ユーザログを用いたWi-Fi電波モデルの経年劣化検出手法の提案

川中 麻記子[1] 原田 翔平[1] 村尾 和哉[1] 望月 祐洋[2] 西尾 信彦[1]

概要：近年，GPS の電波が届きにくい屋内や地下での測位手法として Wi-Fi 測位が注目されている．Wi-Fi 測位では事前に測位を行うエリアの電波を収集し，作成した電波モデルを利用して測位を行う．しかし，事前に作成した電波モデルは基地局の消滅や移設により経年劣化し，測位精度が低下する要因となる．. しかし，現状では，電波モデルに経年劣化が生じているのかを知ることができないため，更新前に更新を行う必要性を評価できないという問題がある．そこで本研究では，ナビゲーションアプリによる電波観測ログを利用し，Wi-Fi 測位に使用する基地局の電波モデルの経年劣化を検出する手法を提案する．基地局の出現，消滅，移設を検出することで，電波モデルの経年劣化を検出する．基地局の出現，消滅は各々の基地局が観測される日付間隔の平均と標準偏差の和を閾値として検出をする．基地局の移設は，安定した基地局は毎回同じ基地局と一緒に観測されるという共起性を利用して検出する．評価実験では本研究室が提供している大阪梅田地下街のナビゲーションアプリ「うめちかナビ」の電波観測ログを使用した．評価実験の結果，一定日数以上観測された基地局について，基地局の出現および消滅を検出できることを確認した．

1. はじめに

近年，加速度センサをはじめとするさまざまなセンサ群や GPS 受信機，Wi-Fi や Bluetooth 等の無線通信機を搭載した携帯端末が普及している．これに伴い，携帯端末から取得されたログから，ひとりひとりのユーザに特化したサービスへの関心が高まっており，なかでも位置情報コンテキストを活用したサービスが注目を集めている[*1*2*3]位置推定には GPS が主流であるが，GPS の電波が届きにくい屋内では測位が困難である．そこで，屋内の位置推定に Wi-Fi や Bluetooth を利用した研究 [1][2] や角速度，加速度を利用して歩行距離や移動方向を推定する PDR（歩行者自律航法）の研究が行われている [3]．なかでも Wi-Fi 基地局（以下，基地局）は既に公共施設などで設置が進んでおり，追加の設置コストが無く，導入が容易な Wi-Fi 測位が注目されている．Wi-Fi 測位の手法の多くは事前に各基地局の電波の地点毎の強度を電波モデルとして作成し，これを利用して測位する．しかし，事前に作成した電波モデルは基地局の消滅や移設により経年劣化する．経年劣化した電波モデルを使用すると測位精度が低下する可能性がある．また，一般的に Wi-Fi 測位では使用する基地局の数が多いほど測位精度が高くなるため，新たに設置された基地局を含んだ電波モデルを作成し，使用することで測位精度の向上が見込まれる．そのため，高精度の測位を行うためには電波モデルの定期的な更新が必要となる．電波モデルの更新は現地に赴き，更新を行う全ての基地局の電波を収集する必要があり手間が多い．加えて，電波モデルに経年劣化が生じているのかを知ることができないため，更新前に更新を行う必要性を評価できないという問題がある．また，従来では Wi-Fi 測位に利用する基地局は，Extended Service Set Identifier(ESSID) の文字列からキャリアが運用すると考えられる基地局などのように，ヒューリスティックに選ばれており，時間の経過による基地局の出現・消滅・移動を考慮できていない．そこで本研究ではナビゲーションアプリの電波観測ログを収集することで基地局の出現・消滅・移動を検出し，事前に作成した電波モデルの経年劣化を把握すると共に，Wi-Fi 測位に利用すべき基地局を選出する．

1 立命館大学 情報理工学部
Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
2 立命館大学 総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

*1 GoogleNow. ＜https://www.google.com/intl/ja/landing/now/＞ (2016/12/02 アクセス).
*2 Swarm. ＜ https://ja.swarmapp.com/＞ (2017/03/01 アクセス).
*3 Foursquare. ＜ https://ja.foursquare.com/＞ (2017/03/01 アクセス).

