「マルチメディア，分散，協調とモバイル
（DICOMO 2006）シンポジウム」平成18年7月

モバイル PAN 環境を想定した周辺機器の位置推定方式の検討

田中　希世子[1]　鈴木　偉元[1]　石川　憲洋[1]
石原　進[2]　峰野　博史[3]　水野　忠則[3]
[1]株式会社 NTT ドコモ　ネットワークマネジメント開発部
[2]静岡大学　工学部　[3]静岡大学　情報学部

Human-Centric Location Search of the Physical Devices for a mobile Personal Area Network

Kiyoko Tanaka[1]　Hideharu Suzuki[1]　Norihiro Ishikawa[1]
Susumu Ishihara[2]　Hiroshi Mineno[3]　Tadanori Mizuno[3]
[1]Network Management Development Department, NTT DoCoMo, Inc.
[2]Faculty of Engineering, Shizuoka University　[3]Faculty of Information, Shizuoka University

1.　はじめに

Bluetooth、ZigBee 等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環境が実現されつつある。また、携帯電話の急激な普及に伴うモバイルインターネットの普及によって、空間的に離れた人とのコミュニケーションや、サイバー空間上に広がるコンテンツやサーバへのアクセスが可能となった。さらに、第3世代に入ってネットワークの広帯域化だけでなく、IrDA、メガピクセルカメラや FeliCa 搭載など携帯電話自身の機能が目覚しく向上してきた。このような技術の進展を背景に、携帯電話を使った情報家電の操作やカメラ画像の印刷操作、レジでの決済処理など、携帯電話と周辺機器とのダイレクトな通信へのニーズが高まりつつある。

携帯電話が周辺の機器と直接通信を行うことで、インターネット上に存在する情報やサービスだけではなく、移動した先々でローカルにしか存在しない情報やサービスも利用することが可能になる。例えば、ユーザの目的地を携帯電話へ入力しておくと、従来のようなインターネット上のサイトから乗り換え案内を検索するだけではなく、駅構内の電光掲示板に表示されているリアルタイムの運行状況を反映した乗り換え案内や、ユーザの現在位置と切符に書かれている指定席の座席までを考慮した乗り換えホームおよび乗車口案内、目的地に一番近い駅出口までのナビゲーション、駅構内の売店やトイレまでのナビゲーション、混雑状況の案内など、その場にしか存在しない情報を携帯電話が直接取得することができるようになる。

我々はこのような通信環境を実現する 1 つの方法として、ユーザが携帯電話を持って移動するようなモバイル環境において、携帯電話が目の前に存在する機器との間でダイレクトにネットワークを構築し、ローカル通信とセルラー網を連携させた情報のやりとりや機器制御を行うための仕組みであるモバイルパーソナルエリアネットワーク（mPAN：mobile Personal Area Network）を提案している[1]。

mPAN では、ユーザは移動した先々で PAN を構築し、様々な機器と随時接続を行う。各機器の名前や状態がサーバなどによって管理されているようなシステムの存在を前提とはせずに、接続のための設定情報が不明な初見の機器との間でも接続を行うことを特徴とする。そこで、mPAN が想定するサービスシナリオでは、ユーザが負担を感じることなく、その場その場で必要な機器を探して、指定し、利用可能であることが重要となる。そのためには、周辺に存在する機器を的確に認識し、面倒な設定操作を必要とすることなく接続を行い、ユーザの目的に応じた適切な機器やサービスを抽出するための技術が必要となる。特に、ネットワークレベルで認識された機器が実空間でどこに存在するのかという対応付けは、所望の機器やサービスの特定を容易にし、ユーザの操作性やサービス品質の向上につながる有益なものである。本稿では、機器の実空間での存在場所を把握するための重要な情報の 1 つである位置情報に着目し、mPAN 環境で位置情報を取得するための方法について検討する。

