

平成 22年 4月 19日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560527

研究課題名（和文）

Unscented フィルター手法によるフィードバック交通制御システムに関する研究

研究課題名（英文）

Feedback Traffic Control System Based on Unscented Kalman Filter

研究代表者

中辻 隆 (NAKATSUJI TAKASHI)

北海道大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60123949

研究成果の概要（和文）：

Unscented Kalman Filter (UKF) を用いた動的な OD 交通量推定手法の開発を行った。計測交通量と OD 交通量を関係つける係数行列を用いずに、動的な交通流シミュレーションモデルを用いて両者を関係つけていることを大きな特色としている。

情報過小 (data scarcity) 問題に対応するため、1) OD 交通量の替わりの起点終点交通量を推定し未知変量の減少、2) 適切な交通流シミュレーションモデルの選択、3) 感知器の地点データやプローブ車データの使用による計測情報量の増加などを検討している。数値計算結果によってこれらの有効性を検証している。

研究成果の概要（英文）：

This study aims to propose a new approach for dynamic estimation of origin-destination (OD) matrices based on Unscented Kalman Filter (UKF). In the approach, the nonlinearity between OD parameters and measurements is retained by dynamic traffic simulation model.

This study focuses on the data scarcity problem; (1) reduction of unknowns by replacing OD flows with origin flows and destination flows, (2) comparison of simulation models to map OD flows and measurement variables more precisely, and (3) consideration of additional measurement data, including spot speed data and probe vehicle data.

Numerical results support the potential of the proposed approach from 1) the accuracy of the estimated OD flows, 2) the effectiveness of the joint estimation of traffic distribution and traffic assignment, and the contribution of spot speed data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成19年度	1,100,000	330,000	1,430,000
平成20年度	900,000	270,000	1,170,000
平成21年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・

キーワード：交通渋滞、フィードバック、Unscented カルマンフィルター、交通制御

## 1. 研究開始当初の背景

1) 近年のITS（高度交通システム）技術の進展によって、GPS装置を搭載したバスやタクシーなど多様なプローブ車もリアルタイム情報を提供し始めており、交通制御システムにおいて従来の車両感知器データに加えた統合的な情報処理手法の確立が求められている。

2) 計測データをリアルタイムに利用して、交通需要や交通状態のオンライン推定を行う手法はフィードバック推定法と呼ばれているが、従来はカルマンフィルタに代表される手法が用いられていた。しかしながら、カルマンフィルタにおいては、未知の状態量（交通需要や交通状態）と計測交通変量との間に明確な関数関係を規定することが絶対条件であったために、時には非現実的な線形関係を仮定した解析が行われてきた。90年代末に Unscented Kalman Filter (UKF) や Particle Filter (PF) など新たな投影概念に基づくフィードバック手法が提案され、関数関係を明示的に規定することなしに、原則としてどのようなシミュレーションモデルとの統合も可能となり、フィードバック推定法に大きな進展が期待されている。

2) 未知の状態量を計測データに基づいてオンライン推定するフィードバック推定においては、未知の情報量が計測データから得られる情報量に比べ圧倒的に大きい状況にあり (Data Scarcity)、未知情報量を減少する、交通量データだけでなくETCデータやプローブデータなどの新しい計測データを取り込んで計測情報量を増やすことが必要である。あるいはUKFにおいては、理論上如何なる交通流シミュレーションとの統合とも可能であるので適切な交通流シミュレーションモデルの選択も重要である。

## 2. 研究の目的

交通需要と交通状態の推定、およびモデルパラメータの同定など交通制御システムの動的推定に関してUKFの適用性の検討を行い、交通渋滞時における交通制御システムの信頼性向上を図ることを目的としている。具体的には以下の項目を主な内容としている。

### 1) UKFに基づくモデル化法の確立

・ 交通需要 (OD交通量) の動的推定問題に対して、UKFのアルゴリズムの中にマクロ交通流モデルとの統合を行いその融合性や速度データの有効性について検証する。

### 2) 情報過小状態 (Data Scarcity) への対応

・ OD交通量に替わって、起点交通量や終点交通量を推定変量を関係つける統合モデルの開発を行う。

### ・ 交通流シミュレーションモデルの選択

UKFに基づくフィードバック推定においては如何なる交通流シミュレーションモデルとの統合も可能となっているがその選択が計測情報の有効的な抽出と、とりわけ未知情報と計測情報の非線形的な関係を正確に記述できるシミュレーションモデルの選択が重要である。ここでは、ミクロ交通流モデルとマクロ交通流モデルの適合性に関する分析を行う。

