

論文

Bluetoothによる位置情報提供システムの開発とその評価

Development and Evaluation of Positional Information Provision System Using Bluetooth

山中康正*¹ 橋浦正樹*² 上村進*³ 佐藤誠治*³
Yasumasa Yamanaka Masaki Hashiura Susumu Uemura Masaharu Satoh

要旨

歩行者の現在位置に依存するサービス情報を提供する情報提供システムの研究を進める中、そのシステムの基本機能要件である「歩行者の位置情報取得」の実現手段として、BluetoothTM注を利用したシステムの研究開発を行った。

今回研究開発したシステムは、歩行者に対して予め固定設置したBluetoothアクセスポイントから位置情報を提供するもので、このシステムの場合、位置情報の取得にかかる時間や測定できる位置精度に課題がある。

本稿ではこれらを解決するために、歩行速度でも位置取得が可能な「高速モード」と、同じ仕組みで位置精度の向上を目的とした「高精度モード」の2案を提案し、更に本提案を適用したシステムを屋外環境で構築しその有用性に関する評価を行ったので報告する。

We have developed a positional information provision system for pedestrians that employs BluetoothTM as a means to obtain the positional information of the pedestrian, which is the fundamental requirement of the system.

To achieve both sufficient speed and accuracy in obtaining the positional information, we propose a new method comprising two modes - "High-speed mode" suited for walking users and "High-accuracy mode" that provides a higher accuracy using the same framework.

We also conducted evaluations of our prototype system in the open air, and confirmed its usefulness.

注：Bluetoothは、その商標権者が所有しており、当社はライセンスに基づき使用している。

まえがき

ユビキタス・ネットワークを構成する重要な要素として無線通信機能が搭載された携帯端末が上げられる。近年では携帯電話をはじめPDAやノートパソコンを利用した様々なネットワークサービスが登場している。その中でも携帯端末を持つユーザの位置に依存した情報を提供するサービスはユーザへの情報の質の向上だけではなく、情報提供者が意図する範囲のユーザだけに情報を提供できるといったメリットもあり、ビジネスモデルを構築しやすいサービスである。また、公共施設やイベント会場における様々な情報案内サービスへの活用も考えられている。

ユーザに位置情報を提供する方法としてはGPSを

利用した方法もあるが、GPS機能とは別に位置依存情報を取得するための通信機能を併用しなくてはならない。また、都市部や建物内にいるユーザにおいては位置精度が十分でない場合がある。その点、予め設置した無線アクセスポイント（以下、APと省略）を基準とした位置情報取得方法は、位置取得と位置依存情報取得に使う通信機能が共通であるため、携帯端末の小型化や低消費電力化に有利である。特にBluetoothのように近距離無線通信方式を利用した場合、仕様上、通信可能距離が短い場合位置精度が高くなり実用性の高いシステムを構築できる。

しかしながら、APの設置数が限られる場合に、通信可能範囲が狭いがゆえにAP同士の通信可能範囲が重ならない場合が多く、ユーザがAP周辺を通過する

*¹ 技術本部 NEXT 推進室 *² 技術本部 システム技術開発センター 第3 開発室

*³ 技術本部 システム技術開発センター PICS 推進 プロジェクトチーム

とき、そのAPと通信できる範囲内にいる時間内に位置情報の取得を完了できることが必須である。

ところで、Bluetoothでは利用用途別に細かくプロファイルが規定されており、将来的には位置情報サービス用に「Local Positioning Profile」の策定もされる予定である。ところが、これらのプロファイルを使う場合、図1の左側に示すように通信のためのソフトウェア構造として、SDPや上位のプロトコルスタック(Upper Protocol)などを実装する必要がある。その結果、無線接続が全くされていない状態から位置情報を取得する場合、各プロトコルスタックにおけるサービス開始までの手順が積み重なることから時間が長くなり、AP周辺を通過するユーザが通信可能範囲内にいる時間内に位置取得処理を完了することは難しい。

そこで、Bluetoothを使った新しい位置情報取得方法として、以下に2つの位置情報取得方法の提案を説明し、次にその評価結果について述べる。

1. 開発目標

まず、移動するユーザは無意識のうちにAP周辺を通過しても位置情報を取得できることを開発目標とした。そこで、位置情報を持つBluetooth方式のAPが固定設置されている環境において、その通信可能範囲内において歩行速度で移動するユーザのBluetooth端末から位置取得要求を行い、通信可能範囲にいる間にAPから位置情報を取得できる仕組みを「高速モード」と名付け、第1の開発目標とした。具体的には、APと端末間の通信可能距離は半径20mとし、歩行者はAPの直下を直線的に1 m/s(時速3.6km)で移動する条件で位置情報を取得可能であることとした。

