

超音波測位と慣性測位による広域屋内測位のための 地図情報提示システムの設計と構築

屋良 朝克^{†1} 秋山 征己^{†1}
鷹野 孝典^{†2} 五百蔵 重典^{†2} 田中 博^{†2}

筆者らは、広域で比較的測位精度の高い屋内測位を行うため、Android 端末に内蔵されている慣性センサを利用した慣性測位と超音波測位を組み合わせた測位法を検討している。そのため、直観的な測位結果の理解やナビゲーションなどへの応用のために地図情報提示システムが必要となる。これまで筆者らは、超音波測位と慣性測位による広域屋内測位のための地図情報提示システムを構築してきた。その構成は、地図情報及び、ユーザごとの測位結果を格納するデータベース、現在位置や移動履歴を重ね合わせた地図情報画像を生成・出力するサーバとし、3G ネットワークや無線 LAN を介してスマートフォン上や PC などどこからでもモニタ可能である。本論文では、筆者らが検討している広域屋内測位手法のための測位結果表示機能を伴った地図情報提示システムの実現を目的とし、システムへの要求条件を整理するとともにシステムの設計、構築を行い、本地図情報提示システムの動作検証、正常動作を確認したことを報告する。

Design and Construction of Map Information Presentation System for Wide-Area Indoor Positioning using Inertia Positioning and Ultrasonic Wave Positioning

CHOKATSU YARA^{†1} MASAKI AKIYAMA^{†1}
KOSUKE TAKANO^{†2} SHIGENORI IOROI^{†2} HIROSHI TANAKA^{†2}

1. はじめに

屋外では、GPS 技術の発展により、スマートフォンやタブレットなどから現在位置を知ることができ、また、Google Maps などの地図情報サービスを利用することで、現在位置から目的地までのルートを検索することができる。しかしながら、屋内では GPS の電波が届きにくく、屋内での現在位置を取得するには誤差が大きいという問題がある。

そのため、屋外での測位技術の GPS に代わる屋内でのユーザの現在位置測位システムの研究が数多く検討されている。その中でも代表的なものとして IMES [1] や Wi-Fi の電波強度、伝搬時間差 [2] を用いたものなどがある。しかし、これらの測位法は測位誤差などの問題から屋内での利用は難しい場合がある。

一般に屋内での測位は、屋外での測位に比べ通路の幅が狭く、物の規模なども小さいことなどから、より高い測位精度が要求される。また、屋内でのそれらの要求精度をクリアできるものとして RFID タグを用いた測位や超音波による測位 [3] などがある。これらの測位法を用いることに

より測位誤差 10cm 以下の比較的高い精度の測位が可能であるが、広域エリアでの測位の際、敷設によるコスト負荷が大きいため経済的な観点から現実的でなく、実用化に至っていないのが現状である。

そのため筆者らは、一般に広く普及しており、比較的安価で入手できるスマートフォンの Android 端末に内蔵されている慣性センサを利用し、それらのセンサを用いた慣性測位 [4] と RFID タグに比べ、屋内のレイアウト変更に対して柔軟に対応可能である超音波測位とを組み合わせ、測位精度要求に応じたコスト面と測位精度のトレードオフを可能とした広域屋内測位法 [5] を提案している。加えて、筆者らは広域で広域屋内測位を行う際に必要不可欠になる屋内の地図情報と測位結果の表示機能を実装する汎用プラットフォームの開発 [6] を進めており、その上位レイヤとして、ユーザへの現在位置、移動履歴、目的地までの最短経路を提示するシステムの構築を進めている。

本論文では、筆者らが検討している広域屋内測位手法のための地図情報と測位結果表示を合わせた地図情報提示システムの実現を目的とし、システムへの要求条件を整理するとともにシステムの設計、構築を行い、本地図情報提示システムの動作検証、及び正常動作を確認した結果を報告する。

^{†1} 神奈川工科大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
Kanagawa Institute of Technology, Graduate School of Information & Computer Sciences

