7S-08

都市 Wi-Fi アクセスポイントの３次元位置データベース自動構築とその活用

天野 辰哉 *1　　梶田 宗吾 *1　　山口 弘純 *1　　東野 輝夫 *1　　高井　峰生 *1,*2
*1 大阪大学 大学院情報科学研究科　　*2 カリフォルニア大学ロサンゼルス校
{t-amano, s-kajita, h-yamagu, higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

1　はじめに

東京オリンピック・パラリンピック開催を 2020 年に控え，パブリックスペースにおける Wi-Fi の可用性向上やユーザビリティ向上に向けた動きが活発となっている．一方で人口集中都市の中心部ではオフィスの集中，屋外用 Wi-Fi アクセスポイント (AP) の無秩序かつ過密な設置，モバイルルーターの急増などにより，AP 数とデバイス数は増加の一途を辿っており，過密環境における混沌とした周波数利用状況に拍車をかけている．

このような問題に対し我々は IEEE802.11a/g/n など既存アーキテクチャの範疇で，各 AP の周波数再利用を自律的に効率化させることを目標に，干渉環境センシングのコンセプトに基づく AP チャネル選択により過密干渉を制御する技術を開発している [1]．しかし，このような AP 間干渉回避技術の多くは固定設置型の AP 間の空間利用率を向上することに主眼を置いており，スマートフォンのような移動型通信端末や，モバイルルーターのような移動型 AP などを含めた個々の通信品質の向上を直接目指したものではない．

これに対し，war-driving やクラウドソーシングにより Wi-Fi の観測データを収集し Wi-Fi 通信状況を地点ごとにデータベース化し，Wi-Fi 接続品質予測およびクライアントの通信品質向上に活用する試みが以前よりなされている [2, 3]．その一方で，協力者の数や行動パターンによっては十分な観測密度が得られない地点も多く，都市広域を面的にカバーする情報を観測データのみに頼ることは現実的ではない．観測点間の補間などの技術も提案されているが，特に都市部においては建造物による複雑な地形により，観測地点の近隣地点でも電波状況が大きく異なることも多い，したがって，十分でない観測数から都市広域の電波状況を正しく推定する技術は未だ十分でないといえる．

本稿ではクラウドソーシングを活用し，スマートフォンユーザによる AP からのビーコン観測データをクラウドサーバに集約するとともに，シミュレーションを併用して，都市環境における AP の 3 次元位置データベースおよび Wi-Fi 信号の受信強度地図（電波強度地図）を効率よく生成する手法を提案する．

2　システム概要

システムの全体像を図 1 に示す．本システムは，スマートフォンで AP からのビーコンの観測データを収集するスマートフォンユーザ（協力歩行者），観測データを収集し AP 位置推定およびシミュレーションにより電波強度地図を生成するクラウドサーバ，生成した電波強度地図や AP の情報を蓄積するデータベースの 3 つの要素から構成される．本システムの入力となるデータは都市部における

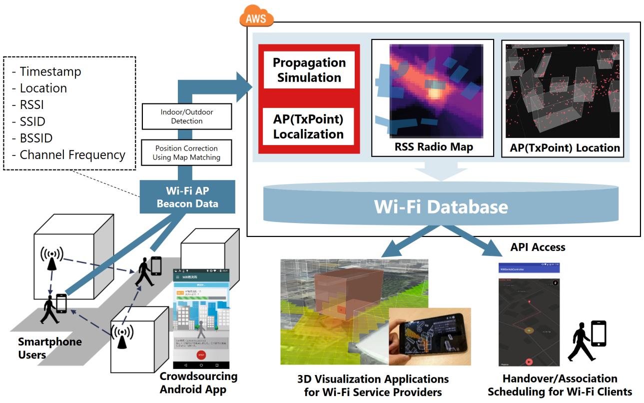

図 1　Wi-Fi データベース自動構築システム

AP からのビーコンの観測データである．ビーコンの観測データとして収集するのは，観測された AP のビーコンから取得可能な受信信号強度（RSS），AP の ESSID および BSSID（MAC アドレス），使用チャネルとする．

収集された全 AP の観測データをもとに AP ごとに電波強度地図を生成しデータベースに蓄積する．電波強度地図は屋外の任意の地点における，ある AP からの受信信号強度（RSS）の値を保持する 2 次元地図である．またデータベースには AP の電波強度地図だけではなく，後述する AP の仮想的な位置（これを**電波発信点**とよぶ）も含まれている．

ある AP の電波発信点は，その AP が存在する建造物の壁面のいずれかに AP が存在するとみなした場合の位置である．推定には，複数のスキャン地点における当該 AP の RSS 値に基づくシンプルなレンジフリー 3 次元位置推定法を用いる．以上のように得られた電波強度地図，実観測データ，電波発信点情報，使用チャネル情報，ESSID/BSSID を，AP およびスキャン地点（あるいは補間地点）ごとにデータベースに蓄積する．

データベースに蓄積されたこれらの情報は，REST API サーバを通して Wi-Fi クライアントに提供される．またデータベースの内容は Web アプリケーションを通して 3 次元可視化している．

