

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14266

研究課題名（和文）次世代交通管制のためのリアルタイム交通状態推定手法の開発

研究課題名（英文）Development of Real-Time Traffic State Estimation Methods for Next-Generation Traffic Control

研究代表者

安田 昌平（YASUDA, SHOHEI）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：00899247

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では次世代の交通管制を見据え、大規模な道路ネットワーク上の交通状態をリアルタイムに推定する手法を開発した。具体的には、空間統計学を用いた動的なネットワーク表現及び交通流理論及び深層学習を活用した交通状態推定の開発に取り組んだ。車両の走行軌跡データに基づいて目的に応じた動的なネットワーク表現を行う方法論の開発により、推定精度を担保しつつ計算量を大幅に削減できる可能性を示した。また交通流理論と深層学習を組み合わせた推定手法の開発により、渋滞の延伸・解消のダイナミクスを物理学的に記述しつつ、ネットワークを対象とした膨大なパラメータを持つ計算についても効率的に行うことを可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、大規模なネットワークを対象とした交通状態推定において、その解析空間である道路ネットワークを観測データ自体から動的に生成するという新たなアプローチにより、推定精度を担保しつつ計算量を大幅に削減できる可能性を示した点である。社会的意義として、計算量の削減による高速な推定や渋滞の延伸解消を物理学的な観点から有しつつ記述可能な方法論の実現は、正確かつリアルタイムな交通状態推定を可能とし、災害時の効率的な避難誘導や自動運転等の新技術の統合的な制御等の次世代管制システムの実現に寄与する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method for real-time traffic state estimation on large-scale road networks, aiming at next-generation traffic control. Specifically, we focused on dynamic network representations using spatial statistics and the development of traffic state estimation methods utilizing traffic flow theory and deep learning. By developing a methodology for dynamic network representation based on vehicle trajectory data tailored to specific purposes, we demonstrated the potential to significantly reduce computational complexity while ensuring estimation accuracy. Furthermore, by combining traffic flow theory and deep learning, we developed an estimation method capable of efficiently handling computations involving a vast number of parameters for the network, while physically describing the dynamics of congestion formation and dissipation.

研究分野：交通工学

キーワード：交通流理論 深層学習 ネットワーク表現 空間統計学

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

交通システムの機能を適切に保つため、観測データに基づく管制が重要な役割を果たしている。例えば現実の道路ネットワークでは、観測データから推定した交通状態に基づいて、ドライバーへの情報提供や混雑区間への流入制御を行うことで渋滞の緩和や抑制が図られている。そのため、交通工学分野では限られた少数の観測点で得られた情報から未観測区間の交通状態を推定・予測する方法論の開発が活発に行われてきた。しかしながら、観測機器の設置・整備コストの高さから、観測点は有料道路や一部の主要道路に限られており、生活道路を含むネットワーク全体の交通状態を包括的に推定することは困難であった。

近年、情報通信技術の発展やスマートデバイスの普及により、人々の移動軌跡を記録した観測データが活発に収集されている。交通システムにおいても料金収受機やナビゲーションシステムを介した走行軌跡データの収集が実用化されており、観測点に関わらず広範囲の交通情報が取得可能となった。一方、都市部の密な道路ネットワークに対して走行軌跡データは未だ疎であり、また観測誤差もあるため、ネットワークの交通状態を正確に把握するためには交通流理論や機械学習を活用した推定が必要である。このような背景から、近年は走行軌跡データを用いた交通状態推定手法の開発が活発に行われている。しかしながら、その対象は高速道路や信号交差点付近の単路部に留まっており、ネットワークの交通状態を包括的に推定する研究は未だ少ない。