^{†2} 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科
Kanagawa Institute of Technology, Department of Information & Computer Sciences

2. 提案する屋内測位プラットフォーム

2.1 屋内測位への要求精度と適用領域

筆者らが想定する屋内測位の適用領域例を図 1 に示す。GPS は屋内での測位システムに比べ、比較的大きな測位誤差があるが、屋外での適用という領域では汎用的な測位システムとなっている。これは全世界をカバーできる広いエリアでの測位が可能である事と測位対象の測位要求精度が GPS の精度でも十分利用可能なためと考えられる。

そこで筆者らは、GPS による測位と同様に、多少誤差があるがコスト面で有利な慣性測位による広域エリア、低要求精度エリアでの測位を行い、また、狭隘エリアである場合でも、比較的要求精度が低い場合は、慣性測位を用いることで要求精度が低いエリアをすべてカバーできると考えている。超音波による測位は、センサ設置の観点からコストが高く、広域エリアには不向きであるため、狭隘エリアかつ、高い測位精度が必要なエリアや、慣性測位による蓄積誤差を補正する際に用いる。

高精度が要求される測位対象として商品、書棚などへの誘導があるが、健常者と身体障害者とは、その測位精度要求は異なる。例えば、商品などへの誘導する際、健常者の場合だと測位誤差 2, 3m ある場合でも自分で探すなどして目的の商品を見つけられる可能性があるが、案内対象に視覚的な障害がある場合、測位誤差が 1m 以上あると自力で商品を見つけられない可能性がある。そのため、身体障害者などは健常者に比べ測位要求精度が高くなり、誤差 10cm 以下の比較的測位精度の高い超音波などによるピンポイントな測位が必要となると考えている。

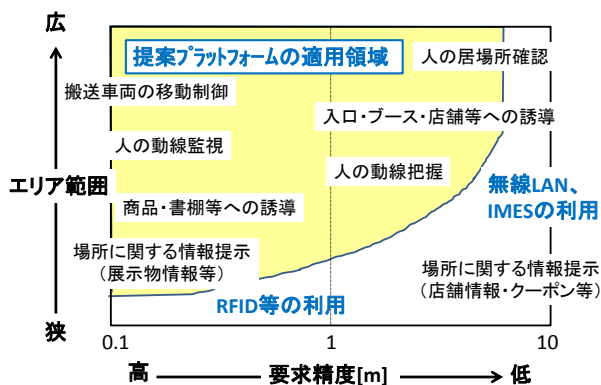


図 1 屋内測位への要求精度と適用領域

2.2 屋内測位方式

提案する広域屋内測位方式を図 2 に示す。慣性測位では、Android 端末に内蔵されている慣性センサである加速度センサとジャイロセンサを用いて測位を行う。その測位方法は、加速度センサによる歩数の検出と、ジャイロセンサによる曲がり検出である。具体的には、検出した歩数とユーザの歩幅を掛け合わせることでユーザの一步ごとの推定移

動距離を算出し、検出した曲がりからユーザの進行方向の推定を行う。

しかし、慣性測位では各センサのドリフトなどの影響や、歩数の誤検出などにより測位誤差が発生する。また、推定距離の算出の際に使用している歩幅情報は、事前にユーザから実測して取得しているため、その時の歩幅と実際の歩幅との誤差が発生する。

それらを補正する手段として、マップマッチング手法や超音波測位による座標値の補正がある。マップマッチング手法を用いた蓄積誤差補正方法では、曲がりを検出した際、現在位置から一番近いコーナーを地図情報から検索し、その座標値を現在位置として補正する。超音波測位による補正では、ユーザが超音波測位を行えるエリアに進入した際に、超音波測位を行い、その座標値をユーザの現在位置とする補正方法である。