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

図 1　ある基地局の電波モデルの例

2. 関連研究

2.1 Gaussian Mixture Model(GMM) を用いた基地局の位置推定

河口ら [4] は複数の正規分布を線形結合したものである GMM を用いて基地局の位置推定を行い，電波モデルを作成した．GMM の各正規分布は平均 μ と分散共分散行列 Σ，混合係数 π_k をパラメータにもち, それらを EM アルゴリズムによって求める．このように各基地局ごとにモデル化することで Wi-Fi 測位をするための電波地図 (GMM map) を作成する．モバイルルータのような一時的にしか存在しない基地局は GMM map が作成できないため，モデル化の段階で測位精度を下げる基地局であるとして排除している．

2.2 基地局の確率分布を利用した基地局の移設判別

藤木ら [5] は各基地局の確率分布 P_i のパラメータに基地局の電波のマルチパスやフェージングの影響を考慮した基地局ごとの値 α を設定し，P_i の値から移設を判定している．

まず，いくつかの場所で電波収集し，減衰係数 α を決め，その基地局の減衰係数 α や基地局の位置をデータベースに登録する．減衰関数が α である基地局 AP_i(i=1,2,3...) から距離 r のところで電波強度 S_i である確率分布 $P_i(\alpha, r, S_i)$ を統計的に求める．AP_i からの電波強度が電測結果と一致する確率

$$P_1 \times P_2 \times ... \times P_n = \prod_{k=1}^{n} P_k(\alpha, r, S_k)$$

が最大のときの位置を基地局の位置として推定し，P_i が閾値より小さくなった基地局は移設されている可能性が高いとしてデータベースから削除している．

3. 提案手法

3.1 想定環境

本研究では多数のユーザが使用している Wi-Fi 測位を使用したナビゲーションアプリによる電波観測ログを用いることを想定する．また，基地局には以下のような分類が想定される．

- 移動する基地局
- 移設された基地局
- 新たに設置された基地局
- 撤去された基地局
- 断続稼働基地局

表 1　1 回分の観測データの例

2016-09-03 02:10:36		
BSSID	ESSID	RSSI
00:09:b4:70:1d:c7	0002softbank	-55
12:09:b4:70:15:f6	FREE_Wi-Fi_PASSPORT	-80
b4:c7:99:16:07:34	Secured_Wi-Fi	-40

移動する基地局とは携帯端末のテザリングやモバイルルータなど人が持ち歩いている基地局のことで，移動しているため測位に利用すると精度を下げる要因となる基地局である．これは時間経過で観測することにより移動を検出することで排除できたり [6]，GMM map[4] の作成時に取り除くことができるため，本研究ではこの基地局を判別することは目標としていない．基地局の場所が変わる可能性がある場合はモバイルルータ以外にも基地局の設置場所の変更が考えられる．設置場所が変わったにもかかわらず，移設前の電波モデルを使用すると測位精度が低下する．本研究ではこのような設置場所の変更の検出を目標とする．

また，新たに基地局が設置される場合もある．その際，新たに設置された基地局の電波モデルを作成し，利用することで測位精度向上が見込まれるため，新しい基地局の設置を検出をすることも目標とする．基地局は撤去されることも考えられる．基地局が撤去されたにもかかわらず撤去前の電波モデルを使用すると測位精度が低下するため．消滅した基地局を検出することも目標とする．断続稼働基地局とはさまざまな条件で稼働していたり，稼働していなかったりする基地局である．観測が不安定になため測位には向いていない．

よって，本研究では基地局の設置場所の変更と基地局の出現，消滅の検出を行う．

3.2 観察対象となる基地局

本研究で扱う対象としている基地局の定義をする．Wi-Fi の電波伝搬特性より，-75dBm 以上の RSSI は基地局からの距離と比例しているが，それより小さい RSSI は減衰がゆるやかで，距離との関係が弱くなる．そのため RSSI が-75dBm 以上で観測された基地局を観測の対象とする．

3.3 ローカルアドレスの基地局の排除

Basic Service Set Identifier(BSSID) はローカルアドレスの場合，ユーザによって変更することができるため，重複する可能性がある. そのため BSSID が異なって観測されても同じ基地局から発せられている電波であることがある．

