

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011 ~ 2012

課題番号：23700114

研究課題名（和文）

無線LANとセンサを併用した屋内位置推定手法の構築

研究課題名（英文）

Developing Indoor Localization Method Based on Wireless LAN and Sensors

研究代表者

梶 克彦 (KAJI KATSUHIKO)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：40466412

研究成果の概要（和文）：

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ゲート通過検出手法を実現した。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。

研究成果の概要（英文）：

We have developed 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 more than half 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

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：位置情報システム，遠隔コミュニケーション

科研費の分科・細目：情報学，メディア情報学・データベース

キーワード：情報システム，無線LAN，加速度センサ

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は無線LANに基づく屋内の位置推定プラットフォーム indoor.Locky を研究開発していた。本プラットフォームでは、まず事前に屋内無線LAN情報を収集してまわり、その情報をもとに無線LANモデルを構築し、位置推定を行う。ここで、事前収集

の際、ユーザは各観測地点において、フロアマップ中の現在位置をタップすることでシステムに通知しなければならない、無線LAN情報の事前収集のコストが非常に大きいという問題があった。

一方、研究代表者が所属する研究室では、装着型センサによる人間行動理解に関する

研究が進められており、無線 LAN 情報を観測するモバイル端末に備えられているセンサを用いてこの問題を解決できないだろうかと考えた。従来より加速度センサ等を用いたデッドレコニング（相対自己位置推定）に関する研究が進められており、それらの技術が利用可能である。デッドレコニングの問題点は累積される誤差によって位置推定精度が悪化する点であり、それを無線 LAN によって補正することが求められる。

2. 研究の目的

人的コストの高い無線 LAN 環境の事前観測を必要としない、デッドレコニングの累積誤差修正手法を提案する。

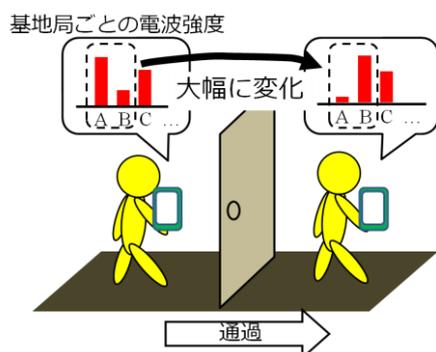


図 1：ドアの通過に伴う電波環境の変化

3. 研究の方法

累積誤差修正は絶対位置推定精度の高い地点でのみ行えばよい。また、日常生活において同一の地点を複数回通過するという点に着目する。高い絶対位置推定精度を実現しうる地点として、ドアなどのゲートに着目した。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。

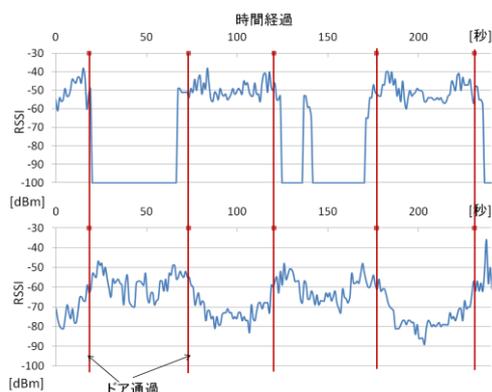


図 2：ある基地局の電波強度変化とドア通過の関係

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無線 LAN 環境の変化を観測した。結果を図 2 に示す。下側の基地局は、ドア通過に伴う大幅な電波強度の変化は見られず、ドア通過を伴わない歩行と同等程度にしか変化しない。しかし上側の基地局はドア通過に伴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 環境特異点と定義し、無線 LAN 環境特異点を自動検出する手法を実現した。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。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。さらに、無線 LAN 変化パターンから同一のゲート通過を検出する。

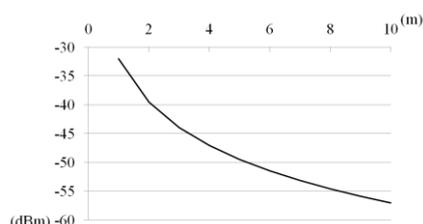


図 3：受信電波強度と基地局までの距離の関係

携帯端末で受信される無線 LAN 情報には揺らぎがあり、加速度センサの信号にもノイズが発生する。そこで、無線 LAN 環境特異点の検出にはこれらのノイズを考慮して確率的なモデルを提案した。考慮する無線 LAN 基地局数を 1 つとし、提案モデルの概要を以下に述べる。

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が存在する。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る。逆に受信電波強度から基地局までの距離を推定できる。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 rt_1 から rt_2 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。

$$d_{min} = |f(rt_1) - f(rt_2)|$$

図 4 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 $|f(-30\text{dBm}) - f(-40\text{dBm})|$ である。

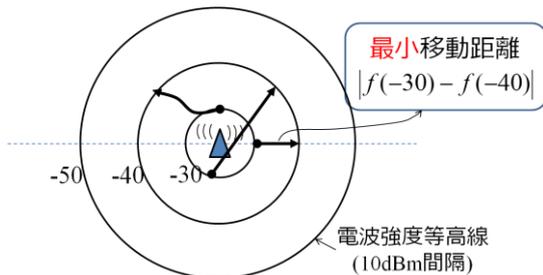


図 4：電波強度変化から得られる最少移動距離

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 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。

