

平成 2 7 年 5 月 2 8 日現在

機関番号： 1 2 6 0 8

研究種目： 挑戦的萌芽研究

研究期間： 2013 ~ 2014

課題番号： 2 5 6 3 0 2 1 4

研究課題名（和文）データ同化とシミュレーションによる交通状態のリアルタイム推定

研究課題名（英文）Traffic state estimation with assimilation of traffic flow simulation and data

研究代表者

朝倉 康夫（Asakura, Yasuo）

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号： 8 0 1 4 4 3 1 9

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：近年，データベース技術の発展により，トラフィックカウンターなどによる交通流の観測データを長期間に渡って蓄積することが容易になり，膨大な過去の観測データの活用が可能となっている．本研究では，過去の大量の観測データを活用した統計的な推定手法と，確率的なシミュレーション手法を用いることにより，確率的な交通状態の推定手法を構築することを目的としている．このことにより，交通流理論に整合的な統計的処理を大量の観測データに適用することにより，シミュレーションのみでは推定することが難しい交通状態の変動を推定する手法を構築した．

研究成果の概要（英文）：Continuous and long-term observed traffic flow data became available owing to large growth of database technologies. The purpose of this study was to develop a method to estimate stochastic traffic state by implementing an assimilation method. The proposed method relied on both traffic flow models and statistical estimation models. The estimation by the traffic flow model is assimilated by the statistical model which relies on the large amount of data. In validation analysis of the proposed methods, this study showed that the proposed model can detect singular traffic states which was generally difficult to be detected.

研究分野： 交通工学

キーワード： 交通工学 交通流 交通状態推定

1. 研究開始当初の背景

都市高速道路での交通流の観測は、トラフィックカウンター（以下トラカン）による定点観測による手法が代表的である。定点の観測では、トラカンが設置されている地点のデータは、収集可能であるが、設置地点間の交通状態は何らかの方法で推定する必要がある。また、交通制御や情報提供などのリアルタイム性が要求される交通流のマネジメント施策に活用するためには、単に現況の交通状態を知るだけでは不十分である。流入制御や情報提供などのマネジメントの対象区間の将来の状況を予測し、マネジメント施策を実施する必要がある状況が発生するかどうかを判別し、マネジメント施策を実施し適切な交通状態へ誘導する必要がある。

既往の観測地点間の交通状況や将来の交通状態を推定するための手法は、統計的な手法と交通流シミュレーションによる手法に大別することができる。統計的な手法では、交通流に影響する様々な因子による影響も観測値に含まれていることから、それらの影響も含んだモデルを構築することが可能である一方で、モデルの適用範囲が統計モデルを抽出した区間や地点に限定される可能性がある。シミュレーションによる方法は、交通流理論に基づいた交通状態を推定できるという利点を持つ一方で、初期条件やネットワークに関するパラメータをあらかじめ設定する必要があり、ネットワーク全体でのモデルのチューニングを行う必要があることからその導入は容易ではないという問題点がある。そこで、大量のデータを背景とした統計手法と確率的な変動を表現できる交通流シミュレータを組み合わせることができれば、交通流に影響する様々な因子による影響を加味した上で、交通流理論に整合的な方法により交通状態を推定できると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、継続的な観測による大量の交通流データと交通流理論との整合性の双方を考慮したベイズ統計学によるモデルを構築し、確率的な交通状態を推定する方法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、平成 25 年度に(1)交通状態推定手法およびデータ同化に関する既往研究の整理、(2)長期間に観測されたトラカンデータからの交通状態推定用データセットの実装、(3)交通状態推定モデルの構築を実施した。これらの内容を踏まえ、平成 26 年度には、(2)のデータセットに対する(3)の方法の適用を行うとともに、ボトルネック容量低下・インシデント検出などへの応用を行った。

4. 研究成果

交通流を観測した大量のデータからの交通状態手法の構築を行ったうえで、推定精度の検証、応用可能性及び今後の方法の課題を整理することができた。具体的には、(1)大量のデータを活かしたノンパラメトリックな交通状態推定手法と、(2)演繹的に求めるシミュレーションによる方法と帰納的な統計手法の双方を統括するデータ同化手法を応用した交通状態手法を構築し、構築手法の検証を行った。

(1) ノンパラメトリックな交通状態推定手法の構築とその応用

トラカンにより蓄積された大量の交通流データを活かしたノンパラメトリック手法を用いることでパラメータの調節が容易な交通状態変化の推定手法を構築することができた。構築した手法を、高速道路上での事故等によって発生する突発的ボトルネック検出手法に応用し、首都高速道路 3 号渋谷線で収集された実データに基づいて精度の検証を行った。