ところで、位置情報サービスのアプリケーションの1つである経路案内サービスにおいて、例えば道が分岐している場所などでは前述の「高速モード」だけでなく、より正確な位置精度を得られるモードが要求される。位置精度を上げる為に通信可能距離である前述の半径20mを小さくすれば良いが、これでは通信可能範囲が狭くなりAP自身を発見しにくくなってしまいう問題がある。そこで、多少位置の取得に時間がかかっても高精度な位置情報を取得したい場合には、通信可能範囲が重なる複数のAPを捕捉することにより、高速モードに比べて位置誤差を小さくすることができる仕組みを「高精度モード」と名付け、第2の目標とした。

2. 位置情報取得方法

図1の右側に示したように、本提案の基本概念は、Bluetoothのソフトウェア構造のうち、下位のプロトコルだけで実行できる「Name Request」を端末側(Client)から発行することにより、端末が予めAP(Server)の「デバイス名」に記述された位置情報を、APから取得することである。この基本概念によれば、上位のプロトコルスタックを利用することなく、高速で簡易な位置情報取得の通信シーケンスが構成できる。

次にこの基本概念を活用した「高速モード」と、位置精度を改善する「高精度モード」について詳細を述べる。なお2つのモードは、用途に応じて端末側の処理だけを切り替えて利用することができる。

2・1 高速モード

図2の左側に高速モードの端末の動作フローを示す。まず端末から近隣のAPを探すために「Inquiry」を実行し、通信可能範囲のAPからの応答パケットを待つ。

端末はいずれかのBluetooth機器からの応答パケットを受信するとすぐに「Inquiry」を中断して、応答してきた相手に対して「Name Request」を発行する。もし相手が目的のAPであればその応答としてAPに予め設定された緯度経度情報等を含むデバイス名を取得する。

ここで目的のAP以外にも同じデバイスクラスに属するBluetooth機器が存在して端末の「Inquiry」に反応する場合が考えられるため、実際にはAPのデバイス名には緯度経度情報だけでなくAP識別コードを独自に設定してフィルタリングを行っている。

このフローにより端末は上位のプロトコルによる通信処理を省いて最低限必要なBluetoothコマンドの発行のみで高速に位置情報を取得することができる。

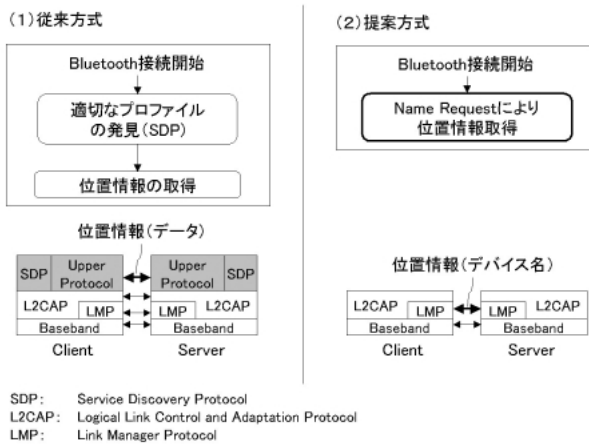


図1 従来仕様と提案仕様の比較図

Fig. 1 Comparative diagram of the conventional scheme and our proposal scheme.

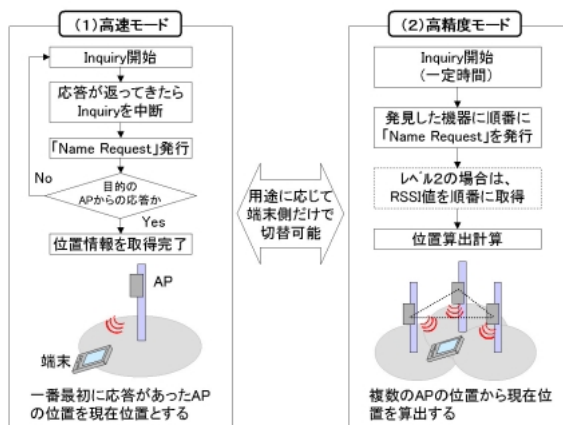


図2 高速モードと高精度モードの動作フロー
Fig. 2 Process flowchart of “High-speed mode” and “High-accuracy mode”.