・ 計測交通量として感知器交通量データだけでなく、地点速度データやETCデータやプローブ車データの活用を行い計測情報量の増加を図る。ここでは、従来の車両感知器データに加え、ETCデータやプローブ車データをUKFに取り込む手法を確立するとともに、渋滞時における速度データの有効性や計測機器の密度や配置が推定精度に与える影響の評価を行う。

### 3) 交通需要と交通状態同時推定法を確立

・ 将来における大規模道路網へ適用するために、交通需要と交通状態同時推定法、さらには交通流シミュレーションモデルに含まれる交通状況に依存するモデルパラメータも含んだ推定法の確立や、交通流表現に優れた市販交通流シミュレーションパッケージのAPI機能を利用してフィードバック動推定法に取り込む可能性についての検討を行う。

## 3. 研究の方法

### 1) UKFに基づくモデル化法の確立

・ OD交通量の動的推定へのモデル化

交通需要のオンライン推定を行うためにUKFに交通流シミュレーションモデルを統合したモデル開発を行う。コアモデルとして、未知変量としてOD交通量を扱い、交通流シミュレーションモデルとして代表的な単純型のマクロ交通流モデルである Cell Transmission Model (CTM) を用いた開発を行い、

①推定されたOD交通量を実測交通量と比較

②過去のOD交通情報の有効性

### 2) 情報過小状態 (Data Scarcity) への対応

・ 起点/終点交通量を未知変量と変更

未知変数を減少させるために、OD交通量に替わって起点/終点交通量を推定変量とした。起点数  $m$ 、終点数  $n$  の道路網では未知数は理論的に  $(m-1)(n-1)$  から  $m+n-2$  に減少する。起点/終点交通量からOD交通量の推定にはロジットモデル、さらに配分交通量への推定には Probit モデルによる定式化を行った。同時推定による精度の劣化と演算効率の改善のバランスが課題となる。

- ・ 交通流シミュレーションモデルの選択  
交通流シミュレーションモデルとして  
①車両追従型のマイクロ交通流モデル  
②近年の高次型マクロ交通流モデルへの批判  
への対応をした修正 Payne モデル

- 上記2課題を統合的に行うため、以下の4つのスキームに対して比較検討を行った  
A 1) 高次マクロ+起点/終点交通量推定  
A 2) ミクロ+起点/終点交通量推定  
B 1) 高次マクロ+OD交通量推定  
B 2) ミクロ+OD交通量推定

また、マクロ交通流モデルに関しては、先に用いた Cell Transmission Model (CTM) と高次型の修正 Payne モデルの比較も行った。

・ 計測データの拡充による計測情報の増加  
車両感知器の交通量データだけではなく、地点速度データ、さらには ETC 装着車を含めたプローブ車データによる空間平均速度データも取り込むようモデルの拡張を行い、装着率やプローブ車の混入率を変えた分析を可能とした。しかしながら、ここではプログラム開発に留まり、数値解析は ETC データやプローブ車データによる実証データが限られていたため、車両感知器の地点速度データによる影響を感知器数や感知器配置も含め分析した。

### 3) 交通需要、交通状態、モデルパラメータ推定

・ 直接計測出来ない交通密度や区間平均速度などの交通状態変量の推定に関しては本研究の先行研究としてその開発を行っているが、本研究では、交通状態変量と上記交通需要(起点/終点交通量)とを同時推定するようプログラム開発を行った。しかしながら、交通状態の推定、あるいは交通需要推定単独に於いても既に計測情報の過小状況となっているのでここでは数値解析は実施せず今後の課題とした。

#### ・ モデルパラメータの動的推定

交通流シミュレーションモデルに関わるパラメータの中には、運転者の反応時間など交通状況に依存して変動するものもある。これまでの分析とは独立して、Particle Filter (PF) を市販交通流シミュレーションパッケージ AIMSUN (マイクロモデル) の API 機能を利用して、AIMSUM 中で使用されている運転者の反応時間を車両感知器データによる計測データに基づいて動的に推定することを試みた。