構築モデル

本研究での突発事象検出の流れを示したものが図 1 である。本手法は交通状態の時間的・空間的变化の生起確率に着目する。ある地点である時刻に観測される交通状態が、前の時刻に観測される交通状態や周囲の交通状態と照らし合わせて「いつも通り」の交通状態なら平常状態である（すなわち、突発事象などが発生していない）。一方で、前の時刻に観測された交通状態や周囲の交通状態からしてみればめったに生じない「異常」な交通状態が観測されると突発事象などが発生した可能性がある。つまり、過去に観測さ

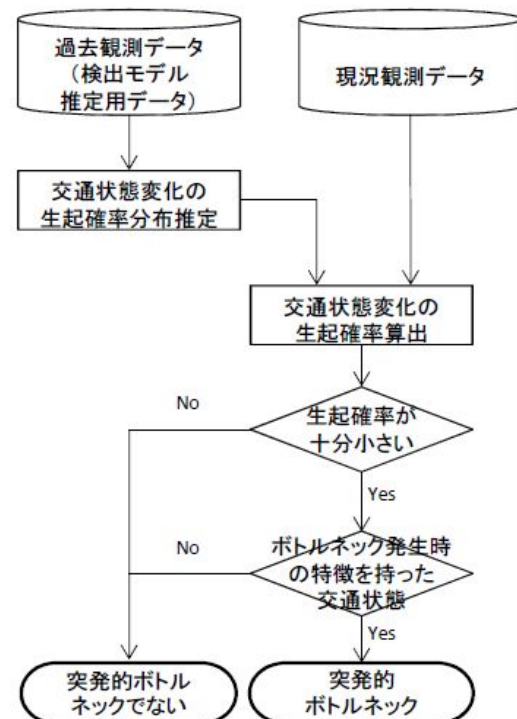


図 1 本手法の流れ

れ、蓄積されてきたデータから得られる生起確率が極端に低いような状態が観測されたとすると、それは平常状態とは異なる異常状態と判断できる。さらに、ボトルネックの発生と整合的な時空間的な交通状態変化が起きていることを交通流の性質と整合的なルールを用いて判断すれば突発的ボトルネックを識別できる。

本研究では交通状態変化の生起確率を実際に観測されてきたデータ、すなわち長期間にわたり観測・蓄積されてきたトラカンのデータからノンパラメトリック手法によって求める。つまり本手法では、トラカンによって得られるデータをいくつかのカテゴリに分けて集計し、条件付の頻度分布を求めることで、交通状態変化の生起確率を求める。このとき、特定の分布を仮定せずに確率分布を推定することができるので、パラメトリック手法に必要なパラメータのキャリブレーションを簡略化した上で、観測点の特性を踏まえた突発的ボトルネック検出が可能となると期待できる。

検証結果

図2および図3は2012年4月21日14時から20時に収集された過去のトラカンデータにおけるオキュパンシのコンター図である。横軸に時刻、縦軸に道路区間を表示しており、交通流は図の下から上へと流れている。図2はモデルにより検出された事象を黒くプロットしたものであり、図3が実際に起きていた突発的ボトルネック全体を黒くプロットしたものである。この時間帯には突発的ボトルネックが2つ発生している。本手法により2つ目の突発的ボトルネックは検出できているが、1つ目の突発的ボトルネックは検出できていない。1つ目の突発的ボトルネック発生時の生起確率の推定値は低くないので、平常状態であると判断されている。特に渋滞末尾は頻繁に観測される事象ではないため、確率分布を表現できなかった可能性がある。このように突発的ボトルネックが発生し、渋滞が発生した場合でも異常状態として検知されないこともあることがわかった。

表1は、既往の手法であるCalifornia¹⁾アルゴリズムとの比較を行う。Californiaアルゴリズムと蓄積期間を100日とした本手法の精度を表1に示す。表1より、正検出率(DR)は本手法の方が大きいことがわかる。さらに誤報率(FAR)も本手法はCaliforniaアルゴリズムよりも小さい。つまり、誤報率は小さく、かつ、本手法はより多くの突発的ボトルネックを検出できている。さらに、平均検出時間(MTTD)はいずれの場合においてもCaliforniaアルゴリズムよりも良好な結果を示している。したがって、本手法は、試行錯誤的にパラメータを設定しているCaliforniaアルゴリズムと同等以上の精度を得られているといえる。

