

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19782

研究課題名（和文）An Online Adaptive Boosting Ensemble Approach to Human Mobility Prediction at a Metropolitan Scale

研究課題名（英文）An Online Adaptive Boosting Ensemble Approach to Human Mobility Prediction at a Metropolitan Scale

研究代表者

FAN ZIPEI (FAN, ZIPEI)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任講師

研究者番号：70835397

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：提案中のオンライン適応型アンサンブル移動予測モデルの開発を終え、このプロジェクトの重要な手法に関連する複数の論文を会議かジャーナルに発表した。不規則交通予測では、不規則交通のノードを正規のものとは分離して不規則交通の予測可能性を高めるカリキュラム学習法を提案し、AAAIに掲載された。不規則性シミュレーションパートでは、可視化ジャーナルTVCGと、オンラインアンサンブルの部分は、データマイニングのジャーナルTKDEに発表されました。また、移動予測システムのリアルタイム実装と不定期イベントのシミュレーション結果に関する論文1本が、空間データの会議であるsigspatialに発表されました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

規則的な移動パターンは、モデル化しやすく、予測しやすい。しかし、花火大会やコミケなどの集客イベントや、大地震や台風などの自然災害時の移動など、現実世界の多くの移動パターンには不規則性が見られます。防災や災害対策など、多くの応用シーンにおいて、人間の不規則な移動は、日常的な移動よりもはるかに重要な役割を担っています。このような背景から、本プロジェクトでは、不規則な移動のモデリングに焦点を当て、不規則な移動の特徴を様々な側面から分析し、適応的なアンサンブルアプローチによって統合します。

研究成果の概要（英文）：I finished the development of the online adaptive ensemble mobility prediction model in the proposal and published several papers in either the proceedings of the top conference or transactions of the top journals related to the key methods in this project. For irregular traffic prediction, I proposed a curriculum learning method that separates the irregular traffic nodes from regular ones to enhance the predictability of irregularities and published in AAAI 2023. For the irregularity simulation part, I have published two journal papers, the top visualization journal IEEE TVCG and one ACM TSAS. For the online ensemble part, one journal paper has been accepted to the top data mining journal IEEE TKDE. In addition, one paper on the real time implementation on the mobility prediction system and some simulation results on the irregular events such as stoppage of the Musashino railway line has been accepted to the top spatial data conference ACM sigspatial.

研究分野：Spatial data mining

キーワード：Emergency management Spatial data mining IoT in Urban System

1. 研究開始当初の背景

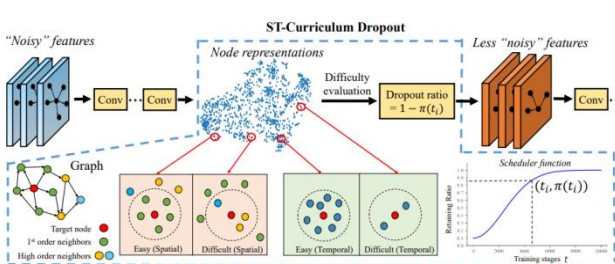
Irregular mobility modeling at a citywide level is a research field that focuses on understanding and predicting human mobility patterns that deviate from regular or predictable behavior. Traditional mobility models often assume that individuals move in a consistent and predictable manner, such as daily commutes between home and work. However, many real-world mobility patterns exhibit irregularity, such as mobility during crowd-drawing events (e.g. firework festival and Comiket) or natural disasters (e.g. big earthquake or Typhoon). In many application scenarios like emergency management and disaster resilience, irregular human mobility plays a much more critical role than routine mobility. Bearing these in mind, this project focus on modeling the irregular mobility and analyze the characteristics of irregular human mobility from different aspects and integrate via an adaptive ensemble approach.

