

# 無線 LAN 環境特異点に基づくゲート通過検出手法

梶 克彦<sup>†1</sup> 河 口 信 夫<sup>†1</sup>

本稿では、ユーザがスマートフォンを携帯して屋内を歩行する状況を想定し、無線 LAN と加速度センサの情報を併用したドア通過検出手法を提案する。ドアは物理的に通路や部屋を区切る構造物であり、無線 LAN の電波はドアによって減衰または遮断される。よって、ドアの前後において電波環境が大きく異なる。我々はこのような地点を無線 LAN 環境特異点と定義し、無線 LAN 距離関数から導かれる移動距離と加速度データから推定される移動距離を用いて特異点検出を行う。特異点が検出された区間をゲート通過区間であるとみなす。実環境においてゲート通過検出手法の評価実験を実施し、半数以上のドア通過を検出可能であることを確認した。また、同一ドアの通過推定に関しては、特定のドアに限り 90%を超える高い精度での推定が可能であることを確認した。

## A Gate Passing Detection Method Based on WiFi Significant Point

KATSUHIKO KAJI<sup>†1</sup> and NOBUO KAWAGUCHI<sup>†1</sup>

We propose a gate passing detection method based on WiFi signal strength and accelerometer of the user's smartphone. Door divides physical areas such as room and hallway. Thus, the WiFi environments of them tend to vary on a large scale. Conversely, it can be said that a gate should exist when the point that the WiFi environment varies on a large scale. We define such point "WiFi Significant Point." We propose the detection method based on WiFi distance function and estimated moving distance according to accelerometer. We evaluated the proposal method and found out that better part of door passing can be detected. We also found that the existence of doors that can be estimated same door passing with a high degree of accuracy.

## 1. はじめに

様々なセンサを搭載したスマートフォンの普及に伴い、ライフログやナビゲーションなど、位置情報サービスの需要が高まっている。屋外では GPS や無線 LAN を用いた測位技術が広く利用可能になってきており、位置情報サービスの利用者は年々増加している。しかし、屋内に関しては、屋外測位技術をそのまま適用することが困難な場合が多く、一般に実用されるレベルには達していない。

屋内位置情報サービスにとって有用な情報の一つとして“ゲート通過”イベントが挙げられる。ゲート通過イベントとは、建物・部屋への出入り、ドア通過といったイベントである。ゲート通過イベントは入室管理、移動経路識別、ライフログなど、幅広いアプリケーションへの適用が可能である。

従来のゲート通過検出手法には以下のような問題が存在する。最も一般的なゲート通過検出手法では、接触型 IC カードリーダにカードをかざしたり、RF タグのような近距離無線を用いる。しかしこれらの方法では、あらかじめ通過を検知したい構造物に設備を設置する必要があるためコストが高い。また、接触型タグリーダを用いた場合には、ドア通過時にタグリーダに端末をかざす動作を必要とするため、煩雑になる。ロボットや人に装着したカメラを用いてドア自体を検出する手法<sup>5)</sup> や、近接センサによるドア通過検出手法<sup>6)</sup> が提案されているが、装着個所に制限が大きいため、一般的な携帯端末に搭載されていないセンサを使用しているといった問題がある。

本稿ではこれらの問題点を踏まえ、一般的な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、特別な動作や不自然な箇所への端末の装着を必要としないゲート通過検出手法を提案する。提案手法では、主に無線 LAN 受信電波強度の情報を使用する。また、補足情報として移動距離を推定するため、加速度センサを併用する。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 の基地局は既に多くの建物に複数設置されており、初期導入コストを抑えることができる。

提案手法の概要は以下のとおりである。ドアのようなゲートは電波を遮断または減衰させるため、そのようなゲートの前後では無線 LAN の電波環境が大きく異なる場合が多い。そこで、無線 LAN の電波環境が大きく変化した地点にはゲートが存在するとみなす。電波環境の変化の度合いをとらえるために、無線 LAN の距離関数から導かれる距離と加速度データから導かれる移動距離を比較する。観測された電波強度変化が加速度データから得られる推定距離で生じうる電波強度変化から逸脱しているかどうかを判定し、逸脱している場合に

<sup>†1</sup> 名古屋大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya University

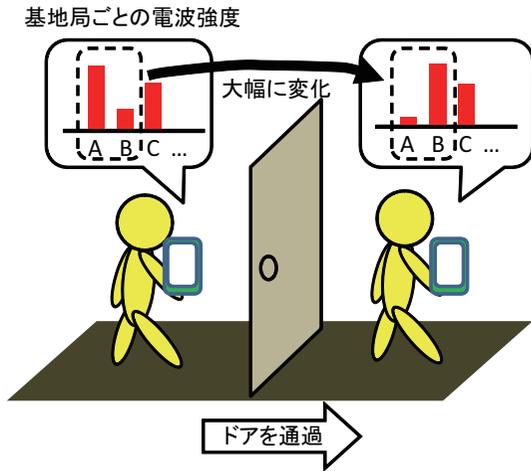


図1 ドアの通過に伴う電波環境の変化

はゲートを通じたと判定する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず2章においてゲート通過検出のための無線LAN環境特異点の概念を提案し、検出手法をモデル化する。3章では提案手法の有効性を検証するための、実環境における評価実験について述べる。4章では関連研究を挙げ、5章においてまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 提案手法

