

氏 名 Shuyu Shi

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1879 号

学位授与の日付 平成28年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Mining Contexts of Passive Entities from Radio Frequency  
Sources

論文審査委員 主 査 教授 計 宇生  
准教授 福田 健介  
教授 曾根原 登  
准教授 鄭 顕志  
特任教授 山田 茂樹 国立情報学研究所  
Assistant Professor STEPHAN SIGG  
Aalto University

論文内容の要旨  
Summary of thesis contents

The vitality of detecting human context information lies in that it relates closely to almost all our daily aspects, such as locating where a person is, knowing what he/she is doing and identifying people nearby. In the past decade, research of context awareness has focused more deeply on studies of location awareness and activity recognition, since the two aspects are involved in a large number of practical applications, ranging from location-based services, medical care to social science. The recent decade, with the ubiquitous distribution of mobile device integrated with a suite of sensors including accelerometer, microphone, GPS, WiFi, camera, digital compass and gyroscope, the device can provide a variety of contexts, such as user's physical location, activities and orientation, etc. However, despite the huge progress in this research area, there is still much more to be investigated. For instance, 1) most of existing solutions require wearing a device, then one could ask what can be done with the absence of such a device; and 2) the accuracy of RF-based indoor localization is constrained by the unpredictable characteristics of radio signals in indoor environments and hence needs to be improved.

In this dissertation, we design two novel context-aware systems that can address the problems like those described in the previous section and learn the useful human context information such as activities, locations attention and velocity. More specific, we first present a passive FM radio source based activity recognition system. Then, we propose an WiFi based indoor device-free positioning and tracking scheme using fine-grained Channel State Information (CSI) as source information.

**(1) ActiviTune: A Multi-stage framework for activity recognition from FM-radio signals**

In activity recognition, the majority of frequently applied sensing technologies require prior installation and repeated calibration within a changing environment. Examples are sensors for motion detection such as acceleration-type sensors as well as video or RFID-based systems. Clearly, the installation effort might diminish by proper integration of sensors in everyday objects, such as clothing. This has the potential to seamlessly foster the distribution of sensing equipment but also implicates the potential for inaccurate placement, thus increasing the importance of frequent sensor calibration. An approach that mitigates the necessity to equip users and also the frequent recalibration of the system is to establish context awareness using to establish environmental modalities.

The RF-transceiver of electronic equipment might constitute such kind of sensor. Nearly all contemporary electronic devices contain some kind of interface to the RF-channel. We propose to use the RF-channel as a sensing source to detect activities of individuals by monitoring peculiarities of RF-based features induced by these very activities. Comparing with other RF-based approaches, ActiviTune has the advantage of neither installing a transmitter generating the signal nor equipping the monitored entities with any active component of the system. In this thesis, we test our system to distinct several static and dynamic activities, by which, an overall accuracy of over 80% can be attained. Also, we further conduct another case study to explore the feasibility of discriminating both activities and locations of a subject

(別紙様式 2)  
(Separate Form 2)

simultaneously.

Given the overabundance of information, attention management is of great interest to the research community of ubiquitous computing and context awareness. We believe our above proposed FM-based activity recognition framework can provide a general solution to a plethora of context-aware computing systems. In this thesis, we exemplify an application using ambient FM-radio signals in monitoring of attention. We analyze the features extracted from ambient FM-radio signals to understand the locomotion of an individual passing by a poster and then take it as a hint to imply the level of attention attracted by that poster.

## **(2) Mining Location Contexts Using CSI Information**

Besides user's activity, context-aware systems are also concerned with learning the location of an entity, since it is a crucial type of context. In indoor environment, GPS-based techniques are not operational indoors. Accurate and ubiquitously available indoor localization is still an unsolved issue.

As the presence of a device-free subject can interfere with the ambient RF signals derived from radio sources, researchers have explored passive device-free (DfP) indoor localization, utilizing the change of RF signals induced by a monitored individual to estimate the person's location. However, due to the multipath effect and the limited granularity of Received Signal Strength Indicator (RSSI), there is still much room to improve the accuracy of indoor localization.

