

推薦論文

無線LAN環境特異点に基づくゲート通過検出手法

梶 克彦^{1,a)} 河口 信夫^{1,b)}

受付日 2013年4月4日, 採録日 2013年10月9日

概要: 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と加速度の情報を用いたゲート通過検出手法を提案する. ドアやエレベータなどのゲートは物理的に通路や部屋を分断する構造物であり, 無線LANの電波はゲートによって減衰または遮断される. よって, ゲート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信号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見なす. 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, 同一ゲートの通過推定に関しては, 特定のゲートに限り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.

キーワード: ゲート通過検出, 無線LAN, 加速度センサ

A Gate Passing Detection Method Based on WiFi Significant Point

KATSUHIKO KAJI^{1,a)} NOBUO KAWAGUCHI^{1,b)}

Received: April 4, 2013, Accepted: October 9, 2013

Abstract: We propose a gate passing detection method based on WiFi signal strength and accelerometer of the user's smartphone. Gate such as door and elevator 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 more than half part of gate passing can be detected. We also found that the existence of gates that can be estimated same gate passing with a high degree of accuracy.

Keywords: gate passing detection method, wireless LAN, accelerometer

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ともない, 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1つとして“ゲート通過”イベントがあげられる. 本稿におけるゲートとは, 物理的に空間を分断し, そこを人が通過することのできる構造物を指す. 具体的には, ドアやエレベータがゲートにあたる. ゲート通過イベントとは, 建物・部屋へのドア開閉をともなう出入り, 通路のドア通過, エレベ

¹ 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464-8603, Japan

a) kaji@nuee.nagoya-u.ac.jp

b) kawaguti@nagoya-u.jp

本論文の内容は2012年7月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム2012にて報告され, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

タへの搭乗といったイベントである。ゲート通過イベントは入退室管理、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期待できる。

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 カードリーダー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たりする。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、接触型タグリーダーを用いた場合には、ゲート通過時にタグリーダー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ゲート自体を検出する手法 [1] や、近接センサによるゲート通過検出手法 [2] が提案されているが、装着箇所に制限が大きい、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ふまえ、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、加速度信号を併用する。環境側に設置されている必要のある設備は無線 LAN の基地局のみである。無線 LAN の基地局はすで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。物理的に空間を分断する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見なす。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移動距離と加速度信号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信号から得られる推定距離で生じ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、ゲート通過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 章では関連研究をあげる。5 章では提案手法の応用可能性について議論し、6 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、空間を分断す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 電波を遮断したり、大幅に減衰させたりする。構造物の素材、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 に、ドア通過前後での無線 LAN 受信電波強度の変化例を示す。ここでは A, B という 2 つの基地局の電波強度が、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。

実環境において、ドアのある直線的な廊下を往復した際の、2 つの基地局の電波強度変化を図 2 に示す。下側の基地局は、ドア通過にともなう大幅な電波強度の変化は見られず、ドア通過をとまなわない歩行と同等程度の変化しか見られない。しかし上側の基地局はドア通過にともなって受信電波強度が大幅に変化していることが分かる。

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 環境特異点と定義する。本研究では、一般的な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。電波環境の変化の度合いをとらえるために、無線

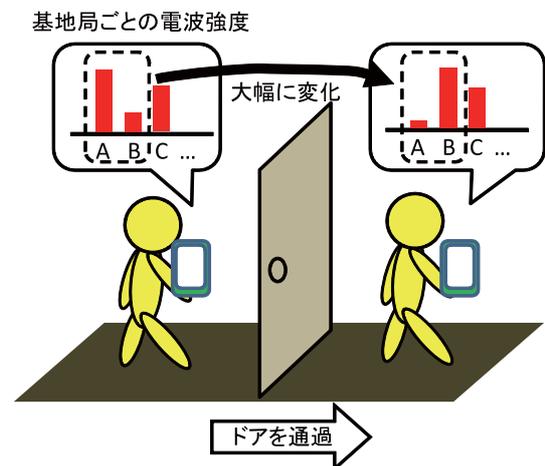


図 1 ドアの通過にともなう無線 LAN 環境の変化

Fig. 1 Variance of WiFi environment with door passing.

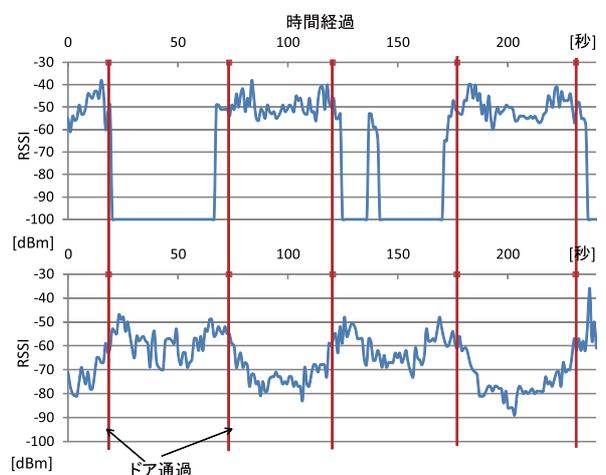


図 2 ある 2 つの基地局の電波強度変化とドア通過の関係

Fig. 2 Relationship between variance of RSSI and door passing.