位置情報の取得技術としては、屋外向けの GPS や、屋内向けの超音波や無線を利用した方式などさまざまなものが研究されている。屋内向けの超音波を利用した方式として Active Bat[2]などがあげられるが、数 cm レベルの高い精度を得られるものの、天井にセンサを設置し、そのセンサをサーバへ接続するなど、大掛かりなインフラ設備が必要となる。mPAN では様々な場所で PAN を構築するため、このようなインフラ設備の存在は前提にできない。

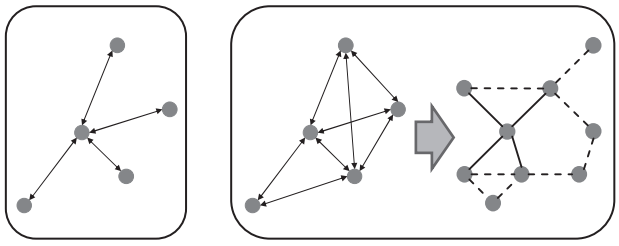
また、大掛かりなインフラ設備を必要としない位置推定方式[3][4][5]の研究も行われている。位置がわかっているいくつかの端末の位置情報と端末間のホップ数などの粒度の粗い情報を利用して位置推定を行うもので、インフラに依存しないというメリットがあるものの、誤差が大きく推定精度はあまりよくない。mPAN では、PAN を通じて通信可能な機器を見つけた場合、その機器の位置を把握したり、直接的な操作を行うために、携帯端末を通じてナビゲーションすることを想定している。そこで mPAN が想定する位置精度は、周辺機器の位置関係が分かる程度でよく、PAN の範囲が 10m程度であることから、携帯電話を中心に数十 cm～数 m の精度が要求される。

本稿では、既存の位置推定方式に加えて、mPAN の特徴を活かした位置推定方式を提案する。提案手法では、接続機器がユーザの周囲に存在するという PAN の特徴に着目し、触る・指し示す等のユーザによる機器指定動作に伴う実測位によって、携帯電話と機器の間の距離を補正し、位置推定を行う。2 章では本稿の関連研究について述べ、3 章にて提案するユーザの実測位による距離の補正を利用した位置推定方式について説明する。4 章では、提案手法の効果検証のために行ったシミュレーション結果について考察し、5 章にて本稿についてまとめる。

2.　関連研究

本章では、専用の高価なデバイスや大掛かりなインフラを必要とすることなく位置情報を取得可能な、位置推定方式について述べる。既存の位置推定方式は、位置推定ステップの

違いから大きく 2 つに分類される（図 1）。1 つは Centroid 方式やごましお方式[3]のように、位置推定の対象となる端末を中心として、周辺に存在する、位置が既知である基準局とのホップ数等の距離に関する情報を収集し推定を行う方式である。Centroid 方式では、端末の位置を通信可能なすべての基準局の重心として求める。端末が受信した各基準局の位置情報の平均は端末の位置となるため、基準局の配置が偏っていた場合に誤差が非常に大きくなる。ごましお方式では、端末が基準局との通信ホップ数を取得し、通信半径から計算した端末と基準局との最大距離を半径とした円を、基準局を中心に描く。その円の内部が、端末が存在する可能性のある範囲となる。複数の基準局の情報が取得できた場合、各円の重複部分が端末の推定位置となる。端末が取得できた基準局との距離に関する情報が少ない場合、推定精度は悪くなる。もう 1 つは、ばねモデル方式[4]や無線通信網を用いた方式[5]のように、周辺に存在するすべての基準局および端末間の距離に関連した情報を収集し、さらにその系全体での最適化を行うことで各端末の位置を推定する方式である。ばねモデル方式は、近隣 2 ホップ以内に存在する全端末で 1 ホップ間および 2 ホップ間の距離を計算する。端末間がばねでつながれた系としてとらえ、端末間の距離をもとに系全体のばねエネルギーを計算し、エネルギーを最小化するような端末位置を推定点とする。無線通信網を用いた方式では、各端末が直接通信可能な端末との距離を測定して測位サーバへ通知し、サーバへ集められた全端末の距離情報を利用して各端末の位置関係を推定する。