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

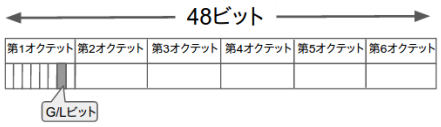

図 2　G/L ビット

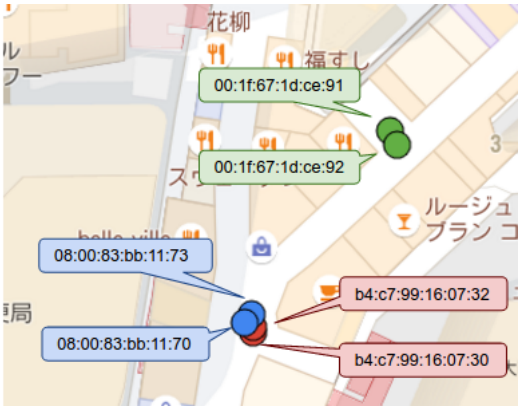

図 3　実際の BSSID とその予測位置

BSSID の第 1 オクテットのビット 0x02 は G/L ビットと呼ばれ (図 2)，1 の場合にはローカルアドレスであることが知られている．したがって G/L ビットが 1 である場合は BSSID が無二でない可能性があるので測位に使用しない．

3.4　同一の基地局から発せられる複数の電波の扱い

ベンダーコードと機種コードである第 5.5 オクテットまでが一致する BSSID は一つの基地局であると考えられるため同一の基地局として扱う．

実際に GMM map[4] により推測された基地局の位置をプロットし，第 5.5 オクテットが一致する基地局ごとに色分けすると図 3 のように，第 5.5 オクテットが一致する基地局はほぼ同じ位置にプロットされ同一の基地局であると考えられる．

3.5　基地局の消滅と出現の検知

一定の期間で観測された日の出現頻度を調べることでその期間中に新たに出現した基地局と消滅した基地局を推定する．

図 4 のように一定期間にナビゲーションアプリから収集された電波ログから基地局の電波情報（BSSID,ESSID,RSSI, スキャンされた時刻）を観測する．各基地局について，その基地局が最初に観測された日と最後に観測された日の間に観測された日について観測された日から次に観測される日までの間隔日数の平均 (μ) と標準偏差 (σ) を算出する．正規分布に基づき，観測された日から約 7 割は前後 $\mu+\sigma$ 日以内に観測されるはずである．これより，最後に観測された日と期間の最終日の間の日数が $\mu+\sigma$ 日より大きかったらその基地局は消滅と考えられる．また，最初に観測された日と期間の初日の間の日数が $\mu+\sigma$ 日より大きかった

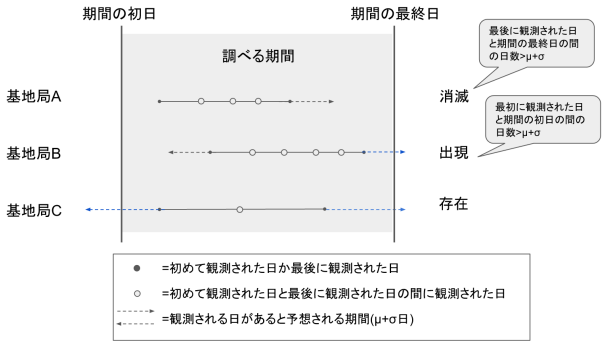

図 4　基地局の時系列解析

ら基地局が新しく出現したと考えられる．そして，最後に観測された日と期間の最終日の間の日数と最初に観測された日と期間の初日の間の日数が $\mu+\sigma$ 日以内であればその期間中存在し続けた基地局であると考えられる．

3.6　基地局の設置場所の変化の検知

(式 (2)) に示されるように，ある基地局 (A) をある期間内に観測された基地局 (A-Z) の数を次元数としたベクトルの集合で表現する．基地局 (A) を含む時刻 t における 1 回分のスキャンについて 1 つのベクトル ($\vec{A_{tn}}$) を生成する．

$$\begin{aligned} \vec{A_{t1}} &= (C_{1_{AA}}, C_{1_{AB}}, C_{1_{AC}}, \ldots, C_{1_{AZ}}) \\ &\vdots \\ \vec{A_{tn}} &= (C_{n_{AA}}, C_{n_{AB}}, C_{n_{AC}}, \ldots, C_{n_{AZ}}) \end{aligned} \tag{1}$$

各次元は期間内に観測された全ての基地局 [A-Z] との組み合わせを表現しており，各基地局 [A-Z] の観測の有無が二値 (1,0) で入る．基地 (A) 自身との組みは特徴ではないため次元 ($C_{n_{AA}}$) は 0 にする．このように，基地局 (A) を含む期間内に観測された全てのスキャンについてベクトルを生成する．基地局 (A) についてのベクトル ($A_{t0}(0 \leqq i \leqq n)$) の重心を $\vec{g_A}$ として分散を式 (2) により算出し，安定した基地局かどうかの閾値とする．一緒に観測される基地局が変わるとベクトルの向きも変わり，基地局の移動を検知することができる．