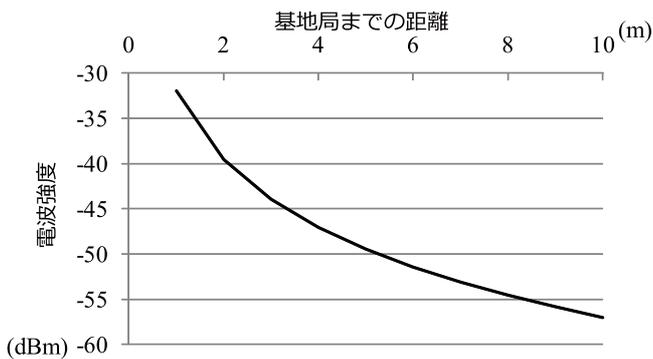


図 3 Seidel モデルに基づく受信電波強度と基地局までの距離の関係
Fig. 3 Relationship between RSSI and distance from AP based on Seidel model.

LAN の距離関数から導かれる移動距離と加速度信号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信号から得られる推定距離で生じる電波強度変化から逸脱しているかどうかを判定し、逸脱している地点を無線 LAN 環境特異点と推定する。本研究では、無線 LAN 環境特異点をゲート通過点と見なす。

代表的な無線 LAN の距離関数として、Seidel モデルがあげられる [3]。Seidel モデルは基地局までの距離と受信電波強度の関係に関するモデルである。図 3 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。本研究では、LaMarca らの用いた Seidel モデルのパラメータ [4] を採用し、以下の式を距離関数とする。

$$f(r) = -32 - 25 \log_{10} r \quad (1)$$

2.1 ゲート通過検出の基本アルゴリズム

本節では、ゲート通過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 と加速度の情報を用いる。

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。

$$d_{min} = |f(r_{t1}) - f(r_{t2})| \quad (2)$$

図 4 では、電波強度が -30 dBm から -40 dBm 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 $|f(-30 \text{ dBm}) - f(-40 \text{ dBm})|$ である。

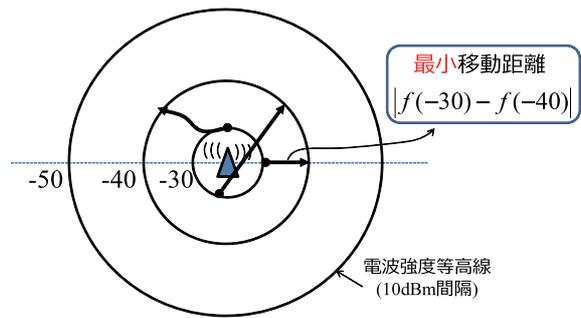


図 4 電波強度変化から得られる最少移動距離

Fig. 4 Minimum distance based on variance of RSSI.

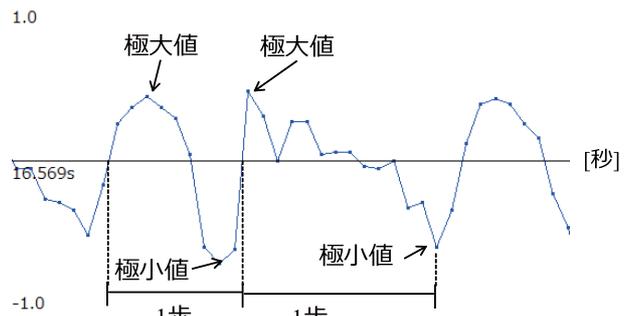


図 5 歩行時の加速度信号

Fig. 5 Acceleration of walking.

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 5 は、スマートフォンの Z 軸が重力方向に揃うように腰ホルダに装着し、歩行した際の加速度信号である。この図では、3 軸加速度信号のうち Z 軸成分のみが表示されており、かつ重力成分は減算されている。歩行によって、加速度が周期的に変化することが分かる。歩幅は 1 歩ごとの極大値と極小値を用いて、以下の式で推定可能である [5]。

$$s = 0.26 \cdot height + (peakdiff - peakavg) \cdot 5.0 \quad (3)$$

ここで、 $peakdiff$ は加速度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。

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 1 歩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を結んだ直線距離は直線的に移動した場合よりも短くなる。つまり、1 歩ごとの歩幅すべてを加算した値は、その観測区間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 6 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 6 上の斜線部分)。しかし、ゲート通過によって大きな電波強度変化が生じている場合、 d_{min} は実際の最小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

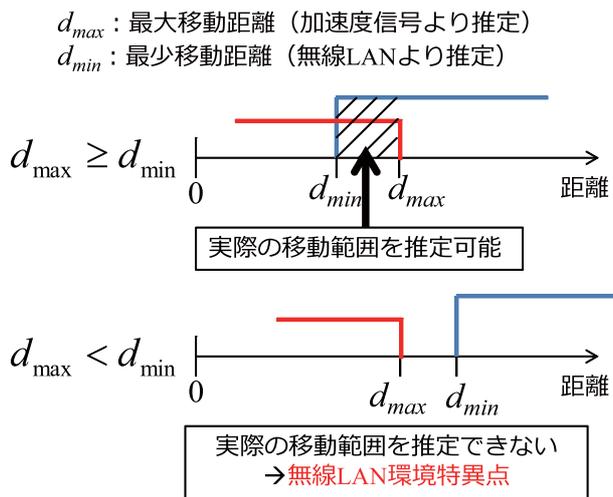


図 6 無線 LAN 環境特異点検出の基本原則

Fig. 6 Basic model of detecting WiFi significant point.

なる場合がある (図 6 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 に基づく最小移動距離 d_{min} が合理的でないとは推定できる. よって, d_{min} が d_{max} を上回ってれば, 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.

ゲート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. このとき, 加速度の極大値と極小値の差は通常歩行時よりも小さく, 1 歩に要する時間が通常歩行よりも大きくなる. よって, ゲート付近では加速度信号から算出される最大移動距離 d_{max} は通常歩行時よりも小さくなり, 図 6 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.