2. 研究の目的

This project aims at collecting the citywide human mobility in both individual trajectory and aggregated traffic flow forms, and propose the predictor that can not only have a stable performance on regular mobility, but also robust to the irregularities. Towards this end, in this project, we model the irregularities in three directions: 1) precedent irregular mobility is modeled as meta learning to build human mobility deep learning model from few samples; 2) To predict an online unprecedented human mobility, irregular mobility at individual-level is discovered and aggregated at a metropolitan scale via personalized human mobility modeling; 3) online model fusion (regular mobility predictor, precedent/unprecedented human mobility predictors) is conducted in an adaptive ensemble learning framework.

3. 研究の方法

The proposed methods can be summarized into 4 parts:



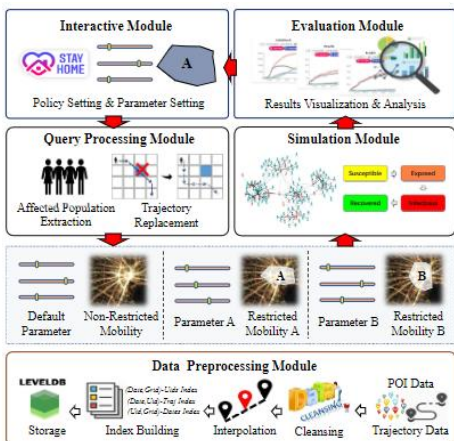
1) Curriculum learning based irregularity mobility prediction:

To overcome the problem of irregular traffic state in the predictor training process, I propose ST-Curriculum Dropout predictor training strategy [1], a novel and easy-to-implement strategy for spatialtemporal graph modeling. Specifically, I evaluate the

learning difficulty of each node in high-level feature space and drop those difficult ones out to ensure the model only needs to handle fundamental ST relations at the beginning, before gradually moving to hard ones. This method has been tested on several traffic prediction dataset and achieved a good performance, especially for those irregular cases.

2) Trajectory Replacement based irregular mobility simulation:

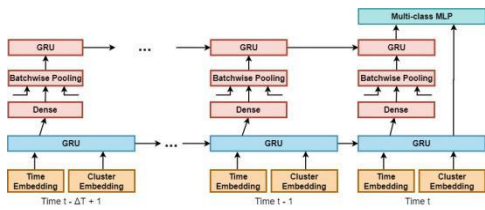
To simulate the citywide mobility in response to different external control policies during the pandemic, such as telecommuting, temperature screening, city lockdown, I proposed a trajectory replacement based irregular mobility simulation method [3][4]. When a user is affected by a mobility restriction policy, the mobility behavior is influenced accordingly. For example, a user frequents a shopping mall every weekend. The mall is locked on a particular day, and the user's future trajectory will not cover it. The affected trajectory is replaced by an unaffected trajectory, which is referred to as the trajectory replacement



strategy. Here, the replacement methodology is elaborated for each restriction policy.

3) Meta-learning based mobility prediction method:

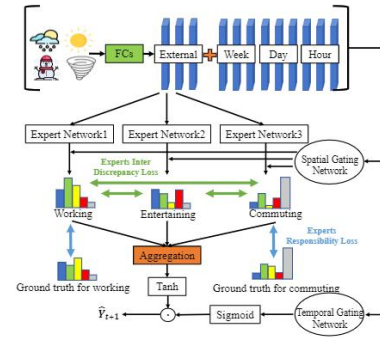
To gain the adaptability of the mobility predictor to different conditions, the predictor



should be capable of capturing the differences of human mobility from day to day and adjust itself by perceiving the current crowd context. For example, a user goes to drinking places with a higher probability if we observe a higher population going to drinking places. Thus, we need to model both the sequential pattern of user

trajectories and how the sequential pattern varies considering other trajectories within the crowd context.