これらの測位補正手段を利用する事で、低コストである慣性測位をベースとした、広域で必要要求精度を確保した屋内測位が実現可能であると考えている。

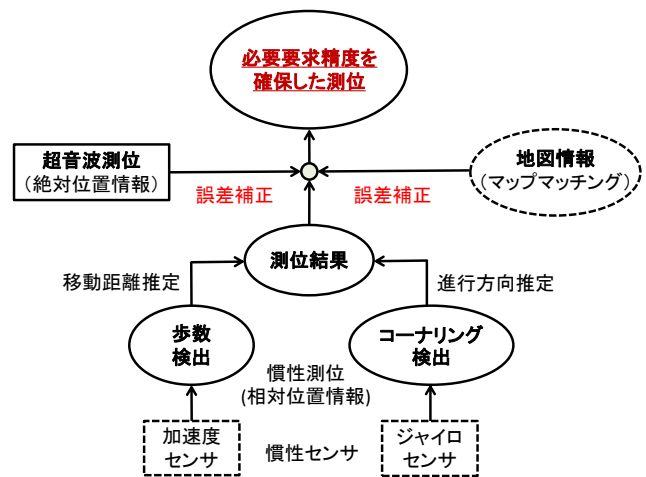


図 2 広域屋内測位方式

2.3 提案する屋内測位プラットフォームの構成

図 2 に示したアーキテクチャを実現する屋内測位プラットフォームの構成を図 3 に示す。測位処理サーバ内で慣性センサにより検出した歩数と曲がりからユーザの位置を推定し、超音波測位によって測位した座標値からユーザの現在位置を補正する。また、マップマッチングによる補正も測位処理サーバ内で行う。

データベースサーバでは、ベクター地図(空間データベース内で利用可能な地図情報)を利用するために空間拡張を行ったリレーショナルデータベースを用いて、データの取得や格納を行う。慣性測位の際に必要な歩幅情報とマップマッチング時に必要となるベクター地図のノード情報(地図のコーナー情報)を事前に格納しており、測位結果であるユーザの現在位置の格納、測位時刻を格納する機能な

どを有する。また、データベースの構成として、ベクター地図、ユーザの測位結果情報、歩幅などのユーザ情報を格納する設計となっている。

地図画像生成サーバでは、ユーザに提示するための地図情報画像の生成や測位結果とベクター地図を重ね合わせたユーザの現在位置画像を生成する。地図画像生成プログラムとして、オープンソースである MapServer [7] を利用し、ユーザへのアクセス制限、ベクター地図の座標系の変換や拡大縮小が容易となる構成としている。

Web サーバでは、地図画像生成サーバで作成した地図情報画像やユーザの現在位置画像をユーザに提示するため、ユーザ専用の Web ページにそれらの画像を公開する。Web サーバとして、Apache を利用し、逐次更新される測位結果の提示を行うため、一定間隔の Web ページの更新を行う。

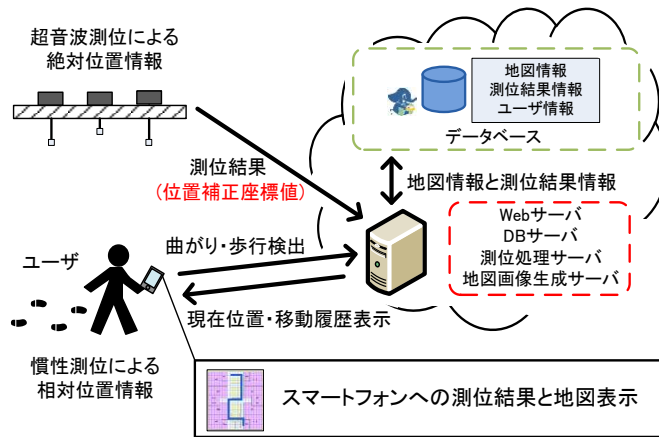


図 3 提案する屋内測位プラットフォーム

3. 地図情報提示システムの構築

3.1 要求条件

本地図情報提示システムを構築するにあたり、屋内の地図情報や測位結果を屋内測位システム運用者、複数人で同じ屋内地図情報を共有できること、屋内地図情報アクセスの際のセキュリティやプライバシーを考慮したユーザへのアクセス制約を行える事を条件とした。その観点からユーザのアクセス制約を行える MapServer を用いた地図画像生成サーバの構築を検討し、地図情報を共有するという観点から、クライアント・サーバ方式を採用した。