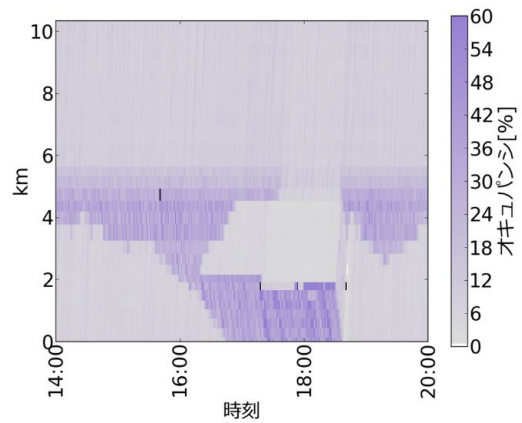


図2 インシデント検出例

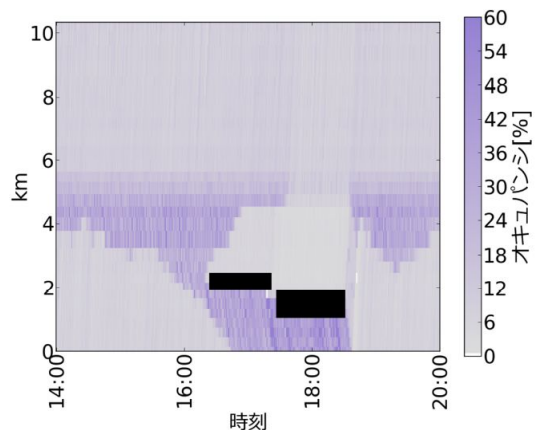


図3 実際のインシデント登録データ

表1 California¹⁾アルゴリズムとの精度比較

| | 本手法 | California | |
|--------------|--------|------------|--------|
| | 100日 | FAR 同程度 | DR 同程度 |
| DR [%] | 24.1 | 14.2 | 24.1 |
| FAR [%] | 0.0404 | 0.0407 | 0.0519 |
| (FA per day) | (17) | (18) | (22) |
| MTTD [min] | -7.3 | -4.4 | -4.5 |

(2) データ同化を応用した交通状態手法構築モデル

トラカンが設置されていない非観測領域を含む領域での交通状態と交通流パラメータを推定することを目的としたデータ同化手法を構築した。具体的には、速度を状態変数とするシミュレーションモデルとしてCell Transmission Model for velocity (CTM-v)²⁾を用いた。パラメータと交通状態を交互に推定していく方法としてDual法を用いたParticle Filtering (PF)による計算を行う手法であるDual Particle Filtering (DPF)³⁾による交通状態推定モデルを構築した。DPFは状態変数とモデルパラメータを交互に推定する手法である。それぞれの推定では、予測段階とフィルタリング段階の二つの段階を交互に行う。

検証結果

推定の対象となるモデルパラメータを持つシミュレーションモデルCTM-vを用いて検証用シミュレーションを実施し、真値となる速度データを生成したうえで、真値に対する提案手法の推定精度を検証した。検証シナリオの一つで生成した真値の例を図4に示す。この図では、横軸に時刻、縦軸に道路区間を示しており、進行方向は下から上である。

推定されたモデルパラメータと、速度データを生成する際に与えたパラメータを比較することで、DPFによるパラメータ推定の精度を検証した。また、推定された交通状態と、速度データを比較し、DPFの交通状態推定の精度を検証した。本研究では、トラカンおよびプローブカーからデータが収集されることを想定し、速度データのみから1種類のパラメータ臨界密度又は最大速度を推定することで、モデルの特徴を分析した。

図5に、検証シナリオでの推定結果の例を示す。「推定された速度と観測された速度の差分」と、交通流パラメータの一つである「臨界密度と設定した臨界密度の差分」を示した。差分が正であるとき、過大に推定しており、一方で差分が負であるときは過小に推定していることを示している。図の(a)より速度は、大きくとも ± 5 [km/h]以内の差であり、概ね正確な推定ができていることが分かる。一方で、(b)より、交通流パラメータである臨界密度の推定は、渋滞領域では比較的精度よく推定できている部分があるが、自由流領域では、臨界密度の推定は過大推定となる傾向がある。また、境界領域(セル1及び7)では、臨界密度の推定が過大または過小となっていることが読み取れる。

検証を実施した結果、非観測地点でのモデルパラメータの推定精度は十分でなく、また、観測地点であってもモデルパラメータが推定できない場合があることが分かった。これらの結果より、観測セルと非観測セルの従属関係を仮定し、観測変数に交通量を含めることで緩和する必要があることが明らかになった。

