社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2007－DPS－132 (3)
2007－GN－ 65 (3)
2007－EIP－ 37 (3)
2007／9／20

無線LAN環境を想定した屋内向けナビゲーションの検討

櫻木伸也[†] 峰野博史[††] 水野忠則[‡]

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 Navigation for Wireless LAN Environments

Shinya Sakuragi,[†] Hiroshi Mineno[††] and Tadanori Mizuno[‡]

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（Gloval 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に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ついて，

† 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University
†† 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University
‡ 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

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

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て利用するCricketNav[2]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Ekahau[10]やUWBなどを用いた測位情報とSVGマップビューワ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界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Airlocation[5]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界強度（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][7]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Wips[8]，電波の距離特性を考慮して推定を行うRADAR[9]，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Ekahau[10]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．

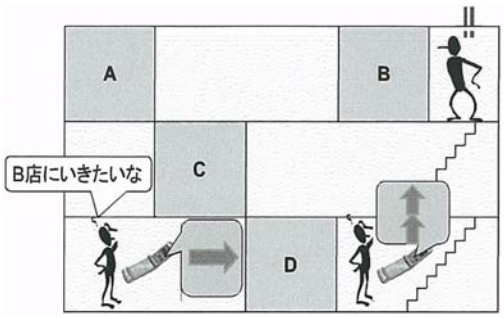


図 1 想定利用シーン：ショッピングモール

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

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う．一方，無線LAN（IEEE802.11a/b）の普及は目覚しいものがあり，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検討していく．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. 無線 LAN の電波強度に関する基礎実験

本章では無線LANの電波強度を用いたナビゲーションについて検討する．

まず，無線LANの電波強度の特性や変化の傾向を知るためアクセスポイント（AP）と端末間の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．

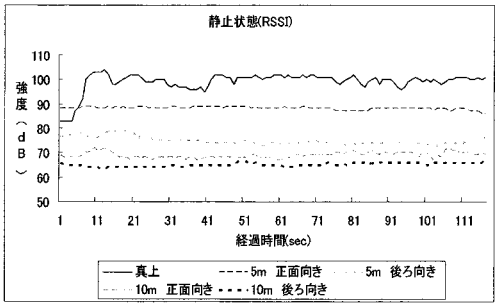


図 2　AP と端末間の距離による変化：静止状態

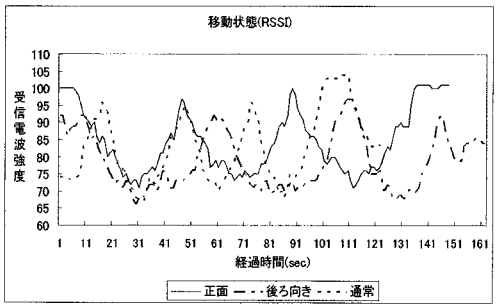


図 3　AP と端末間の距離による変化：移動状態

4.1 実験方法

実験には無線 LAN アダプタ搭載のノート PC と AP を用い，電波強度の観測は Network Stumbler ver.0.4[15] 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．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 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く観測されている．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．

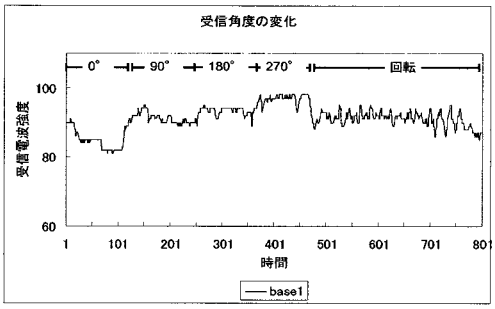


図 4　端末の移動による変化：角度を変化

- 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．

4.3 考　　察

今回の基礎実験から得られた結果より，AP と端末間の距離の変化による受信電波強度の変化と端末をその場で回転させるなどの変化による

受信電波強度の変化を比較すると，前者のほうが変化の幅が大きいことがわかる．**図 3** より，移動変化の履歴などを利用することによって目的地に近付いているか，遠ざかっているかということがわかりそうである．この点に注目して受信電波強度を用いたナビゲーション方法を検討する．

5. 受信電波強度を用いたナビゲーションに関する検討

前章での実験より，無線 LAN の受信電波強度の変化を利用することで端末の移動変化が判別できそうであるということを述べた．このように電波強度を利用したシステムを作成する上で検討するべきことについて述べる．

5.1 検討課題

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．そういった情報について検討を行う．

5.1.1 端末位置推定

ナビゲーションを行う際に端末がどこにあるかという情報は必須である．しかし，測位精度は高精度である必要はないと考える．数 m のオーダーで大まかな位置が把握することができればよい．特にショッピングモールや大規模オフィスでナビゲーションするにあたっては端末（利用者）がどのフロアにいるかという情報が重要になってくる．端末の位置推定を行う際に端末の位置を特定するというよりむしろ端末のエリア（部屋，廊下，階段，エレベーターなど）がはっきりわかるように考慮していくべきであると考える．そのために位置推定に単なる受信電波情報だけでなく，以前どのエリアに存在したかなどの移動履歴を用い，論理的に判断することでより精度が増すと考えられる．

5.1.2 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．2 章で述べたような直感的なナビゲーションを実現するためには欠かせない情報であると考える．端末方向を知ることで利用者が移動している方向を知ることができ，その情報に合わせてナビゲーション情報を提供することができる．電波強度情報を利用して端末方向を知ることは電波損失の問題もあり，難しいと考えるが，現在考えている方法としては以下のような方法を考えている．

- 指向性のアンテナを取り付けることによる電波の到達度の変化
- 人体の影響による電波強度の変化を利用した方法
- 各種センサ（方位センサやジャイロセンサなど）

今後，上記にあげたような方法に関して実際に実験を行い，さらに精査していく．

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．

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いことがわかった．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.

また，ナビゲーションを行うにあたって，端末位置と端末方向という２つの情報が重要になってくるということを述べ，これら２つの情報をどのように得て，どのように利用するのかということについて検討した.

今後は今回検討した事項についてより詳細に分析し，個別に実験を行うなどしてプロトタイプの完成を目指す.

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ー位置検出方式の検討ー"，マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム（DICOMO2003），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"，DICOMO2004, 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

15) NETSTUMBLER. COM - http://www.netstumbler.com/