

屋内環境向け無線 LAN ナビゲーションを想定した位置・方向推定に関する検討

櫻木 伸也^{†1} 峰野 博史^{†2} 神田 準史郎^{†3}
石渡 要介^{†3} 水野 忠則^{†4}

近年、モバイル環境が普及し、携帯端末を利用して様々なサービスにアクセス可能な環境が整ってきている。また、短距離無線通信技術の進展によって、あちこちに偏在するオブジェクトが常にネットワークに接続されるユビキタス環境が現実のものとなりつつある。このようなユビキタス環境が実現し、身の回りにネットワーク接続可能なサービスが数多く提供されることで生活がより便利になるだろう。しかし一方で、サービスの利用経験やスキルを持たないユーザは、利用したいという欲求はあっても実際のサービスに到達することが困難であるという問題がある。我々はこのような問題を解決するために、屋内環境におけるサービスナビゲーションに関する研究を行っている。本稿ではこのような屋内環境における無線 LAN を用いた方法について検討を行った。

A Study of Position and Direction Estimation to Indoor Navigation for Wireless LAN Environments

SHINYA SAKURAGI,^{†1} HIROSHI MINENO,^{†2} JUNSHIRO KANDA,^{†3} YOUSUKE ISHIWATARI^{†3}
and TADANORI MIZUNO^{†4}

Over the last few years, the mobile Internet environment spreads, and the service that can be used with the mobile terminal has increased. More over, an ubiquitous environment is becoming the one of the reality. Because such an ubiquitous environment is achieved, and a lot of services that the network can be connected with surroundings are provided, life will become more convenient. However, even if he or she wants to use it, it is difficult for a user without the technology of use experience or service discovery to use. We are doing research on the service navigation in indoor environment, in order to solve such a problem. This paper describes the method using the wireless LAN in such indoor environment.

1. はじめに

近年、モバイルインターネット環境が普及し、ユーザは携帯端末を利用して様々なサービスを用意に入手できる環境が整いつつある。また、IrDA、UWB、Bluetooth、無線 LAN などの短距離無線通信技術の進展によって、あちこちに偏在するオブジェクトが常にネットワークに接続されるユビキタスコンピューティング環境が現実のものとなりつつある。ユビキタスコンピューティング環境やモバイル環境の普及に伴い位置情報サービス (LBS: Location-Based Services) へのニーズが高まっており、測位やナビゲーションなど LBS に関する様々な研究が進

められている。中でも GPS (Global Positioning System) を利用したシステムは、カーナビをはじめとして様々な運用システムで既に実用化されている。しかし一方で、衛星からの GPS 信号が受信できない屋内環境における LBS の要求も高まっている。これに対しては、屋内用の様々なインフラを利用したシステムが検討されているが、新たにこういったサービス専用インフラを敷設することはコスト面から考えると得策であるとは言い難い。

そこで、本稿では既に広く普及している無線 LAN をインフラとして利用するナビゲーションシステムについて検討する。現在、無線 LAN は大学や企業だけでなく、一般住宅、駅、電車、空港、ショッピングセンター等のあらゆる場所で利用が可能になってきている。そのため無線 LAN を利用したナビゲーションシステムはユーザの利用への敷居が低く、ナビゲーション専用

^{†1} 静岡大学大学院情報学研究所

Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学情報学部

Faculty of Informatics, Shizuoka University

^{†3} 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

^{†4} 静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

に特別なインフラを敷設することなく既存の無線 LAN インフラを利用することができる。そこで本稿では無線 LAN を利用したサービスナビゲーションに関しての検討を行う。以下、2 章では屋内測位を中心とした関連研究について、3 章では我々が考えるサービスナビゲーションの利用シーンシナリオについて、第 4 章では無線 LAN の受信電波強度を用いたナビゲーションシステムについて検討する。第 5 章でそれらの検討に基づいた実験を行い、第 6 章でまとめを行う。

