

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700080

研究課題名(和文) 端末の多様性に対して堅牢かつ低コストな無線LAN位置推定法

研究課題名(英文) Robust and Low Cost WLAN Localization for Device Heterogeneity

研究代表者

内山 彰 (UCHIYAMA, Akira)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：70555234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では端末の多様性に対応するため、端末固有の特性が生じやすい電波強度を直接位置推定に用いず、端末間の通信の可否を利用して位置を推定する方式を考案した。位置推定法の設計にあたり、人間の対象認識特性を考慮した位置推定の精度を表す指標を考案し、求められる精度について検討を行った。提案する位置推定法では、最大電波到達距離を緩やかな制約として利用することで、端末の多様性に対する堅牢性を向上させる。制約の緩和による精度低下を補うため、地図情報や最大移動速度情報を付加的情報として利用している。シミュレーションによる評価の結果、最大無線到達距離の70%程度の精度で推定可能なことが分かった。

研究成果の概要(英文)：In order for the robustness to heterogeneous devices in WLAN localization, we have proposed a method to estimate device locations using connectivity among nodes. We have also investigated a novel metric to evaluate localization methods considering requirements for localization based on human perception. Since received signal strength is vulnerable to device heterogeneity, the proposed method relies on the maximum radio range (i.e. connectivity) among nodes, which is relatively robust to device heterogeneity. However, using connectivity instead of signal strength degrades localization accuracy since it only provides the maximum distance between devices. To improve the accuracy, we leverage map information and the maximum moving speed as additional information. From simulation results, we have confirmed the average localization error is 70% of the maximum radio range.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタスコンピューティング 位置推定

1. 研究開始当初の背景

総務省の u-Japan 政策の立案など近年ユビキタスネットワーク社会の実現を目指した様々な研究開発が進められており、多様なアプリケーションが期待されている。ここ数年で急速に普及しつつある iPhone や Android 携帯などのスマートフォンでは無線 LAN が搭載されている製品も市場に投入されており、位置情報を利用したサービスが多数提供されている。位置情報サービスの重要性が高まるとともに、GPS が利用できない屋内においても位置情報を提供するため、無線 LAN などを利用した端末の位置推定法が多数提案されている。一般の位置推定法では、無線デバイス (WiFi, 指向性アンテナ, 超音波など) を用いて事前に位置が分かっている端末 (基準局) との地理的な関係 (距離, 角度など) を推定し、三点測量などにより位置を決定する。中でも無線 LAN の電波強度を利用した位置推定法は、ほとんどの携帯端末に搭載されているため新規デバイスの導入が不要であり、低コストな手法として注目されている。

しかし端末の位置が同じでも、無線 LAN ベンダに応じて取得される電波強度は異なるため、推定結果に誤差が生じるという問題がある。端末に応じて電波強度の差異が ±20% 以上存在し、端末によっては位置推定誤差が 10m 以上悪化することが報告されている。そこで最新の研究では、異なるデバイス間に存在する問題 (端末の多様性) に着目した位置推定法が考案され始めている。しかしながらこれらの手法はいずれもフィンガープリント方式であり、位置推定の対象領域内の多数地点における事前学習フェーズが必要である。事前学習フェーズでは必要とされる位置推定精度にもよるが領域を 1m 四方程度のセルに分割し、ほぼ全セルにおける基地局からの電波強度特性を観測しなければならず、導入コストが非常に大きい。また、屋内の什器配置が変更されたり、基地局が追加・撤去されたりした場合など、環境変化が発生する度に事前学習フェーズを実施しなければならず、維持管理に必要なコストも無視できない。したがって、低コストかつ無線の多様性に堅牢な位置推定方式の確立が求められる。

2. 研究の目的

本研究では多くの人々が保持するスマートフォンの端末多様性に対して堅牢かつ導入・維持コストの低い無線 LAN 位置推定法の実現を目的とする。このため、要求される位置推定精度の検討を行った上で、位置推定法を設計する。