走行軌跡データを用いて道路ネットワーク全体の交通状態をリアルタイムに推定することが可能となれば、災害時の効率的な避難誘導や自動運転等の新技術の統合的な制御等の次世代管制システムの実現に繋がるであろう。それでは、走行軌跡データを用いた交通状態推定をネットワークに拡張する上で障壁となっている要因は何であろうか。多くの研究で指摘されているのは、膨大なリンクを扱うことによる計算負荷の増大である。しかしながら、大規模ネットワークを対象とした過去の研究では、ネットワークの簡略化表現によって計算負荷の問題を解決してきた。応募者は、走行軌跡データを活用する際に必要となる前処理 (e.g. 移動滞在判別やマップマッチング処理) が高負荷であること、そして膨大な情報が紐づいたネットワークを簡略的に表現する明示的な方法論が存在しないことが課題であると考えた。これらは走行軌跡データをネットワーク分析に活用する際に必ず考えなければならない問題であるが、これらの問題について議論されることはほとんどない。観測された走行軌跡データに対して、高負荷な事前処理を伴わず、交通流理論や機械学習による解析と親和性の高い新たなデータ構造へと変換する方法論を開発することができれば、走行軌跡データを用いたネットワークのリアルタイムな交通状態推定が実現できる可能性がある。

2. 研究の目的

一般に大規模ネットワークを対象とした解析は、渋滞末尾の波及によりネットワークのパフォーマンスがカオス的に振る舞うことや、経路の組み合わせの爆発的な増加等が原因で容易に計算不可能な状態に陥る。本研究の目的は、道路ネットワーク上で観測された走行軌跡データを効率的に処理・集約し、大規模ネットワークの交通状態をリアルタイムに推定する方法論を開発することである。

3. 研究の方法

本研究では、上記の目的を以下の(A),(B),(C)の研究を通して達成する。

(A) 空間統計学を用いた動的なネットワーク表現

推定対象である道路ネットワークの接続構造および各領域の空間解像度を、対応する走行軌跡データから動的に生成する方法論を開発する。

(B) 交通流理論および機械学習を用いた交通状態推定手法の開発

(A)で構築したネットワークに対して、交通流理論および機械学習等を用いて交通状態の推定および動学化を行う方法論を開発する。

(C) ベイズ統計学を用いた観測データのリアルタイム解析手法の開発

逐次的に得られる走行軌跡データを(A)で構築したネットワークの空間解像度に合わせて集約し、(B)で定式化したモデルの学習および推定値の補正に活用する。

4. 研究成果

車両走行軌跡データから道路ネットワークデータを動的に生成する方法論の開発成果として、ETC2.0 から取得した走行軌跡データを用いて生成した神戸地域のネットワークデータの一例を図1に示す。比較対象として、所与の道路ネットワークデータとして広く用いられている Open Street Map (OSM) の同地域のものを併記する。OSM のノード数は 11,855 であるのに対して本研究で生成したネットワークデータのノード数は 999 でありノード数が約 91.2% 削減されている。計算量削減の例示として、最短経路探索で広く用いられるダイクストラ法はノード数の二乗のオーダーで計算量が増加するため、これらのネットワークデータを使う上で経路探索の速度は 100 倍以上の開きが生まれる計算となる。

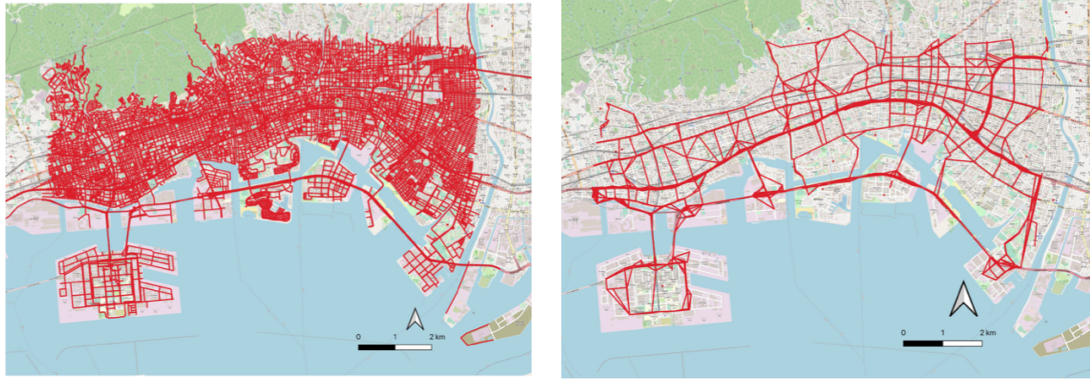


図1 一般に用いられている道路ネットワークデータ Open Street Map (左) と本研究で生成した車両走行軌跡ドリブなネットワークデータ

関西の中心エリアを対象に走行軌跡データから生成したネットワークデータ(図2)を用いた交通状態予測を行なった。予測手法のベースは Graph Convolutional Network (GCN) と Long Short-Term Memory (LSTM) を組み合わせた手法を用いた。GCN は隣接ノードの空間的な接続情報を畳み込み、LSTM は長期の時間依存性を補足することができるため、時系列グラフデータに特化した深層学習モデルである。交通工学的な知見の組み合わせとして、入力変数を一般に用いられる速度を直接用いるのではなく、空間統計学的に推定された密度を用いた場合により精度が向上することを示した(図3)。