無線 LAN のみでなく加速度の情報を併用する理由は以下のとおりである. 無線 LAN 環境の大幅な変化を発見するためには, 前述のとおり移動速度や移動距離の考慮が必須である. 移動速度が異なれば, 単位時間あたりに変化しうる電波強度の量も異なるためである. 筆者らは, 先行研究として無線 LAN 情報のみを用いたゲート通過検出手法 [6] を提案した. その手法の中では, 最大移動距離 d_{max} として, 想定される人の移動速度を一定の値に固定し, その速度で直線的に移動した場合の距離を最大移動距離として用いていた. しかし実験の結果, ゲート以外の地点で多くの無線 LAN 環境特異点が検出される結果となった. 提案手法では, ゲート付近において単位時間あたりの移動距離が短くなるという現象を正確にとらえるために加速度信号を利用している.

2.2 実環境への適用

電波強度の揺らぎと複数の基地局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

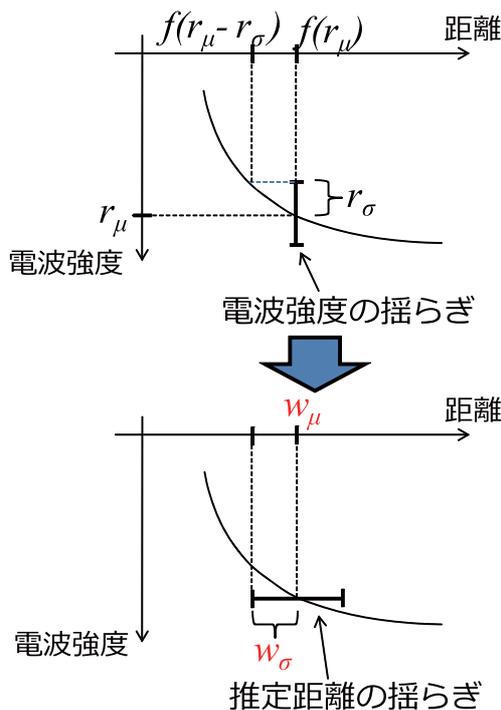


図 7 電波強度の揺らぎから推定距離の揺らぎへの変換 (上: 電波強度の平均と標準偏差, 下: 推定距離の平均と標準偏差)

Fig. 7 Conversion from fluctuation of RSSI to fluctuation of distance (top: Avg and SD of RSSI, bottom: Avg and SD of distance).

けるため, 同一地点であっても受信される電波強度がつねに一定とはならず, 揺らぎをとまう. 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 [7]. 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基地局から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 ら [8] や Goswami ら [9] によっ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_μ 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_μ , 標準偏差 r_σ の正規分布とする (図 7 上). 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 7 下).

これより, 前節で導入した, 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 つの正規分布の差となり, 平

d_{max} : 最大移動距離 (加速度信号より推定)
 $d_{min_μ}$: 最低移動距離の平均 (無線LANより推定)
 p : 距離推定の確からしさ

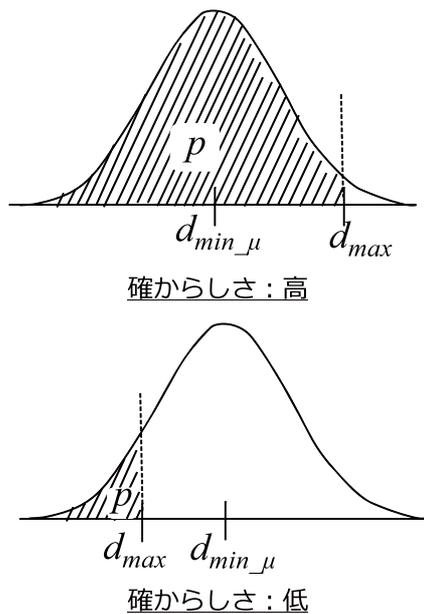


図 8 電波強度から推定される距離の確からしさ

Fig. 8 Likelihood of estimated distance based on RSSI variance.

均 $d_{min_μ} = |w_{μ1} - w_{μ2}|$, 標準偏差 $d_{min_σ} = \sqrt{w_{σ1}^2 + w_{σ2}^2}$ の正規分布として表される.

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 8 の斜線部分) は式 (4) で表される. ここで, $erf(x)$ は誤差関数である.

$$p = \frac{1}{2} \left(1 + erf \left(\frac{d_{max} - d_{min_μ}}{\sqrt{2d_{min_σ}^2}} \right) \right) \quad (4)$$

この確率 p は無線 LAN から推定される最少移動距離 d_{min} の確からしさといえる. 図 8 上側は, 確率 p が大きく確からしさが高いといえる. つまり, 加速度信号からの移動範囲において考える電波強度変化であるといえる. 一方, 無線 LAN 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 8 下), 無線 LAN に基づく最少移動距離の分布が加速度信号からの移動距離において考える電波強度変化を逸脱していると見なし, 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.

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. 本研究で採用している Seidel モデル (式 (1)) では, 距離に対して log スケールで電波が減衰するため, $f(r_μ - r_σ)$ の値と $f(r_μ + r_σ)$ 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, 電波強度が弱い場合, わずかな揺らぎで推定距離が大きく

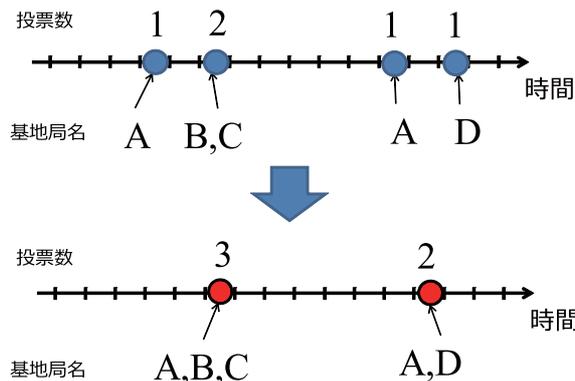


図 9 複数基地局の投票を考慮した無線 LAN 環境特異点集約 (上: 各基地局についての無線 LAN 環境特異点の投票結果, 下: 窓幅内の投票を 1 つに集約した結果)

Fig. 9 Integration of WiFi significant points according to voting from multiple APs (top: multiple APs voting points, bottom: integrated result).