In this thesis, we propose a probabilistic fingerprinting-based technique for DfP indoor localization. Our system adopts CSI readings derived from off-the-shelf WiFi 802.11n wireless cards which can provide fine-grained subchannel measurements in the context of MIMO-OFDM PHY layer parameters. This complex channel information enables accurate localization of non-equipped individuals. Our scheme further boosts the localization efficiency by using principal component analysis (PCA) to identify the most relevant feature vectors. The experimental results demonstrate that our system can achieve an accuracy of over 92% and an error distance smaller than 0.5m. We also investigate the effect of other parameters on the performance of our system, including packet transmission rate, the number of links as well as the number of principle components.

博士論文の審査結果の要旨  
Summary of the results of the doctoral thesis screening

本博士論文は「Mining Contexts of Passive Entities from Radio Frequency Sources (電波信号源を利用した受動エンティティのコンテキストマイニング)」と題し、周囲にある無線信号を用いて受動エンティティ（例えばセンサーデバイスなどを持つことが要求されない人物）のコンテキスト（位置や動作）を検出する研究内容をまとめたものである。

人の位置や動作の検出は、位置に基づくサービスをはじめ、医療や社会学などの分野における多くのアプリケーションで必要とされている。GPS、カメラ、加速度計、ジャイロスコープなどのセンシング技術の発達によって、位置や動作の検出は可能になったが、人間によるセンサーデバイスの携帯や、プライバシーの問題があり、デバイスを持たず、控えめで邪魔にならないようなコンテキストの検出方法が必要となってくる。さらに、電波信号の振る舞いが予測できない室内環境における検出精度の向上がチャレンジングな課題である。本研究では、周囲にある通信やラジオの電波信号を使って、人の居る位置や行う動作のコンテキストを邪魔にならないように(unobtrusively)検出する方法とその精度を向上させる方法を提案している。

論文は5章から構成され、第1章及び第2章の研究背景と既存研究に続いて、第3章と第4章ではそれぞれ、FMラジオ信号とWiFiチャンネル状態情報を用いたコンテキストの検出方法について述べている。

第3章では、FMラジオ信号を使った位置と動作の検出について、まず検出方法の検討、そのためのシステム構成、実験の結果、およびケーススタディについて説明した。FMラジオ信号はその遍在性と変動の少なさの特徴から、受動エンティティのコンテキストの検出にとって魅力的な信号源であると言える。既存の位置検出の研究に加え、本研究では、人の動作による無線信号特徴量の変化について調査し、動作を検出するための信号採取、特徴量抽出、および機械学習による分類の方法について提案した。構築されたシステムでは室内で行われる動作（立つ、横たわる、這う、歩く）または空室状態を高い精度で検出することが可能である。さらに、位置検出と合わせることによって、被験者の注目をモニタリングするシステムを提案した。

第4章では、無線チャンネル状態情報を使った位置検出と追跡をより高い精度で行う方法について述べている。WiFiなどの無線通信のためのチャンネル状態情報(CSI)は、送受信アンテナ数とサブチャンネル数の積に比例して情報量が増えるため、より正確な位置検出が期待される一方、大量なデータから有用なものを抽出し、検出に有効に用いることが課題である。本研究では、これまでに使われているフィンガープリントによる検出方法を発展させ、ベイズ推定による確率的フィンガープリント法を導入して検出精度を高め、さらに主成分分析法を用いてチャンネル状態情報のデータ量の削減を行った。提案方法をいくつかの室内環境で確認し、既存方法よりも高い検出精度が得られることを確認した。また、カルマンフィルタと粒子フィルタによる追跡システムを提案し、一定の速度での動きとランダムな動きとでそれぞれの優位性を示した。

最後に、第5章では本論文の考察と結論についてまとめ、今後の研究課題を提示した。

なお、研究成果として、出願者は主著で査読付きジャーナル論文1篇、査読付き国際会議論文6篇を発表したほか、共著でジャーナル論文および国際会議論文を5篇発表している。

以上を要するに、本論文はユビキタスコンピューティング分野におけるコンテキスト検

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

出の課題について、周囲にある電波信号源を利用して受動エンティティの位置や動作を高い精度で検出する方法について提案し、その有効性を示したものであり、モバイル空間における人間の日常活動をスマートにサポートする IoT 社会の実現に貢献することが期待される。よって、本論文は博士の学位請求論文として合格と認められる。