本システムの要求機能条件として、基本的な屋内地図情報画像の提示、各屋内測位法で取得した測位結果画像の提示、過去の測位結果画像提示(移動履歴)、目的地までの最短経路結果画像提示がある。

また、データベース構築の際の要求条件として、地図情報、ユーザ ID、ユーザの歩幅情報、測位結果などが格納できることとなり、それらが可能であるデータベースとして

ベクター地図を作成可能な PostGIS [8] をインストールした PostgreSQL を採用し、データベーステーブルの設計を行った。PostGIS は PostgreSQL 上でアドオンとして動作し、その関数を用いることで、ベクター地図の作成、空間検索(半径 5m 以内にいる人や物などを検索するなど)、地物間の距離検索(人と人や、人とモノなどの距離検索)などが可能となる。また、ベクター地図を作成する関数を用いて、測位結果をプロットする際に利用する Point 画像を生成し、それとベクター地図を合わせて測位結果画像を生成している。

3.2 システム構成

地図情報提示システムの構成を図 4 に示す。3.1 節で述べた本システムの基本要件を満たすデータベースのテーブル構成として、地図情報格納テーブル、測位結果格納テーブル、ユーザ情報格納テーブルを作成した(詳細は 3.4 節で述べる)。また、地図情報であるベクター地図とユーザの歩幅情報は事前に格納しておき、必要に応じて各システムで使用できる構成としている。

測位処理サーバでは、ユーザの歩幅情報を取得し、慣性センサで検出した「歩数」と「曲がり」から慣性測位を行う。また超音波測位で取得した測位結果は慣性測位の際の蓄積誤差を補正する絶対位置情報として、ユーザの測位結果格納テーブルに格納する。

地図画像生成サーバでは、オープンソースである MapServer を利用した。その基本機能は地図画像生成と作成した地図の拡大縮小などであり、それらの基本機能を利用して地図情報画像を生成し、Web 上から地図情報提示を行っている。また、MapServer の地図画像生成機能を応用し、逐次格納される測位結果と地図情報を重ね合わせた測位結果画像を動的に生成することで、スマートフォン上のブラウザなどから生成した測位結果画像の閲覧を可能としている。

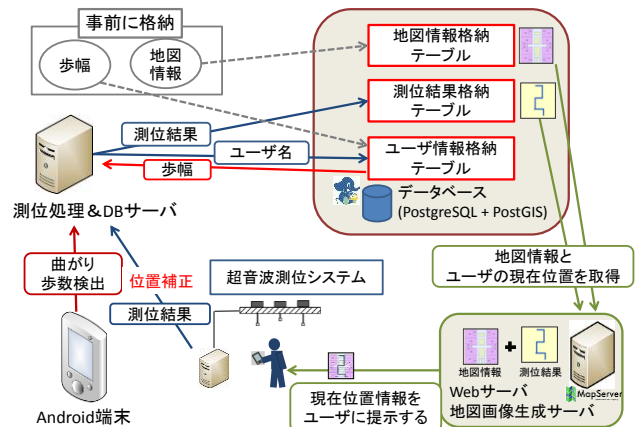


図 4 地図情報提示システムの構成

3.3 地図生成サーバ

屋内地図情報を扱うため、Google Maps の利用、及び MapServer の利用を検討した。Google Maps の利用は、地図情報利用の際、地図作成コストや提供されているサービスなどの観点から有効な手段だと考えられる。しかし、Google Maps を利用するにあたり、地図情報アップロード時の Google の許諾、建築物所有者の許可の取得など、各種手続きを執る必要 [9] がり、一般利用は容易ではない。