2. 関連研究

本章では屋内ナビゲーションシステムにおける既存研究と無線 LAN を用いた位置測定システムについて述べる。

2.1 既存の屋内ナビゲーションシステム

本節では既存の屋内のナビゲーションシステムについて述べる。

まず GPS と同じ信号を発する pseudolite という装置を屋内の適切な場所に設置し、GPS と同様の測位方式を用いてナビゲーションを行うシステム¹⁾がある。これは GPS の 3 辺測量と同様に複数の pseudolite 信号の情報を利用し、測位を行うため測位精度が高い。また、cricket による測位と CAD による地図を組み合わせる CricketNav²⁾ は、cricket による測位を用いてダイナミックに経路を計算し向かう方向を地図に表示しナビゲーションを行っている。cricket が発するビーコンを受信することで位置を高精度に求めることができる。以上のシステムは高精度に測位できるという利点を持っているが、ナビゲーションシステムのために pseudolite や cricket など専用のインフラを敷設する必要がありコストがかかってしまう。

また既存の測位手法を用いて、ナビゲーションを行う研究もある。空間を測位デバイスの精度に応じて定義されたブロックに分割しそ

の空間上にマッピングを行う手法を用いたもの⁴⁾ や無線 LAN を利用した測位システムである Ekahau¹⁰⁾ や UWB などを用いた測位情報と SVG マップビューを組み合わせてナビゲーションを行うシステム³⁾ などがある。

2.2 無線 LAN を用いた位置測定システム

無線 LAN を測位インフラとして用いる方法は、大きく分けて次の 2 つに大別される。

- (1) 複数のアクセスポイントからの信号到達時間を利用して位置検出を行う方法
- (2) 複数のアクセスポイントから得られる受信電波強度を利用して位置検出を行う方法

前者では、位置検出精度に関しては十分な精度が保障される方法も提案されている。この方法では複数のアクセスポイント（以下 AP）から発信される無線信号の到達時間差（TDOA: Time Differential Of Arrival）を用いて三角測量を行い、端末の位置を算出している。TDOA 方式を用いて算出された端末位置は精度が良いことが報告されているが、端末と各 AP との時刻同期が必要になる等、低コストでの実現が困難である。TDOA 方式を用いたものとして日立の Airlocation⁵⁾ があり、製品化されている。

後者では、AP から得られる受信電波強度（RSSI: Received Signal Strength Indicator）を利用して端末の位置推定を行う方法である。事前にいくつかの参照点より観測した受信電波強度をデータベース化し、推定の際に実際に観測した値とデータベースとを比較して位置を推定するもの⁶⁾ や通信中の他の端末の受信電波強度を測定し、基準となる AP の位置などを元に三辺測量の原理を用いて推定を行う Wips⁸⁾、電波の距離特性を考慮して推定を行う RADAR⁹⁾、3 つの AP からそれぞれ端末までの電波受信強度を測定し、Bayesian Network や Stochastic complexity などの数学的確率理論を用いて推定を行う Ekahau¹⁰⁾ といった方法がある。これらの手法は、導入時に特別な機材を必要とせず、既存

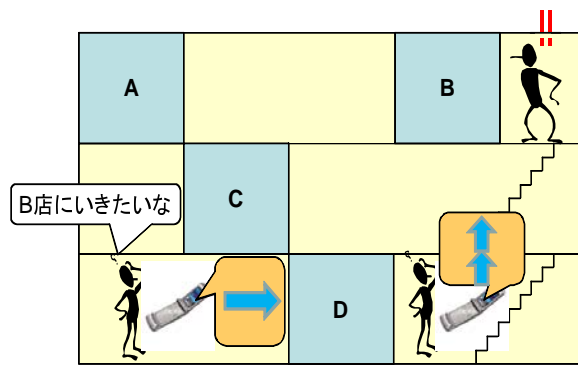


図 1 想定利用シーン：ショッピングモール

の無線 LAN インフラを利用して構築できるため低コストでの実現が可能である。しかしながら、受信電波強度は環境や場所によって変化が大きいなどの性質があることから、端末位置の検出精度は 1 の位置推定法に比較して悪く、実用に耐えるとは言い難い。