## 4. 研究成果

- 1) UKF に基づくモデル化法の確立
- ・ OD 交通量の動的推定へのモデル化  
阪神高速道路松原線の対象として数値解析を行った。車両感知器データの交通量データを

計測データとして 15 対の OD 交通量を 1 時間ごとに推定し実測の値と比較した。

① 推定された OD 交通量を実測交通量と比較  
図 1 は 3 つの OD ペアの推定値 (Est) と実測値 (Act1) の 1 日 24 時間の時間変動を比較した結果を表している。変動を良く補足している。図 2 は推定値と実測値を直接プロットしたもの。交通量に拘わらず 45° 線に沿って分布している。

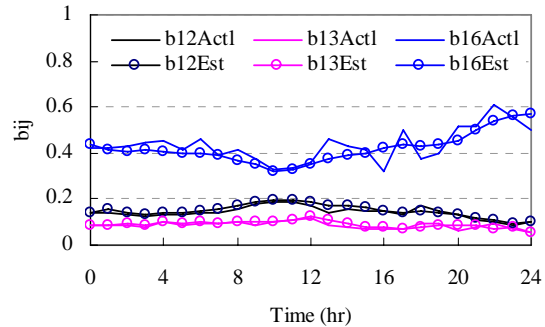


図 1 OD 交通量の時間変動における実測値 (Act1) と推定値 (Est) の比較

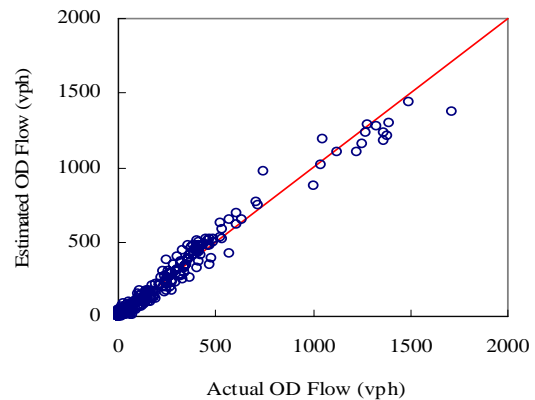


図 2 実測 OD 交通量と推定 OD 交通量の比較

### ② 過去の OD 交通情報の有効性

図 3 は、動的推定における初期値をランダム (lb1: 過去情報なし)、過去情報 (lb2) とした場合の比較結果を表している (横軸は車両感知器数と配置状況)。過去情報ありの場合が精度は良いがその差は小さい。演算開始後数ステップでその影響はなくなる。

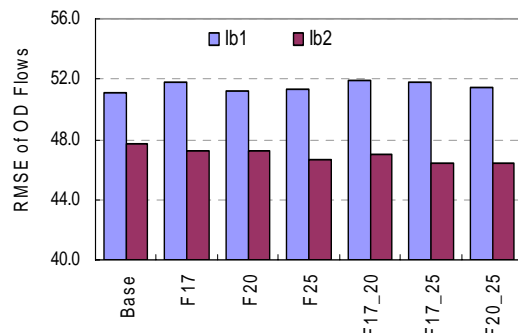


図 3 過去情報の有無による推定誤差

2) 情報過小状態(Data Scarcity)への対応  
 上記同様に、阪神高速道路松原線の対象として数値解析を行った。ここでは、オンライン推定の実用化を高めるため15分間隔での推定を行っている。

図4は、本線上流始端から出発し6つの出口(6の出口が本線下端)に向かう6つのODペアに対して4つのスキームによる推定誤差を表している。マイクロモデルを用いたA2、B2の精度が劣っていること、A1とB1ではODペアごとに異なっているが両者に大きな差異は見られていない。表1は、4つのスキームに対する平均演算時間を示しているが、マクロモデルの導入によって大幅な演算時間の減少が実現している。A1はB1に比べ約60となっているが、道路網が大きくなるにつれその差は拡大するものと期待される。図4と表1の結果は、OD交通量に替わって起点/終点交通量を未知変量としても、演算精度を損なうことなく演算効率を高める事が出来ることを示唆しており今後の大規模ネットワークへの適用に展望を与えている。

