

# プライバシーを考慮した複数 Bluetooth ビーコンを用いた デバイスフリー屋内測位機構の実現

杉野 恭兵<sup>†</sup> 大園 忠親<sup>†</sup> 新谷 虎松<sup>†</sup>

<sup>†</sup>名古屋工業大学大学院情報工学専攻

## 1 はじめに

ユーザが専用端末を携帯する必要がないデバイスフリー屋内測位 (Device Free Localization : DFL) は、高齢者を対象とした遠隔介護支援などに対して有効であるため、注目されている。具体的には、服薬を必要とする高齢者が薬を飲んだことを、遠隔地の介護者が確認するために、図 1 に示すような薬カレンダーと一緒に、何らかの人感センサを設置する。センサ機器による高齢者の測位における問題点として、測位対象者のプライバシーを守るために、カメラ撮影による測位は好ましくないという点が挙げられる。我々はこれまでに、Bluetooth ビーコンとよばれる無線通信機器からの受信電波強度 (Received Signal Strength Indication : RSSI) を利用した DFL を提案した [1]。不可視の電波を用いることで、測位対象者が「見られている」と感じるものがなくなり、プライバシーが保護されると考える。Bluetooth ビーコンは安価、省電力、設置が容易という利点があるため、複数の機器を広範囲に配置することが可能である。これまでの課題として、人を検出するための RSSI の閾値を手で設定する必要があるという点が挙げられる。本稿では、収集したデータから閾値を自動的に設定する手法を提案し、その有効性を実験によって確かめた。

## 2 Bluetooth ビーコンに基づく人感センサ

本章では、Bluetooth ビーコンを用いた人感センサの概要と、RSSI の閾値の設定 (キャリブレーション) 方法について説明する。2.4 GHz 帯の Bluetooth 電波は、水やコンクリートなどの材質に吸収および反射される性質がある。人体もそれらと同様に、水分を含む



図 1: 薬カレンダー

障害物であるので、Bluetooth 送受信機間に人が立つことで、受信機側では平常時よりも RSSI が低下する。我々は、上記の Bluetooth 電波の減衰を利用して、デバイスフリーな測位システムを実現した。Bluetooth 電波は薄いプラスチック程度の物質ならば透過するので、高齢者から隠すように設置することが可能である。RSSI は、測位対象の部屋の家具の配置や空気中の水分によって干渉を受ける。晴れの日と雨の日とでは、それぞれの RSSI の平均値が 10 dB 程度異なるため、遠隔地の介護者による人検出のための RSSI の閾値のキャリブレーションが困難である。

この問題を解決するために、複数の Bluetooth ビーコンから取得した RSSI の組 (RSSI ベクトル) の集合にクラスタリングを適用する手法を提案する。一定期間に取得した RSSI ベクトルに対して、2 クラスタに分けるクラスタリングを行うことで「Bluetooth 送受信機間に人がいる場合」「人がいない場合」に分類できることを実験によって示す。

## 3 実験・評価

人を検出するための RSSI の閾値を自動的に設定することを目的とした実験を行った結果、95%以上の精度で検出可能であることを明らかにした。具体的には、複数の Bluetooth ビーコンから取得した RSSI ベクトルの集合に対してクラスタリングを行い、その精度が

Implementing a Device-free Indoor Localization System using Multiple Bluetooth Beacons in Consideration of Privacy

Kyohei SUGINO<sup>†</sup>, Tadachika OZONO<sup>†</sup> and Toramatsu SHINTANI<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology.