3　提案手法

収集されたある AP の観測データから，電波発信点の位置と電波出力強度を推定し，電波強度地図を生成する手続きは，以下の 3 ステップで構成される．

1. 建造物壁面上の電波発信点存在区画の推定
2. シミュレーションによる RSS 値と実観測 RSS 値のフィッティングによる電波発信点の推定

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

3. 電波発信点の出力強度の推定

電波発信点の存在区画は複数のスキャン地点での RSS 値を用いた存在範囲推定により算出する．具体的には，各受信地点を中心とし，同地点の RSS 値から推定される AP までの最大推定距離を半径とする球を求める．この球を存在領域と呼び受信地点ごとに求める．なるべく AP を存在領域の球に含み，かつ球半径をできるだけ抑制できるよう，RSS から球半径を求めるために自由空間伝搬損失を利用する．またスキャン地点のうちビーコンを観測できなかった非受信地点の情報を利用し，存在領域とは逆に，ある AP が存在しないと考えられる非存在領域を求める．非受信地点ごとに，AP が存在しない領域（非存在領域）を，存在領域と同様に球で表現する．非存在領域の球の半径は経験的に 10m とする．

すべての受信地点と非受信地点から求めた存在領域の集合 $\overline{S}$ と非存在領域の集合 $\overline{S}$ をもとに建物壁面上の電波発信点の存在区画を推定する手法を述べる．まず周囲の建物の壁面をタイル状に分割し，タイルごとに，タイル内部に電波発信点が存在する尤度 $\mathcal{L}(t)$ を式（1）により求める．

$$\mathcal{L}(t) = \sum_{s \in S} intersects(t, s) - \sum_{\overline{s} \in \overline{S}} intersects(t, \overline{s}) \quad (1)$$

ただし，

$$intersects(t, s) = \begin{cases} 1 & (\text{タイル } t \text{ が球 } s \text{ に含まれる}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases}$$

このように周辺建造物のすべてのタイルについてその尤度を求め，最大尤度のタイル（一般には複数）を電波発信点の存在区画とする．

$$\min_{p \in P} \frac{1}{|P|} \sum_{i \in I} |\hat{R}_{m_p,i} - R_i| \quad (2)$$

電波発信点の決定手順の詳細は以下の通りである．まず電波発信点の存在区画内のタイルごとに，タイルの中心に電波発信点を設置したシミュレーションを実行し，存在区画内のタイル数分の電波強度地図を取得する．以下，電波発信点位置 p に対し取得した電波強度地図を m_p と表す．また，受信地点 $i \in I$ での観測 RSS 値 R_i に対し，同地点における電波強度地図 m_p 上のシミュレーションによる RSS 値を $\hat{R}_{m_p,i}$ で表す．式（2）に示すように各電波強度地図 m_p について受信地点で得られている観測データとの誤差を計算し，それを最小化する発信点位置 p を電波発信点の位置として決定する．位置決定の際のシミュレーションでは電波発信点の出力強度は-10dBm としている．

また電波発信点位置決定後，出力強度を-20，-10，0，10 dBm の 4 パターンに変化させてシミュレーションを行い，同様に得られた電波強度地図と実測 RSS の誤差を最小化する出力強度を求め，得られた電波発信位置における電波の出力強度とする．

なお，本研究におけるシミュレーションにはネットワークシミュレータ Scenargie を，電波伝搬モデルには Vertical Plane Urban Propagation を利用した．

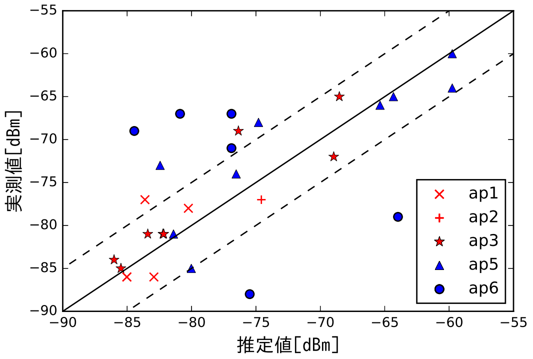

図 2　RSS 推定誤差

4　実験と評価

提案手法の精度を評価するため，大阪大学吹田キャンパス情報科学研究科棟周辺で実験を行った．AP1 から AP6 までの 6 基の AP を研究科棟内部に設置し，建物の周辺をスマートフォンを保持して歩行することで計 246 地点の Wi-Fi ビーコンの観測データを収集し，電波発信点位置推定および電波強度地図の生成をおこなった．AP4 は設置個所が建物の上層階であったため，地上では観測データが得られなかった．電波発信点の位置推定誤差の平均値は 14.65 m であり，また追加で取得した評価用の 29 の観測のうち 19 の観測において RSS の誤差が ±5 dBm 以内に収まった（図 2）．

5　まとめ

本稿ではクラウドソーシングと電波伝搬ミュレーションを併用して，都市環境における Wi-Fi アクセスポイントの 3 次元位置データベースを効率よく生成する手法を提案した．データ収集から推定・可視化までを行うシステムを実装し，大阪市内の電波発信点位置・電波強度地図データベースを構築している．

6　謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP15H02690, JP26220001 の助成および東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究による．

参考文献

[1] Kajita, S., Amano, T., Yamaguchi, H., Higashino, T. and Takai, M.: Wi-Fi Channel Selection Based on Urban Interference Measurement, *Proc. of EAI Mobiqutous 2016*, pp. 143–150 (2016).

[2] LaMarca, A., Chawathe, Y., Consolvo, S., Hightower, J. et al.: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, *Pervasive computing*, Vol. 3468, Springer, pp. 116–133 (2005).

[3] Koo, J. and Cha, H.: Localizing WiFi Access Points Using Signal Strength, *IEEE Communications Letters*, Vol. 15, No. 2, pp. 187–189 (2011).

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.