異なってしまう. 式 (1) において, 電波強度が -80 dBm の場合は約 83 m, -81 dBm の場合は 91 m と算出される. つまり, 電波強度が 1 dBm 違うだけで, 推定距離は 8 m 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あ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.

2.2.2 複数基地局の電波情報の導入

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, 各基地局が電波強度変化に基づいて無線 LAN 環境特異点と検出す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.

基地局ごとの無線 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, 前項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 以内で複数観測区間への投票が存在する場合, その窓内で最も投票数が多い観測区間を無線 LAN 環境特異点と見なす. 投票数が等しい場合はその投票区間の中間を無線 LAN 環境特異点と見なす.

提案手法によって無線 LAN 環境特異点を窓幅 w で集約した例を図 9 に示す. 投票された観測区間は合計 4 つである (図 9 上). 集約の結果 (図 9 下), 前半では基地局 A の投票区間と基地局 B・C の投票区間が窓幅内に存在するため, 投票数の多い基地局 B・C の投票区間が集約後の無線 LAN 環境特異点として採用されている. また, 後半には基地局 A の投票区間と基地局 D の投票区間が存在するが, 投票数が等しいため, その中間の区間が集約後の無線 LAN 環境特異点として採用されている.

2.3 同一ゲート通過と通過方向の推定

各特異点に投票した基地局 ID のリストどうしの類似性に基づいて、任意の特異点同士が同一の地点を表しているかどうかを判定する。 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 を要素としたベクトルで表される。

$$S_i = [b_0, b_1, \dots, b_n] \quad (5)$$

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 [10]。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 1 つも重複しない場合には 0 となる。

$$T = \frac{N(S_i \cap S_j)}{N(S_i) + N(S_j) - N(S_i \cap S_j)} \quad (6)$$

(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、同一の特異点と推定する。

図 9 の場合、集約後の特異点として、前半の $S_1 = [A, B, C]$ 、後半の $S_2 = [A, D]$ の 2 つが存在する。 S_1 と S_2 の類似度は、共通要素数 1 (基地局 A)、 S_1 の要素数 3、 S_2 の要素数 2 を用いて、0.25 と求められる。

同一と見なされた無線 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。

本手法によって、以前通過したことのあるゲートと同一のゲートを通じたことの検出と、その通過方向を推定可能になるが、具体的なゲートとの関連付けは行われず、具体的なゲートとの関連付けは本稿の範囲外であるが、事前に環境の学習を行えば、具体的なゲートとの関連付けも可能になるであろう。学習フェーズでは、対象とする各ゲートに ID を付与し、実際にそのゲートを通じたときに検出される無線 LAN 環境特異点 S とゲート ID を関連付け、データベースに保存する。実用フェーズでは、リアルタイムに検出された無線 LAN 環境特異点と、データベース内の特異点間で類似度比較を行い、類似度閾値を上回る場合にその ID のゲートを通じたものと推定する。

2.4 加速度信号に基づく特異点時刻補正

ゲート通過ともない無線 LAN 環境は変化するが、ゲート通過の瞬間にその変化を検出できるとは限らない。図 2 の上側を見ても分かる通り、ゲート通過時刻と無線 LAN

環境の変化をとらえられる時刻は 10 秒程度前後する可能性がある。2.3 節でも、複数の特異点時刻の投票によってゲート通過時刻の補正がある程度行われるが、この理由から、投票によって得られた時刻がゲート通過の瞬間を表しているとはいえない。

そこで、加速度信号を用いた簡易的なゲート通過推定手法によって時刻を補正する。ドア開閉などのゲート通過の際には、通常の歩行速度よりも遅い速度での歩行をするか、もしくは立ち止まる。しかしゲート通過のために長時間立ち止まることは少ない。これらの点をふまえ、加速度の極大値と極小値が閾値 $g_{threshold}$ 以下になった場合、かつその継続時間が閾値 $w_{threshold}$ 以下の場合をゲート通過時刻と見なす。以降、本手法を加速度ゲート通過推定、本手法によってゲート通過推定された時刻を加速度ゲート推定時刻、 $g_{threshold}$ をゲート加速度閾値、 $w_{threshold}$ をゲート幅閾値と呼ぶ。

前節までに検出された各特異点の時刻から窓幅 w 以内に加速度ゲート推定時刻が存在する場合には、特異点の時刻を加速度ゲート推定時刻に修正する。窓幅内に複数の加速度ゲート推定時刻が存在する場合には、特異点の時刻から最も近いものを選出し、時刻を修正する。

本節であげた加速度ゲート推定手法は、必ずしもゲートのみが検出できるわけではない。実際のゲート通過以外にも、短時間立ち止まった場合や右左折で歩行速度が落ちた箇所も検出されることがある。

2.5 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、すべ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ゲートは、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、基地局とゲート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 10 上において、ゲートの通過前後の地点 A、B では、基地局の電波強度はほぼ等しいため、ゲート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 10 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、ゲート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とき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、実際のゲート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。