3. システム概要

本章では本システムが想定している利用シーンとコンセプトについて述べる。

3.1 想定利用シーン

我々が想定しているのは屋内環境の中でも特にショッピングモールや大規模オフィスのような比較的大規模なものを想定している。そういった大規模な屋内環境において、ユーザが持っている携帯端末を利用して、目的のサービス（店舗や部屋など）に対してナビゲーションを行う。たとえばショッピングモールであれば入口などの決まった地点で QR コードや赤外線通信などを用いて地図や店舗内情報を携帯端末にダウンロードし、ユーザが希望する店舗を選択し、その店舗に対しナビゲーションを行うということを考えている（図 1）。

3.2 コンセプト

本システムのコンセプト及び、それらに関する検討を示す。

- 低コストなインフラ

屋内でナビゲーションするにあたり、携帯端末の位置の情報を取得するために何らかのイン

フラが必要であるが、精度の高い屋内測位システムは専用のインフラが必要となり、導入・維持コストが高くなってしまふ。一方、無線 LAN (IEEE802.11a/b) の普及は目覚ましいものがあり、今後広く浸透していくであろうと考えられる。また、ユビキタスコンピューティング環境の主要なインフラとして各機器に標準搭載されるであろうと考えられる。そのため、無線 LAN をナビゲーションに利用することが出来れば、導入コストを低くすることが出来る。このことより本研究では利用するインフラとして無線 LAN を用いることにした。

- 直感的な利用

利用者にとって直感的に利用できるものを目指して検討する。具体的にはナビゲーション情報をユーザに与える際に東西南北といった絶対的な方向ではなく、利用者の向きや進行方向を考慮した相対的な方向を利用したものや、進行方向に携帯端末をかざすと音声やバイブレーションなどで判断出来るような情報を提示したりなどである。こういったことを実現するために必要な情報を有効に利用可能にし、利用者にとって直観的でわかりやすいナビゲーションシステムを検討していく。

ユーザの端末とナビゲーションする方向に対しての絶対位置ではなく、相対位置を利用しユーザにとってわかりやすいナビゲーションアルゴリズムを考えていく。そのためにはユーザ端末と目的サービス間がどのくらい離れているかといった情報やユーザの向いている方向などを考慮する必要がある。また、ナビゲーション対象となるサービスの順序などといった情報も必要なる。こういった情報を有効に利用し、ユーザにとって直感的でわかりやすいナビゲーションアルゴリズムを検討していく。

4. 受信電波強度を用いたナビゲーションに関する検討

前章で述べたコンセプトを受け、このようなナビゲーションシステムを作成する上で検討すべき点について述べる。まず、安価な無線 LAN インフラを利用すること及び直観的に利用できるという2点のコンセプトより無線 LAN の受信電波強度という点に着目したナビゲーションについての検討を行う。

無線 LAN の受信電波強度を利用してナビゲーションを行う際に受信電波強度を用いてどのような情報を得る必要があるかを考える必要がある。受信電波強度を用いて取得したい情報として、端末の位置や方向といったものが挙げられる。今回は受信電波強度を用いた端末の位置、方向の取得やこれらを用いたナビゲーション方法について検討を行う。

4.1 端末位置

ナビゲーションを行う際に端末（利用者）がどの場所に存在するかという情報は必須である。しかし、位置推定精度は高精度である必要はなく、数 m ~ 10 数 m のオーダーで大まかな位置を把握することができればよいと考えている。たとえば、屋内空間をある程度のエリア（部屋、廊下、階段、エレベーターなど）に分割したものが挙げられる。このように分割したエリア間の移動を追っていくことでナビゲーションは可能である。仮にこのエリアを単純にアクセスポイント単位で分割したとすると、アクセスポイントの観測を行うことでエリア推定や移動推定が可能であると考えられる。そこで端末からアクセスポイントからの電波強度を観測しつつナビゲーションを行う方法を考えている。まず一つ考えられる方法としては観測した電波強度を用いて目標とするアクセスポイントに対して利用者が近付いているかもしくは遠ざかっているかといった情報を利用したものが考えられる。

4.2 端末方向

ナビゲーションをする上で端末方向というのは、つまり利用者の向いている方向である。前節で述べた端末の遠近に加えて端末の向きを加えることでさらに詳細なナビゲーションを行うことが可能であると考えられる。受信電波強度を利用して端末方向を推定する方法は伊藤らの研究⁶⁾で行われているが、fingerprinting による事前学習を用いた方法を利用した推定を用いている。前章で述べたコンセプトよりこのような事前学習を用いなくて方向推定できる手法を検討していきたいと考えている。事前学習方式を用いなくて方向推定を行う手段として、単純に受信電波強度のみを用いた方法、指向性アンテナを用いることによる電波の到達度の変化、方位センサのような各種センサを用いる方法が考えられる。