3. 研究の方法

(1) 要求される位置推定精度の検討

位置推定法の設計にあたり、要求される位置精度を明らかにする必要がある。要求される精度はアプリケーションによって異なるため、アプリケーション利用者の観点を考慮

することで、広く用いられている真値と推定位置の距離 (絶対誤差) とは異なる指標を考案する。

(2) 位置推定法の設計と評価

端末の多様性に対して堅牢な位置推定法を設計し、その評価を行う。設計にあたっては、無線 LAN 基地局などの既存の設備を利用することで、導入コストの低い方式を検討する。

4. 研究成果

(1) ユーザ視点を考慮した位置推定精度の定量化

位置推定アルゴリズムでは、ノード密度、通信可能距離、位置基準局 (ランドマーク) 数など、環境に応じて推定位置に誤差が生じる。しかし、この誤差は一般に実際のノード位置と推定されたノード位置との距離 (絶対位置誤差) で表されることが多いため、推定された複数のノード位置が実際のノードの位置関係をどの程度正しく実現しているかは評価されておらず、そのための評価指標の研究もあまり行われていない。

一方、複数ノード間での相対的な位置関係の正しさは、特定のノードを参照する行為に大きな影響を与える。例えば、無線端末を保持する人物群の推定位置をモニター上に表示するシステムを用い、モニター中のある人物を実際の人物群から目視で特定したい場合、その特定には周辺の人物との位置関係を利用すると考えられる。そのような利用を想定した場合、各位置推定アルゴリズムに対する相対的な位置関係の正しさを定量的に評価するための方法論が望まれる。

そこで、全ての位置推定アルゴリズムを対象に、位置を推定されたノード群の "相対的な位置関係の誤り" (相対位置誤差) を定量的に示す一つの指標を提案した。本指標では、あるノードをそのいくつかの周辺ノードとの位置関係から特定する行為において、推定位置を用いた場合でも正しいノードの位置を利用した場合と同様にノードの取り違えが発生しないことを、推定位置における位置関係の正しさの基準とする。これに基づき、推定位置における各ノードと、その "代表的な" 周辺ノードとの位置関係が、本来のノード位置におけるそれとどの程度一致しているかを不一致度 (Degree of Discrepancy) と呼ばれる値で定義し、これを相対位置誤差とみなす。なお、あるノードに対して、どのノードが "代表的な" 周辺ノードであるかを決定する絶対的基準は存在しないが、一方で相対位置誤差を定量化するためには、人の周辺ノード認識基準に比較的近い基準を実現できる周辺ノードを選び、それに基づく不一致度の定式化を行う必要がある。そこで本研究では、あるノード A に対して、ノード A に近く (近接性) より "代表にふさわしい" ノードが周辺に存在しない (唯一性) 様な各ノード B を、A の相対位置を特徴づける周辺

ノードとみなす。本指標では、B が A に対し近接性と唯一性を満たすことが、A および B を含むドロネー三角形を構成できることと等価であることから、本来のノード位置におけるドロネー三角形分割との乖離度を不一致度として用いる。

提案指標の有用性を示すため、既存のいくつかの位置推定アルゴリズムが出力したノード推定位置に対し評価を行った。その結果、絶対位置誤差が同じ場合でも、提案する性能指標の評価値はアルゴリズムごとに大きく異なることが判明した。また、11 名を対象としたアンケートを実施した結果、提案する指標と人間の直感によるノード参照誤りが発生する割合との間に関連性があることが判明した(図 1)。

本研究成果は国内研究会での発表を行うとともに、国際論文誌に採録されており、国内外で位置推定法に対するユーザ視点を考慮した新たな指標として一定の評価を得ている。

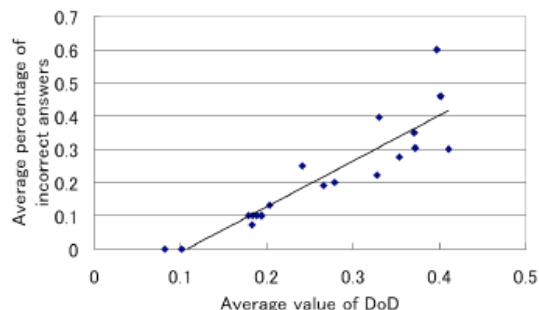


図 1 DoD とノード参照誤りの関係

(2) 端末間の接続関係を利用した位置推定法

電波強度を利用する位置推定法では、事前に構築した電波伝搬モデルにより、電波強度に基づく端末間距離の推定を行うため、比較的精度良く端末の位置を推定することができる。しかし、異なる端末同士では無線信号の送受信特性が異なるため、事前に構築したモデルと実際の電波強度に差が生じやすく、多様な端末が存在する場合の誤差要因となる。

