

無線 LAN を用いた屋内向けナビゲーションに関する検討

櫻 木 伸 也^{†1} 峰 野 博 史^{†2} 角 野 宏 光^{†3}
鈴 木 偉 元^{†3} 石 川 憲 洋^{†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 Indoor Environments Service Navigation using Wireless LAN

SHINYA SAKURAGI,^{†1} HIROSHI MINENO,^{†2} HIROMITSU SUMINO,^{†3} HIDEHARU SUZUKI,^{†3}
NORIHIRO ISHIKAWA^{†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が実現し、身の回りにセンサやネットワーク機能を持った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。しかし一方で、ユーザにはサービスを発見・利用

するための経験やスキルが要求される。そのため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ユーザが容易かつ直感的に利用できるナビゲーション機能が必要となると考え、サービスナビゲーションに関する研究を行っている。

ユーザが容易に利用できるという点を考慮し、近年多くの場所において利用が可能となってきた無線 LAN を用いたナビゲーションに関して検討している。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。このようにどこでも無線 LAN が利用可能になりつつあり、将来的にさらに普及すると考えられる。そのため無線 LAN を利用したナビゲーションはユーザの利

^{†1} 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

^{†3} NTT ドコモ サービス&ソリューション開発部
NTT DoCoMo, Inc. Service & Solution Development Department

^{†4} 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

用への敷居が低く、今後普及すると考えれば特に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 を利用したナビゲーションに関する検討について述べ、第 5 章でまとめを行う。

2. 関連研究

ナビゲーションを行うにあたって、位置測定は重要な情報の一つとされている。本章では、既存の無線 LAN を用いた位置測定システムについての概要と、無線 LAN 以外の位置測定システムについて述べる。

2.1 既存の位置測定システム

近年、多様なインフラやハードウェアを用いた位置測定システムが登場しており、実際にサービスされているものから研究段階のものまで様々なものがある。さらにサービスの用途や利用可能な環境に応じて、それぞれのシステムの使い分けが行われている。主に屋外向けのシステムとして衛星を用いた地球規模の測位システムである GPS が主に用いられており、実際にカーナビゲーションや携帯電話を用いた歩行者ナビゲーション¹⁾などのアプリケーションが普及している。屋外向けのシステムは屋内では衛星電波を受信できないなどの理由により困難であり、GPS と比較すると無線 LAN を用いた位置測定は屋内でも利用が可能であることが挙げられる。屋内向けでは超音波を利用したものや RFID を用いたものや無線 LAN を用いたもの(2.2 節)など様々なものが研究されている。超音波を利用した方式として Active Bat⁸⁾や Dolphin¹⁰⁾, cricket¹¹⁾などが挙げられる。これらは 10 数 cm から数 mm という非常に高い

精度での位置検出が可能である。ただし、超音波を用いた位置測定は超音波発信機をユーザが持ち、利用する場所に超音波センサを設置する必要があるなど大掛かりなインフラ設備が必要である。

2.2 無線 LAN を用いた位置測定システム

無線 LAN を用いた位置測定には、大きく分けて Cell-ID 方式、TDOA 方式、RSSI 方式の 3 つがある。以下にこれらの 3 方式の概略とそれらを用いたシステムについて述べる。

● Cell-ID 方式

端末が現在接続している AP のカバーする範囲 (Cell) を現在の端末の位置として推定する方式である。AP の ID と位置をデータベース化しておくことにより端末またはインフラ側のソフトウェア追加によって対応可能である。しかし、一つの無線 LAN の AP の Cell は数 10~数 100m と広く、推定精度は低く、あまりこの方式を用いた研究は行われていない。

● TDOA (Time Difference of Arrival) 方式

端末が発信する位置要求信号を複数の AP で受信し、それぞれの AP 間における受信タイミングのずれなどから端末の位置を推定する方式である。TDOA 方式を用いた方法では精度は数 m と良いが、端末と各 AP との同期が必要である。TDOA 方式を用いたものとして日立の Airlocation²⁾があり、製品化されている。

● RSSI(Received Signal Strength Indicator) 方式

AP からの受信電波強度を利用して端末の位置推定を行う方式である。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³⁾⁴⁾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 Wips⁹⁾、電波の距離特性を考慮して推定を行う RADAR⁶⁾、3 つの AP からそれぞれ



図 1 想定利用シーン：部屋の中

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 Ekahau⁷⁾ といった方法がある。ただし、受信電波強度が一定でなく環境や場所によって変化が大きいこと、雑音、干渉、マルチパスなどの影響もあるため、正確な位置推定を行うことは難しい。

3. サービス概要

本章では本システムが想定している利用シーンとシステムに対するサービス要求条件について述べる

3.1 想定利用シーン

ユーザが所持した携帯端末を利用してユーザが利用したいサービスに対してナビゲーションをする。たとえば利用可能なサービス一覧が携帯端末に表示され、そのリストの中で希望のサービスを選択して端末をかざすと、目的のサービスの方向に一致するとバイブレーションなどの何らかの反応によって方向を指示したり(図 1)、ショッピングモールなどにおいて店舗案内などでの利用も想定される。