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\vec{Ati} - \vec{g_A}|^2 \tag{2}$$

この手順で観測された基地局全てについて分散を算出する．一定以上の分散がある基地局は設置場所が変わるなど不安定な基地局である可能性がある．

4.　評価実験

4.1　実験目的

提案手法で観測されたデータを使って実際の基地局を観察し，基地局の出現と消滅，基地局設置場所の変化を検出する．そして，次も観測できる基地局と今後観測されないと予測される基地局を判定する．また，ESSID からキャリ

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

表 2　2 日以上観測された基地局の状態別の数

2日以上の観測された基地局について		各状態の基地局の割合
消滅	439	34%
出現	186	15%
存在	653	51%
合計	1278	

アと思われる基地局がこの手法によりどのように観測されるかを調べ，それ以外の基地局と比べる．

4.2　実験環境

本研究室がリリースしている梅田地下街の位置推定アプリ「うめちかナビ*4 」により，ユーザの端末の Wi-Fi スキャンデータを収集し，梅田地下街全域の基地局の電波情報（BSSID,ESSID,RSSI, スキャンされた時刻）を得ることができる．そのアプリのユーザからアップロードされた基地局の伝播情報を 2016 年 9 月 1 日から 2017 年 1 月 1 日までの 4 ヶ月間 (123 日間) のスキャンデータ (21086 回分) を使って実験する．観測した 4 ヶ月間で 1 回以上観測された基地局の数は 6505 個であった．提案手法を適用するためには 2 回以上観測されている必要があるため 2 回以上観測された 5719 個の基地局のデータを使って各実験を行う．期間中に観測された日数が最多の基地局は 39 日であった．期間中に観測された回数が最多の基地局は 1965 回であった．

4.3　実験結果と考察

4.3.1　基地局の出現と消滅の検知

提案手法で一定の日数（2〜32 日）以上観測された基地局について消滅，出現，存在の状態と推定された基地局の数とその割合を求めると図 2，3，4，5，6 のようになった．各日数以上での各状態の割合をグラフにすると図 5 のようになった．状態別の基地局の数を算出するには 40 分程度かかった．2〜8 日以上観測された基地局までは消滅した基地局の割合が減っており，存在している基地局の割合が上がっている．これは少ない日数しか観測されてない基地局にはモバイルルータなどの観測が安定していない基地局のノイズが多く含まれているからであると思われる．16 日以上観測された基地局に絞ると今度は消滅した基地局の割合が上がり，存在している基地局の割合が下がる．32 日以上観測された基地局は全ての基地局が存在している状態であると推定された．一旦下がっていた存在している基地局の割合は観測日数がさらに増えると増加した．したがって，モバイルルーターなどの一時に観測される基地局が排除され，日数で絞られ過ぎていない，消滅，存在している基地局の割合の変化点である 8 日以上観測された基地局の中に固定の基地局が消滅，出現した可能性があると考えられる．

*4　「うめちかナビ」　＜ http://www.umechikanavi.jp/＞ (2016/12/02 アクセス).