図5は、1)の解析で用いたマクロ交通流モデルと2)で用いた修正Payneモデルとの推定精度を比較したものである。Payneモデルの結果は図4のA1スキームに対応している。両者に大きな差異が見られないが若干Payne型に精度の改善が見られている。

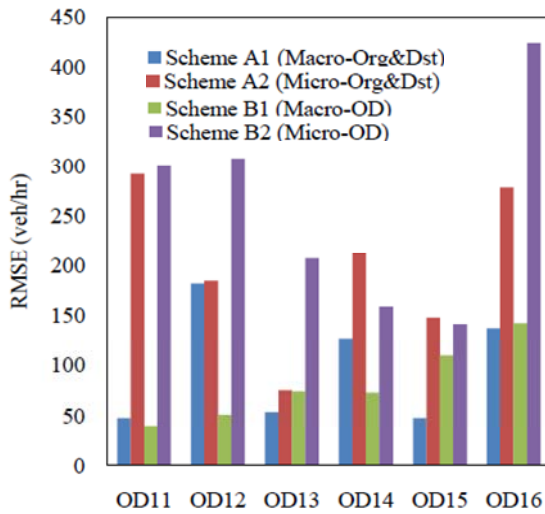


図4 4つのスキームによる推定誤差

表1 演算効率

Scheme	Unknowns	Run time (sec.)
A1 (Macro- Org&Dst)	9	49
A2 (Micro- Org&Dst)	9	213
B1 (Macro-OD prop.)	15	82
B2 (Micro-OD prop.)	15	837

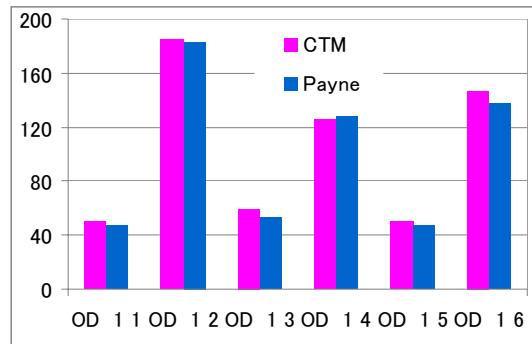


図5 マクロモデル間の比較 (CTMと修正Payne)

⑩ 地点速度データの有無による推定精度

図6は、車両委感知器の地点速度データの効果を表している。横軸は車両感知器数と配置状況を表しているが、速度データの有効性が確認された。特に、交通渋滞時にその効果が大きいことも検証された。ETCデータやプローブ車データによる検証は今後に残された課題である。

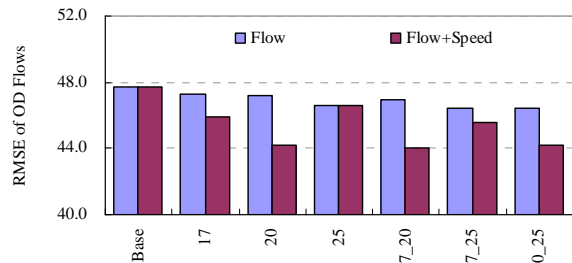


図6 地点速度データの有無による推定誤差

3) モデルパラメータの動的推定

仮定の単独交差点を対象として、各流入部からの交通需要が2時間にわたって単調増加した際に、交差点下流部の車両感知器データを計測データとしてAIMSUN中の運転者反応時間を推定した。流入交通量は全方向同一とし、感知器データも含めた仮想データは、道路条件を同一にして別のシミュレーションソフト(TSIS)を用いて計算したものを入力データとして与えた。交通状況依存性が再現されている。