複数の基地局に基づいて投票された無線 LAN 環境特異

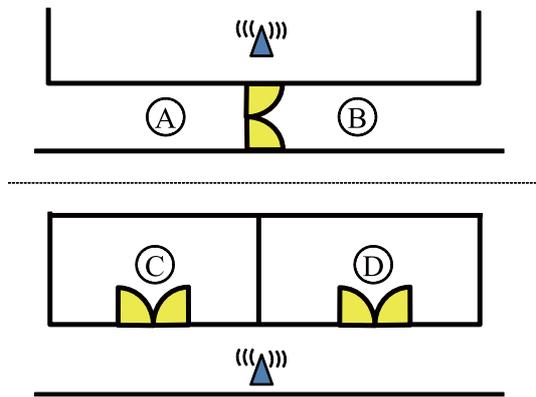


図 10 上：通過検出できない基地局とゲートの配置例，下：同一ゲート通過推定ができない基地局とゲートの配置例

Fig. 10 Physical relationship between APs and gates (top: gate passing detection is impossible, bottom: gate identification is impossible).

点のうち、窓幅以内に存在する点が集約されるため、窓幅よりも短い間隔で複数のゲート通過を行う場合の検出は困難である。たとえば、通路を挟んで向かい側の部屋へ移動するような場合である。本手法を適用するためには、検出対象となるゲートの間隔が、窓幅の秒数以内で人が歩行できる距離（窓幅×歩行速度）以上であること、または窓幅の秒数以内には次のゲート通過を行わないという条件が求められる。

3. 評価実験

実環境における評価実験を行い、提案手法の精度を検証した。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。本実験では、ゲートの例として特に屋内に数多く存在するドアに注目し、ドア通過の推定精度検証を行った。

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 11、図 12 に示す。対象となる通路にはドアが合計 9 カ所存在している。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。

観測データの概要を表 1 に示す。被験者は本稿の著者 1 人である。無線 LAN と加速度を観測するデバイスには iPhone 3G (iOS 4.2.1) を用いた。被験者はデバイスを腰の正面に装着したホルダに格納する。この際、デバイスの Z 軸が重力方向に揃うように調整する。この状態で、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。2.5 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する必要がある。そのため、本実

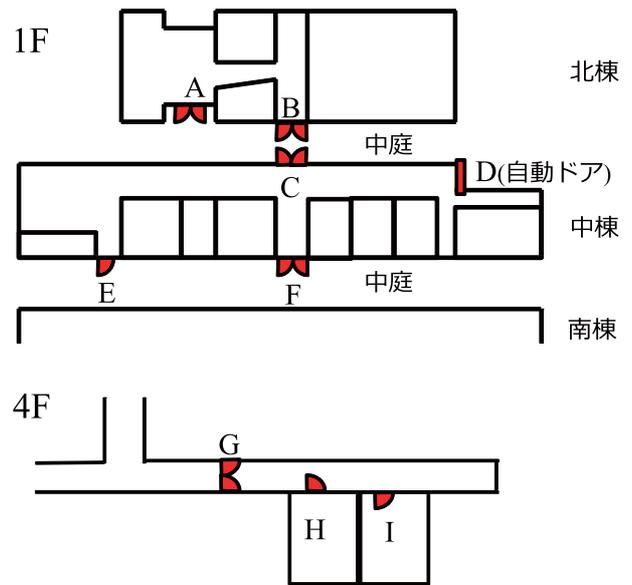


図 11 実験環境のドア配置（上：1F，下：4F）

Fig. 11 Experimental environment (top: 1F, bottom: 4F).



図 12 実験環境のドアの種類

Fig. 12 Door types.

表 1 観測データの概要

Table 1 Abstract of observation.

無線 LAN 観測間隔	1 Hz
加速度観測間隔	100 Hz
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 5,300 秒

験では全ドア通過時に被験者自身がドアを開閉するものとした。

3.2 実験設定

予備実験より、歩幅推定に用いるパラメータは表 2 の

表 2 歩幅推定のパラメータ

Table 2 Parameters for step length estimation.

height	180 cm
peakavg	1.11 g

表 3 評価実験で用いるパラメータ

Table 3 Parameters for evaluation.

電波強度の揺らぎ r_σ	2.5 dBm
電波強度閾値 $r_{threshold}$	-60 dBm
尤度閾値 $p_{threshold}$	0.1%
類似度閾値 $t_{threshold}$	0.4
窓幅 w	10 sec
ゲート加速度閾値 $g_{threshold}$	0.15 G
ゲート幅閾値 $w_{threshold}$	2.0 sec

表 4 ゲート通過検出精度

Table 4 Accuracy of gate passing detection.

ゲート通過検出区間	157 区間
実際にドアを通過した回数	120 回
ゲート通過検出に正答した数	92 区間
適合率	59%
再現率	76%
F 値	66%

とおりに設定した。また、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 3 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 4 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見なす。適合率（ゲート通過を検出した区間のうち正答した数の割合）は約 58%、ドア通過以外の地点を検出した割合は約 41%であった。また、全ドア通過 120 回のうち正答したのは 92 回であり、再現率（実際にドアを通過した回数のうち正答した数の割合）は約 76%であった。適合率と再現率の調和平均である F 値は 66%であった。以上の結果より、必ずしも無線 LAN 環境特異点がゲート通過点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 13 に、ドアごと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%、最低で 40%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

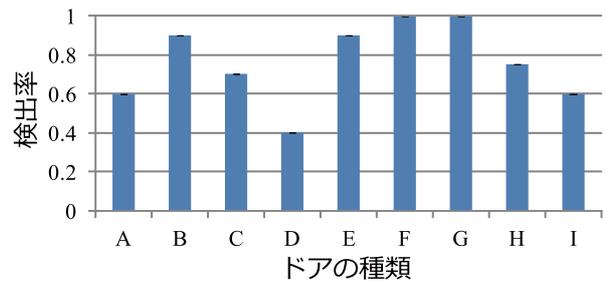


図 13 ドアごとのゲート通過検出率

Fig. 13 Accuracy of gate passing detection for each door.