表 3　4 日以上観測された基地局の状態別の数

4日以上の観測された基地局について		各状態の基地局の割合
消滅	125	21%
出現	62	10%
存在	412	69%
合計	599	

表 4　8 日以上観測された基地局の状態別の数

8日以上の観測された基地局について		各状態の基地局の割合
消滅	55	19%
出現	16	5%
存在	222	76%
合計	293	

表 5　16 日以上観測された基地局の状態別の数

16日以上の観測された基地局について		各状態の基地局の割合
消滅	24	34%
出現	2	3%
存在	45	63%
合計	71	

表 6　32 日以上観測された基地局の状態別の数

32日以上の観測された基地局について		各状態の基地局の割合
消滅	0	0%
出現	0	0%
存在	2	100%
合計	2	

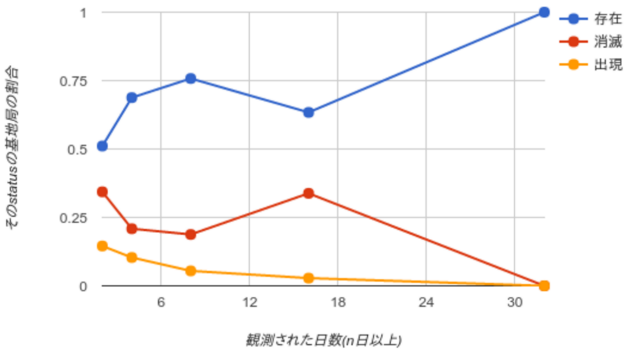

図 5　n 日以上観測された基地局の状態別割合グラフ

4.3.2　基地局の設置場所の変化の検知

提案手法で 2 回以上観測された基地局（5719 個）について分散を算出した．分散の算出にかかった時間は約 20 時間であった．これらの基地局を観測された回数も軸に取りプロットしたものが図 6 である．これらの基地局を観測された日数も軸に取りプロットしたものが図 7 である．どちらも回数，日数が増えるほど分散は 5 に収束していった．

基地局の設置場所が変わった場合にどんな分散を取るのかを調べる．1 スキャンで共起した平均の基地局数は 9 個であった．1 日の平均スキャン数は 11 回であった．そこで毎回 9 個の基地局と観測されるものとして基地局の設置場所が変わった場合の理論値を算出する．設置場所の変更のタイミングは期間の 1/2，1/3，1/4，1/5 にあたる日に行

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

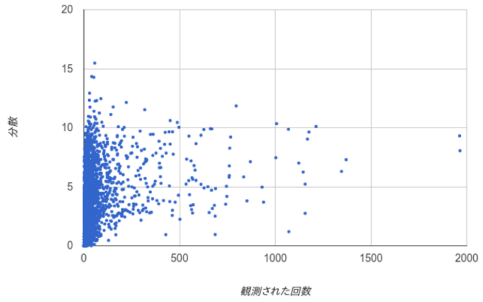

図 6　分散-観測された回数

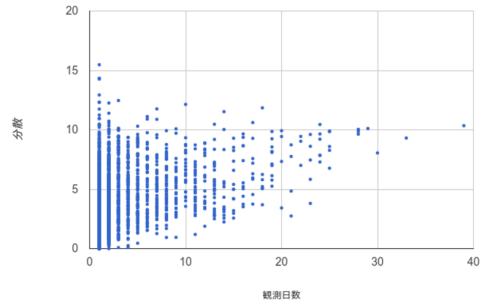

図 7　分散-観測された日数

われたものとして図 8 は回数を軸に，図 8 は日数を軸にとり分散の変化を調べた．回数，日数が多いほど分散はおよそ 5 に収束していくように変化していった．移設が早い段階で起こった基地局の方が少し分散が小さく移設が期間の 1/2 で起こった基地局の方が少し分散が大きくなった．

しかし，実際にはモバイルルータをはじめとする一時的な基地局とも共起して観測されることで移設していない基地局にも分散にゆらぎが出ると考えられる．そこで第**??**節で期間中ずっと存在していたと思われる基地局を 2 つを取り上げ，期間の 1/2，1/3，1/4，1/5 に当たる日に一つ目の基地局からもうひとつの基地局に移設が行われたものとしてそれらの観測データを繋げて分散を算出し，共起性のゆらぎを考慮する．図 10 は回数，11 は日数を軸に取り，分散の変化を調べた．移設が早い段階で起こった基地局の方が少し分散が小さく移設が期間の 1/2 で起こった基地局の方が少し分散が大きい傾向はあるが，回数，日数に関係なく，9 前後の分散であった．よって 9 を超える分散であると基地局の設置場所が変わっている可能性があると考えられる

既存の手法である ESSID からキャリアと思われる基地局（195 個）を今回の手法で分散を算出すると図 12 のような結果になった．ほとんどの基地局の分散は 9 より小さく収まっている．それより超えたいくつかの基地局は設置場所が変わっている可能性があると考えられる．

5.　まとめ

本研究では，ユーザ参加型のアプリから収集した電波情報の観測データのみで基地局の出現と消滅，設置場所の変

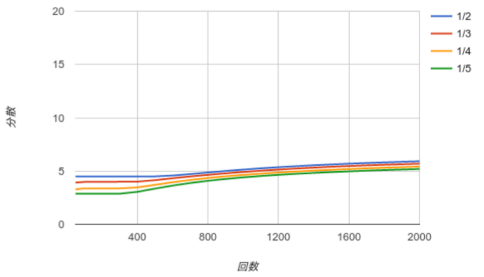

図 8　分散-観測された回数 (理論値)

