traffic flow model, the proposed method would also have better estimation performance. Theoretical analyses of shockwave of the first-order macroscopic model provide insight the limitations of the model and suggest the way for improvement.

# 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 朝 倉 國 臣

## 学 位 論 文 題 名

### New Development in Dynamic Estimation of Traffic States and Origin-Destination Demands for Advanced Transportation Systems

(高度交通システムのための交通状態および  
起終点交通需要の動的推定における新手法の開発)

交通渋滞は交通安全と並んで前世紀後半から大きな社会問題となりながらも、全世界的な経済活動の発展や人々の生活レベルの向上に伴う継続的な交通需要の増大のために、その解決を今世紀に託された課題である。近年においては、高度情報システム (ATIS) や高度交通マネジメントシステム (ATMS) によって交通需要や交通流を動的にコントロールすることが試みられている。このような新しいシステムの成否は、現下の交通需要や短時間先の交通状態を如何に精度良く推定・予測できるかに依存している。道路網における OD(起終点) 交通量に代表される交通需要は、特に渋滞時において時間的に大きく変動することから、その動的推定には多くの困難を伴い、世界各国の多くの研究者によって活発に研究がなされている。また、道路網内の交通状態も交通状況に応じて大きく変動することから、その推定や予測が困難な課題となっている。

本研究は、道路網交通需要と交通状態の動的な推定に関して、数年前に開発された新たな数学的手法である Unscented カルマンフィルタを導入することによって、新たな推定法を確立することを主な目的としている。Unscented カルマンフィルタは、そのモデル構造から従来のカルマンフィルタにはない多くの優れた特質を有しており、当該研究課題に対して極めて有効な手法となることが期待されていた。本研究においては、新たな手法による定式化を行うとともに、その有効性を定量的に検証することを主な内容としている。

第 1 章では第 1 章では本研究の背景および目的について述べ、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ている。

第 2 章では、交通流理論、交通シミュレーションモデル、あるいはカルマンフィルタなどの基礎理論に加え、OD 交通量や交通状態の動的推定法に関して既往の文献レビューを行っている。

第 3 章では、動的な OD 推定法や交通状態推定法の定式化を示している。まず、新たなカルマンフィルタの中核をなす交通流シミュレーションモデルに関して、OD 別の交通量を考慮するため

のモデル(マルチコモディティ)化を提案している。さらにこの交通シミュレーションモデルを OD 交通量の推定問題と交通状態の推定問題に応じて、Unscented カルマンフィルターへの定式化の方法を提示している。さらに、カルマンフィルターにおける計測データとして用いる車両感知器データの汎用性を高めるために、信号交差点による影響の除去手法の開発を行っている。

第4章では、動的な交通状態の推定に関して、実測の交通データを用いた分析を行い、従来のフィルター手法との比較を通して、新たに提案された手法が様々な条件下において優れていることを実証している。特に、従来手法における不可欠であった微分演算の回避が推定精度の向上に大きく寄与していることを明らかにしている。また、新たに提案された手法が、交通渋滞時において急激な交通状況の変化がある場合においても、追従性に優れていることを示している。

5章では、OD 交通需要の推定に関して、先ずシミュレーションによって作成した仮想の交通データを用いて提案手法が事前情報のない場合においても有効であることを検証している。さらに、高速道路における実測データを用いて、従来法との比較を行うとともに、交通渋滞時の推定においては、これまでの推定では用いられて来なかった車両感知器の速度データの有用性を指摘している。

6章では、車両感知器データにおける信号交差点の影響を除去するために、車両軌跡法と衝撃波法による2つの変換手法の提案を行っている。また、これらの変換手法を道路網内の所要時間推定や交通流の基礎方程式である密度-交通流曲線推定に応用することを提案している。

第7章では、本論文を総括して、当該研究への貢献を明らかにするとともに、将来の研究方向に関していくつかの提案を行っている。

これを要するに、著者は、これまで簡単な線形式しか組み込めないために信頼性の低い推定しか行われなかった OD 交通量の動的推定法に関して、Unscented カルマンフィルターの手法を導入することによって、任意の交通シミュレーションモデルを組み込んだ精度の高い推定を行うための定式化を行うとともにその有効性を数値計算によって明らかにしている。また、交通状態の動的推定に関しても Unscented カルマンフィルターの手法が有効であることを実証的に明らかにしている。さらには、車両感知器データによる計測データ処理に関しても独自の変換手法を提案している。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。