屋内には、ドア、エレベータ、壁といった、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。逆に、無線LAN環境が大きく変化するような地点にはドアのようなゲートが存在する可能性が高いと考えられる。

本研究では、無線LAN環境が大きく変化するような地点を無線LAN環境特異点と定義し、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。

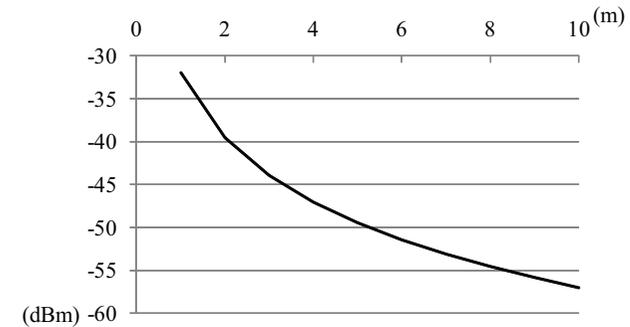


図2 Seidelモデルに基づく受信電波強度と基地局までの距離の関係

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。さらに、無線LAN環境特異点と認められた地点にはゲートが存在すると考え、ゲート通過を検出する。

代表的な無線LANの距離関数として、Seidelモデルが挙げられる<sup>10)</sup>。Seidelモデルは基地局までの距離と受信電波強度(RSSI)の関係に関するモデルである。図2に示すように、基地局までの距離から受信電波強度が推定可能であり、逆に受信電波強度から基地局までの距離を推定できる。

### 2.1 無線LAN環境特異点検出の基本アルゴリズム

本節では、大幅な電波環境の変化する地点である無線LAN環境特異点の検出手法を単純な状況を想定して定式化する。考慮する基地局数は1つ(基地局の位置は未知)であるとする。また、ユーザは基地局の周りを自由に移動し、直線的に歩行しているとは限らないものとする。無線LAN環境特異点の検出には無線LAN情報と加速度情報を併用する。

まず、端末保持者の最小移動距離 $d_{min}$ を、無線LANの電波強度変化から推定する。ある基地局の電波強度が、時刻 $t_1$ と $t_2$ において $r_{t1}$ から $r_{t2}$ に変化したとする。無線LAN距離関数を $f$ とすると、無線LANの電波強度に基づく最少移動距離 $d_{min}$ は、以下の式で表される。

$$d_{min} = |f(r_{t1}) - f(r_{t2})| \quad (1)$$

図3では、電波強度が-30dBmから-40dBmに変化した場合に考えられる移動軌跡の例を示している。この中で最も少ない移動距離となるのは直線的に基地局から遠ざかる場合であることは明らかであり、その際の移動距離は $|f(-30dBm) - f(-40dBm)|$ である。

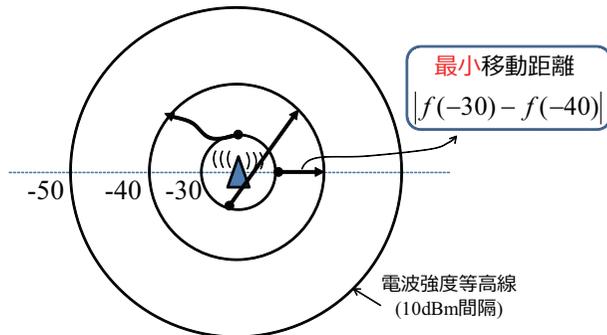


図 3 電波強度変化から得られる最少移動距離

次に、時刻  $t_1$  と  $t_2$  における端末保持者の最大移動距離  $d_{max}$  を、加速度信号を用いて推定する。図 4 にスマートフォンを腰に装着して歩行した際の加速度データを示す。この図では、3 軸加速度信号のうち重力方向の加速度信号のみを抜き出し、かつ重力成分を減算している。歩行によって、加速度信号が周期的に変化することがわかる。歩幅は各歩の極大値と極小値を用いて、推定可能である<sup>13)</sup>。ここで、ユーザが直線的に移動する場合であれば、始点と終点の距離は一步ごとの歩幅すべてを加算した値となる。一方、非直線的に移動した場合の始点と終点の距離は直線的に移動した場合よりも小さくなる。つまり、一步ごとの歩幅すべてを加算した値は、その観測時刻におけるユーザの最大移動距離となる。この値を  $d_{max}$  とする。