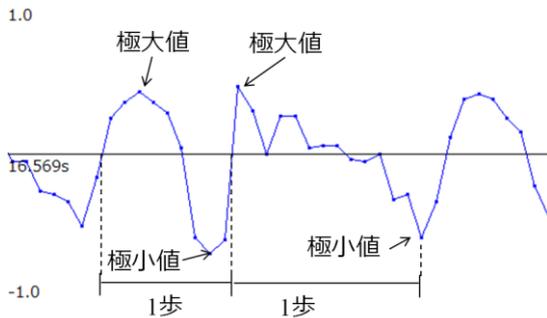


図 5：歩行時の加速度データ

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。歩幅は各歩行の極大値と極小値を用いて、推定可能である。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 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 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 に基づく最低移動距離 d_{\min} が合理的でないと推定できる。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。

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)

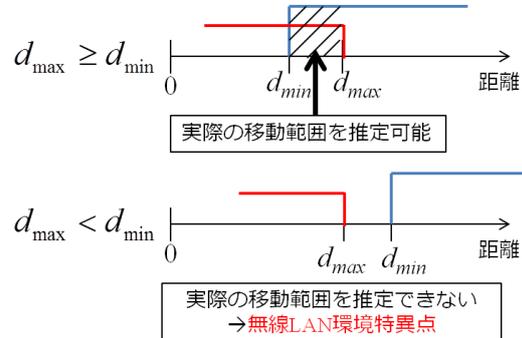


図 6：無線 LAN 環境特異点検出の基本原則

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。

さらに、以下の点を考慮して上記のモデルを拡張して実環境への適用を試みている。1. 複数の無線 LAN 基地局の考慮、2. 電波強度の揺らぎの考慮、3. 大きな変化を生じさせる基地局の種類を用いた無線 LAN 環境特異点の同定。



図 7：実験環境のドアの種類

4. 研究成果

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。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の種類を図 7 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。

表 1 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 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。

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%

表 1：ゲート通過検出精度

図 8 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。

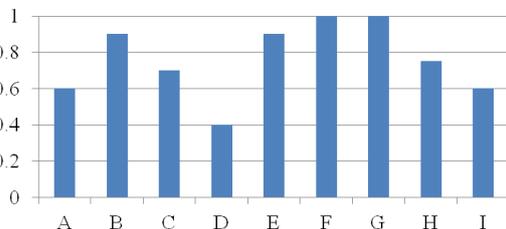


図 8：ドアごとのゲート通過検出率

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。

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%

表 2：同一ゲート通過推定の精度

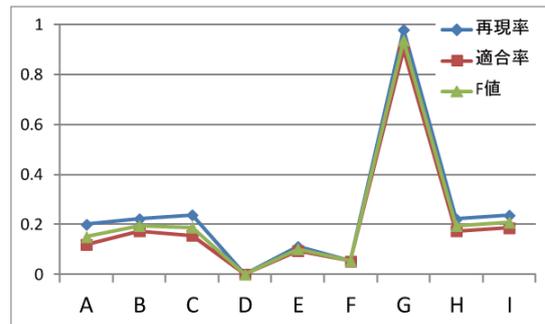


図 9：ドアごとの同一ゲート通過推定の精度

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。

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 2 に示す。また、ドアごとの適合率、再現率、F 値を図 9 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。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①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. (査読あり)

[学会発表] (計6件)

①Kaji, K., Kawaguchi, N., Gate-Passing Detection Method Based on WiFi Significant Points, In Proc. of The 2013 International Conference of Wireless Networks, (to appear), Imperial College London, United Kingdom, 2013/6/4.

②Kaji, K., Kawaguchi, N., Design and Implementation of WiFi Indoor Localization based on Gaussian Mixture Model and Particle Filter, in Proceedings of The 3rd International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2012), pp.1-9, University of New South Wales, Australia, 2012/11/13.

③梶克彦, 河口信夫, 無線 LAN 環境特異点に基づくゲート通過検出手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム, pp. 340-348, 石川県 山代温泉 ホテル百万石, 2012/7/4. (最優秀論文賞)

④渡辺穂高, 渡辺翔太, 梶克彦, 河口信夫, 特定の移動経路を対象とする行動センシング情報収集フレームワーク, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム, pp.2410-2414, 石川県 山代温泉 ホテル百万石, 2012/7/5. (野口賞)

⑤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, 愛知県 名古屋工業大学 2012/3/6.

⑥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, マルチメディア, 分散・協調とモバイルシンポジウム (DICOM02011), 京都府 天橋立宮津 ロイヤルホテル, pp.449-455, 2011/7/6. (優秀プレゼンテーション賞)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.echo.nuee.nagoya-u.ac.jp/~kaji/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶 克彦 (KAJI KATSUHIKO)

名古屋大学大学院工学研究科・助教

研究者番号: 40466412

(2) 研究分担者 無し

(3) 連携研究者 無し