

論文内容の要旨

博士論文題目 An Empirical Study of Joint Crowd Counting and Localization
System based on Wireless Sensing and Machine Learning

(無線センシングと機械学習に基づく群衆の人数・位置同時推定システムの実証研究)

氏 名 CHOI HYUCKJIN

(論文内容の要旨)

Human sensing techniques such as activity recognition, localization, and crowd estimation, have been continuously studied since the human population in the modern society has gone beyond the range of manual processing. Until now, many human sensing techniques have been mainly performed by vision-based approaches using cameras, however, the camera could not always become an appropriate solution in all situations or entire area of interest due to its critical constraints. This is the major reason why WiFi sensing-based methods are now highly spotlighted thanks to WiFi's ubiquity and fine-grained source data like channel state information (CSI). In this thesis, a joint crowd estimation system for crowd counting and localization by leveraging WiFi sensing and machine learning (ML) has been addressed. So far, crowd counting and localization have been mostly considered as the separate topics. On the other hand, vision-based crowd estimation system can intuitively estimate the crowd size and the location of human cluster at the same time. We are inspired by the idea that the same thing a camera can do also can be performed by WiFi sensing. As part of our observations, the fluctuation level of CSI amplitude shows monotonic relationship with the crowd size, meanwhile, a particular shape of CSI curve in subcarrier domain implies the location of people gathering at. By investigating these CSI characteristics, we found that WiFi CSI sufficiently contains the information that reveals dynamic (size of a moving crowd) and static state (location of the crowd) of a WiFi channel. By this work, we demonstrate the feasibility of joint crowd counting and localization by the combination of WiFi sensing and ML, and practically construct the system in real environment, and empirically provide various analytic results obtained by the practical experiments. As a result of real-environment experiments, we achieved 0.35 median absolute error (MAE) of counting and 91.4% of localization accuracy with five people in a small-sized room, and 0.41 MAE of counting and 98.1% of localization accuracy with 10 people in a medium-sized room.

(論文審査結果の要旨)

本論文では、あらゆる環境に遍く浸透している WiFi の信号を用いて、屋内環境に存在する群衆を推定する手法の実現を目指した。特に、特殊な装置を必要としない WiFi Channel State Information (CSI) に着目し、CSI に関する特徴をうまく選定した機械学習モデルを構築することで、既存研究より高精度な群衆推定を実現した。本研究の学術的貢献は以下のとおりである。

- (1) 第一に、群衆の人数だけでなく群衆の位置も同時に推定できる実時間同時群衆推定システムの実現性を実証した。
- (2) 第二に、普及デバイスである ESP32 ノードと CSI ツールキットが WiFi センシングプラットフォームとして有望であることを検証し、中規模の群衆推定に十分なセンシング分解能を有することを示した。
- (3) 第三に、5 人程度の小規模会議室と 10 人程度の中規模セミナールームの 2 つの実環境で実用的な検証を行った。
- (4) 第四に、時間的に変化する環境要因による CSI の傾向変化を反映するために、一つ抜き交差検証、および K 分割交差検証によりシステム性能を評価した。

全体として、本論文は、CSI の時間変化から得られる特徴量を巧みに利用することで、既存手法を凌駕する群衆推定精度を達成しており、WiFi による屋内群衆推定システムの分野において十分な学術的新規性を有していることを確認した。以上より、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。