

端末移動に伴う無線LANの電波環境変化に着目した 構造物検出手法

梶 克彦*

名古屋大学大学院工学研究科

河口 信夫*

名古屋大学大学院工学研究科

1. はじめに

本研究は、携帯端末を保持したユーザが屋内を歩行する状況を想定し、端末が受信する無線LANの電波強度の情報をを用いてエレベータや扉のような屋内構造物の通過を検出することを目的とする。本研究で環境側に設置する必要のある設備は無線LANの基地局のみである。無線LANの基地局は多くの建物に複数の設置されており、多くのユーザが常用しているスマートフォン等の携帯端末は無線LANの電波を受信可能であるため、初期導入コストを抑えることができる。提案手法は、加速度、角速度に基づくデッドレコニング手法と組み合わせて累積誤差修正を行ったり、無線LAN位置推定手法と組み合わせてマップマッチングの手掛かりとするなど、様々な応用が考えられるため、実用性の高い技術といえる。

扉のような構造物は電波を遮断または減衰させるため、その地点の通過する前後において基地局の電波強度が急に小さくなったり、大きくなったりすると考えられる。そこで、このような地点を検出するため、歩行速度から導き出される移動距離と、無線LANの距離関数から導かれる距離を比較する。それらが大きく異なる地点を、扉のような構造物が存在する可能性が高いと推定する。

従来の無線LANを用いた屋内位置推定手法は、基地局からの距離と電波強度に関するモデル(距離関数)を用いて三角測量の要領で位置推定する手法(Triangulation) [1] と、あらかじめ観測されたフロア内の電波情報を用いて現在の位置を推定する手法(Scene Analysis) [2] に大別される。一般に、障害物の多い屋内では、電波の反射や遮断などにより単純に距離関数の適用が困難であるため、Scene Analysisによる位置推定が優位とされている[2]。しかし本研究では、距離関数を積極的に使用し、無線LANの電波強度から導かれる推定距離が実際の距離から逸脱しているような地点を発見することで、ドア等の屋内構造物の存在を検出する。

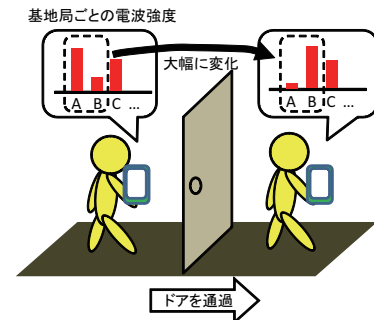


図1: ドアの通過に伴う電波環境の変化

2. 提案手法

屋内には、ドアやエレベータなど、空間を区切る構造物が多く存在する。このような屋内構造物は、無線LAN電波を遮蔽したり、大幅に減衰させる。遮蔽物の素材、電波の種類、基地局の位置などに依存するが、このような構造物に区切られた空間の前後では、大きく電波環境が異なる場合が多い。図1では、端末を保持したユーザがドアを通過する前後で観測された無線LAN電波強度の変化例である。ここではA,B という二つの基地局が、ドア通過の前後で大幅に変化している。

本研究では、無線LAN環境が大きく変化するような地点(以降、無線LAN環境特異点と呼ぶ)にはドアのような構造物が存在する可能性が高いと考え、無線LAN環境特異点を自動検出する手法を提案する。本研究では、一定間隔で無線LANの電波環境を観測する携帯端末をユーザが保持し、屋内を歩行する場面を想定する。ユーザの歩行速度から導き出される移動距離と、無線LANの距離関数から導かれる距離を比較し、それらが大きく異なる地点を無線LAN環境特異点と推定する。

基本的なアイデアを単純な状況を用いて定式化する。考慮する基地局数は1つ(基地局の位置は未知)であるとし、基地局の周りを自由に移動する状況を想定する。時刻 t_1 と t_2 に観測した、ある基地局の電波強度が r_{t1} から r_{t2} であったとする。無線LAN距離関数を f とすると、無線LANの電波強度からの推定移動距離は、 $d = |f(r_{t1}) - f(r_{t2})|$ のように表わせる。また、この時、端末保持者の最大移動速度を v とすると、移動距離は $d_{ref} \leq v(t_2 - t_1)$ のよ

Structural Object Finding Method Based on Variance of WLAN Environment that Involves the Movement of Mobile Device

*Katsuhiko Kaji, Graduate School of Engineering, Nagoya University

*Nobuo Kawaguchi, Graduate School of Engineering, Nagoya University

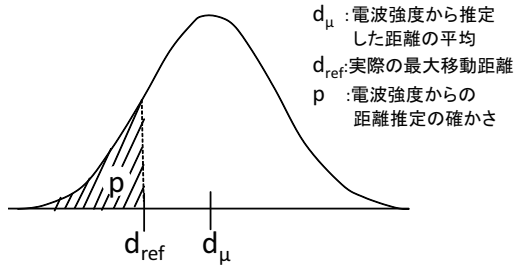


図 2: 電波強度から推定される距離の確からしさ

うに表わせる。よって、 d が d_{ref} を上回っていれば、遮蔽物の影響によって大きな電波強度変化が生じていると判断でき、時刻 t_1 から t_2 の間に移動した範囲に無線 LAN 環境特異点が存在すると判定する。