一方、MapServer では利用環境を構築する際の各種設定やプログラミングは必要となるが利用の際の条件はなく、必要に応じた柔軟な地図の作成、表示の設定が可能となる。さらに、MapServer ではユーザに対する地図利用の制約や認証を行えるため地図利用の際の機密性が向上する。また、屋内地図の利用は屋外地図利用に比べ、プライバシーやセキュリティなどの観点から機密性が高い情報であることは明らかである。しかし、Google Maps では、地図情報の一般公開が前提となっており、ユーザごとのプライバシーや安全面を考慮した地図情報の提供は極めて困難と考えられる。以上の観点から安全面を重視し、筆者らは MapServer を選択した。その屋内地図利用の際の Google Maps とマップサーバの比較を表 1 に示す。

表 1 Google Maps と MapServer の比較

	Google Maps	MapServer
座標系	世界測地系(緯度経度)のみ	独自の測地系の作成、世界測地系の利用が可能
利用上の条件	屋内地図を登録する際に Google の承認が必要	特になし
安全面	世界中に屋内情報を発信	ユーザを限定した地図の公開が可能。
その他	1 日のページロード数の制限 (25000 ロードまでは無料)	Google Maps と同等の機能が可能であり、ユーザが自由にカスタマイズ可能

3.4 データベースの設計と構築

3.1 節で述べた要求条件を踏まえ、地図情報格納テーブル、測位結果格納テーブル、ユーザ情報格納テーブルを作成した。また、地図情報を扱うという観点から PostgreSQL 上でプラグインとして動作する PostGIS を利用し、地図情報をデータベースで扱う形式に変換したベクター地図を格納するテーブルの構築を行った。

PostGIS は、データベース上で地図情報を扱うことができるほか、PostGIS で用意されている関数を用いることで、地図の座標系変換、距離計算が容易になるというメリットがある。

3.4.1 地図情報格納テーブル

地図情報格納テーブルの構成を表 2 に示す。地図情報を、実験エリアである本学のフロアマップ情報を部屋ごとに分

割し、建物内の地物名情報とともにデータベースである PostgreSQL 内に PostGIS のベクター地図作成関数を用いて作成した。なお、ベクター地図は、MapServer が直接扱うことが可能な地図情報であり、MapServer がデータベースにアクセスし、ベクター地図情報を取得することで地図情報画像を生成する。

表 2 地図情報格納テーブル

	建物内の地物名	建物の地図情報 (ベクター地図)
id	Name	the_geom
1	801 五百蔵 教員室	20E840A03E0012E100...
2	802 五百蔵 研究室	20E840A33E201B3110...
3	803 田中 博・鈴木 研究室	21E0404C32F012E101...
:	:	:

3.4.2 測位結果格納テーブル

測位結果格納テーブルの構成を表 3 に示す。測位結果格納テーブルでは、ユーザを識別する ID、測位結果である座標値、スマートフォン内の各種センサを用いた慣性測位と超音波測位を識別する測位種別 ID (超音波測位は ID 1、慣性測位は ID 2)、各測位の測位時刻であるデータ取得時刻、測位結果を地図生成サーバで利用可能なベクター地図(ポイントのプロット)に変換した測位データを格納している。また、後述するが、慣性測位はユーザの直前位置の座標値を測位結果格納テーブルから取得し、歩数と曲がりから測位処理サーバ内で位置を算出し、測位結果格納テーブルに格納している。

表 3 測位結果格納テーブル

ユーザ ID	測位結果			測位種別	データ取得時刻	測位データ (ベクター地図)
uid	x	y	z	s_type	time	the_geom
1	23550	25025	1702	1	2013/05/02 22:41:24	01010002E1...
2	24550	25080	---	2	2013/05/02 22:41:26	0101020C32...
2	24550	25135	---	2	2013/05/02 22:41:29	0A01300401...
3	30550	2135	1785	1	2013/05/02 22:41:30	0201E00401...
:	:	:	:	:	:	:

3.4.3 ユーザ情報格納テーブル

ユーザ情報格納テーブルの構成を表 4 に示す。ユーザ情報格納テーブルでは、各測位でユーザ識別を行うための ID を格納しており、慣性測位を行う際に必要となる事前に格納した歩幅情報を慣性測位ユーザ ID から取得するテーブルとなっている。また、超音波測位ユーザ ID と慣性測位ユーザ ID を統一したユーザ ID を定義することで、今後の慣性測位の際の蓄積誤差を超音波測位で補正するロジック

の実装を考慮する構成とした。

表 4 ユーザ情報格納テーブル

ユーザ ID	慣性測位ユーザ ID	超音波測位ユーザ ID	歩幅
uid	ip_id	uwp_id	step
1	ip_1	usp_1	60
2	ip_2	usp_2	80
3	ip_3	usp_3	65
:	:	:	:

3.5 各屋内測位システムでの測位結果表示シーケンス

筆者らが提案している屋内測位プラットフォームのベースである測位システムとして、精度確保のために慣性測位による誤差を超音波測位によって補償、つまり超音波測位と慣性測位を統合させる必要が生じる場合がある。そのため、統合した測位のベースとなる超音波測位と慣性測位の測位結果提示が可能である事が前提となる。また、現在提案されている様々な屋内測位システムの汎用的な地図提示プラットフォームとしても活用できると考えているため、各屋内測位システムの測位結果を表示できる必要がある。そこで、両者を統合した測位結果を提示する前段階として、超音波測位と慣性測位それぞれの測位結果を提示するシーケンスを次項に示す。

3.5.1 慣性測位結果表示のシーケンス

慣性測位結果提示のシーケンスを図 5 に示す。まず、Android 端末に内蔵されている慣性センサで「曲がり」と「歩数」を検出し、その検出時刻とともに、測位処理・データベースサーバに POST 送信する。データベースサーバでは、事前に格納したユーザの歩幅情報と直前のユーザの位置を取得し、測位処理サーバ内でユーザの座標値を算出する。次に、データベースサーバで慣性測位により算出した座標値をデータベースに格納し、MapServer 上で事前に格納したベクター地図と重ね合わせることで現在位置画像を生成する。その際、ブラウザ上から現在位置画像を表示することによりユーザへの現在位置の提示を行っている。

また、従来手法として、慣性測位は Android 端末内で歩数検出、曲がり検出を行い、ユーザの現在位置を測位していた [6]。しかし、新手法では、測位結果処理サーバで慣性測位を行っている。その理由として、超音波測位結果による慣性測位の蓄積誤差の補正が挙げられる。超音波測位は、超音波受信センサが敷設されている範囲のみの測位となるため、超音波測位が行えるエリアとそうでないエリアとで、測位するタイミングは不定期となる。超音波測位を行ったタイミングで蓄積誤差の補正を行うには、超音波測位のタイミングと同期して、誤差補正座標値を送信しなければならない。また、Android 端末内でそれらを行うには、

端末をサーバ化し、超音波測位 PC から POST 送信される補正座標値を取得する必要がある。そのため、両測位の測位結果を 1 つのサーバで管理し、慣性測位を測位処理サーバ内で行うことで、リアルタイムな超音波による蓄積誤差補正を行えると考えている。