最少移動距離  $d_{min}$  と最大移動距離  $d_{max}$  を用いて、無線 LAN 環境特異点の存在の有無を判定する。判定の原理を図 5 に示す。 $d_{max}$  が  $d_{min}$  以上の場合、実際の移動距離の範囲を  $d_{min}$  以上  $d_{max}$  以下として推定することが可能である(図 5 上の斜線部分)。しかし、ゲートなどの影響によって大きな電波強度変化が生じている場合、 $d_{min}$  は実際の最低移動距離よりも大きな値となり、 $d_{min}$  が  $d_{max}$  よりも大きくなる(図 5 下)。この場合は実際の移動距離の範囲を推定することができず、無線 LAN に基づく最低移動距離  $d_{min}$  が合理的でないとして推定できる。よって、 $d_{min}$  が  $d_{max}$  を上回っていれば、時刻  $t_1$  から  $t_2$  の観測区間に無線 LAN 環境特異点が存在すると判定する。

ドア付近では通常の歩行時と比較して移動速度が低下することが多い。この時、加速度の極大値と極小値の差は通常歩行よりも小さく、一步に要する時間が通常歩行よりも大きくなる。よって、ドア付近では加速度データから算出される最大移動距離  $d_{max}$  は通常歩行時よ

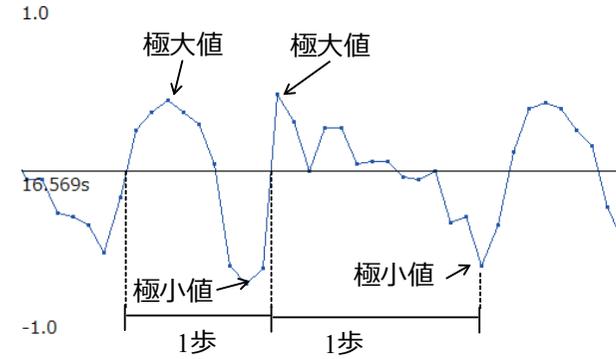


図 4 歩行時の加速度データ

$d_{max}$  : 最大移動距離 (加速度データより推定)  
 $d_{min}$  : 最少移動距離 (無線LANより推定)

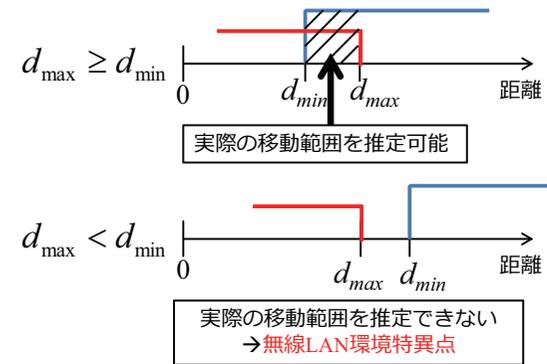


図 5 無線 LAN 環境特異点検出の基本原則

りも小さくなり、図 5 の  $d_{max}$  は左側にシフトする。この場合、通常歩行時よりも小さな電波強度変化でも  $d_{min}$  が  $d_{max}$  を上回り、無線 LAN 環境特異点と判定されることになる。

## 2.2 実環境への適用

電波強度の揺らぎと複数の電波情報を導入し、前節のモデルを実環境において適用可能なモデルに拡張する。実環境では、無線 LAN の電波は干渉などの影響を受けフェージングが

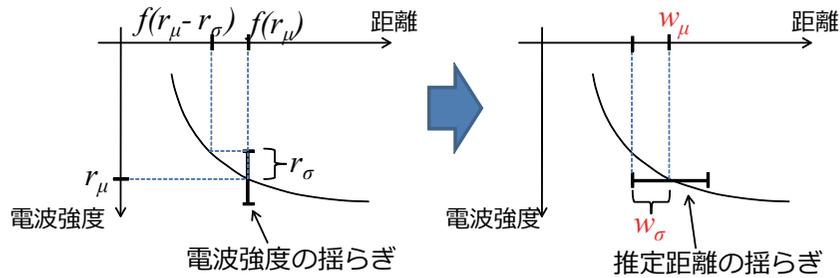


図 6 電波強度の揺らぎから推定距離の揺らぎへの変換 (左: 電波強度の平均と標準偏差, 右: 推定距離の平均と標準偏差)

発生し、端末で受信される電波強度には揺らぎが生じる。同一地点における複数回の観測情報を用いれば信頼性の高い電波強度を得られる<sup>15)</sup>。しかし本研究ではユーザが移動する状況を想定しており、各地点で観測できる回数は 1 回である。よって受信電波強度の揺らぎを無視することができない。また多くの建物内には複数の基地局が設置されているため、端末が受信した複数の電波情報に基づいてゲート通過を検出する。