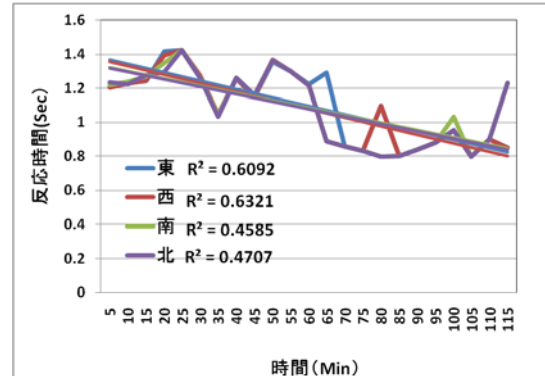


図7 交通状況による運転者反応時間の動的推定

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① Ranjitkar P. and T. Nakatsuji, Trajectory-Based Analysis of Drivers' Response in Car-Following Situations, Proc 89th Transportation Research Board Annual Meeting、査読あり、2010、CD-ROM
- ② 藤井涼、中辻隆、パーティクルフィルタを用いた交通流シミュレーションモデルのオンラインパラメータ推計について、土木学会北海道支部論文報告集、66号、査読なし、2010、CD-ROM
- ③ T. Nakatsuji and Anburuvel A., Where we are and where we should go in the feedback Traffic Estimate for online traffic control system, Proc. 10th Intelligent Transport Systems, Asia Pacific Forum & Exhibition, 査読なし、2009、CD-ROM
- ④ Anburuvel A., Y. Kamiode, T. Nakatsuji An Innovative Proposal for Real-Time OD Flow Estimation Algorithm、土木計画学研究・講演集、Vol.39、査読なし、2009、CD-ROM
- ⑤ M. Tanaka, Ranjitkar P. and T. Nakatsuji Asymptotic Stability and Vehicle Safety in Dynamic Car-Following Platoon, Transportation Research Record, No.2088, 査読あり、2009, pp.198-207
- ⑥ 上出祐次、中辻隆、Anburuvel A., 秋谷真、非集計ロジットによる経路選択モデルを内在したOD交通需要・交通状態の動的推定に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.38、査読なし、2008、CD-ROM
- ⑦ Anburuvel A., Y. Kamiode, T. Nakatsuji Evaluation of Macroscopic Model based on Godunov Scheme for Estimating Traffic Flow on a Expressway、土木計画学研究・講演集、Vol.38、査読なし、2008、CD-ROM
- ⑧ Ranjitkar P., M. Tanaka, T. Nakatsuji, Dunn R., Human Driving Behavior Under Icy Road Conditions: Trajectory-Based Study, Proc 88th Transportation Research Board Annual Meeting、査読あり、2009、CD-ROM
- ⑨ 近藤竜平、中辻隆、R.Pueboobpaphan、鈴木宏典、マイクロ交通流モデルを組み込んだOD交通量の動的推定に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.36、査読なし、2007、CD-ROM
- ⑩ 秋谷真、中辻隆、鈴木宏典、GAを用いたOD交通量の逆推定における演算効率性、土木計画学研究・講演集、Vol.36、査読なし、2007、CD-ROM

〔学会発表〕(計4件)

- ① Ranjitkar P. and T. Nakatsuji, Trajectory-Based Analysis of Drivers' Response in Car-Following Situations, 89th Transportation Research Board Annual Meeting 2010.1, Washington USA
- ④ T. Nakatsuji and Anburuvel A., Where we are and where we should go in the feedback Traffic Estimate for online traffic control system, 10th Intelligent Transport Systems, Asia Pacific Forum & Exhibition, 2009.7, Bangkok (招待講演)
- ③ Anburuvel A., Y. Kamiode, T. Nakatsuji An Innovative Proposal for Real-Time OD Flow Estimation Algorithm、土木学会第39回土木計画学研究発表会(春大会)、2009.6、徳島
- ⑤ Ranjitkar P., M. Tanaka, and T. Nakatsuji., Human Driving Behavior Under Icy Road Conditions: Trajectory-Based Study, 88<sup>th</sup> Annual meeting of Transportation Research Board, 2009.1, Washington USA
- ⑥ Anburuvel A., Y. Kamiode, T. Nakatsuji Evaluation of Macroscopic Model based on Godunov Scheme for Estimating Traffic Flow on a Expressway、土木学会第38回土木計画学研究発表会(秋大会)、2008.11、和歌山
- ⑦ M. Tanaka, Ranjitkar P. and T. Nakatsuji., Asymptotic Stability and Vehicle Safety in the Dynamic Car-Following Platoon, 87<sup>th</sup> Annual meeting of Transportation Research Board, 2008.1, Washington USA

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/tra/naka/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中辻 隆 (NAKATSUJI TAKASHI)

北海道大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60123949