

BLE測位精度向上に向けた2段階チャネル区別測位の初期評価

Initial Evaluation of BLE 2-step Separate Channel Fingerprinting

山本 貴宏¹

Takahiro Yamamoto

石田 繁巳¹

Shigemi Ishida

田頭 茂明²

Shigeaki Tagashira

福田 晃¹

Akira Fukuda

¹ 九州大学院システム情報科学府・研究院 ISEE, Kyushu University

² 関西大学総合情報学部 Faculty of Informatics, Kansai University

1 はじめに

屋内では GPS (Global Positioning System) が利用できないため, BLE (Bluetooth Low Energy) を用いた屋内測位が研究されている。BLE は RSS (Received Signal Strength) を周波数の大きく離れた 3 つのアドバタイジングチャネルによって取得し, 区別せずに統合して用いるため測位精度が低いという課題が存在する。筆者らはアドバタイジングチャネルを区別して測位精度の向上を行う測位システムの研究を進めている [1]。本稿では, BLE 測位精度の向上に向けてチャネル統合測位とチャネル区別測位を段階的に用いる 2 段階チャネル区別測位を提案し, 評価を行う。

2 アドバタイジングチャネル区別測位 [1]

アドバタイジングチャネルは周波数が最大 78 MHz 離れており, チャネルごとに伝搬特性が異なる。一般的な BLE では, 取得した RSS はチャネル関係なく平均して統合されるため大きく変動する。[1] では送信機のチャネルを周期的に変更し, パケット情報を一部書き換えることでチャネル区別を実現した。チャネルを個別に扱うことによって, RSS の変動の低減と RSS 情報量の増加を可能とした。

チャネル区別測位はフィンガープリント測位 [2] により行う。フィンガープリント測位は学習フェイズと測位フェイズに分けられ, 各フェイズで RSS データ X を収集する。 X は n 個のビーコン送信機からアドバタイジングチャネルの ch37, ch38, ch39 を区別して取得し, 次のように表せる。

$$X = \{r_{1,37}, r_{1,38}, r_{1,39}, r_{2,37}, \dots, r_{n,39}\} \quad (1)$$

$r_{i,37}, r_{i,38}, r_{i,39}$ ($i \in n$) はそれぞれのチャネルで一定時間取得した RSS サンプルの中央値を用いる。学習フェイズではエリアの複数地点で X を収集し, フィンガープリントとして保存しておく。測位フェイズでは測位対象地点で X を取得する。各フィンガープリントとのユークリッド距離を計算して最も距離が小さい近傍点を k 個選択し, 距離を重みとして重心座標を計算する $k\text{-NN}$ (k -Nearest Neighbor) を用いて測位対象位置を推定する。

チャネル区別測位はチャネルを区別しないチャネル統合測位と比較して測位精度を向上させた。しかし, 累積誤差の 90% 以降には 6 m を超える大きな誤差が残るという課題が存在した。

3 2 段階チャネル区別測位

2 段階チャネル区別測位のキーアイデアは, チャネル統合測位とチャネル区別測位のそれぞれの測位傾向を活用することである。チャネル統合測位では測位誤差が小さな部分の累積割合はチャネル区別測位より高い。測位誤差の小さな割合の高いチャネル統合測位と測位精度の優れるチャネル区別測位とを組み合わせることで全体の測位誤差を削減する。

図 1 に 2 段階チャネル区別測位の概要を示す。2 段階チャネル区別測位はチャネル統合測位を行う疎推定とチャネル区別測位を行う精密推定の 2 段階の測位で構成される。学習フェイズでは各地点で RSS データ X を取得してフィンガープリントを作成し, 测位フェイズにて測位対象の取得した X に対して疎推定と精密推定を行なう。

疎推定ではチャネルの区別をしないため, X の ch37, ch38, ch39 の 3 チャネルを統合した n 次元 RSS データ \hat{X} でフィンガープリント測位を行なう。 \hat{X} は (1) と同様に次のように表せる。

$$\hat{X} = \{\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3, \dots, \bar{r}_n\} \quad (2)$$

\bar{r}_i ($i \in n$) は $r_{i,37}, r_{i,38}, r_{i,39}$ を求めるために使用した全 RSS サンプルの中央値である。疎推定では学習フェイズで取得したエリア内全てのフィンガープリントと測位対象の取得した \hat{X} を比較して仮座標を推定する。