A) 自端末を中心にした情報を利用して推定　　B) 全端末間の情報を利用して推定し、系全体で最適化

図 1 **既存方式における位置推定ステップの違い**

3. 位置推定方式の提案

3.1. サービス要求条件

mPAN での位置推定に関するサービス要求条件を以下に示す。

（1）屋内での利用

mPAN では、ユーザの周辺に存在する機器が主な接続の対象であることから、家電や OA 機器、電光掲示板やポスターなどが多く存在する屋内での利用は必須である。また、位置情報の特定範囲として、建物単位での位置情報が要求されることの多い屋外と比べて、屋内ではモノの配置状況など、より狭い範囲での位置の特定が必要となる。屋内では、GPS のような高い精度で測位できる技術を利用することが想定できないため、屋内向けの測位技術を利用した位置推定方式を検討する必要がある。

（2）中間的な位置精度について

常に携帯電話を中心に PAN が構築されることや、目の前にある機器をその場で簡単に使うという mPAN のコンセプトなどから、mPAN 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、ユーザの周辺にある機器が、携帯電話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、どういう順序で機器が配置されているのかといった、大まかなレベルの位置関係が把握できる必要がある。mPAN では、機器の絶対位置よりも携帯電話と周辺機器との相対的な位置の把握が重要であるため、個別の距離や位置についての精度を向上することよりも、mPAN 内全体での位置関係の表現を精度よく行うことに主眼を置く。また、複雑な操作や特別な装置を使わずに実現できることも重要である。

（3）アドホックな PAN 連携サービスとの整合性

mPAN は、様々な場所でその場に存在する機器と PAN を構築し、そのとき必要なサービスや情報のやりとりを簡単に実現することを目的としている。したがって、面倒な事前設定や複雑な操作を伴うことなく、位置情報の取得・利用を実現できることが重要である。また、PAN という狭いエリアに閉じているという特性に着目した、従来のインターネットをベースとしたサービスでは実現できないような新たな機能が期待される。

3.2. 方式設計

各要求条件に対する本稿でのアプローチについて以下に述べる。

（1）屋内での利用について

屋内での測位技術の中で高い精度が得られるものとして、超音波デバイスや無線 LAN アクセスポイントなどの専用デバイスを利用する手法がある。これらの手法は、事前に受信機を室内に張り巡らすなどの設備敷設が必要であるため、精度の高い測位を実現できるものの、mPAN が想定する利用シーンにはそのまま適用することが難しい。一方、専用のデバイスやインフラを必要としない位置推定方式では、大掛かりな設備を必要としない点は mPAN に適しているものの、得られる位置情報の精度が低いという問題がある。特に屋内では狭い範囲での位置を特定する必要があることから、位置精度の向上は重要である。

mPAN では、周辺に存在する機器が接続の対象であり、比較的近くに位置する機器は直接操作したり、ポインティングによって位置を特定したりすることが可能である。そこで本稿では、屋内で利用可能な位置推定方式をベースとして、前述した mPAN の特徴であるポインティングと組み合わせることによって、インフラへの依存度が低く、かつ十分な精度を実現する手法の確立を目指す。

（2）中間的な位置精度について

既存の位置推定方式では、自身の位置情報を把握している基準局と位置のわからない端末とが存在することを前提として、まず端末と基準局との間の通信ホップ数や基準局間の距離に関する情報を収集し、次にその情報をもとに推定アルゴリズムを利用して端末の位置を特定する。方式によって端末位置の推定結果が一定の基準になるまで繰り返し行われる等の処理の違いはあるが、どの方式も推定結果の精度は最初に収集された距離に関する情報の精度に大きく依存する。

そこで、本稿では最初に収集される端末間の距離に関する情報を対象に、mPAN のポインティングによって実測位できる距離を用いて補正することによって、位置推定の精度を向上する方法を提案する。

また、第 2 章で述べたように 2 つに分類される位置推定方式のうち、自身を中心に周辺の情報を集めて位置推定を行う方式では、mPAN の範囲内に存在する機器の数が一般的なセンサネットワークやアドホックネットワーク等で想定される