「Inquiry」と「Name Request」にかかる時間はBluetoothの仕様上、上限を保証できるものではないがBluetooth Core 1.1における平均時間はそれぞれ3～5秒と1.28秒程度であり、この場合1m/sの速度で移動したとすると平均で4.28～6.28m移動する間に位置情報取得を完了することができる。

なお、「高速モード」によって取得した位置はAPの位置そのものであるため、位置精度はAPと端末間の通信可能範囲以下となる。

2・2 高精度モード

次に「高精度モード」について説明する。重要なポイントは「高速モード」時に用いたAP側の処理方法を一切変えずに端末側の処理方法を切り替えるだけで実現できる点である。

図2の右側に高精度モードの端末の動作フローを示す。まず「高速モード」と異なる点は「Inquiry」をAPからの応答パケットの有無に関わらず一定時間(例えば10秒間)行い、複数のAPを発見する点である。この「Inquiry」の後、発見したそれぞれのAPに対して端末から「Name Request」を発行してそれぞれのAPの「デバイス名」に予め記述されている緯度経度情報とAPのアンテナ特性及びAPの送信出力等を取得する。この後の現在位置の算出方法にはいくつかの方法があるが、ここでは簡単な算出方法として2つの方法(レベル1/レベル2)について記載する。

レベル1では取得した複数のAPの緯度経度情報から、その平均緯度経度を算出して現在位置とする。

レベル2ではレベル1の「Name Request」処理の後、更にそれぞれのAPと1台ずつBluetoothリンクを確立して、受信信号強度(Received Signal Strength Indicator, 以下RSSIと省略)を取得することを全ての

APに対して行う。このRSSIの値と「Name Request」で取得したAPのアンテナ特性及びAPの送信出力等によって、予め端末に登録されたテーブルから予想通信距離を選出し、その予想通信距離の比率によって各緯度経度情報を重み付けした平均緯度経度を現在位置とする。ただしRSSIを取得するためのリンク確立には電波環境が良くても平均1秒以上かかるため、レベル2はレベル1よりも更に時間がかかる。

高精度モードの理想的な環境での位置精度はAPの設置間隔 d とAPと端末間の通信可能距離 r との関係によって変わる。例えば2台のAPが $d=r$ の関係で設置されている場合、レベル1では最大で $(\sqrt{3})/2r$ の誤差が生じ、高速モードの最大誤差である r と比較して約0.87倍となる。レベル2においても、最大誤差は同じく $(\sqrt{3})/2r$ であるがRSSIの重み付けによりレベル1より精度が良くなる。

3. 評価

前述の位置情報取得方法の有用性を確認するために、屋外環境で評価システムを構築して評価を行った。なお、評価場所は当社敷地内において屋外の見通しが良い場所で行った。周囲環境や端末の向き、天候などの違いによって評価結果が変わることも想定して各種条件での評価も行ったが本稿では省略する。

3・1 システム構成

評価のために構築したシステムの構成図を図3に示す。

APの外部アンテナは1素子パッチアンテナを鉛直下向きに使用し、ユーザの影になりにくいように高さ3mに設置した。APのBluetoothクラスはクラス2(最大送信出力4dBm)であり、送信出力をソフトウェアで調整した。具体的には本評価では0dBmもしくは-4dBmに設定した。

なおAP同士はネットワーク等で結ばれておらず、AP間のハンドオーバーは行わないで独立して動作する。端末には当社製ザウルス(MI-E21)とBluetoothコンパクトフラッシュカード(DC2C1BZ001)を組み合わせて使用した。Bluetoothカードもクラス2であり、送信出力は固定であるが、APの送信出力を下げ調整することでAPとの通信可能距離はAPの送信出力で決まることを事前に確認した。

このシステムを屋外環境に構築して本提案の位置情報取得方法に関する評価を行った。

3・2 高速モード評価

1台のAPの送信出力を-4dBmに設定し、20m離れ



図3 システム構成
Fig. 3 System configuration.

た位置から高速モードを開始して歩行速度約 1 m/sでAP直下を直線的に通過する動作を10回繰り返し、位置取得が完了した場所を記録した。このとき合わせて動作ログの解析を行い、「Inquiry」を終了するまでの時間と「Name Request」にかかった時間を測定した。

これらの結果を重ね合わせたグラフを図4に示す。縦軸で20mの位置がAPの設置位置を示し、8回目の評価を除いてはAPを通過する前に位置情報を取得完了できた。8回目の評価に関しては「Inquiry」に時間がかかりすぎたことが原因でAPを2m通り過ぎてから位置取得できている。図4から「Inquiry」や「Name Request」にかかる時間やそのばらつきが、APを通過してしまったり位置取得場所にばらつきがあったりすることと相関があることが分かる。

この原因の1つにBluetooth Core 1.1の仕様に基づく要因がある。しかし、現在策定が進められているBluetooth Core 1.2では「Inquiry」や「Name Request」にかかる時間が短くなり、その結果として高速モードによる位置取得はより高速かつ位置取得場所のばらつきも改善することが期待できる。もう1つの原因として周囲環境やアンテナの特性による電波環境の不安定性が挙げられる。今回は間に障害物が無い環境で評価を行っているが、例えばAPと端末間に電波を吸収するようなものが存在するなどして信号強度が弱くなるような条件では「Inquiry」や「Name Request」が理想的に処理できなくなり、位置情報を取得するまでの時間がかかりやすくなることに注意が必要である。