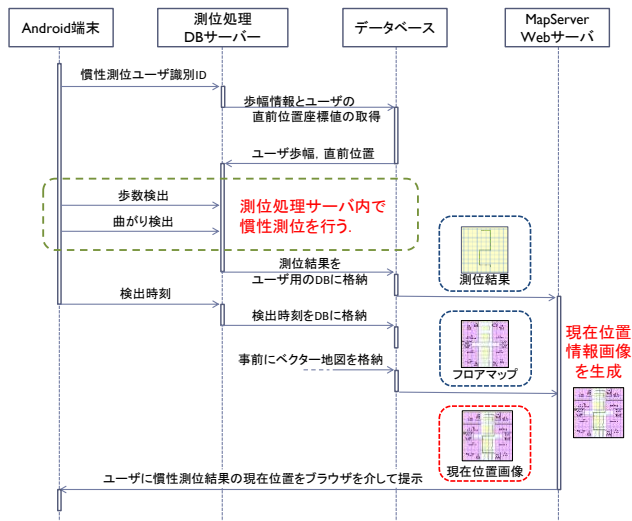


図 5 慣性測位結果提示のシーケンス

3.5.2 超音波測位結果表示のシーケンス

提案している超音波測位システムは、4 つ以上の受信モジュールが超音波を検出することで伝搬時間を測定し、その伝搬時間差から測位対象物を測位する逆 GPS 手法 [3] を用いている。それにより、従来手法である超音波の送信部と受信部の時刻同期を必要とせず、システム構成を簡単にできる。その超音波測位結果提示のシーケンスを図 6 に示す。まず、超音波測位システムが超音波を受信し、伝搬時間差から測位対象物を測位する。次に、算出した測位結果をデータベースに格納し、MapServer が地図情報と合わせて取得することにより現在位置情報画像を生成する。最後に、Web サーバを介してユーザに現在地情報を提示する。

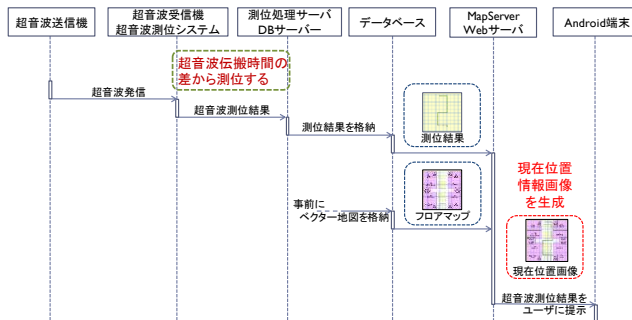


図 6 超音波測位結果表示のシーケンス

4. 動作検証

4.1 慣性測位による測位結果の表示

地図情報提示システムによる慣性測位結果を図 7 に示す。今回の動作検証では、左上のまるで囲った部分をスタート地点とし、3.5.1 節のシーケンス通り、データ格納、読み込み、Web ブラウザ上での慣性測位結果表示、移動履歴表示の正常動作を確認した。画面の青い点が測位した結果であり、それを連続で表示することで移動履歴としている。