表 5 同一ゲート通過推定の精度

Table 5 Accuracy of gate identification.

ゲート通過検出に成功した特異点の数	92 個
同一ゲート通過と推定された特異点对の数	348 対
同一ゲート通過推定に正答した特異点对の数	245 対
同一ゲート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%

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_σ ）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

同一ゲート通過推定精度を評価した。前項で検出された無線 LAN 環境特異点のすべての組合せについて、類似度が閾値 0.4 以上である特異点对を同一と見なす。同一と見なされた特異点对が、実際に同一のゲートを通過した時点の特異点である場合を正答と見なす。適合率（同一ゲート通過と推定された特異点对のうち正答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特異点对のうち正答した特異点对の割合）、F 値を表 5 に示す。また、ドアごとの適合率、再現率、F 値を図 14 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分かる。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ゲート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 はドアどうしの距離が約 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

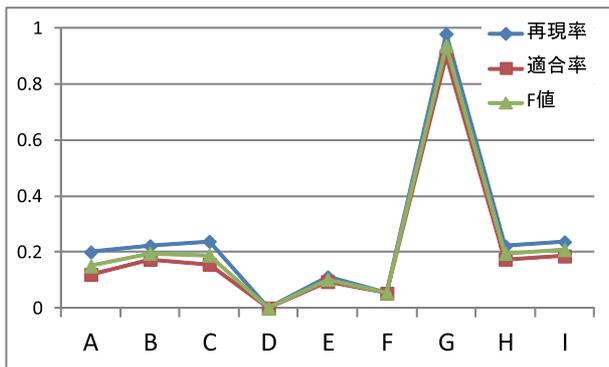


図 14 ドアごとの同一ゲート通過推定の精度

Fig. 14 Accuracy of gate identification for each door.

表 6 通過方向推定の精度

Table 6 Accuracy of gate passing direction estimation.

通過方向推定に成功した特異点对の数	226 個
同一ゲート通過と通過方向を共に正答する割合	64%
同一ゲート通過を正答した特異点对のうち通過方向を正答する割合	92%

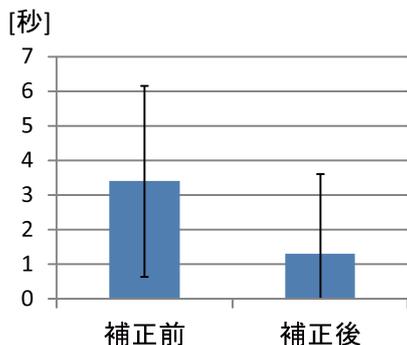


図 15 特異点検出時刻とドア通過時刻の差の平均と標準偏差 (ゲート通過検出に成功した 92 個を対象)

Fig. 15 Difference between estimated time of WiFi significant point and actual door passing time (It was evaluated by using 92 points that gate passing detection is succeeded).

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。

通過方向推定の精度を表 6 に示す。同一ゲート通過と推定された 348 の特異点对のうち、同一ゲート通過推定と方向推定を両方正答した割合は 64%であった。同一ゲート通過推定に成功した 245 対に限定すると、正答率は 92%であった。また、同一ゲート通過推定結果が高精度であったドア G については、正答率が 100%であった。これより、同一ゲート通過推定が正確な場合には、おおむね通過方向も正しく推定可能といえる。

3.3.3 特異点時刻の加速度ゲート推定による補正

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、加速度信号に基づく時刻補正の精度を検証した。図 15 は、推定時刻と実際のゲート通過時刻の差の平

表 7 適合率を重視したパラメータ

Table 7 Parameters taking count of precision.

電波強度の揺らぎ r_{σ}	2.6 dBm
電波強度閾値 $r_{threshold}$	-45 dBm
尤度閾値 $p_{threshold}$	0.01%
類似度閾値 $t_{threshold}$	0.8
窓幅 w	10 sec

表 8 適合率を重視したパラメータによるゲート通過検出精度

Table 8 Accuracy of gate passing detection using parameters taking count of precision.

適合率	91%
再現率	26%
F 値	40%

表 9 適合率を重視したパラメータによる同一ゲート通過推定精度

Table 9 Accuracy of gate identification using parameters taking count of precision.

適合率	89%
再現率	30%
F 値	45%

均と標準偏差を表している。補正前は平均 3.40 秒、標準偏差 2.76 秒であったが、補正後には平均 1.30 秒、標準偏差 2.29 秒であった。加速度信号を用いた補正によって、無線 LAN 環境特異点の時刻を実際のゲート通過時刻に近づけられることが分かった。

また、検出された全 157 個の無線 LAN 環境特異点を用いた補正評価も行った。ゲート通過検出に失敗した特異点については、最も近いゲート通過時刻との差を用いて計算した。その結果、補正前は誤差が平均 8.99 秒、標準偏差 7.44 秒であったのに対して、補正後の誤差は平均 7.83 秒、標準偏差 8.24 秒となった。全体としては時刻補正によってわずかに通過時刻の精度を向上させられることが分かった。

3.4 適合率を重視した場合のゲート通過推定精度

本手法のアプリケーションの 1 つとして、5 章で述べるデッドレコニングの累積誤差修正があげられる。このようなアプリケーションの場合、ゲート通過検出や同一ゲート通過推定には高い適合率が求められる。そこで、適合率を重視したパラメータ (表 7) を用いてゲート通過推定精度を検証した。このパラメータでは、強い電波のみを使用し揺らぎの影響を低く抑えている。また尤度閾値を低く、類似度の閾値を高く設定して、推定を誤る確率を低減させている。