### 2.2.1 電波強度の揺らぎの導入

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正規分布で近似する。無線 LAN の電波強度の揺らぎを正規分布で近似する手法は、Ferris<sup>3)</sup> や Goswami<sup>4)</sup> において有効性が示されている。また、ここでは基地局までの距離にかかわらず、揺らぎの量は一定とする。揺らぎのない環境において電波強度  $r_\mu$  が観測されるはずの距離  $f(r_\mu)$  において、電波強度は平均  $r_\mu$ 、標準偏差  $r_\sigma$  の正規分布とする (図 6 左)。このとき、揺らぎのない環境において電波強度が  $r_\mu - r_\sigma$  となる距離は  $f(r_\mu) - f(r_\mu - r_\sigma)$  である。そこで、電波強度の揺らぎのある環境では、基地局までの距離を平均  $w_\mu = f(r_\mu)$ 、標準偏差  $w_\sigma = f(r_\mu) - f(r_\mu - r_\sigma)$  で近似する (図 6 右)。このとき、基地局からの距離は平均  $w_\mu = f(r_\mu)$ 、標準偏差  $w_\sigma = f(r_\mu) - f(r_\mu - r_\sigma)$  で近似する。

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  $d_{min}$  は、2 つの正規分布の差である、平均  $d_{min\_mu} = w_{\mu 1} - w_{\mu 2}$ 、標準偏差  $d_{min\_sigma} = \sqrt{w_{\sigma 1}^2 + w_{\sigma 2}^2}$  の正規分布として表わされる。

以上の電波強度変化において、移動距離が  $d_{max}$  以下となる確率 (図 7 の斜線部分) は式 2 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最少移動距離  $d_{min}$  の確からしさといいえる。図 7 左側は、確率  $p$  が大きく確からしさが高

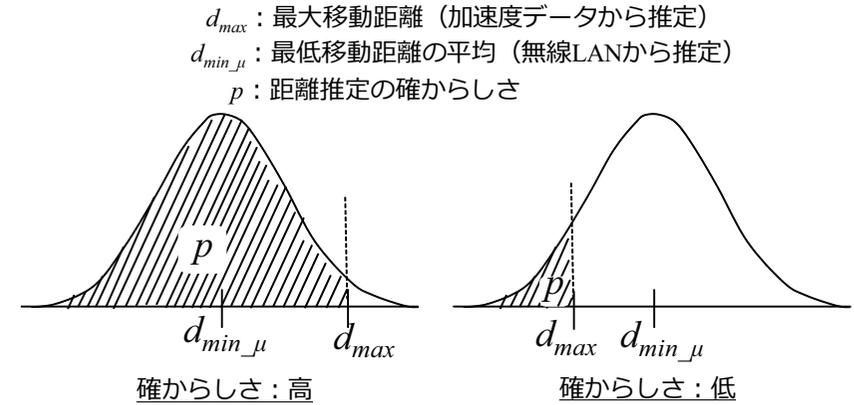


図 7 電波強度から推定される距離の確からしさ

いといえる。つまり、加速度センサからの移動範囲において考えうる電波強度変化の範囲内であるといえる。一方、電波強度から推定される距離の確からしさが閾値  $p_{threshold}$  以下となる場合 (図 7 右)、無線 LAN に基づく最少移動距離の分布が加速度センサからの移動距離において考えうる電波強度変化を超えているとみなし、 $t_1, t_2$  の観測区間に無線 LAN 環境特異点が存在すると判定する。

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

実際に本手法を適用する際には、ある閾値  $r_{threshold}$  以上の電波強度が観測されている電波のみを使用する必要がある。図 2 で紹介した Seidel モデルでは、距離に対して log スケールで電波が減衰するため、 $f(r_\mu - r_\sigma)$  の値と  $f(r_\mu + r_\sigma)$  の値は異なり、電波強度の揺らぎから距離関数の揺らぎへの近似は完全とはいえない。基地局との距離が遠く、電波強度が弱くなるに従い、この影響は増大する。また、そもそも電波強度の揺らぎのある実環境では、電波強度の弱い場合、わずかな揺らぎで推定距離が大きく異なってしまう。たとえば、3 章の評価実験の設定である式 6 の式において、電波強度が -80dBm, -81dBm の場合、基地局との距離はそれぞれ約 83m, 91m と算出され、8m の差が生じる。電波強度の揺らぎの距離に及ぼす影響が単位時間当たりの実際の移動距離よりも大きくなる場合には本手法の適用は困難である。

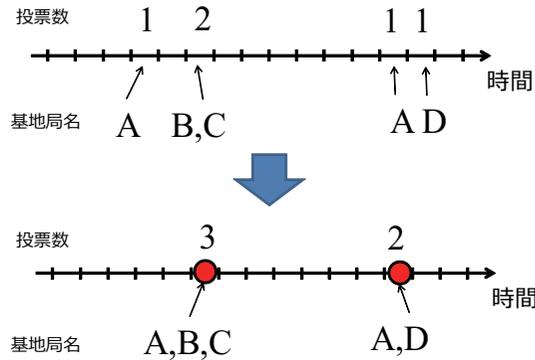


図 8 複数基地局の投票を考慮した無線 LAN 環境特異点検出 (上: 各基地局についての無線 LAN 環境特異点の投票結果, 下: 窓幅内の投票を一つに集約した結果)