3.2 サービス要求条件

本システムに関するサービス要求条件を以下に示す。

- 低コストなインフラ

ナビゲーションにおいて測位を行うということは重要な要素であり、2章で述べたように屋内での測位技術の中で高い精度を得られるもの

として超音波やRFIDタグを用いたものがある。しかし、これらの手法は天井に超音波受信機を設置する必要があり高コストである。本システムは気軽にというコンセプトもあり、事前にこういった高コストなインフラを敷設することはこのコンセプトから逸脱してしまう。ユーザにとって低コストなインフラでナビゲーションを実現する必要がある。

- 直感的な利用

携帯端末を利用してナビゲーションを行うことを想定したとき、ユーザにとって直感的で簡単に利用しやすいものであることが望まれる。たとえば、ユーザの周辺にあるサービスに対してナビゲーションをする際にユーザが行きたい方向に端末をかざすと携帯端末のバイブレーションが発生しユーザに対して方向を伝えたり、今向いている方向に対して東西南北等の絶対的な方向や位置ではなく前後左右といった相対的な位置を支持したりなどである。このような直感的な利用が可能のようにサポートする必要がある。

- 位置精度について

本システムで扱う位置情報の用途では、精度の高い絶対位置は必ずしも必要ではない。それよりも、目的のサービス位置が携帯端末からどちらの方向にあるのか、どのくらい離れているのか、配置されている順序関係はどのようなになっているのかといった、大まかなレベルでの位置関係が把握できる必要がある。

4. 無線LANを用いたナビゲーション方式の検討

4.1 方式検討

3.1節の要求条件を元に本システムについて検討を行う。

- 低コストなインフラについて

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、3.1節でも述べたとおり

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。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。

また、2.2 節で述べた既存の無線 LAN の位置推定システムであってもサーバ用 PC を設置したり、AP に測位のための機構を設備したりなど大掛かりなインフラ設備が必要なものがある。本システムではこのようなサーバや特殊な AP を用いることなく、以下のような特徴を持ったものを検討していく。

(1) 既存の AP を利用

無線 LAN アダプタ搭載携帯端末、既存 AP を利用して位置推定を行う。データベースなども専用の端末を利用せず、携帯端末に搭載可能な範囲で考慮する。このため、位置推定のために専用のハードウェアを用いる必要が無く、端末は無線 LAN アダプタを搭載していればよいいため、システム導入が容易である。

(2) クライアントベース

位置推定のためにデータベース専用端末や演算専用の端末を利用することなく、クライアント側のみで処理を完結出来るシステムを目指す。ユーザの端末自身にデータベースを作成したり、ナビゲーションの処理を行ったり出来るようにする。

● 直感的な利用

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。

● 位置推定

高い精度は必要ではないが、ユーザの端末と目的地の関係やユーザの向きなどはナビゲーションの際に必要な情報であるのでこれらを実現できるような手法を検討していく。無線 LAN を用いた位置推定では、事前に電波強度に関する DB を作成しておきそれを利用するといった手法がそれなりの精度もあり利用されている³⁾⁴⁾。無線 LAN と携帯端末を用いてこのような方法が利用できるような仕組みを検討していこうと考えている。

4.2 無線 LAN 電波強度測定基礎実験

無線 LAN を利用したナビゲーション方法を検討していくにあたって、無線 LAN の電波強度の傾向や特性などを知るため電波強度を測定する基礎実験を行った。

今回の実験では AP と端末間の電波強度の変化を見るための実験を主として行った。

4.2.1 実験方法

実験には無線 LAN アダプタ搭載のノート PC とアクセスポイントを用い、電波強度の観測は Network Stumbler ver.0.4¹²⁾ を用いて測定を行った。Network Stumbler とは受信可能な無線 LAN 電波の SSID、受信電波強度、S/N 比などの情報を取得可能なソフトウェアである。実験項目は以下の通りである。それぞれ受信電波強度の変化を観測した。

● AP と端末間の距離による変化

AP と端末間で距離が変化した場合の受信電波強度の変化を観測した。観測は AP の直近と 5m と 10m 離れた地点で静止した状態で行った。また、AP に対して端末を持って正面を向いた場合と背を向けた場合の 2 通りの計測を行った。