5. 無線 LAN の電波強度を用いた位置・方向推定に関する実験

本章では前章での検討を受け、無線 LAN の受信電波強度を用いたナビゲーションをするにあたって受信電波強度と端末の関係についての実験を行った。今回はひとつのアクセスポイントと端末の距離、方向の変化による受信電波強度の変化についての実験を行い、その結果について考察を行った。

5.1 実験方法

実験には受信インタフェース（受信 IF）を装着したノート PC とアクセスポイントを用い、受信電波強度の観測は自作の測定プログラムを用いて測定を行った。また受信 IF には今回指向性のついたものと一般的なカードのものと2種類を用いて実験を行った。

5.1.1 実験環境

実験は 25m × 25m 程度の広い屋内空間で行い、極力他の無線 LAN 電波や障害物の影響を受けにくい環境で実施した。

5.1.2 設 定

実験に用いた機器は次のとおりである。

- PC (Lenovo R50e , Windows XP Professional)
- 指向性付き受信 IF (BUFFALO , WLI-U2-G54HP)
- 指向性なし受信 IF (BUFFALO , WLI-CB-AG54)
- 無線 LAN アクセスポイント (BUFFALO , WHR-AMG54)

アクセスポイントの通信規格は IEEE802.11b のみとした。

5.2 距離の変化による電波強度の変化

端末とアクセスポイントとの間の距離が 1m , 2m , 4m , 8m , 16m のそれぞれの場合において受信電波強度の計測を行った。各測定は、0.5 秒ごとに受信電波強度を計測して 60 秒間行った。

5.2.1 実験結果

各距離別に指向性あり、なしの受信 IF を用いた時の電波強度の分布をそれぞれ 図 2 , 図 3 に示す。縦軸が頻度、横軸が電波強度を表す。

指向性ありの受信 IF も指向性なしの受信 IF も分布の程度に差はあるが、アクセスポイントからの距離が遠いほど受信電波強度が弱くなっていることがわかる。無指向性の受信 IF の場合に比べて、指向性の受信 IF のほうがよりはっきり分かれている。

5.2.2 考 察

実験の計測データより、遠近の差による受信電波強度の違いが見られた。指向性ありの受信 IF のほうが指向性なしの受信 IF に比べ、距離ごとの差がくっきりと表れていることがわかった。数 m の違いであってもはっきりと電波強度の変化を見て取ることができるので、電波強度の変化具合の推移傾向を読み取ることで目的とするアクセスポイントに対して近づいているか、遠ざかっているかといったことは推定出来ると考えられる。

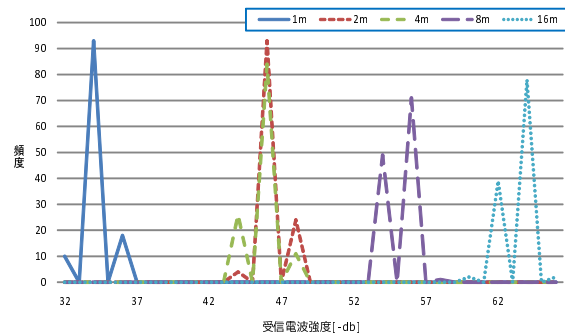


図 2 指向性あり受信 IF : 距離別電波強度分布

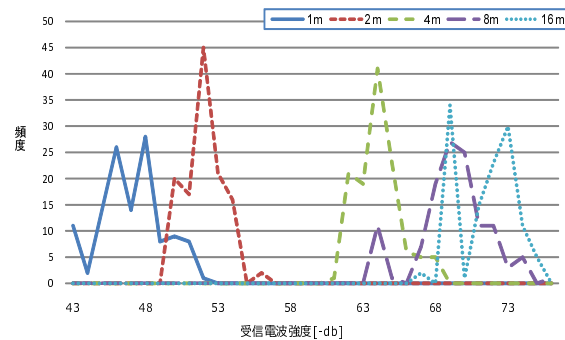


図 3 指向性なし受信 IF : 距離別電波強度分布

5.3 方向の変化による電波強度の変化

端末とアクセスポイントとの間の距離が 1m , 2m , 4m , 8m , 16m のそれぞれの場合において端末方向をアクセスポイントに対して正面方向を 0 ° とし、90 ° , 180 ° , 270 ° の 4 方向を向いた時について受信電波強度の計測を行った。各測定は、0.5 秒ごとに受信電波強度を計測して 60 秒間行った。