4) Mixture-of-Experts based mobility prediction decomposition:



Single model usually suffer from the problem of adaptivity to the domain shift, which means the mobility patterns change significantly from regular patterns. Hence, an ensemble of models are more capable in modeling different aspects of the mobility and have a better adaptivity to different conditions. In this project, I present a new perspective on flow prediction and propose an explainable framework named ST-ExpertNet [2], which can adopt every spatial-temporal model and train a set of functional experts devoted to specific flow patterns. Technically, I train a bunch of experts based on the Mixture of Experts (MoE), which guides each expert to

specialize in different kinds of flow patterns in sample spaces by using the gating network. In addition, I define several criteria, including comprehensiveness, sparsity, and preciseness, to construct the experts for better interpretability and performances

4. 研究成果

I finished the development of the online adaptive ensemble mobility prediction model in the proposal and published several papers in either the proceedings of the top conference or transactions of the top journals related to the key methods in this project. For irregular traffic prediction, I proposed a curriculum learning method that separates the irregular traffic nodes from regular ones to enhance the predictability of irregularities and published in AAAI 2023 [1]. For the irregularity simulation part, I have published two journal papers, the top visualization journal IEEE TVCG [3] and one ACM TSAS [4]. For the online ensemble part, one journal paper has been accepted to the top data mining journal IEEE TKDE [2]. In addition, one paper on the real time implementation on the mobility prediction system and some simulation results on the irregular events such as stoppage of the Musashino railway line has been accepted to the top spatial data conference ACM sigspatial [5].

[1] Hongjun Wang, Jiyuan Chen, Tong Pan, **Zipei Fan**, Boyuan Zhang, Renhe Jiang, Lingyu Zhang, Yi Xie, Zhongyi Wang, Xuan Song, "Easy Begun Is Half Done: Spatial-Temporal Graph Modeling with ST-Curriculum Dropout", in Proc. of Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI) 2023

[2] Hongjun Wang, Jiyuan Chen, **Zipei Fan**, Zhiwen Zhang, Zekun Cai, and Xuan Song. "ST-ExpertNet: A Deep Expert Framework for Traffic Prediction." IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. (2022)

[3] Chuang Yang, Zhiwen Zhang, **Zipei Fan**, Renhe Jiang, Qunjun Chen, Xuan Song, and Ryosuke Shibasaki. "EpiMob: Interactive Visual Analytics of Citywide Human Mobility Restrictions for Epidemic Control". IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (2022)

[4] **Zipei Fan**, Chuang Yang, Zhiwen Zhang, Xuan Song, Yinghao Liu, Renhe Jiang, Qunjun Chen, and Ryosuke Shibasaki. "Human Mobility based Individual-level Epidemic Simulation Platform". ACM Trans. Spatial Algorithms Syst. 8, no. 3 (2022): 1-16.

[5] **Zipei Fan**, Xiaojie Yang, Wei Yuan, Renhe Jiang, Qunjun Chen, Xuan Song and Ryosuke Shibasaki. "Online Trajectory Prediction for Metropolitan Scale Mobility Digital Twin". In Proceedings of the 30th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (SIGSPATIAL '22)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yang Chuang, Zhang Zhiwen, Fan Zipei, Jiang Renhe, Chen Quanjun, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 EpiMob: Interactive Visual Analytics of Citywide Human Mobility Restrictions for Epidemic Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVCG.2022.3165385	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fan Zipei, Yang Chuang, Zhang Zhiwen, Song Xuan, Liu Yinghao, Jiang Renhe, Chen Quanjun, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 8
2. 論文標題 Human Mobility-based Individual-level Epidemic Simulation Platform	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems	6. 最初と最後の頁 1~16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3491063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Jiang Renhe, Cai Zekun, Wang Zhaonan, Yang Chuang, Fan Zipei, Chen Quanjun, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 13
2. 論文標題 Predicting Citywide Crowd Dynamics at Big Events: A Deep Learning System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology	6. 最初と最後の頁 1~24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3472300	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Wang Zhaonan, Jiang Renhe, Cai Zekun, Fan Zipei, Liu Xin, Kim Kyoung-Sook, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatio-Temporal-Categorical Graph Neural Networks for Fine-Grained Multi-Incident Co-Prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3459637.3482482	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiang Renhe, Wang Zhaonan, Cai Zekun, Yang Chuang, Fan Zipei, Xia Tianqi, Matsubara Go, Mizuseki Hiroto, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Countrywide Origin-Destination Matrix Prediction and Its Application for COVID-19	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases	6. 最初と最後の頁 319 ~ 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-86514-6_20	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Deng Jinliang, Chen Xiusi, Fan Zipei, Jiang Renhe, Song Xuan, Tsang Ivor W.	4. 巻 15
2. 論文標題 The Pulse of Urban Transport: Exploring the Co-evolving Pattern for Spatio-temporal Forecasting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data	6. 最初と最後の頁 1 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3450528	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Yinghao, Fan Zipei, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 21
2. 論文標題 FedVoting: A Cross-Silo Boosting Tree Construction Method for Privacy-Preserving Long-Term Human Mobility Prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 8282 ~ 8282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21248282	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 該当する