ものに比べるとかなり少なく、推定に利用可能な情報があまり集まらないことから得られる精度が期待できない。一方、端末全体の情報を利用する方式では、位置推定の際に系全体での最適化を行っていることから、実測位による携帯電話と機器の間の距離の補正効果が mPAN 内の機器全体へと波及することが期待される。そこで本稿では、後者の系全体の最適化を行う位置推定方式を利用するものとする。

（3）アドホックな PAN 連携サービスとの整合性について

我々は、ネットワークレベルで ID によって識別されている機器と、目の前の実機器との対応付けを簡単に行うための仕組みとして、ポインティングという機能を実現している[6]。この機能では、携帯端末を持ったユーザが赤外線やタッチパネル等のポインティングデバイスを用いて機器を直接選択することにより、実端末とネットワークアドレスを対応付け、携帯端末と機器との間で mPAN の通信パスを確立することができる（図 2）。PAN という狭いエリアでのネットワークの特徴として、接続対象がユーザの周辺に存在することが挙げられる。TV のチャンネル変更や、エアコンの温度設定など、ユーザが周辺機器を直接操作するという動作は日常的に行われていることから、前述したポインティングのような動作はユーザにとって特に違和感のないものと考えられる。そこで、このような動作に実測位を組み込むことに着目し、mPAN におけるユーザの操作性を損なうことなく、距離補正とそれに伴う位置推定の精度向上を試みる。

ユーザが機器を選択するための外部装置としては、非接触型 IC カードや RFID、赤外線ポインタなどがあげられる。現在、距離を測るためのデバイスとして音波を用いたものなど、小型で高い精度が得られるものが存在するため、それらと機器を選択するための外部装置を組み合わせることはそれ程難しい問題ではないと考えられる。また、地磁気センサが搭載された携帯電話も発売されており、携帯電話と機器の方向を把握することも可能である。

図 2 ポインティングによる機器選択

3.3. サービス概要

携帯電話を持ったユーザは、周辺に存在する機器との間で mPAN を構築する。携帯電話には、mPAN 内の機器のリストが表示されるが、例えばオフィスにおけるプリンタのように同じ種類の機器が複数並んでいるような場合や、機器が棚の中に入っていてユーザからは見えない場合には、リストにある情報だけでは、実際に目の前にある機器が該当するのかわからない。このようなときに、携帯電話と機器の間で距離に関する情報をやり取りし、その情報をもとに位置推定を行うことで、ユーザが mPAN 内の機器の位置関係を把握し、目的の機器の場所までたどりつくことができる。

以下にポインティングを利用した位置推定の流れを述べる。

① ユーザは自分の周囲の適当な機器に対してポインティングを行う。このとき、ポインティングと連動して測位デバイスを用いた実測位が行われ、携帯電話と機器の距離や方向を取得する。

② ポインティングによって取得された情報を用いて、携帯電話と機器の間の距離に関する情報を補正し、位置推定を行う。

③ mPAN 内の機器の相対位置が表示される。

④ 表示された相対位置では実機器の位置がわからない場合、再度ポインティングによる距離の補正を行う（①以下を繰り返す）

ユーザは目的の機器を探しながら、必要に応じて①～④の操作を繰り返し、表示される位置関係の精度を向上させて機器までのナビゲーションサービスを受けることができる（図 3）。

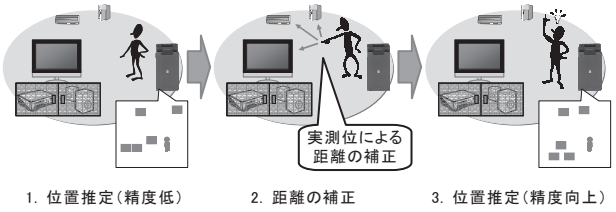


図 3 実測位による距離の補正を利用した位置推定

4. シミュレーションによる検証

本章では、提案手法の効果検証のために行ったシミュレーションについて述べる。

4.1. 実施内容

PAN 内の機器数の少なさなど、mPAN が想定する環境に合わせた条件を設定し、既存の位置推定方式による推定結果に対して携帯電話と機器の間の距離補正を行い、再度位置推定を行った場合に推定精度をどの程度向上できるか定量的に評価する。