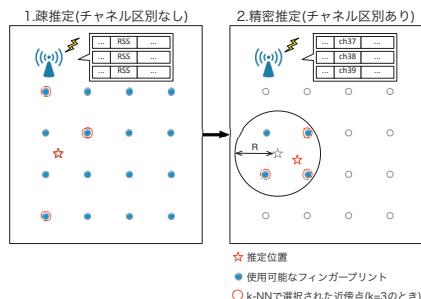


図 1 2 段階チャネル区別測位概要

精密推定ではチャネル区別測位を行う。このとき, 図 1 中の黒円で示すように疎推定の仮座標から半径 R m 以内のエリア内のフィンガープリントのみを用いて測位を行う。チャネルを区別した $3n$ 次元 RSS データ X を用いて限定されたエリア内でフィンガープリント測位を行い, 推定された座標を 2 段階チャネル区別測位の結果とする。

精密推定を行う際に, 疎推定で求めた座標から半径 R m 内にフィンガープリントが k 個存在しない場合は測位不能となるため, 使用する半径 R の設定はフィンガープリントの間隔と環境により決定する。

4 評価実験

4.1 評価環境

図 2 に評価環境を示す。評価は九州大学伊都キャンパスウエスト 2 号館 7 階東側廊下の最大 19 m × 32 m のエリアで行った。エリア内に $n=24$ 個の送信用 BLE ビーコンを設置して, 各 BLE ビーコンは 30~32.5 ms ごとに送信を行い, 5 回送信するごとにチャネルを切り替えた。ビーコン信号の取得は学習フェイズ, 測位フェイズとともにノート PC にてチャネルを区別して行った。学習フェイズではフィンガープリントを 2 m 間隔の計 46 地点, 測位フェイズでは 7 地点でそれぞれ 120 秒間収集した。測位を行った廊下の幅が約 2 m と狭かったこと, フィンガープリントの間隔を 2 m としたことから, $k\text{-NN}$ で用いる近傍点個数 $k=2$ 個, 精密推定で利用するエリアの半径 $R=3$ m とした。

提案手法の評価を行うためにチャネル統合測位, チャネル区別測位 [1], 提案手法を用いた場合でそれぞれ測位計算を行なった。チャネル統合測位は疎推定と同様に 3 つのチャネルで取得した RSS サンプルの中央値を用いる。

4.2 評価結果

図 3 に測位誤差の累積分布を示す。[1] では全体の誤差の 90% 収まる値を測位精度としたが, 90% 以降に大きな誤差が残ったことから測位精度はより厳しい 95% の誤差が收まる値を評価した。図中の水平の赤線は累積確率 95% 地点を示す。

チャネル統合測位, チャネル区別測位, 2 段階チャネル区別測位を用いた場合での測位精度はそれぞれ 6.76 m, 2.60 m, 2.01 m であり測位精度の向上が確認できた。提案手法による測位精度は [1] のチャネル区別測位と比較して約 $(2.60 - 2.01)/2.60 * 100 = 22.7\%$ 向上了。提案手法では特に測位誤差が全体の 90% を超えた範囲にて大幅な改善が見られた。これは疎推定によって大きくずれて推定されていた座標が推定エリア内で精密推定により補正され, 真値に近い値が得られたためと考えられる。

5 おわりに

本稿では, 屋内 BLE 測位精度向上に向けてチャネル統合測位とチャネル区別測位を段階的に用いた 2 段階チャネル区別測位手法を示した。九州大学廊下での実証評価を通じて, 測位精度の向上を確認した。

謝辞

本稿で示した研究の一部は, 科研費 (JP15H05708, JP17H01741, JP18K18041) 及び東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究の助成で行われた。

参考文献

- [1] S. Ishida et al., "Evaluation of BLE Separate Channel Fingerprinting in Practical Environment," Proc. IEEE IIAI-AAI, pp.121–124, July 2018.
- [2] P. Bahl et al., "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," Proc. IEEE INFOCOM, pp.775–784, Mar 2000.

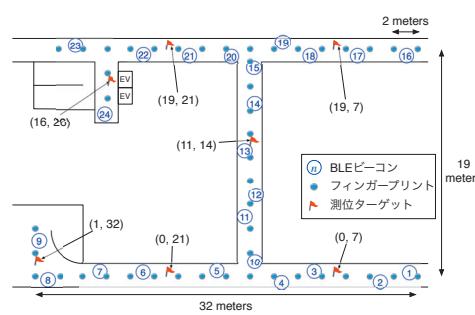


図 2 実験環境

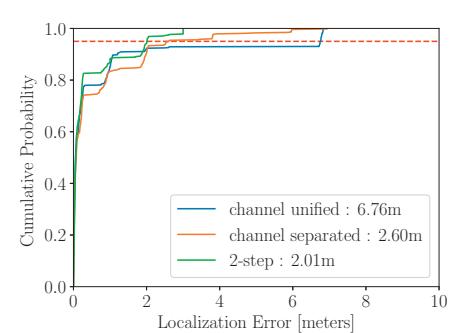


図 3 測位誤差の累積分布関数
Copyright © 2019 IEICE