このパラメータを用いたゲート通過検出精度と、同一ゲート推定精度を表 8、表 9 に示す。再現率がいずれも 30%以下に低下しているが、90%程度の適合率を達成できた。

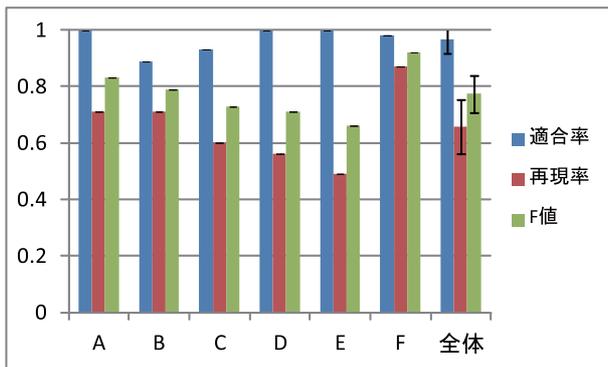


図 16 同一ゲート通過推定の被験者ごとの精度

Fig. 16 Accuracy of gate identification for each subject.

3.5 検出精度の個人差

本手法は加速度信号による歩幅推定を行っているため、個人差が生じる可能性がある。本節では、個人差の考えられるゲート通過検出と同一ゲート通過推定について複数被験者で精度を調査した。ゲート通過検出の困難なドアの場合、被験者が変わったとしても精度の向上は見込めないため、ここでは良好に検出できたドア G を対象とする。被験者は、前節までの被験者を含む男性 6 人である。被験者の年齢は 25 歳から 34 歳までであり、身長は 169 cm から 184 cm である。被験者は対象となるドア G を 10 回通過する。実験のパラメータは表 3 を使用した。

結果は以下のとおりであった。ゲート通過検出精度は、全被験者ともに 100% であった。これは、図 13 のドア G の通過検出精度と合致している。同一ゲート通過推定の被験者ごとの精度を図 16 に示す。図の右端は全体としての精度の平均と標準偏差である。適合率は被験者ごとの違いが大きくないのに対して、再現率は 49% から 87% と比較的大きな個人差がみられた。

再現率の個人差については、ドア通過の速度にばらつきがあることが影響しているのではないかと考える。実験時において、最も再現率が低くなった被験者 E は、ドア付近で速度を緩めて通過するという試行と、ほとんど速度を緩めることなくドアを押して通過するという試行の双方が観察された。同一ゲートの通過検出では、特異点に投票した基地局 ID を窓幅内で集約し、その基地局 ID リストのパターンを比較している。ゲート通過速度にばらつきがあると、窓幅内に集約される基地局のパターンが異なってしまうことがある。ゲートを速く通過した場合、ドアから少し離れた地点で、そのドアの開閉とは関係のない基地局の電波環境変化をとらえてしまうことがある。窓幅内に集約した際、その基地局 ID も集約されてしまうと、そのときの基地局 ID リストは、遅く通過した際の基地局 ID リストとは異なるパターンとなる。この現象を防ぐためには、移動速度が速いときには窓幅の秒数を短くするといった動的なパラメータ調整が必要と考えられる。

4. 関連研究

建物や部屋への進入・退出をセンサを用いて検出する手法は複数存在する。Patel らは気圧センサによる屋内移動推定手法を提案している [11]。環境側である HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) (室内空調) ユニットの気圧センサを取り付け、気圧の変化パターンからドア開閉や人のドア通過を検出するという手法である。ユーザはいっさいのセンサを保持する必要がないが、HVAC ユニットへの気圧センサ設置は建物の構造的に困難な場合がある。また本手法単独では、複数ユーザの存在する環境での個別トラッキングが困難と考えられる。勝田らは GPS 受信状況による屋内外推定手法を提案している [12]。一般にユーザが携帯する GPS 端末の受信電波強度は、屋内では屋外よりも低下する。本手法では学習データを用いて判別モデルを生成し、それに基づいて屋内外の推定を行う。事前に学習データを用意する必要があり、人的コストの問題を解決する必要がある。本研究はこれに対して、いっさい学習データを必要としないゲート通過検出手法であるため、実環境への適用可能性は高いと考える。Hotta らは無線 LAN を用いた部屋レベルでの高精度な位置推定を実現するために、ユーザのドア通過を推定する手法を提案している [13]。無線 LAN 環境の学習データとして、各地点の無線 LAN の電波強度に加えて、その観測地点から最も近いドアまでの距離をパラメータとして入力する。現在地がドアに近い場所であるほど、部屋への入退室確率を高める。ドア付近を通じてのみ他の部屋への遷移が可能になるため、部屋の壁によりユーザがいる場合に、隣の部屋に急に移動するという現象を防ぐことができる。しかしこの手法は、無線 LAN の電波環境の変化から実際にドアを通過したかどうかを判定するものではない。

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 [14]。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 [15]。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、電波の見通しが良い状態 (LOS: Line-Of-Sight) / 悪い状態 (NLOS: Non Line-Of-Sight) 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 [16], [17], [18]。Li らの手法では、LOS, NLOS を判断

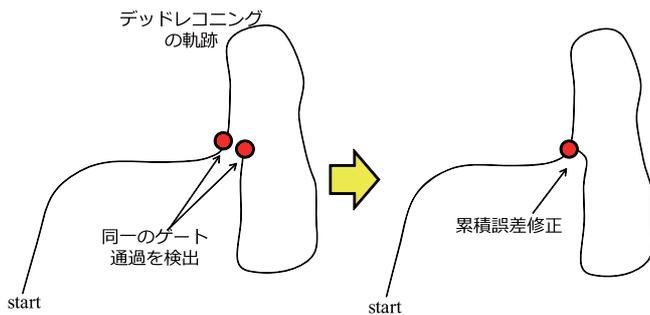


図 17 同一ゲート通過検出に基づくデッドレコニングの累積誤差修正

Fig. 17 Cumulative error correction of dead-reckoning based on gate identification.