### 2.2.2 複数の基地局情報の導入

次に、複数基地局の電波情報を導入する。無線 LAN の電波環境が大きく異なる地点を通過する場合でも、無線 LAN デバイス自体の感度やデバイスドライバの影響によって、必ずしも同時に電波強度の大きな変化を観測できるわけではない。よって、各基地局の電波強度変化に基づいて無線 LAN 環境特異点と検出される観測区間は必ずしも一致せず、検出されるタイミングにずれが生じる。

地局ごとの無線 LAN 環境特異点の判定区間のずれを吸収するために、以下の処理を行う。 $t_1, t_2$  において観測された各基地局について、前節の特異点判定を行い、特異点と判定された区間に無線 LAN 環境特異点の候補として投票する。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。図 8 に、各基地局の投票に基づいて、窓幅を 4 単位時間で集約した結果を示す。投票された観測区間は合計 4 つであったが (図 8 上)、集約されて 2 か所の無線 LAN 環境特異点と判定される (図 8 下)。

### 2.3 同一ゲート通過と通過方向の推定

各特異点への投票情報の類似性に基づいて、任意の特異点対が同一の地点の通過を表しているかどうかを判定する。各基地局の電波強度変化のパターンから、無線 LAN 環境特異点の類似度を算出する。 $i$  番目に検出された無線 LAN 環境特異点  $S_i$  は、その特異点に投票した  $n$  個の基地局 ID である  $b$  を要素とするベクトルで表す。

$$S_i = [b_{i,0}, b_{i,1}, \dots, b_{i,n}] \quad (3)$$

任意の 2 つの特異点  $S_i, S_j$  間の類似度は、Tanimoto 係数  $T$  を用いて以下の式で求める<sup>9)</sup>。Tanimoto 係数は集合間の類似度を表す指標である。それぞれの特異点に投票した基地局が重複しているほど類似度は 1 に近づき、投票した基地局が一つも重複しない場合には 0 となる。

$$T = \frac{N(S_i \cap S_j)}{N(S_i) + N(S_j) - N(S_i \cap S_j)} \quad (4)$$

(ただし、 $N(x)$  はベクトル  $x$  の要素数)

さらに、 $T$  が類似度閾値  $t_{threshold}$  以上となる場合に、同一のゲートを通じたと推定する。

同一とみなされた無線 LAN 環境特異点  $S_i, S_j$  の通過方向の推定は、無線 LAN 環境特異点における各基地局の電波強度変化の方向 (強 弱, または弱 強) から推定する。まず、 $S_i, S_j$  に共通して投票した基地局集合  $S_i \cap S_j$  の各基地局について、電波強度変化の方向が一致する要素数  $N_{same}$  と、一致しない要素数  $N_{diff}$  を求める。次に、 $N_{same}$  と  $N_{diff}$  を比較して、 $N_{same}$  が大きい場合は通過方向が同じであると判定し、 $N_{diff}$  が大きい場合は逆方向に通過したと判定する。

### 2.4 制限

提案手法は無線 LAN 基地局の分布に大きく依存するため、全てのゲート通過を検出することは困難といえる。基地局が近くに存在していないドアは、当然無線 LAN 環境特異点ともなりえないため、提案手法では検出できない。また、近くに基地局が存在していたとしても、基地局とドアの位置関係によっては無線 LAN 環境特異点の検出や同一ゲート通過推定ができない。図 9 上において、ドアの通過前後の地点 A, B では、基地局の電波強度はほぼ等しいため、ドア通過によって大きく電波強度が変化することはない。また、図 9 下において、部屋 C, D 内で観測される基地局の電波強度はほぼ等しく、ドア通過による変化パターンの類似度は高くなり、識別が困難である。

提案手法は、ゲートが物理的に空間を分断し、かつそのゲートはユーザ自身が通過する時のみ開閉されるような場合に限り適用可能である。ユーザがドア付近にいる際に他人がドアを開閉するような場合や、ドアが開いたままになっている場合、実際の通過とは異なるタイミングで電波環境が変化するため、ゲート通過のタイミングを適切にとらえることは困難である。

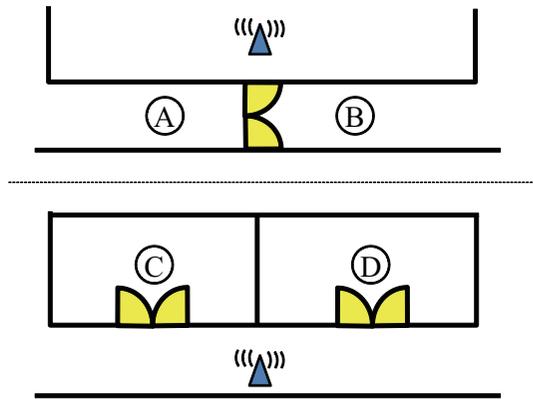


図 9 上：通過検出できない基地局とドアの配置例，下：同一ドア通過推定ができない基地局とドアの配置例

### 3. 評価実験

実験環境における評価実験を行い，提案手法の精度を検証する．評価する項目は主に，ゲート通過検出精度と同一ゲート通過推定精度である．

#### 3.1 実験環境

実験環境は名古屋大学 IB 電子情報館の 1F と 4F とした．実験環境におけるドア配置とドアの種類を図 10，図 11 に示す．対象となる通路には手動のドアが合計 9 箇所存在している．手動ドアが 8 つ，自動ドアは 1 つである．また，A-F のドアは屋内と屋外の境目となるドアであり，G-I は屋内のドアである．