表 1: 実験機器および設定

測定場所	6m × 10m の会議室
送信機	MyBeacon MB004 (3 個)
受信機	MacBook Pro Retina 13
測定間隔	1 秒
測定回数	各 1,000 回
被験者	20 代男性

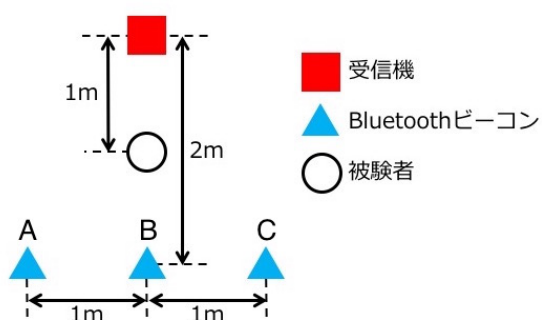


図 2: 実験環境

ら評価した。実験機器および環境を、表 1 および図 2 に示す。本手法では、教師なし学習として非階層型クラスタリングを用いた。Bluetooth ビーコンによる DFL のキャリブレーションを自動化するための基礎として、ユーザが Bluetooth 機器間に「いる」「いない」という 2 つのクラスタに設定して、K-means 法によって RSSI ベクトルを分類した。

3 個の Bluetooth ビーコンを用いて、合計 2,000 個の RSSI ベクトルを 2 クラスタに分類した結果を図 3 に示す。機器間に人がいる場合に RSSI は減衰するので、図のクラスタ 2 は人がいる場合の RSSI ベクトルのクラスタであるといえる。単純な人の有無を分離する場合、RSSI の閾値は線形に設定できると考えられる。利用する Bluetooth ビーコンの数 (RSSI ベクトルの次元数) を変えてクラスタリングした結果を、図 4 に示す。適合率、再現率および F 値によって評価した。利用する Bluetooth ビーコンを増やすほど精度が向上しており、3 個の Bluetooth ビーコンを用いた場合は F 値が 0.97 であった。この結果から、被介護者の部屋に図 2 のように機器を設置すれば、95%以上の精度で被介護者を検出することができると考えられる。前述した湿度による RSSI の変動を考慮すると、RSSI ベクトルのクラスタリングによる閾値の設定の間隔をどうするかという点が今後の課題となる。

● クラスタ1  
▲ クラスタ2

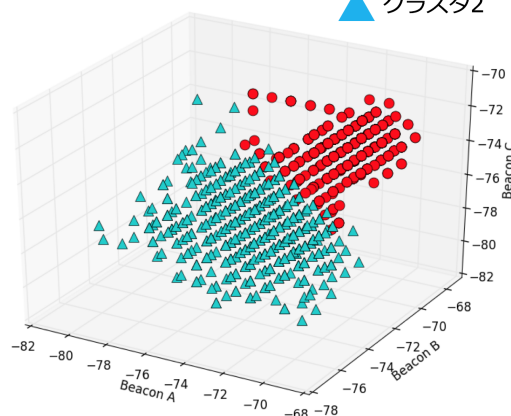


図 3: クラスタリング結果

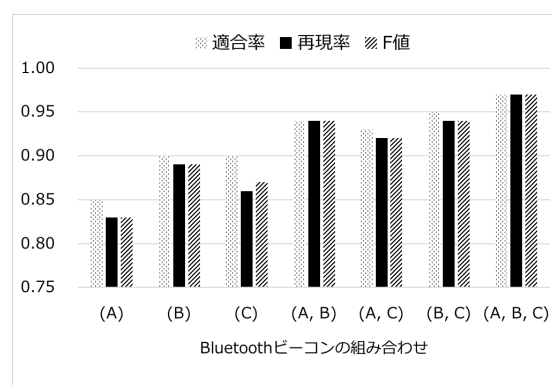


図 4: Bluetooth ビーコンの組み合わせごとの精度

#### 4 おわりに

本稿では、プライバシーを考慮した遠隔介護支援の手法として、Bluetooth 電波強度に基づく人感センサによるデバイスフリー測位機構について述べた。RSSI ベクトルに対するクラスタリングによって自動的に閾値を設定することで、95%以上の精度で人の検出が可能であることを実験によって示した。人検出のための RSSI の閾値を自動的に設定することで、遠隔地の介護者によるキャリブレーションを必要とせずに高精度な測位が可能となる。

#### 参考文献

[1] K. Sugino, et al., “Developing a Human Motion Detector using Bluetooth Beacons and its Applications,” Information Engineering Express, Vol.1, No.4, pp.95-105, 2015.