実環境では無線 LAN 電波強度の揺らぎを無視できない。また、複数基地局の電波情報が同時に観測されることが多い。そこで、電波強度の揺らぎと複数の電波情報を導入し、上述のモデルを拡張する。

まず電波強度の揺らぎの概念を導入する。本研究では、無線 LAN の電波強度の揺らぎは平均 r_μ 、標準偏差 r_σ の正規分布で近似する。このとき、基地局からの距離は平均 $w_\mu = f(r_\mu)$ 、標準偏差 $w_\sigma = f(r_\mu) - f(r_\mu + r_\sigma)$ で近似できる。これより、観測された電波強度を用いた 2 地点間の推定距離は、平均 $d_\mu = w_{\mu1} - w_{\mu2}$ 、標準偏差 $d_\sigma = \sqrt{w_{\sigma1}^2 + w_{\sigma2}^2}$ の正規分布で表わされる。このような電波強度変化において、移動距離が d_{ref} 以下となる確率 (図 2 の斜線部分) は式 1 で表わされる。ここで、 $erf(x)$ は誤差関数である。この確率 p は電波強度から推定される距離の確からしさといえる。電波強度から推定される距離の確からしさが閾値 c 以下となる場合、 t_1, t_2 の観測区間に無線 LAN 環境特異点が存在すると判定する。

$$p = \frac{1}{2} \left(1 + erf \left(\frac{d_{ref} - d_\mu}{\sqrt{2} d_\sigma} \right) \right) \quad (1)$$

次に、複数基地局の電波情報を導入する。 t_1, t_2 において観測された各基地局について、式 1 を計算し、無線 LAN の電波強度から移動距離が閾値以下になる場合はその観測区間に投票する。窓幅 w 以内の複数観測区間に投票されている場合、その窓内で最も投票数が多い観測区間を無線 LAN 環境特異点とみなす。

3. 評価実験

実環境の電波情報を用いた無線 LAN 環境特異点の検出に関する検証を行った。実験設定は表 1 のとおりである。距離関数は Anthony らの用いた Seidel モデルのパラメータを採用した [1]。無線 LAN の電波強度が低い場合、推定距離の分散が広くなりすぎるため、本実験では、 $t, t + \Delta t$ における観測のどちらかで -55dBm を上回っている基地局の電波のみを用いて無線 LAN 環境特異点の検出を行った。

表 1: 実験設定

観測間隔 Δt	1 sec
最大移動速度 v	1 m/s
距離関数 $f(r)$	$-32 - 25 \log_{10} r$
電波強度の揺らぎ r_σ	1 dBm
閾値 c	1%
窓幅 w	10 sec

実験環境は名古屋大学 IB 電子情報館 4F とした。対象となる通路には手動のドアが 3 箇所存在している。被験者は無線 LAN を一定間隔で観測する iPhone を携帯し、定められた速度以下での歩行とドアの通過を繰り返す。各ドアは合計で 10 回通過した。観測時間は約 26 分である。

無線 LAN 環境特異点が検出された観測区間は 23 箇所であり、10 秒以内に実際にドアを通過した割合は約 65% であった。よって、無線 LAN 環境特異点とドアとの関係は 65% であり、必ずしも無線 LAN 環境特異点がドアであるとはいえないことが分かった。全ドア通過のうち無線 LAN 環境特異点として検出できたのは 50% であった。個別のドアの検出率は最大で 90%、最低で 20% であり、ドアによって検出率が大きく異なった。しかし、検出率が低いドアに関しても複数回検出されているため、同一のドアを繰り返し通過すれば無線 LAN 環境特異点として検出される可能性があるといえる。

無線 LAN 環境特異点の検出可能性はドアの材質や基地局の分布に大きく依存するため、一部のドア通過は高確率で検出できるが、ドアによってはほとんど検出できない場合もあると分かった。また、ドア以外の箇所に無線 LAN 環境特異点が検出された理由としては、反射やマルチパスの影響により、大きく電波環境が変化する箇所が存在しているからであると考えられる。

4. 今後の課題

まず、提案手法の精度を向上させるため、加速度センサ等を利用して推定した移動距離と、無線 LAN 電波の距離関数から推定した移動距離を比較することが考えられる。また、同一の無線 LAN 環境特異点の通過を検出する手法を検討中である。

参考文献

- [1] LaMarca, A., Hightower, J., Smith, I., and Consolvo, S. Self-Mapping in 802.11 Location Systems. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp2005)*, pp. 87–104, 2005.
- [2] 梶克彦, 河口信夫. indoor.Locky: UGC を利用した無線 LAN 屋内位置情報基盤. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 12, pp. 3263–3273, 2011.