5.3.1 実験結果

それぞれの距離と角度に対する平均電波強度の変化および各距離における自由空間伝搬損失の理論値を併記したものを 図 4 , 図 5 に示す。縦軸が電波強度、横軸が距離を表す。

グラフを見ると、指向性ありの受信 IF では角度別に電波強度にばらつきが見られるが、指向性なしの受信 IF ではそこまで大きな差はない。また両 IF とも距離が延びれば延びるほど近い電波強度の値になっていることがわかる。

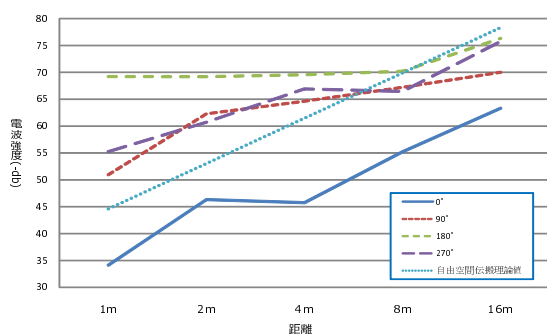


図 4 指向性あり受信 IF：方向別平均電波強度

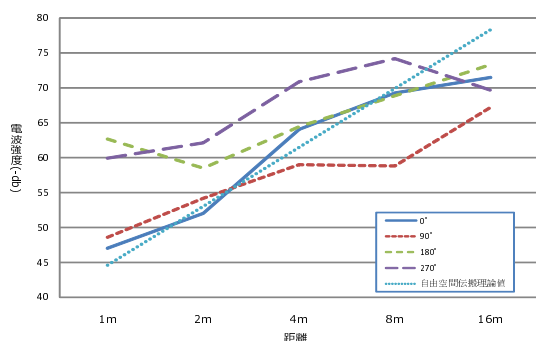


図 5 指向性なし受信 IF：方向別平均電波強度

5.3.2 考 察

実験時の計測データを見てみるとアクセスポイントと端末の距離が近い場合、端末の向きを変えても電波強度に違いが見られたが、アクセスポイントと端末の距離が遠くなる場合、端末の向きを変えても電波強度に大きな違いは見られなかった。これはアクセスポイントと端末間の受信電波強度の値の変化は距離が大きな影響を与えていると考えられる。

また0°と180°という2点に着目すると、両受信IFともこの2つの向きにおける電波強度の差が最も大きくなっている。0°はアクセスポイントに対して正面向きであり、180°は逆向きである。これらのデータを分析し0°のときと180°のときの受信電波強度の観測値の分散を表1に示す。これらを比較すると、特に指向性あり受信IFの場合、0°の場合は分散が少なく、安定した観測がおこなわれ、180°の場合は分散が大きく観測値の幅が大きいといった傾

向が見られる。受信電波強度に加え、このような観測値の幅などを利用することで0°と180°の前後判断を行うことが可能であると考えられる。前後判断が可能になると、利用者の進行方向の特定が可能になり、ナビゲーションしやすくなるのではないかと考えられる。

表 1 0°と180°方向における観測値の分散

	指向性あり 0°	指向性あり 180°	指向性なし 0°	指向性なし 180°
1m	0.908	8.561	4.710	8.637
2m	0.816	5.328	1.768	1.440
4m	1.162	3.999	2.345	1.700
8m	1.023	3.399	5.947	5.168
16m	1.161	5.907	3.820	1.888