するために加速度信号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 [16]. 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った点が異なる。

5. 応用

提案手法は、スマートフォンに内蔵された加速度センサや角速度センサを用いたデッドレコニング [19], [20] 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、累積誤差の補正手法として、GPS や RF タグに基づく手法が提案されている [20]. 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 [14], [15] を用いて累積誤差を修正する手法 [21], [22] が提案されているが、事前に無線 LAN 電波環境を学習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 17)。

そのほかの応用を以下にあげる。提案手法は建物の入り口のドアにも適用できる。屋内外の位置情報サービスをシームレスに接続するために、屋内外の進入・退出検出を実現することも可能であると考えられる。また、Hotta らの提案した部屋レベルの位置推定精度向上 [13] といった応用にも適用可能であろう。

6. まとめ

本稿では、物理的に空間を分断する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 と加速度の情報を併用する。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 点をあげる。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て、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] Jauregi, E., Lazkano, E. and Sierra, B.: Approaches to Door Identification for Robot Navigation, *Mobile Robots Navigation*, Barrera, A. (Ed.), ISBN: 978-953-307-076-6, InTech, pp.241-262 (2010).
- [2] Schindler, G., Metzger, C. and Starner, T.: A Wearable Interface for Topological Mapping and Localization in Indoor Environments, *Proc. Location- and Context-Awareness 2nd International Workshop*, pp.64-73 (2006).
- [3] Seidel, S. and Pappert, T.: 914Mhz Path Loss Prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, pp.207-217 (1992).
- [4] LaMarca, A., Hightower, J., Smith, I. and Consolvo, S.: Self-Mapping in 802.11 Location Systems, *Proc. 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2005)*, pp.87-104 (2005).
- [5] 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).
- [6] 梶 克彦, 河口 信夫: 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, *第 74 回情報処理学会全国大会*, 4E-4 (2012).
- [7] 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).
- [8] Ferris, B., Fox, D. and Lawrence, N.: WiFi-SLAM Using Gaussian Process Latent Variable Models, *Proc. 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'07)*, pp.2480-2485 (2007).
- [9] Goswami, A., Ortiz, L.E. and Das, S.R.: WiGEM: A Learning-based Approach for Indoor Localization, *Proc. 7th Conference on Emerging Networking EXperiments and Technologies (CoNEXT'11)* (2011).
- [10] 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).
- [11] Patel, S.N., Reynolds, M.S. and Abowd, G.D.: Detecting Human Movement by Differential Air Pressure Sensing, *Pervasive Proc. 6th International Conference on Pervasive Computing*, pp.1-18 (2008).
- [12] 勝田 悦子, 内山 彰, 山口 弘純, 東野 輝夫: GPS 受信状態を用いた屋内外判定法, *情報処理学会研究報告 2011-*

- MBL-60(18), pp.1–8 (2011).
- [13] Hotta, S., Hada, Y. and Yaginuma, Y.: A Robust Room-level Localization Method Based on Transition Probability for Indoor Environments, *Proc. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2012* (2012).
- [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バ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: 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).
- [16] Li, M., Imai, N. and Yoshihara, K.: An Integration Method for Wireless Location Using Mobile Phone Built-in Sensors and TDOA Landmarks, *Proc. Workshop on Internet of Things and Service Platforms (IoTSP '11)*, pp.5:1–5:8 (2011).
- [17] So, H.C. and Ma, W.-K.: Maximum A Posteriori Approach to Time-of-Arrival-Based Localization in Non-Line-of-Sight Environment, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.59, No.3, pp.1517–1523 (2010).
- [18] Fand, L., Antaklis, P.J., Montestruque, L.A., et al.: Design of a Wireless Assisted Pedestrian Dead Reckoning System – The NavMote Experience, *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, Vol.54, No.6, pp.2342–2358 (2005).
- [19] 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).
- [20] 奥梶正克, 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).
- [21] Seitz, J., Vaupel, T., Meyer, S., et al.: A Hidden Markov Model for Pedestrian Navigation, *Proc. Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC)*, pp.120–127 (2010).
- [22] Evennou, F. and 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).

推薦文

本研究は、無線 LAN の変化に基づきゲートを検出するという手法を提案しており、そのアイデアは非常に新規性が高い。また、手法のモデル化も丁寧にまとめられている。よって、ここに研究会推薦論文として推薦する。

(モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会
主査 竹下 敦)



梶 克彦 (正会員)

2002 年名古屋大学工学部電気電子工学科卒業。2007 年同大学大学院情報科学研究科博士課程修了。博士(情報科学)。同年 NTT コミュニケーション科学基礎研究所リサーチアソシエイトを経て、2010 年より名古屋大学大学院工学研究科助教。日本ソフトウェア科学会会員。屋内位置推定、遠隔コミュニケーション支援の研究に従事。



河口 信夫 (正会員)

1990 年名古屋大学工学部電気電子工学科卒業。1995 年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程満了。同年同大学工学部助手。同大学講師、准教授を経て、2009 年より同大学大学院工学研究科教授。NPO 位置情報サービス研究機構 Lisra 代表理事。モバイルコミュニケーション、ユビキタスコンピューティング、行動センシングの研究に従事。博士(工学)。ACM, IEEE, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 日本音響学会各会員。