観測情報の概要を表 1 に示す．被験者は本稿の著者一人である．無線 LAN と加速度を観測するデバイスには iPhone3G を用いた．被験者はデバイスを腰に装着し，実験環境内の歩行とドアの通過を繰り返す．歩行速度は一定ではなく，ドア通過時に限らず停止状態や低速歩行を含む．2.4 節で述べたように，提案手法はゲートを自分自身が通過するタイミングで開閉される必要がある．そのため，本実験では全ドア通過時には被験者が通過する際にそのドアを開閉するものとした．

#### 3.2 実験設定

距離関数は LaMarca らの用いた Seidel モデルのパラメータ<sup>6)</sup>を採用した(式 5)．

$$f(r) = -32 - 25\log_{10}r \quad (5)$$

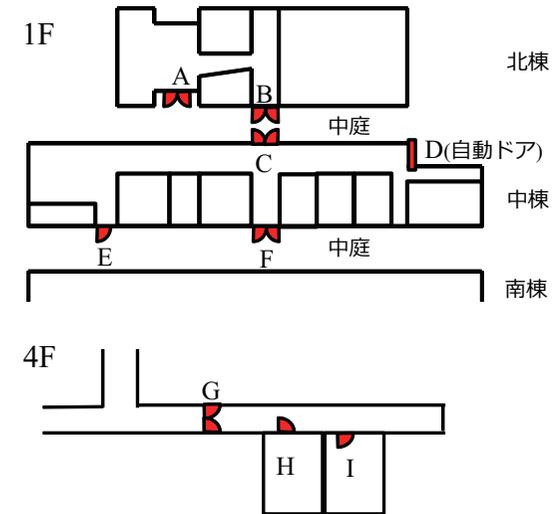


図 10 実験環境のドア配置 (上:1F, 下:4F)



図 11 実験環境のドアの種類

また，加速度センサに基づく各歩幅  $s$  は以下の式で算出する<sup>13)</sup>．

$$s = 0.26 \cdot height + (peakdiff - peakavg) \cdot 5.0 \quad (6)$$

ここで， $peakdiff$  は各歩行における加速度信号の極大値と極小値の差であり， $peakavg$  は被験者の通常歩行における  $peakdiff$  の平均である．また， $height$  はユーザの身長である．ある観測区間の最大移動距離  $d_{max}$  は，その区間内の各歩幅の合計とする．予備実験よ

表 1 観測データの概要

無線 LAN 観測間隔	1Hz
加速度観測間隔	100Hz
ドアの総数	9
ドア通過回数	A-F:各 10 回, G-I:各 20 回
総観測時間	約 5300 秒

表 2 評価実験で用いるパラメータ

電波強度の揺らぎ $r_\sigma$	2.5 dBm
電波強度閾値 $r_{threshold}$	-60dBm
尤度閾値 $p_{threshold}$	0.1%
類似度閾値 $t_{threshold}$	0.4
窓幅 $w$	10 sec

表 3 ゲート通過検出精度

総特異点検出数	157 区間
全ドア通過数	120 回
ドア通過を検出した数	92 区間
適合率	59%
再現率	76%
F 値	66%

り,  $height = 1.80[m]$ ,  $peakavg = 1.11[g]$  として歩幅推定を行う。

無線 LAN 環境特異点の判定と、その同定に用いるパラメータは表 2 のとおりである。

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 ゲート通過検出精度

表 3 に、ゲート通過検出精度を示す。実際のゲート通過時間から、窓幅  $w = 10$  秒以内に通過検出されたものを正答とみなす。適合率（全検出区間のうちドア通過区間の割合）は約 58%、ドア通過以外の地点を無線 LAN 環境特異点として検出した割合は約 41%であった。また、全ゲート通過 120 回のうち無線 LAN 環境特異点が検出されたのは 92 回であり、再現率（全ドア通過のうちドア通過を検出した割合）は約 76%であった。以上の結果より、必ずしも無線 LAN 環境特異点がドアであるとはいえないが、半数程度のドア通過については検出可能であることが分かった。

図 12 に、各ドアのゲート通過検出確率を示す。個別のドアの検出率は最大で 100%、最

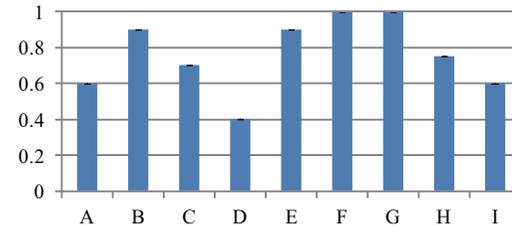


図 12 ドアごとのゲート通過検出率

低で 40.0%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ことが示された。

最も検出率の低かったドア D は自動ドアである。自動ドアの場合、ユーザはあまり移動速度を落とすことなく通過することが可能であるため、検出されにくかったと考える。また、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ことが分かった。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する、電波強度の揺らぎが想定（標準偏差  $r_\sigma$ ）以上の変化をするような観測地点が存在する、といった理由が考えられる。