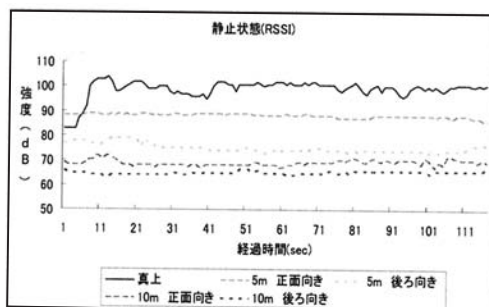


図2 APと端末間の距離による変化：静止状態

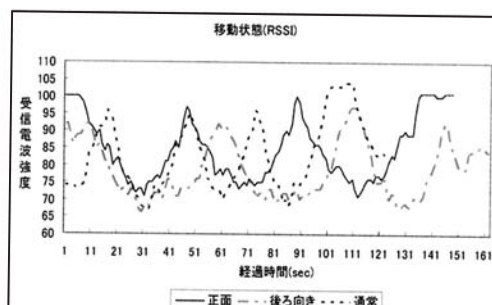


図3 APと端末間の距離による変化：移動状態

さらに、APから10mの間を端末を持って歩き動いた場合の変化も観測した。

● 端末の移動による変化

ある地点にいたときに端末自体を動かしたときにどの程度受信電波強度が変化するかを観測した。観測はAPから5m離れた地点で行い、APに対しての向きを 0° 、 90° 、 180° 、 270° と四方向に変化させたときのデータを観測した。また、同じ位置で端末を回転させたときも合わせて観測を行った。

4.2.2 実験結果

● APと端末間の距離による変化

静止した状態で観測したデータを図2に、移動した状態で観測したデータを図3に示す。静止状態での計測はAP直下が一番強く、以下はほぼ5m正面、5m背面、10m正面、10m背面の順で強度が強観測されている。近い値は観測されているものの、距離ごとにある程度分けることが出来る。また移動状態における観測で

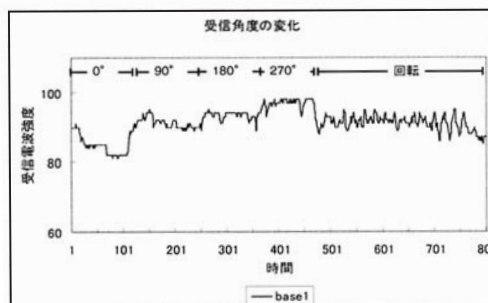


図4 端末の移動による変化：角度を変化

は、APに近づけば強くなり、離れれば弱くなっている。直下、5m、10m地点での強度はおおむね静止状態で観測された結果と同様であるので計測が移動中であってもそれほど変化が無いことがわかる。

● 端末の移動による変化

観測した結果を図4に示す。角度による変化は距離が変化した場合と比較してそれほど大きくない。回転によってもある程度の振れ幅の中で変動している。

4.2.3 考察

今回得られた基礎実験の結果より、APと端末間の距離の変化による受信電波強度の変化のほうが端末をその場で変化させるよりも変化の幅が大きい。データを収集し、判別分析などを用いることで、ある程度分類できそうである。また、図3より、変化履歴などを参照することによって目的地（AP）に近づいているか、遠ざかっているかなどがわかりそうである。これらの変化を利用すればナビゲーションにも応用できそうである。

5. 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

てしまう。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。

こういったものを実現するための検討をいくつか行い、クライアントベースでの位置推定・ナビゲーションを行い、位置推定のための専用 AP や特別なハードウェアを利用しないことや絶対的な位置ではなく、相対的な位置を用いて利用者にとって直感的に利用できるようにすること、位置推定を行う場合は精度はそれほど必要でなく目的地からどれくらい離れているか、ユーザの向き、サービスの順序などといった情報が重要になってくるだろうということを述べた。

また、無線 LAN を利用したシステムを構築するにあたって、無線 LAN の電波強度測定の基礎実験を行った。AP と端末間の距離を変化させた場合や端末をもって移動した場合、端末自身を動かした場合などについてそれぞれの無線 LAN 電波受信強度の測定を行った。その結果、AP と端末の距離が離れているほうが、AP に対して端末の角度を変化させたときよりも受信電波強度の変化が大きかったことがわかった。また、端末自身が目的地 (AP) に対して近づいているのか遠ざかっているのかということは判別できそうであることがわかった。

今後は基礎実験により得た結果をより詳細に分析し、無線 LAN 受信電波強度の変化を用いたナビゲーション方法についてさらに検討していく予定である。また、今回述べた検討項目についても理論的裏づけを含め、今後より詳細に検討していく必要がある。

参 考 文 献

1) EZ ナビウォーク

<http://www.au.kddi.com/ezweb/service/ez-naviwalk/>

2) 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 (DICOM2003), pp.569-572, 2003.

- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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", DICOM2004, pp.349-352, 2004.
- 6) Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan: "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System", IEEE Infocom 2000, pp.775-784, 2000.
- 7) Ekahau - <http://www.ekahau.com/>
- 8) 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.
- 9) 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
- 10) S. Shih, M. Minami, H. Morikawa, and T. Aoyama: "An Implementation and Evaluation of Indoor Ultrasonic Tracking System", 情報研報, 2001-MBL-17, pp.1-8, May 2001.
- 11) N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishnan and S. Teller, The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, Proc. ACM MOBICOM, Jul. 2001
- 12) NETSTUMBLER. COM - <http://www.netstumbler.com/>