



Title	A Study on Localization of IoT Devices for Cyber-Physical Systems
Author(s)	Kitbutrawat, Nathavuth
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76648">https://hdl.handle.net/11094/76648</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (Nathavuth KITBUTRAWAT)

Title

A Study on Localization of IoT Devices for Cyber-Physical Systems  
(サイバーフィジカルシステム実現に向けたIoTデバイス位置推定に関する研究)

## Abstract of Thesis

Nowadays, the cyber-physical system (CPS) has become more ubiquitous and reality due to the emergence of IoT devices. Many research studies can embed sensors and actuators to IoT devices for connecting themselves to the network. After that, the IT technician will assign the location of each IoT devices to the identity of those devices in the system, and then the authorized persons can monitor and control them through the network. However, the task that assigns the devices to a location called address labeling becomes more laborious when the vast number of IoT devices are deployed in the big area. Due to the current address-labeling task is performed manually, it causes time-consuming and labor-intensive.

To assign the address to the devices automatically, Global Positioning System (GPS) is a general technology in an outdoor environment. However, the system cannot apply GPS-based location service in some areas such as an indoor environment due to the GPS is unavailable in these areas. In this study, I make the matching procedure to assign the location of indoor IoT devices to their cyber objects avoiding manual effort. Since there are two kinds of areas by the degree of privacy-preserving, those are the public areas and the private areas. I, therefore, propose two different techniques for dealing with both cases. On the one hand, the residents in public places do not request high privacy-preserving, and it is possible to send the IT workers or robot equipping with the configuration tool for site-survey. Because the IoT devices, having wireless modules such as Bluetooth or Wi-Fi modules, can broadcast the advertising package periodically. Then I can use the smartphone embedded with wireless devices for observing the radio signal form IoT devices, and the smartphone can estimate the location of IoT devices by performing the RSSI-based localization technique.

On the other hand, the residents in private places such as households have a concern about their privacy. Then the IT workers and robots may not be available in these kinds of situations for privacy-preserving reasons. I, thus, provide a distance estimation based on the sequence of events from sensors. I leverage the indoor layout, and I offer the matching algorithm to assign the devices on the indoor map. As a result, I can reduce the burden on the location-device mapping procedure for both kinds of locations. In this study, I focus on two applications: 1) The heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) system in the building in which the worker is available to perform a site survey method. 2) The smart home system in which the location-device mapping procedure is done automatically without any help from residents.

Firstly, I study a method to perform the address labeling for the HVAC system in the smart building. By attaching the Bluetooth Low Energy (BLE) to the HVAC indoor units, I can collect the signal propagation and consider the change in signal strength of every BLE device for labeling their address. I request one tester to carry the smartphone and walk around the building to collect the signal strength. By considering the change in signal strength, my method can match the BLE devices to their physical locations accurately. I validate my approach by deploying the BLE devices in 2 real office building. In the experiment, my matching method can match at least 70% BLE devices to their location correctly.

Secondly, I study on the localization of devices in smart homes. I focus on the technique that encourages the non-tech-savvy users to use the smart home system. Consequently, the smart home system should be configured

by themselves without help from end-users. In the smart home system, the sensors connect to the infrastructure-mode wireless network, and their wireless module is usually in sleep mode. When the wireless module is in the sleep mode, it does not emit a radio signal. As a result, I cannot measure the RSSI because I cannot predict the time when sensors send the data to the server. In the study, I consider the location-related sensor, e.g., a motion sensor, and provide two location estimation methods. One method finds the characteristics of stay time of residents to identify the places as anchors where those residents live. Another one considers the resident movement between two sensors to estimate the relative distance between those sensors. With the proper matching algorithm, I can label the sensors with a semantic location, especially the name of the rooms and landmarks.

I validate my technique in actual houses, and the result shows that my method can label the sensors with their location by above 80% correctness, after three-day observation.

Thirdly, the above approach, however, requires a dense network to archive high accuracy. For example, that method requires the resident deploying at least one sensor in each area, e.g., room, corridor, and stairs. However, in the general situation, the residents usually put one sensor in staying-type places, and they may not put the sensor in transition areas such as the corridor and stairs. Therefore, I, thirdly, improve the previous technique to be suitable for dealing with a practical situation. I develop the method to estimate the relative distance between sensors and the matching algorithm. As a result, I can label the sensors with their location in the case of scattered sensor networks, which corresponds to most traditional houses. The experiments in the realistic home revealed challenges to be addressed to make this method scale to various house configurations.