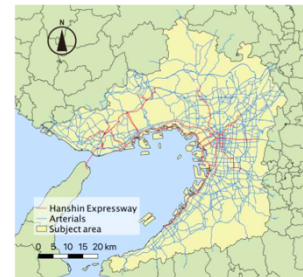


図2 対象ネットワーク

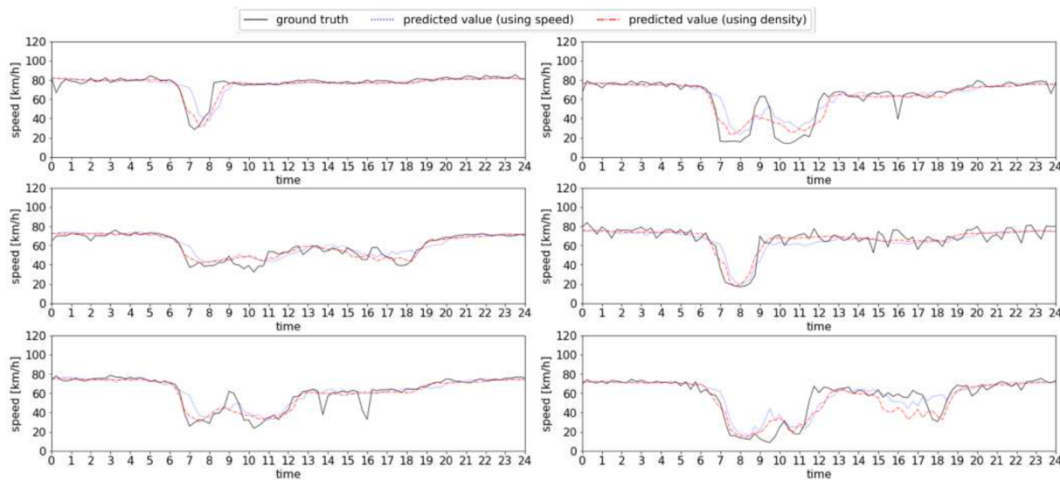


図3 エリア内で観測された旅行速度の変動と予測結果の比較

<引用文献>

1. Yasuda Shohei, Katayama Hiroki, Nakanishi Wataru, Iryo Takamas: Trajectory Data-Driven Network Representation for Traffic State Prediction using Deep Learning, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2024. 1. <https://doi.org/10.1007/s13177-023-00383-z>
2. Katayama Hiroki, Yasuda Shohei, Fuse Takashi: Traffic Density Based Travel-Time Prediction With GCN-LSTM. IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 2908-2913, Makau, 2022. 10.
3. Katayama Hiroki, Yasuda Shohei, Fuse Takashi: Comparative Validation of Spatial Interpolation Methods for Traffic Density for Data-driven Travel-time Prediction, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Vol. 20 No 3, pp. 830-837, 2022. 10.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Katayama Hiroki, Yasuda Shohei, Fuse Takashi | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Comparative Validation of Spatial Interpolation Methods for Traffic Density for Data-driven Travel-time Prediction | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research | 6. 最初と最後の頁 830 ~ 837 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-022-00326-0 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Yasuda Shohei, Katayama Hiroki, Nakanishi Wataru, Iryo Takamasa | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 Trajectory Data-Driven Network Representation for Traffic State Prediction using Deep Learning | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research | 6. 最初と最後の頁 136 ~ 145 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-023-00383-z | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katayama Hiroki, Yasuda Shohei, Fuse Takashi |
| 2. 発表標題 Traffic Density Based Travel-Time Prediction With GCN-LSTM |
| 3. 学会等名 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|