1. 著者名 Jiang Renhe, Cai Zekun, Wang Zhaonan, Yang Chuang, Fan Zipei, Chen Quanjun, Tsubouchi Kota, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 DeepCrowd: A Deep Model for Large-Scale Citywide Crowd Density and Flow Prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TKDE.2021.3077056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiang Renhe, Song Xuan, Fan Zipei, Xia Tianqi, Wang Zhaonan, Chen Quanjun, Cai Zekun, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 2
2. 論文標題 Transfer Urban Human Mobility via POI Embedding over Multiple Cities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACM/IMS Transactions on Data Science	6. 最初と最後の頁 1~26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3416914	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiang Renhe, Chen Quanjun, Cai Zekun, Fan Zipei, Song Xuan, Tsubouchi Kota, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Will you go where you search? A deep learning framework for estimating user search-and-go behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neurocomputing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neucom.2020.10.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Hongjun, Chen Jiyuan, Fan Zipei, Zhang Zhiwen, Cai Zekun, Song Xuan	4. 巻 -
2. 論文標題 ST-ExpertNet: A Deep Expert Framework for Traffic Prediction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TKDE.2022.3196936	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fan Zipei, Yang Xiaojie, Yuan Wei, Jiang Renhe, Chen Quanjun, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Online trajectory prediction for metropolitan scale mobility digital twin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th International Conference on Advances in Geographic Information Systems	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3557915.3561040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hongjun Wang, Jiyuan Chen, Tong Pan, Zipei Fan, Boyuan Zhang, Renhe Jiang, Lingyu Zhang, Yi Xie, Zhongyi Wang, Xuan Song	4. 巻 -
2. 論文標題 Easy Begun is Half Done: Spatial-Temporal Graph Modeling with ST-Curriculum Dropout	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI) 2023	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Wang Zhaonan
2. 発表標題 Spatio-Temporal-Categorical Graph Neural Networks for Fine-Grained Multi-Incident Co-Prediction
3. 学会等名 the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiang Renhe
2. 発表標題 Countrywide Origin-Destination Matrix Prediction and Its Application for COVID-19
3. 学会等名 Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zipei Fan
2. 発表標題 Online trajectory prediction for metropolitan scale mobility digital twin
3. 学会等名 30th International Conference on Advances in Geographic Information Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hongjun Wang
2. 発表標題 Easy Begun is Half Done: Spatial-Temporal Graph Modeling with ST-Curriculum Dropout
3. 学会等名 Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI) 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zipei Fan
2. 発表標題 Metropolitan-scale Mobility Digital Twin
3. 学会等名 the Sixteenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining (国際学会)
4. 発表年 2023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1件

国際研究集会 UbiComp / ISWC 2020	開催年 2020年 ~ 2020年
-------------------------------	----------------------

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
---------	---------