#### 3.3.2 同一ゲート通過推定と通過方向推定精度

ゲート通過の検出に成功した 92 個の無線 LAN 環境特異点について、同一ゲートの通過推定精度を評価した。適合率（同一ゲート通過と推定された全特異点对のうち同一ゲート通過推定に正解した特異点对の割合）、再現率（同一ゲート通過と推定されるべき全特異点对のうち同一ゲート通過推定に正解した特異点对の割合）、F 値を表 4 に示す。また、ドアごとの適合率、再現率、F 値を図 13 に示す。ドア G は適合率・再現率ともに他のドアよりも極端に高いことがわかる。基地局とドアの位置関係やドア自体の素材などの理由により、ドア通過時の電波環境変化を安定して観測可能な場合には高精度に同一ドア通過を検出可能である。また、ドア H と I について同一ゲート通過と誤推定した 43 対の組合せのうち、19 対が互いのゲート通過と誤推定していた。ドア H と I はドア同士の距離が約 3m と近く、電波強度変化のパターンが類似しているため識別が困難であったと考えられる。同一ゲー

表 4 同一ゲート通過推定と通過方向推定の精度

ドア通過検出に成功した特異点の数	92 個
同一ドア通過と推定された特異点对の数	348 対
同一ドア通過推定に正解した特異点对の数	245 対
同一ドア通過と推定されるべき特異点对の数	508 対
適合率	70%
再現率	48%
F 値	57%

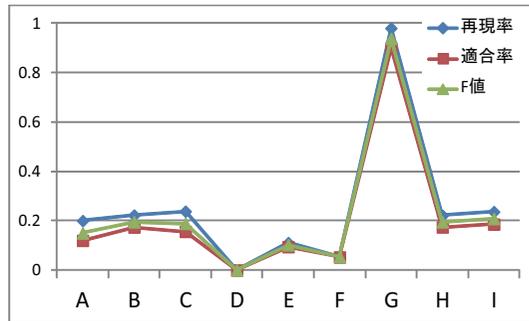


図 13 ドアごとの同一ゲート通過推定の精度

ト通過推定は、全体的にはゲート通過検出ほどの精度を得ることはできなかった。しかし、ドア G のように、同一ゲート通過推定にほぼ正解するようなドアの存在を確認することができた。よって、実環境でも限定的には同一ゲート通過推定手法を適用可能と考える。

同一ドア通過推定に成功した 245 対に対して、2.3 節で述べたドア通過の方向推定手法を評価したところ、正解率は 92%であった。また、同一ドア通過推定結果が高精度であったドア G については、正解率が 100%であった。ドア通過方向はおおむね正しく推定可能といえる。

#### 4. 関連研究

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) 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) に大別される<sup>14)</sup>。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<sup>16)</sup>。しかし提案手法では、屋内では適用が困難であるとされている距離関数を積極的に用い、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。

無線 LAN 電波の到来時間差である TDOA(Time Difference Of Arrival) に基づく位置推定手法では、各電波について、電波の見通しがよい状態 (LOS)/悪い状態 (NLOS) の判定手法や、NLOS の電波による位置推定誤差を抑制する手法が提案されている<sup>2),7),12)</sup>。Li らの手法では、LOS, NLOS を判断するために加速度センサからの歩行距離を利用しており、本稿の提案手法と類似する<sup>7)</sup>。ただし、これらの手法では NLOS と判断された基地局の電波情報を利用しない、または信用度を下げて位置推定誤差の増加を抑制している。それに対し提案手法では、LOS から NLOS に、または NLOS から LOS に切り替わる瞬間をとらえ、その変化がおこる区間に対してゲート通過という意味を持たせるという点が異なる。

提案手法は、スマートフォンに内蔵された加速度や各速度センサを用いたデッドレコニング<sup>17),18)</sup>の累積誤差修正の手段として利用可能と考えられる。デッドレコニングではセンサ誤差の蓄積により徐々に位置推定誤差が大きくなるため、定期的に絶対位置推定による誤差修正が必要である。これまでに、累積誤差を補正手法として、GPS や RF タグに基づく手法が提案されている<sup>17)</sup>。しかし、GPS は屋内での使用が困難であり、RF タグは環境側に設備を設置するコストが必要である。また、無線 LAN の事前観測情報に基づく絶対位置推定<sup>14),16)</sup>を用いて累積誤差を修正する手法<sup>1),11)</sup>が提案されているが、事前に無線 LAN 電波環境を収集しておく必要があるため、人的コストが高いといえる。それに対し本稿で提案した同一ゲートの通過検出手法を用いれば、以前に通過した地点と現在の地点を修正できる (図 14)。