位置推定のシミュレーションを行った想定環境を以下に示す（図 4）。なお、位置推定方式には、ばねモデル方式と無線通信網を用いた方式の 2 つの方式を用いた。

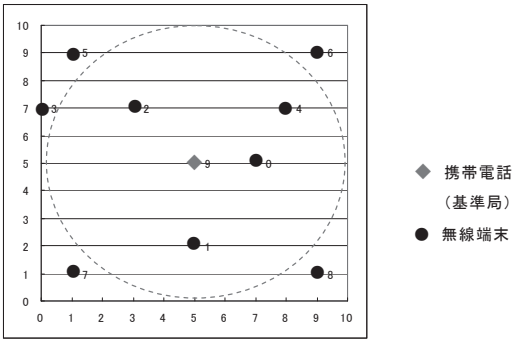


図 4 シミュレーション環境

- 10 メートル四方の平面上に、位置情報が既知である基準局と位置が不明な端末を、乱数を用いてランダムに配置
- 基準局および端末の通信範囲は半径 5 メートル
- 携帯電話は基準局として常に中心に位置する
- 携帯電話を含めたエリア内の総機器数を 10 台とし、ユーザの実測位によって位置が明らかになった端末は基準局へと変化する
- 基準局を 1 台ずつ増やした場合それぞれについて 30

回ずつシミュレーションを行う

4.2. 結果

基準局となる機器をランダムに選択しながら増やしていった場合のシミュレーション結果を図 5 に示す。この図では、横軸が mPAN 内の基準局の数を示し、縦軸は各機器の推定位置と実際の位置との誤差を距離で求め、mPAN 内の全機器間の平均を計算したものを示している。

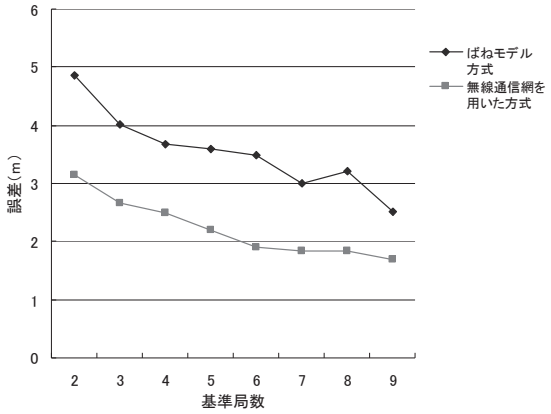


図 5 位置推定誤差と基準局数

4.3. 考察

実験結果より、エリア内の基準局の数を増やした場合、系全体の誤差が減少し、精度が向上していることがわかる。また、誤差の減少率が基準局を 4 台程度まで増やした場合に大きくなっていることから、ユーザが 2〜3 回ポインティングを行なうことである程度の精度の位置関係を把握できることがわかる。したがって、ポインティングによる距離の補正を随時行なうという提案手法によって、ユーザに表示される mPAN 内の位置関係をより実際の環境に近づいたものにできると言える。目的の機器にたどりつくまで、場所がわからなくなった際にはポインティングによって距離補正を行い、よりわかりやすい地図を得るというナビゲーションのようなサービスの実現に期待ができる。実際にユーザがポインティングを行なう場合、その対象となる機器は、遠くにある機器よりもユーザのすぐ目の前にある機器になる傾向が高いと予想できる。系全体の最適化によって個別の距離の補正結果が推定結果全体に及ぶことから、ポインティングされる機器の順番や補正量が精度に影響することが考えられる。今回のシミュレーションでは、増加させる基準局はランダムに選択を行なっていたため、携帯電話からの距離や、機器と機器の接近度などを考慮した基準局の選定を行なった場合の検証を行なう必要がある。