3・3 高精度モード評価

高精度モードの評価には3台のAP「A」、「B」、「C」を用い1辺が約30mである三角形形状に設置した。また、それぞれの通信可能距離は見通しで約35mとなる

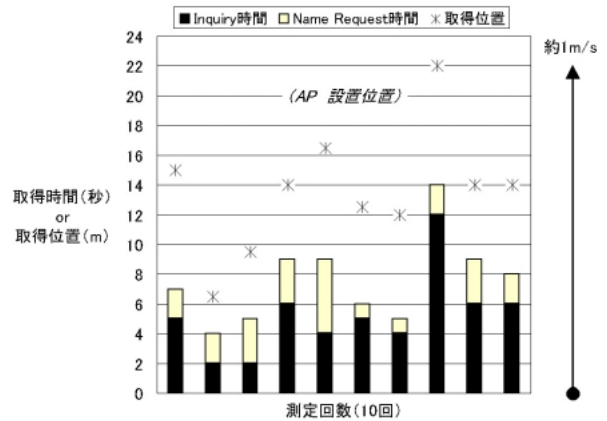


図4 屋外における高速モードの評価
Fig. 4 Evaluation of high speed mode in the open air.

ように送信出力を0dBmに調整した。送信出力の変更は設置場所の都合によるが、それ以外のAPに必要な設定項目は高速モードと同じである。この環境において、任意の10箇所の場所から高精度モードのレベル1について評価を行った。

図5にはそのうち1箇所について、各APの設置位置と評価位置「X」および高精度モードによる算出位置「Z」を平面図として図示した。なお、図中の矢印線は評価位置と算出位置とを結び、その長さ「XZ」は位置誤差を表す。この評価場所ではA、B、Cの3つのAPが全て補足できたため算出位置「Z」は3つの緯度経度の平均で得られた。このときの誤差「XZ」は実測した結果11mであった。もし高速モードで位置情報を取得したとすると、1番離れた「B」のAPから位置情報を取得する可能性があり、この場合の誤差「XB」は実測により27mであった。よって高精度モードによって位置取得誤差が改善されていることがわかる。

同様に10回評価したところ、高精度モードの平均誤差は約13mであった。また、前述の「XB」と同様に高速モードで位置精度が悪くなる場合を想定した場合の平均誤差は約23mであった。この結果から、高精度モードの位置精度は高速モードの位置精度の約半分になることが確認できた。

なお今回はレベル2の評価は行えなかった。その理由は、今回使用した端末では位置算出計算に必要なRSSI値を適切な分解能で取得できなかったためである。もし適切な分解能が取得できれば、図5から読み取れるように単純に平均値を取るだけでなく、APからのRSSI値に応じた重み付けにより、Cに近くBからは遠いことが考慮されるため、更に位置精度が向上することが期待できる。

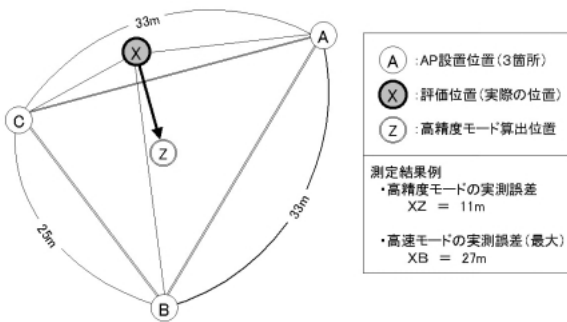


図5 屋外における高精度モードの評価

Fig. 5 Evaluation of high accuracy mode in the open air.

むすび

本研究では歩行者等の位置情報取得方法として、Bluetoothを利用した「高速モード」と「高精度モード」によるシステムを提案し、屋外環境にて評価を行い、その有用性を確認した。

今後、Bluetoothも含めた近距離無線技術が進化し、それらを活用したユビキタス・ネットワークやユビキタス・アライアンスの普及が予測され、ひとつのアプリケーションとして使い勝手の良い、位置に依存した情報提供サービスの実用化が進むであろう。今回の研究成果がそのためのステップになれば幸いである。

謝辞

本研究を実施するにあたり、ご指導、ご協力を頂いた技術本部、情報通信事業本部、電子部品事業本部、(株)シャープビジネスコンピュータの関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) The Official Bluetooth Info. Site, (online), available from <<http://www.bluetooth.com/>> (accessed 2003. 8).
- 2) Specification of the Bluetooth Core 1.1 vol 1 (2003.6.6).
(2003年9月24日受理)