そこで、電波強度そのものではなく、端末間の接続関係(通信の可否)を利用することで、端末の多様性に対して堅牢な位置推定方式 UPL (Urban Pedestrian Localization) を考案した。UPL では、無線 LAN 基地局など、

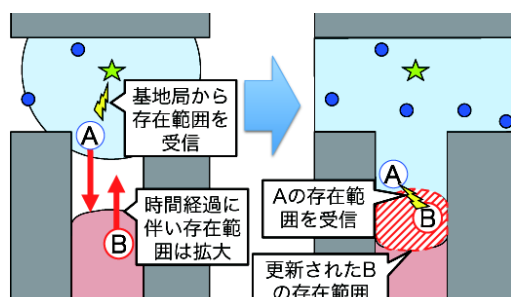


図 2 UPL の動作概要

あらかじめ位置が分かっている端末を位置基準として用い、端末間のアドホック通信により端末が存在する範囲(存在範囲)を交換することで、少ない基地局の位置情報を補完し位置精度の向上を図る(図 2)。最大通信距離、最大移動速度を仮定し、直接通信できた端末同士の距離は最大通信距離以下であるという通信制約や、単位時間で移動可能な距離は最大移動速度以下であるという移動制約を重ね合わせることで存在範囲を絞り込む。加えて、提案手法では障害物地図情報を仮定することで、壁などによる通信の遮蔽および移動可能範囲の制限を考慮して精度を向上させている。

シミュレーションにより提案手法の性能評価を行った結果、最大無線到達距離 r に対して平均位置推定誤差が約 $0.7r$ であることが分かった。

また、無線 LAN 基地局のように正確な位置情報を発信する固定ノード(ランドマーク)や他の移動ノードとの遭遇情報をサーバに収集し、それらを用いて移動ノード軌跡をオフライン(非リアルタイム)で推定する手法を考案した。提案手法では、ランドマーク間を最も直線に近い軌跡で移動したと考えられるノードの移動軌跡を推定し、その移動軌跡を他のノードの軌跡の推定に用いるという処理を繰り返す。さらに、シミュレーテッド・アニーリング(SA)を用いて、全移動端末の軌跡を一括して修正することにより、移動軌跡の精度を向上させる。シミュレーション結果より、現実的な環境において推定誤差が最大無線到達距離の 40%程度に抑えられることが確認できた(図 3)。

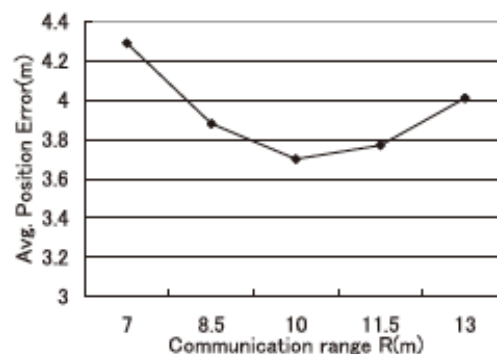


図 3 最大電波到達距離に対する誤差

これらの研究成果は本研究の成果は著名な国際論文誌等に採録されており、国内のみならず国際的に高い評価を得ている。

(3) 精度向上のための付加的な位置情報の取得方式の検討

端末の多様性に対応することで、特定の端末に限定した場合と比較して精度は低下する。この問題に対し、精度を向上させるため、併用可能な付加的な位置情報の取得方式を検討した。