#### 5. まとめ

本稿では、ゲートに区切られた空間の前後において大きく電波環境が異なる場合が多い点に着目し、無線 LAN の電波環境変化に基づいたゲート検出手法を提案した。提案手法は特別な動作や不自然な箇所への端末の装着を必要とせず、多くのスマートフォンで取得可能な無線 LAN 情報と加速度情報を併用する。実環境における評価実験を行い、提案手法により半数以上のゲート通過を検出可能であることを確認した。また、同一ゲート通過検出精度は全体的に低いものの、非常に高精度に同一ゲート通過を検出可能なドアの存在を確認した。

今後の課題として以下の 2 点を挙げる。まず、提案手法の精度をさらに向上させるためのアルゴリズムとパラメータの検討を行う予定である。また、同一ゲート通過の検出に基づい

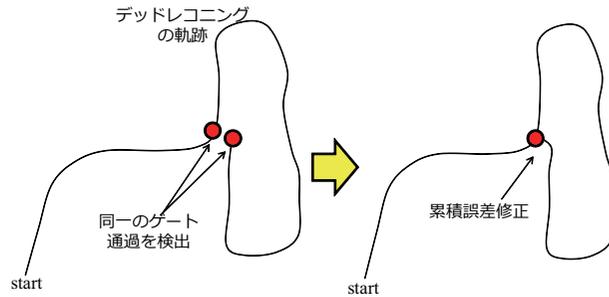


図 14 同一ゲート通過検出に基づくデッドレコニングの累積誤差修正

て、加速度センサとコンパスを用いたデッドレコニングの累積誤差修正を行う手法を検討中である。

### 参考文献

- 1) Evennou, F., Marx, F. Advanced Integration of WIFI and Inertial Navigation Systems for Indoor Mobile Positioning. *Journal of EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, Vol. 2006, pp. 1–11, 2006.
- 2) Fand, L., Antaklis, P.J., Montestruque, L.A., et al. Design of a Wireless Assisted Pedestrian Dead Reckoning System? The NavMote Experience. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.54, No.6, pp. 2342–2358, 2005.
- 3) Ferris, B., Fox, D., Lawrence N. WiFi-SLAM Using Gaussian Process Latent Variable Models. In *Proceedings of the 20th international joint conference on Artificial intelligence(IJCAI'07)*, pp. 2480–2485, 2007.
- 4) Goswami, A., Ortiz, L.E., Das, S.R. WiGEM: a Learning-based Approach for Indoor Localization. In *Proceedings of the Seventh Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies(CoNEXT'11)*, 2011.
- 5) Jauregi, E., Lazkano, E., Sierra, B. Approaches to Door Identification for Robot Navigation. In *Mobile Robots Navigation, Alejandra Barrera (Ed.), ISBN: 978-953-307-076-6, InTech*, pp. 241–262, 2010.
- 6) 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.
- 7) Li, M., Imai, N., Yoshihara, K. An Integration Method for Wireless Location Using Mobile Phone Built-in Sensors and TDOA Landmarks. In *Proceedings of the workshop on Internet of Things and Service Platforms(IoTSP '11)*, pp. 5:1–5:8, 2011.
- 8) Schindler, G., Metzger, C. Starner, T. . A Wearable Interface for Topological Mapping and Localization in Indoor Environments. In *Proceedings of Location-and Context-Awareness Second International Workshop*, , pp. 64–73, 2006.
- 9) Segaran, T., 當山仁健, 鴨澤眞夫. 集合知プログラミング. オライリー・ジャパン, 2008.
- 10) Seidel, S., and Pappot T. 914Mhz Path Loss Prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings. In *Proceedings of IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 207–217, 1992.
- 11) Seitz, J., Vaupel, T., Meyer, S., et al. A Hidden Markov Model for Pedestrian Navigation. In *Proceedings of Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC)*, pp. 120–127, 2010.
- 12) So, H.C., Ma, W.-K. Maximum A Posteriori Approach to Time-of-Arrival-Based Localization in Non-Line-of-Sight Environment. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.59, No.3, pp. 1517–1523, 2010.
- 13) 安齋恵一, 岡島匠吾, 坪井宏. スマートフォンを用いた屋内位置の推定と歩行ナビゲーション. 情報処理学会, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, pp. 921–927, 2011.
- 14) 伊藤誠悟, 河口信夫. アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定手法とその応用. 電気学会論文誌 C, Vol. 126, No.10, pp. 1212–1220, 2006.
- 15) 梶克彦, 河口信夫. GMM に基づく無線 LAN 位置推定精度と 電波観測情報の関連性評価. 情報処理学会, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, pp. 449–455, 2011.
- 16) 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.
- 17) 興相正克, 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 を統合した組み込み型パーソナルポジショニングシステム. 信学技報, Vol. 106, No. 234, pp. 109–114, 2006.
- 18) 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之. 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案. 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.2, pp. 558–570, 2011.