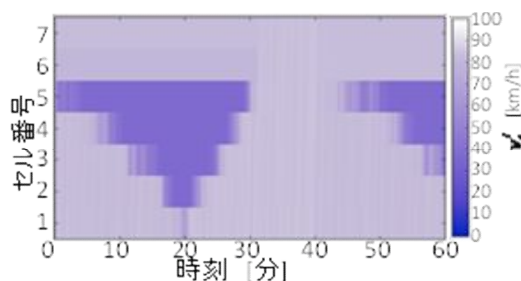
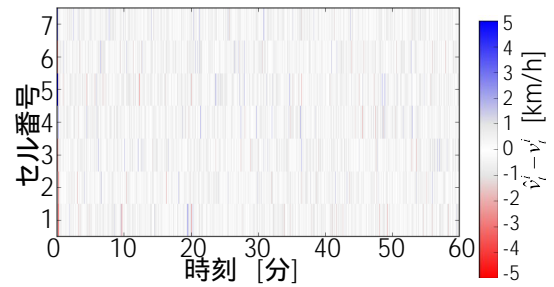
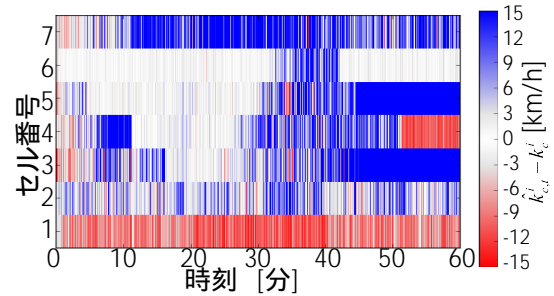


図4 検証シナリオでの速度の時空間分布



(a) 推定された速度と真値との差分



(b) 推定された臨界密度と真値との差分

検証シナリオでの推定結果例

図5 検証シナリオでの推定結果

< 引用文献 >

- 1) Payne, H. J. and Tignor, S. C.: Freeway incident detection algorithms based on decision trees with states, Transportation Research Record, Vol. 682, pp. 30-37, 1978.
- 2) Work, D. B., Blandin, S., Tossavainen, O. -P., Piccoli, B. and Bayen, A. : A traffic model for velocity data assimilation, Applied Mathematics Research eXpress, Vol. 1, No. 1, pp. 1-35, 2010.
- 3) Olivier, L.E., Huang, B., and Craig, I.K. : Dual particle filters for state and parameter estimation with application to a run-of-mine ore mill, Journal of Process Control, Vol. 22, No. 4, pp. 710 - 717, 2012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

成岡尚哉, 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫; ノンパラメトリック手法による車両感知器データからの突発的ボトルネック検出法, 交通工学論文集, Vol.1, No.1, pp.11-20, 2015, DOI: 10.14954/jste.1.1_11 (査読有)

瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫; 車間距離を計測するプロー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(土木計画学), Vol.69, No.5, pp.1_809-1_818, 2013, DOI:10.2208/jscejpm.69.1_809 (査読有)

坂井勝哉, 日下部貴彦, 朝倉康夫; 合流

部容量変動と不確実性を考慮した旅行時間の統計的予測手法, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp.1_847-1_856, 2013, DOI:10.2208/jscejipm.69.1_847 (査読有)

研究者番号: 70334539

〔学会発表〕(計6件)

成岡尚哉, 日下部貴彦, 瀬尾亨, 朝倉康夫; 速度データに基づく交通流の状態とモデルパラメータの同時推定, 第51回土木計画学研究発表会, 九州大学, 福岡市, 2015.6.7

小篠耕平, 井料隆雅, 朝倉康夫; ETC-ODデータを用いた潜在ランプ間OD交通量の推定, 土木計画学研究発表会, 東北工業大学, 仙台市, 2014.6.8

福田大輔, 洪子涵, 石田東生, 岡本直久; 都市高速道路における交通状態推定問題およびセンサー配置問題に対するデータ同化アプローチ, 第48回土木計画学研究発表会, 大阪市立大学, 大阪市, 2013.11.3

成岡尚哉, 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫; 車両感知器を用いた突発事象検出手法の開発と検証 データオリエンテッドアプローチ, 第30回日本道路会議, 都市センターホテル, 東京都, 2013.10.31

成岡尚哉, 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫; 車両感知器の長期観測データを用いたノンパラメトリックモデルによる突発事象の検出, 第33回交通工学研究発表会論文報告集, pp.409-414, 日本大学駿河台キャンパス, 東京都, 2013.9.17

Toru SEO, Takahiko KUSAKABE, and Yasuo ASAKURA; Traffic Flow Monitoring Utilizing On-vehicle Devices of Spacing Measurement. hEART2013 -- 2nd Symposium of the European Association for Research in Transportation, Stockholm, Sweden, 4-6 Sep 2013

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朝倉 康夫 (ASAKURA, Yasuo)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 80144319

(2) 研究分担者

井料 隆雅 (IRYO, Takamasa)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10362758

日下部 貴彦 (KUSAKABE, Takahiko)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 80604610

福田 大輔 (FUKUDA, Daisuke)
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授