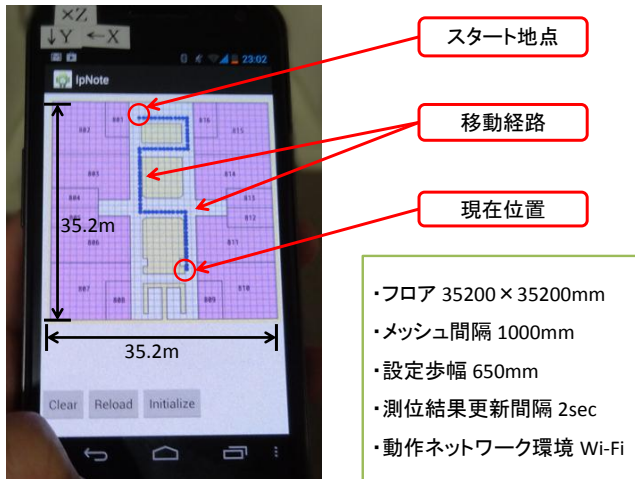


図 7 慣性測位結果提示画面

4.2 超音波測位による測位結果の表示

地図情報提示システムによる超音波測位結果を図 8 に示す。筆者らの開発した超音波測位では、最大誤差 10cm 程度の比較的高精度な測位が可能となっている。

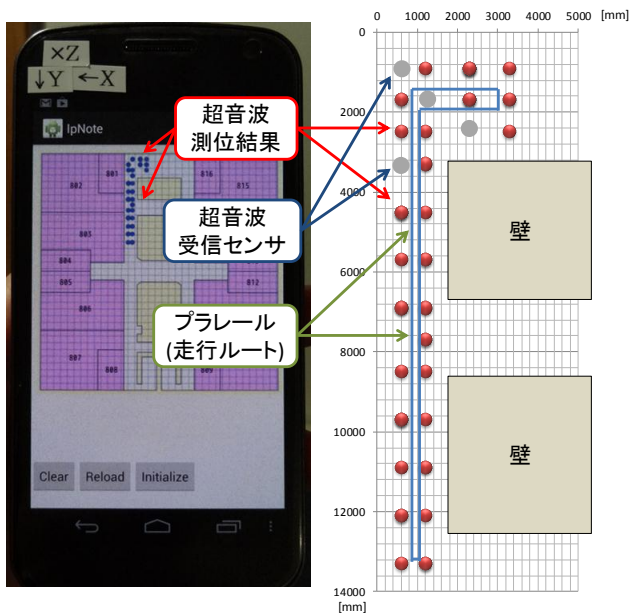


図 8 超音波測位結果提示画面

今回は、超音波を正常に検知できるかという観点で、最

も早く超音波を受信した受信モジュールの x, y 座標を測位結果とする簡易的な手法で実装シーケンスの動作検証を行った。図 8 のように敷設した超音波受信センサの内周にプラレールを設置し、超音波送信器を装着した模型列車を走らせた。Android 端末上に青色でプロットされた点が本システムで提示した超音波測位結果である。

5. まとめ

超音波測位と Android 端末に内蔵されている慣性センサを用いた慣性測位による要求精度に柔軟に対応する広域屋内測位法の検討を述べるとともに、その際に必要となる地図情報提示や測位結果表示を行う地図情報提示システムの設計と構築、動作検証を行い、その正常動作を確認した。

今後は、狭隘エリアにおける超音波測位機能と広域エリアにおける慣性測位機能を統合するとともに、測位補正の実装による適用領域における必要要求精度の確保、本システムを利用したナビゲーションシステム、地図情報と対応した車いすによる自律走行の検討を行う。また、現在課題となっている地図情報取得時の通信負荷の軽減、地図生成速度の向上を検討していく。

参考文献

- 1) 村田正秋, 瀬川爾郎, 島本秀:IMES の技術動向, 電子情報通信学会, GPS/GNSS シンポジウム 2010, pp.94-101(2010).
- 2) 山田 直治, 磯田 佳典, 南 正輝, 森川 博之:プレゼンスシステム実現のための無線 LAN を用いた高角度な屋内エリア推定方式:情報処理学会論文誌, Vol.50, No.8, pp.1845-1855(2009).
- 3) 秋山 征己, 須永 光, 五百蔵 重典, 田中 博:超音波センサを用いた広域屋内システムの構成と検証実験, 測位航海学会論文誌, Vol.3, No.1, pp.1-8(2012).
- 4) 鈴木 惇也, 秋山 征己, 田中 博, 五百蔵 重典:スマートフォン内蔵センサを用いた歩行位置測定に関する基本実験と評価, 研究報告 モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), pp.1-7(2012).
- 5) 秋山 征己, 白井 宏幸, 屋良 朝克, 鷹野 孝典, 五百蔵 重典, 田中 博:慣性センサ内蔵端末と超音波センサを用いた屋内測位プラットフォームの基本検討, HCG シンポジウム 2012, HCG2012, pp.194-199(2012).
- 6) 屋良 朝克, 秋山 征己, 鷹野 孝典, 五百蔵 重典, 田中 博:Map Server を用いた屋内測位基盤のための地図情報表示システムの構築, 2013 電子情報通信学会 総合大会, A-17-11, pp.242(2013).
- 7) MapServer
<<http://mapserver.org>> (2013.05.13)
- 8) PostGIS
<<http://postgis.net>> (2013.05.13)
- 9) Google Maps Floor Plans
<<http://maps.google.com/help/maps/floorplans>> (2013.05.13)