Through these contributions, my studies can perform an address setting procedure for commercial-off-the-shelf devices and can apply to the exiting smart-building and smart-home application. Even though some IoT devices support the high accuracy estimation of distance and direction, my matching procedure is needed to map those IoT devices into the locations. This dissertation has established the address setting procedure for the IoT devices in both private and public places.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Kitbutrawat Nathavuth )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	東野 輝夫
	副 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	松岡 茂登
<b>論文審査の結果の要旨</b>			
<p>近年IoT技術の進展により、様々なセンサーとアクチュエータをIoTデバイスに組み込み、ネットワークに接続されるようになってきました。多数のIoTデバイスの配置を把握するためには、各デバイスにIDを割り当て、許可された人のみがそれらを監視・制御できる仕組みが必要です。しかし、膨大な数のIoTデバイスが広範囲の空間に展開されると、どのIDのデバイスがどの場所に割り当てられたかを確認する作業は時間と労力を要する作業になります。</p> <p>屋外でデバイスにIDを割り当てる場合、全地球測位システム (GPS) を利用すればIDとその位置関係が比較的容易に把握できるが、屋内環境ではその作業は煩雑になります。本研究では、屋内で各IoTデバイスのIDとその位置関係を可能な範囲で自動把握するためのマッチング手法を提案しています。プライバシー保護の程度によってエリアはパブリックエリアとプライベートエリアに分類されるため、提案手法では二つのエリアに対処するマッチング手法をそれぞれ提案しています。パブリックエリアでは、デバイスIDと位置を把握するためのツールを装備したITワーカーまたはロボットを配備できることを前提に、BluetoothやWi-Fiモジュールなどの無線通信モジュールを備えたIoTデバイスから定期的に発信される無線パケットのRSSI情報をもとに、位置推定技術を活用することでIoTデバイスの位置を推定しています。一方、家庭などのプライベートエリアでは、ITワーカーやロボットなどを配備できない場合があります。このため、センサーからのイベントのシーケンスに基づいて距離を推定し、屋内レイアウトを活用し、屋内マップ上のデバイスを割り当てるためのマッチングアルゴリズムを提案しています。特に本研究では、1)作業員が現場調査方法を実行できる建物の暖房、換気、および空調 (HVAC) システムを配置しようとする場合と、2)スマートホームでロケーションデバイスマッピング手順が居住者の助けなしに自動的に行われる場合を対象に、その性能を評価しています。</p> <p>パブリックエリアを対象としたスマートビルディングのHVACシステムのマッチング手法では、Bluetooth Low Energy (BLE) モジュールを各HVACの屋内ユニットに接続し、定期的に制御メッセージが発信されることを前提に、スマートフォンを携帯した観測者が建物内を歩き回って各BLEデバイスからの無線信号強度の変化を収集することにより、各BLEデバイスのIDと位置の関係を自動で把握する手法を考案しています。二つのオフィスビルで実際にBLEデバイスを各HVACの屋内ユニットに配置した実証実験では、少なくとも70%のBLEデバイスのIDと位置の関係を自動で正確に把握できることを確認しました。</p> <p>プライベートエリアを対象としたスマートホームでのマッチング手法では、モーションセンサーなどの各IoTデバイスが定期的に制御メッセージを発信しないことを前提に、各デバイスの位置推定や居住者の行動把握のための二つの位置推定手法を考案しています。一つ目の方法では、居住者の滞在時間の特性を考慮して、その居住者が滞在するエリア (部屋、廊下、階段など) を特定する方法を考案しています。二つ目の方法では、デバイス間の相対的な距離を推定するために、二つのデバイス間の移動時間を考慮しています。適切なマッチングアルゴリズムを使用することで、3日間の観察後に各デバイスの位置や居住者の滞在エリアなどを80%以上の正確さで把握できるようになりました。</p> <p>これらの貢献は、スマートビルディングやスマートホームにおけるIoTデバイスの位置把握のみならず、それらの建物における様々な人やモノの行動把握を目的とするアプリケーションにも適用でき、今後の都市や建物のスマート化に貢献する研究であると考えられます。</p> <p>よって、本論文は博士 (情報科学) の学位論文として価値のあるものと認める。</p>			