今回利用した 2 つの位置推定方式の間で、1 m 強の精度の違いが出ている。誤差の大きかったばねモデル方式では、端末間の距離を算出する際、端末がエリア内に均一の密度で存在しているという前提を置いた確率モデルを利用している。しかし、センサネットワークなどと比べると、mPAN のエリアは狭く、その中に存在する機器の数は非常に少なくなるため、配置の偏りが大きくなる。また、位置推定の際に 1 ホップおよび 2 ホップで通信可能な機器の距離を利用するが、mPAN では携帯電話を中心として 1 ホップで通信できる機器と接続を行なうことから、2 ホップの距離にある機器の数が充分に確保できない。このように、ばねモデル方式が設定している各種条件と mPAN の環境特性との間で一致していない部分が多く存在していることが誤差増加の一因として考えられる。精度向上のためには、mPAN の特性をしっかりと整理し、mPAN 環境に合わせた確率モデルの構築や位置推定アルゴリズムの検討が必須であり、mPAN に適した位置推定方式の選定は今後の重要な課題である。

また、多くのデバイスは、携帯電話に比べると移動する状況が少ないと考えることができるため、特に様々なユーザが mPAN を利用するような環境では同一の機器に対する位置推定処理が頻繁に起きることが予想される。各デバイスの位置推定結果を蓄積し、履歴情報として活用することで、推定精度の向上や、位置推定処理の負荷の低減を実現することも可能だと考えられる。また、位置推定結果に関する履歴だけではなく、ユーザの利用頻度やサービスの品質などその他の情報も利用した、より柔軟なナビゲーションサービスの実現も期待できる。

5. まとめ

本稿では、mPAN のサービスを実現するにあたって重要になると考えられる位置情報の取得に関して、ユーザの実測位による距離の補正を利用した位置推定方式を提案した。提案では、ユーザの周辺に接続対象機器が存在するという mPAN の特徴に着目した触る・指し示す等のユーザの直接的な選択動作によって通信相手を特定する機能であるポインティングと測位機能を組み合わせた手法を検討し、シミュレーションによって既存の位置推定方式に応用した場合の誤差の改善効果を確認した。

今後は、mPAN で想定される各サービスの利用エリアや対象機器の種類といった特性を考慮したシミュレーションパラメータの検討等、シミュレーションによる評価を重ねるとともに、mPAN や個別のサービスの特性にあった位置推定方式の選定や推定アルゴリズムの改善を行う。また、ポインティングと合わせた測位を実現するデバイスの選定およびプロトタイプの試作を行い、ユーザの操作性も含めた測位精度に関する実証検証を進めていく。

参考文献

[1] 田中希世子, 鈴木偉元, 石川憲洋, 安木成比古, 石原進, 峰野博史, 佐藤文明, 水野忠則, “モバイルパーソナルエリアネットワークの提案,” 情報学ワークショップ（WiNF2004）, pp. 241-245, September 2004.

[2] Andy Ward, Alan Jones, and Andy Hopper, "A new location technique for the active office," IEEE Personal Communications, vol. 4, no. 5, pp. 42-47, October 1997.

[3] 岩谷晶子, 西尾信彦, 村瀬正名, 徳田英幸, “ごましお:アドホックセンサネットワークにおけるノード位置決定方式,” モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会, Vol.2001(108), pp.22-30, 2001.

[4] 佐藤雅幸, 松尾啓志, “アドホックネットワークにおけるバネモデルを適用した端末位置決定手法,” 情報処理学会研究会報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, MBL-32, pp.155-162, March 2005.

[5] 北須賀輝明,中西 恒夫,福田 晃, “無線通信網を用いた屋内向け測位方式, “ 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム 2002 論文集, pp. 83-90, 2002 年 11 月.

[6] 田中希世子, 鈴木偉元, 石川憲洋, 石原進, 峰野博史, 水野忠則, “モバイルパーソナルエリアネットワークにおけるデバイス探索方法の検討,” 情報学ワークショップ（WiNF2005）, September 2005.