

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	稲垣 悠一
論文題目	Importance-Aware Information Networking toward Smart Cities (スマートシティに向けた重要度を考慮した情報ネットワーキング)		
(論文内容の要旨)			
<p>The concept of smart cities has been evolving. While the evolving concept of smart cities does not have a fully shared and globally accepted definition, it is possible to describe the most common characteristics of smart cities as implementing the latest technologies to obtain benefits in a wide range of domains. Technological fields such as device networks, sensing, and information analysis enable smart cities to provide various services. As smart city relates to different fields of services, it brings challenges for smart cities, one of which is information networking. As the information networking towards smart cities should satisfy requirements from heterogeneous services, the metrics on which the information networking based should be able to describe requirements from various services. However, conventional metrics for information networking are insufficient for smart cities because they are quantized in the network layer, and thus they do not always describe requirements for various services. Therefore, information networking that quantifies the important attributes of requirements of various services in the service layer, which is called “importance-aware information networking” in this thesis, is essential for smart cities. This thesis studies three specific problems on information networking for smart cities based on data importance, each of which focuses on a typical application scenario. This thesis consists of six chapters.</p> <p>Chapter 1 introduces the background of importance-aware information networking towards smart cities.</p> <p>Chapter 2 introduces the technologies related to this work.</p> <p>Chapter 3 proposes a system for device sharing based on importance extracted from online social relationships between a device owner and user. For smart city services, users provide sensing ability, computation capacity, or network connectivity of their personal devices to smart city services by sharing their devices with other users. When device owners share the limited resources on their devices, they generally want to reduce their costs when they share their devices with someone who is less socially close to them. The proposed system in this work automatically determines how much resources the user can use by acquiring and evaluating online social relationships between a device owner and user as a metric of the importance of transmitted data among devices. This work presents a prototype implementation and a large-scale simulation using a dataset of a real social network. The results show that the proposed system limits resource usage for guest users who are not as close to the device owners. The overhead of the authentication process in the system does not interfere with the resource sharing with guest users close to the device owners.</p> <p>Chapter 4 proposes an Internet of Things (IoT) device control system that uses the importance of data to reduce the amount of transmitted data for input of a machine learning model while maintaining prediction accuracy. Predicting real-time spatial information from data collected by mobile IoT devices is one of the most common structures of smart city services. Mobile IoT devices for real-time spatial information prediction generate an extremely high volume of data, making it impossible to collect all of it through mobile networks. Simply reducing the volume of transmitted data does not ensure the prediction accuracy of real-time spatial information. This work presents an IoT device control system that reduces the amount of transmitted data used as input for real-time prediction while maintaining prediction accuracy. In this work, the proposed system is evaluated with a real-world vehicle mobility dataset in two practical scenarios using the random forest model, an extensively used machine</p>			

learning model. The results show that the proposed system reduces the amount of transmitted input data for real-time prediction while achieving the same level of prediction accuracy as benchmark methods.

Chapter 5 proposes a framework that periodically updates a machine learning model used to reconstruct the partially collected data by evaluating the importance of the data in terms of both inference and re-training and prioritizing collecting important data. Sparse mobile crowdsensing is a crowdsensing paradigm that reduces the sensing cost while ensuring data quality by collecting data sparsely and reconstructing desired data using inference algorithms, including machine learning algorithms. However, real-time inference of spatial information with sparse mobile crowdsensing has not sufficiently considered the change of the nature of data over time. As a result, the accuracy of the reconstructed data can deteriorate over time. This work presents a framework that periodically updates a machine learning model used for reconstructing data by evaluating the importance of the data in terms of both inference and re-training and prioritizing collecting important data. The evaluation results show that the proposed system with periodical model updates performed better in accuracy than the benchmarks over time.

Finally, Chapter 6 concludes this thesis and discusses the future works to extend this work.

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、スマートシティに向けた情報ネットワークングに関する問題について、データの重要度に焦点を当てて研究を行っている。本研究で得られた成果は以下のとおりである。

第一に、デバイスの所有者とユーザのオンラインの社会的関係から抽出した重要度に基づいてデバイスを共有するシステムを提案している。提案システムは、デバイス間で送信されるデータの重要度を示す指標として、デバイスの所有者とユーザのオンライン上の社会的関係を取得し評価することで、ユーザがどの程度のリソースを使用できるかを自動的に判断している。本論文では、提案システムのプロトタイプ実装を行い、提案システムの認証オーバーヘッドを測定している。また、実際のソーシャルネットワークのデータセットを用いたシミュレーションの結果、提案システムがデバイスの所有者とそれほど親しくないゲストユーザのリソース使用量を制限できること、また、提案システムにおける認証プロセスのオーバーヘッドはデバイスの所有者に親しいゲストユーザとのリソース共有を妨げないことを示している。

第二に、スマートシティの重要な技術要素であるセンシングと情報分析に焦点を当てて、データの重要度を利用して予測精度を維持しながら機械学習モデルの入力用のセンシングデータの送信量を削減するInternet-of-things (IoT) デバイス制御システムを提案している。データの重要度は、モバイルセンサによって収集されたデータが予測精度にどれだけ寄与するかを測定することで得られる。提案システムでは、特徴選択法を用いてデータの重要性を抽出している。これにより、提案システムでは、モバイルIoTデバイスを予測精度の向上に大きく寄与しない重要度の低いデータをエッジサーバに送信しないように制御することができる。広く使われている機械学習モデルであるランダムフォレストモデルを用いて、2つの実用的なシナリオのデータセットで提案システムの評価を行った。その結果、提案システムは、ベンチマーク手法と同程度の予測精度を達成しつつ、予測のための入力データの送信量を削減できることを示している。

第三に、推論と再学習の両面からデータの重要度を評価し重要なデータの収集を優先することで、部分的に収集したデータの再構成に用いる機械学習モデルを定期的に更新するフレームワークを提案している。提案フレームワークは、推論と再学習の両面からデータの重要度を評価することで、予測に用いるデータの性質の時間変化に対応するための機械学習モデルの定期的な再学習を可能にしている。2つのデータセットを用いた数値評価により、提案フレームワークの有効性を確認している。推論と再学習の両面からデータの重要度を考慮し重要なデータを優先的に収集することで、収集データの性質の時間変化に追従した推論モデルの再学習が可能となり、予測の長期的な精度向上につながることを示している。

以上、本論文は、スマートシティに向けた情報ネットワークングに関して、データの重要度に基づくシステムとフレームワークを提案し、スマートシティのためのネットワーク技術の発展に貢献するものである。本論文の内容は、学術上、実用上とも寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値のあるものとして認める。また、令和3年8月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 年 月 日以降