都市部における GPS を用いた測位精度の向上を目標に、都市部の 3 次元モデルを利用した手法を考案した。都市部では建物による

遮蔽のために直接波を受信可能な衛星数が減少し、測位精度が低下する。しかし逆にこの欠点を利用して、建物の形状と配置が分かっているならば、どの地点なら特定の位置にあるGPS衛星からの信号を直接受信できるかを見通し計算により求めておくことができる。以降では、直接波を受信可能であることをLOS(Line-Of-Sight)、そうでないことをNLOS(None-Line-Of-Sight)と記述する。提案手法ではGPSの受信状況から各衛星がLOS/NLOSのどちらであるかを推定し、事前に求めておいた地点ごとのLOS/NLOS状況(フィンガープリント)と照らし合わせ、LOS/NLOS状況が最も近い地点に端末が存在しているを見出す。GPS衛星の見通し状況はスマートフォンなどに搭載されているGPSチップで一般に取得可能なSignal to Noise Ratio(SNR)に基づき推定する。

測距を行うためのものであるGPS信号を見通し状況という別の観点から利用するという点において、提案手法はこれまでに無いアプローチである。都市部ではGPSの見通し状況が周辺環境や衛星配置によって頻繁に変化するため、本アプローチは現在位置の絞り込みに有効と考えられる。特に、測距では信号を受信できなければ情報が得られないが、提案手法では信号を受信できなかったという事実も位置を絞り込むための情報として利用可能である。スマートフォンなど既存のGPS受信機で取得可能な情報を利用して端末が存在する可能性のある領域を推定するため、低コストで位置推定の精度向上に利用可能な付加的情報を取得できる。

提案手法の性能を評価するため、JR大阪駅ビル周辺を対象にフィンガープリントマップを構築し、Nexus Sを用いて実際に取得したGPSログに基づき実証実験を行った。評価結果から、平均正解率81%でGPS測位結果の誤差範囲に対して17%相当の領域に絞り込みが可能なことが分かった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

内山彰, 勝田悦子, 上嶋祐紀, 山口弘純, 東野輝夫, 都市区画におけるGPS衛星の見通し判定を用いた位置精度向上法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.389-398, 2014. (査読有り) URL: <http://id.nii.ac.jp/1001/00098351/>

Akira Uchiyama, Sae Fujii, Kumiko Maeda, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, UPL: Opportunistic Localization in Urban Districts, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.12, No.5, pp.1009-1022, 2013. (査読有り) DOI:10.1109/TMC.2012.86

Noboru Kiyama, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, Quantifying Relationship between Relative Position Error of Localization Algorithms

and Object Identification, Wireless Networks, Vol.19, No.6, pp.1037-1049, 2013. (査読有り) DOI:10.1007/s11276-012-0516-2

Sae Fujii, Akira Uchiyama, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, Trajectory Estimation Algorithm for Mobile Nodes Using Encounter Information and Geographical Information, Pervasive and Mobile Computing, Vol.8, pp.249-270, 2012. (査読有り) DOI:10.1016/j.pmcj.2011.11.002

[学会発表](計13件)

上嶋祐紀, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫, 三次元都市モデルとGPS信号のSNRを用いた携帯端末の存在領域判定, 情報処理学会 MBL研究会, 2014年3月15日, 神奈川.

Akira Uchiyama, Etsuko Katsuda, Yuki Uejima, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, GPS Line-Of-Sight Fingerprinting for Enhancing Location Accuracy in Urban Areas, Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2013), 2013年10月30日, France.

前川勇樹, 境裕樹, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫, スマートフォンを用いた駅ホームにおける混雑推定の一検討, 電子情報通信学会, 2013年1月24日, 宮城.

勝田悦子, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫, 都市区画におけるGPS衛星の見通し判定を用いたナビゲーション精度向上法の提案, 情報処理学会研究報告, 2012年3月13日, 東京.

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年11月11日, 鹿児島.

木山昇, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫, 位置推定されたノード群に対するユーザ視点を考慮した相対位置誤差の提案, 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, 2011年7月6日, 京都.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内山 彰 (UCHIYAMA, Akira)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号: 70555234