6. ま と め

本稿では無線LANを用いたナビゲーションについての検討を行った。本システムの目的は携帯端末を用い、低コストで導入可能かつ直感的に利用できるようにすることである。そのために超音波やRFIDタグを用いた位置推定方式を用いた場合には導入・維持コストが高くなってしまふ。そこで近年広まりつつある無線LANを利用することで特別なハードウェアを導入することなく容易に構築できる。

まずはシステムの全体の概要とコンセプトを述べ、無線LANを利用したシステムを構築するにあたり、無線LANの電波強度を用いた位置と方向についての検討を行った。位置は詳細に特定する必要はなく、ある程度のエリアに分割しエリア間の移動をサポートできれば良いこと、エリア間の移動推移を電波強度を用いて取得できればナビゲーション可能であることなどを検討した。

そして検討に基づき、アクセスポイントと端末の距離と方向の関係についての実験を行った。今回の実験では1つのアクセスポイントと1つの端末を用いて距離を変化させた場合と方向を変化させた場合についてそれぞれ観測を行った。その結果、アクセスポイントと端末の距離が離

れるにつれて受信電波強度に変化が見られることがわかった。また指向性をもった受信 IF を用いることでその傾向はよりはっきりと出ることがわかった。方向についての実験では、近距離においては端末の向きを変化させることによる受信電波強度の違いはある程度ははっきりするが、距離が離れるにつれてそれらの違いは小さくなるということがわかった。

今後は端末が移動することによるパラメタの変化を利用した移動判別や考察でも述べたようなアクセスポイントに対する向きの違いによる観測データのばらつきなどを利用した前後判別について実験を行い、実際に観測を行いながらモデルを構築していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) Changdon Kee, Doohee Yun, Haeyoung Jun, Bradford W. Parkinson, Thomas Lenganstein, Sam Pullen : "Precise Calibration of Pseudolite Positions in Indoor Navigation System", ION-GPS 99 Proceedings, pp. 1499-1507, Sep 1999
- 2) Allen Miu : "Design and Implementation of an Indoor Mobile Navigation System", SM Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Jan 2002
- 3) Christian Schmitt, Oliver Kaufmann : "Indoor navigation with SVG", SVG OPEN 2005, Aug 2005
- 4) 高梨, 石渡, 斉藤, 久永, 田中, 山路, 秋間 : "屋内ナビゲーションシステムに関する一考察", 情報処理学会 高度交通システム研究会報告, 2006-ITS-24, pp.87-92,2006.
- 5) 荻野, 恒原, 渡辺, 藤嶋, 山崎, 鈴木, 加藤 : "無線 LAN 統合アクセスシステム - 位置検出方式の検討 -", マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム (DICO2003), pp.569-572 , 2003.
- 6) 伊藤, 河口 : "実環境における無線 LAN を用いた位置推定システムとその応用", 情報処理学会 モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会報告, 2004-MBL-30, pp.33-40, 2004.
- 7) Binghao Li, James Salter, Andrew G. Dempster and Chris Rizos : "Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN", "1st IEEE Int. Conf. on Wireless Broadband & Ultra Wideband Communications", 2006 .
- 8) 北須賀, 中西, 福田 : "無線 LAN を用いた屋内向けユーザ位置測定方式 WiPS の実装", DICO2004 , pp.349-352 , 2004.
- 9) Paramvir Bahl and Venkata N . Padmanabhan : "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System", IEEE Infocom 2000 , pp.775-784 , 2000.
- 10) Ekahau - <http://www.ekahau.com/>
- 11) A.Hater , A.Hopper,A.Ward,and P .Webster: "The Anatomy of a Context-Aware Application", "Proc . of ACM/IEEE MOBICOM '99", pp . 59-68 , Aug . 1999 .
- 12) M .Addlesee , R .Curwen , S .Hodges , J .Newman , P .Steggles , A .Ward , and A .Hopper : "Implementing a Sentient Computing System", " IEEE Computer", pp . 50-56 , Aug . 2001
- 13) S .Shih , M .Minami , H .Morikawa , and T .Aoyama : "An Implementation and Evaluation of Indoor Ultrasonic Tracking System", " 情処研報 , 2001-MBL-17 , pp.1-8 , May 2001 .
- 14) N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishnan and S. Teller, The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, Proc. ACM MOBICOM, Jul. 2001