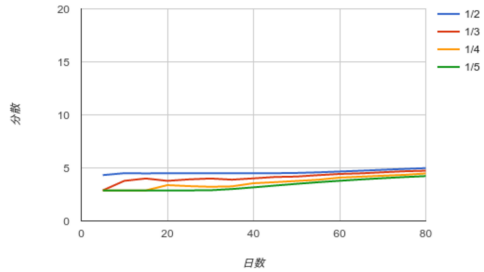

図 9　分散-観測された日数 (理論値)

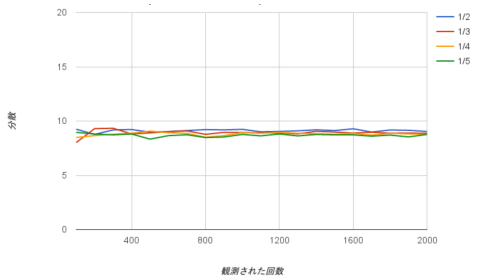

図 10　分散-観測された回数 (共起性のゆらぎを考慮)

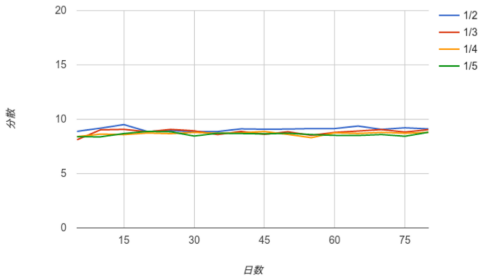

図 11　分散-観測された日数 (共起性のゆらぎを考慮)

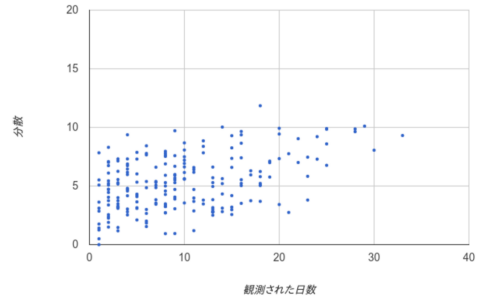

図 12　分散-観測された日 (キャリアの基地局)

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

化を検出する手法を提案した．Wi-Fi 測位では測位アルゴリズム以外に，使う基地局と数によって測位精度が左右される．そのため，基地局の消滅・移動を検出は事前の基地局の電波モデルの経年劣化の把握につながり重要である．

評価実験では実際に観測された 4 ヶ月分のデータを使って基地局の消滅と出現については観測日数の下限を設けることで，環境に設置された固定の基地局の消滅と出現の可能性がある基地局を判別した．基地局の設置場所の変化については各基地局の分散を分散の理論値と共起性のゆれを考慮した値と比べることで設置場所が変更した可能性がある基地局を判別した．また，キャリアの基地局の中からも移設が行われた不安定な基地局として外す候補があった．

提案手法では，解析した単位が日数であるので断続稼働基地局を判別することはできていない．今後は，共起している基地局のベクトルの断続稼働が疑わしい基地局の次元の時間的変化を調べることで不安定な断続稼働基地を判別に取り組む．

参考文献

[1] 暦本純一，塩野崎 敦，末吉隆彦．Placeengine–実世界集合知に基づく wifi 位置情報基盤．インターネットコンファレンス論文集，Vol. 2006, pp. 95–104, 2006

[2] 高階孝敏, 藤井雅弘, 渡辺 裕, 伊藤 篤. Bluetooth 搭載携帯電話を用いた位置認識システムの開発．電子情報通信学会技術研究報告．CS，通信方式，Vol. 108, No. 205 pp. 31–36, sep 2008

[3] 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志. 屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/gps/rfid を統合した組込型パーソナルポジショニングシステム．電子情報通信学会技術研究報告．MVE, マルティメディア・仮想環境基礎, Vol. 106, No. 234, pp. 109–114, Sep 2006

[4] 藤田 迪, 梶 克彦, 河口信夫. Gaussian mixture model を用いた無線 lan 位置推定手法. 情報処理学会論文誌，Vol. 52, No. 3, pp. 1069–1081, Mar 2011.

[5] 藤木慎太郎, 相田 仁. ユーザ参加型無線 lan 位置測定システムにおけるアクセスポイント移設の検出法. 全国大会講演論文集，Vol. 72, pp. 303–304, Mar 2010.

[6] 福崎雄生，安積卓也，西尾信彦．絶対位置情報に依存しない無線 LAN 基地局の移動性判定手法. マルチメディア，分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集，Vol. 2013 pp. 2019–2026

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan