

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500219

研究課題名(和文) 端末内蔵慣性センサと超音波センサを用いた屋内測位基盤の構成法に関する研究開発

研究課題名(英文) Platform composition for indoor positioning using terminal-embedded inertia sensor and ultrasonic sensor

研究代表者

田中 博 (TANAKA, HIROSHI)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：00434415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では広域エリアでの屋内測位の実現を重視し、送受間の時刻同期が不要な超音波測位システムを開発した。30m超の区間での測位実験を行い、測位誤差が数cm以内であることを検証した。また、スマートフォンを音源とした測位システムを開発し、騒音環境下においても超音波を用いた場合と同等な測位精度を確認した。

地図情報の上に屋内測位の結果を遅延なく表示するためのサーバシステムを設計、実装した。スマートフォン内蔵のセンサを用いた慣性測位として、歩数と曲り検知による方法を提案、評価した。超音波測位と慣性測位を併用することにより、ユーザの測位精度要求に柔軟に対応可能な測位プラットフォームとして実証した。

研究成果の概要(英文)：The authors have developed a high-accurate positioning system for wide indoor area by using ultrasonic. Feature of the proposed system is that the system is not required time synchronization between transmission and receiving parts. The system evaluation was carried out in a corridor of more than 30m range, and the positioning error less than a few cm was verified. The positioning system by using a speaker of a smartphone has also developed, and its positioning accuracy is maintained even in the noisy environment.

The server system that displays the map and positioning information has been designed and implemented in order to visualize the positioning results in real time. The dead reckoning by using inertia sensors implemented in a smartphone has been investigated. The authors realize the positioning platform that can be corresponded to user's accuracy requirement by combining the positioning system by ultrasonic and dead reckoning by inertia sensors.

研究分野：情報通信

キーワード：屋内測位 超音波センサ 慣性センサ マイクセンサ

1. 研究開始当初の背景

(1)屋外での測位として GPS が標準的なものとなり、カーナビへの利用など広く普及し、すでに大きな市場を形成している。しかし、屋内での測位に関しては、無線 LAN を用いたものを中心に多数の方式が提案されているものの、測位の精度は数 m 程度であり、精度の観点では必ずしも十分ではない状況であり、屋内でのナビや居場所モニタ、動線管理などの応用に大きな制約があった。

(2)一方、測位方法の手法として前記のものは絶対的な位置を求めるのに対して、加速度センサ、ジャイロセンサという慣性センサを用いて相対的な移動量を求める相対測位がある。この方法も従来から広く検討されてきたが、ここにきてそれらのセンサを内蔵しているスマートフォン（以降、スマホと記述）の急速な普及が期待されつつあり、その内蔵センサを用いた測位技術の研究が求められていた。また、スマホには気圧センサも内蔵しており、これによってその人が何階にいるのか、という在階推定も可能となる可能性が高い。

2. 研究の目的

(1)屋内版 GPS の開発を目指す。本研究では、無線 LAN や他の方式では実現が困難な測位精度の実現をめざす（数 cm 程度の測位誤差に抑える）とともに、局所的な場所での測位にとどまらず、地下街、大型建造物内でのナビ等にも適用可能な広域屋内測位システムを実現する。

(2)従来、専用の慣性センサを用いて行われていた慣性測位をスマートフォン内蔵の慣性センサで行う。だれもが日常所持するコンシューマ機器で慣性測位を行うことが可能となれば、その利用は急速に普及、拡大することが期待できる。さらに、スマートフォンの内蔵の気圧センサの応用として、現在はシステム側から情報送信している在階情報をユーザ側で検知する技術を確認することにより、アプリケーションの拡大につなげる。

3. 研究の方法

(1)測位精度の確保を目的に広く検討されている電波を用いた方式ではなく、音を用いた測位方式を採用する。ここで、測位システム構成や広域エリアへの展開が容易であることをシステム要件とする。このため、音の送信側と受信側の時刻の同期を必要としない方法を前提とする。

まず、周囲の雑音の影響を受けづらい超音波（40kHz）を音源とする測位システムを開発する。主な研究開発課題は、原理検証、測位システムとしての各要素の機能分担と、超音波センサによる受信信号をマイコンへの入力信号とするための増幅回路、受信タイ

ミング検出、その情報を測位計算を行うパソコンへ送信するためのインタフェースからなる受信機的设计と試作である。

受信センサを廊下天井に設置し、測位エリア拡張が容易な測位システムとして実証するとともに、測位精度を検証する。

上記超音波による測位システムの実現性と評価による提案手法の確認に続けて、音による測位の普及を推進するための方法として、スマホの内蔵スピーカを用いることを提案する。この場合は、音源データ構造の制約から超音波の発信は不可能であるので、非可聴音の領域と考えられる 17kHz 以上の音を用いて測位システムを実現することにする。

(2)スマートフォン内蔵の慣性センサを用いた屋内測位に関しては、超音波測位との協調という観点を重視し、位置推定のアルゴリズムの高精度化という観点ではなく、様々な所持形態を想定し、・腰ポケット、・胸ポケット、・腰ベルト、・腕バンドに装着した場合を検討する。さらに、廊下壁面に平行に歩行、建物構造から直進と 90° の曲がり、反転に歩行を限定する。目標とした測位プラットフォームの構成を図 1 に示す。

一方、階の移動の気圧センサによる検知が可能であることは、すでに知られている。しかし、あくまで相対的な階の移動の検知に限定されること、すなわち、何階にいるのか、という在階の推定は困難である。本研究では、気象条件の変化による気圧変化の影響を受けない在階推定技術を考案し、実験により方法の妥当性と評価を行う。

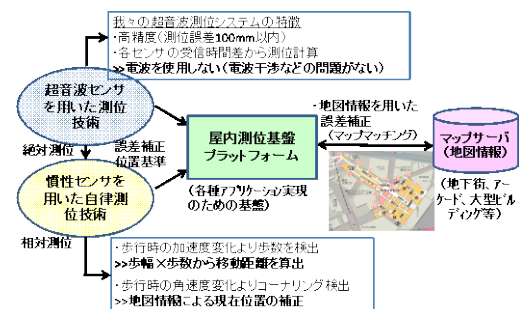


図 1 屋内測位プラットフォームの構成

4. 研究成果

(1)広域化の構成が容易な超音波測位システムを実現するために、超音波受信機を試作した（図 2）。本機は、超音波受信時の増幅とマイコンによる受信タイミングの検知、タイミングデータの測位計算 PC への送信のためにインタフェースから構成しており、信号ラインと電源ラインを一つのコネクタに収容することにより、容易な接続構成を実現している。

そして、学内廊下天井に超音波センサを取

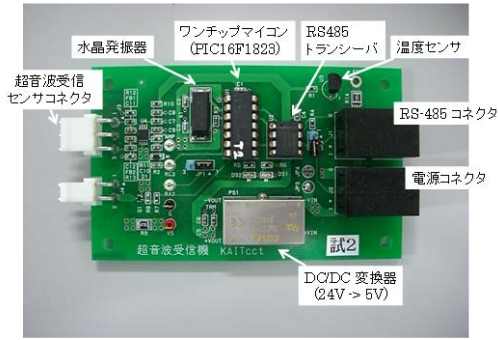


図 2 試作した超音波受信機

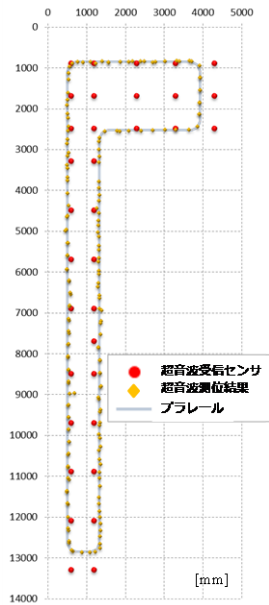


図 3 超音波測位実験結果

り付け、測位実験によって数 cm 程度の測位精度を実現できることを確認した (図 3)。このとき、測位遅延を低減するために、超音波を受信しているセンサからの信号のみを伝送することにより、データ伝送遅延を低減し、0.5 秒以内の測位間隔を確保した。

上記によって、超音波による高精度な測位の原理と精度を確認した後、スマホのスピーカを音源とした測位システムの開発を行った。スマホ内蔵音源データの構造と内蔵スピーカの制約から音源の周波数を 17kHz に設定した。マイクセンサの試験により、センサを選択するとともに超音波と異なり周囲の音が環境雑音となることから、帯域通過フィルタを用いて測位のための音のみをセンシングする回路を試作し、その効果を確認した。これによって、騒音環境下 (例えば、展示会場など) での測位を実現した。静穏環境下 (研究室) と騒音環境下 (混雑時の学食) での測位実験の結果を図 4 に示す。本実験により、スマホの内蔵スピーカを音源とした超音波測位と同等の高精度な測位が騒音環境下でも実現できることを明らかにした。

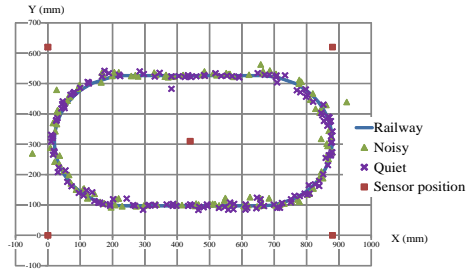


図 4 スマホを音源とした測位実験結果

表 1 歩数検出評価実験結果

被験者	評価項目	手	腰	胸	腕
A	歩数平均 (検出数/実歩数)	62.2/62.3	63.7/62.4	62.2/61.5	60.5/59.9
	標準偏差 (検出数/実歩数)	0.95/0.94	0.80/0.87	0.74/0.87	0.92/1.07
B	歩数平均 (検出数/実歩数)	63.5/65.1	67.4/65.8	67.4/65.6	66.2/65.8
	標準偏差 (検出数/実歩数)	1.55/0.95	1.58/1.07	1.58/1.07	1.48/1.05
C	歩数平均 (検出数/実歩数)	65.8/65.1	66.9/64.4	67.6/66.8	63.7/63.6
	標準偏差 (検出数/実歩数)	1.41/1.26	2.71/1.85	2.05/1.42	1.77/1.63
D	歩数平均 (検出数/実歩数)	58.2/58.5	47.3/59.1	62.3/60.6	61.8/62.1
	標準偏差 (検出数/実歩数)	1.01/0.97	7.11/1.85	1.79/1.67	1.22/1.17
E	歩数平均 (検出数/実歩数)	66.3/67.1	68.6/64.8	64.6/64.3	65.0/64.7
	標準偏差 (検出数/実歩数)	1.22/1.16	2.98/1.08	1.56/0.85	1.08/0.75

表 2 曲り検出評価実験結果

被験者	評価項目	手	腰	胸	腕
A	検出数/実回数	160/160	146/160	159/160	152/160
B	検出数/実回数	160/160	121/160	140/160	154/160
C	検出数/実回数	160/160	151/160	117/160	143/160
D	検出数/実回数	160/160	NG	158/160	160/160
E	検出数/実回数	158/160	NG	153/160	159/160

NG: 逆方向のコーナリングの判定あり

慣性測位に関しては、加速度センサによる歩数検出とジャイロセンサによる曲りの検出方法を検討し、前者は 3 軸加速度合成値の上下限設定による方法、後者はジャイロ出力の IIR フィルタ出力の結果から判定する方法を提案した。実験による評価結果を表 1、表 2 に示す。歩数検出として、腰に装着した場合の検出精度に悪化が見られるが、これは緩い装着による振動の影響と考えられる。これ以外は、非常に精度の高い検出が行われており、屋内廊下の歩行を前提とした位置推定への適用は可能と判断した。

在階推定手法として、参照する気圧センサと所持する気圧センサとの相対的な気圧差から存在する階数を推定する手法を考案し、特許として出願した。具体的には、参照気圧センサの値を一定時間間隔でクラウド内に

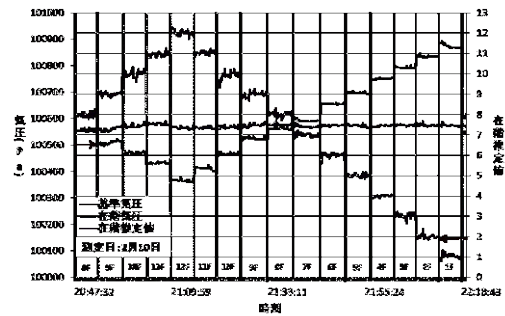


図 5 在階推定実験結果

格納し、所持センサの出力値との差分から階数を求めるものである。実験結果を図5に示す。この結果からほぼ100%の高い精度で階数を推定できることを確認した。センサの経年変化の影響など、実利用の観点での評価が課題として残っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

(1)秋山征己, 須永光, 五百蔵重典, 田中博, 音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と検証実験、測位航法学会論文誌, 査読有, 2012, Vol. 3, No. 1, pp. 1-8

〔学会発表〕(計15件)

(1)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, 2012/12/10, 熊本, HCG2012-I-4-1, pp. 194-199,

(2) 秋山 征己, 鈴木 惇也, 田中博, 五百蔵重典, スマートフォン内蔵ジャイロセンサを用いた曲がり検出手法の提案と評価, 2013 信学総大, 2013/3/21, 岐阜, B-19-45, p. 589

(3) 五百蔵重典, 鈴木 孝幸, 田中博, スマートフォン内蔵センサーを用いた複数フロアーデッドレコニング, DICOM02013, 2013/7/10, 十勝川温泉, 3E-5, pp. 723-735

(4) 屋良 朝克, 秋山 征己, 鷹野 孝典, 五百蔵重典, 田中博, 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, DICOM02013, 2013/7/10, 十勝川温泉, 3E-6, pp. 736-741

(5) 田中博, 屋良 朝克, 秋山 征己, 五百蔵重典, 位置情報基盤としての屋内測位技術—超音波測位と慣性測位の融合の提案—平成 25 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2013/9/5, 北見, TC3-6, pp. 179-184

(6) C. Yara, M. Akiyama, S. Ioroi, H. Tanaka, Indoor Positioning System using Ultrasonic Sensors as a Position Information Infrastructure for a Wide Area ACIS2013, 2013/11/1, Phuket (Thailand), pp. 386-389,

(7) Fujio Yamamoto, Haruhisa Yamaguchi, Hiroshi Tanaka, Takayuki Suzuki, Estimating elevator car position by referring to Android server providing fluctuating atmospheric pressure of a base floor, AROB19th 2014/1/23, Beppu (Japan), pp. 236-240

(7) 富上 徹也, 布施 諒, 五百蔵重典, 田中博, 山本 富士男, 気圧情報を利用した在階推定方法の提案と評価実験, 第 56 回情報 ITS 研究会, 2014-ITS-56(16), 2014/3/7, 名護, pp. 1-5

(8) 村田 翔太郎, 布施 諒, 屋良 朝克, 五百蔵重典, 田中博, スマートフォンの非可

聴音を用いた屋内測位のための基本実験, 2014 信学総大, 2014/3/21, 新潟, B-18-59, p. 627

(9) 村田 翔太郎, 屋良 朝克, 金田 一将, 五百蔵重典, 田中博, 非可聴音を用いた屋内測位のための受信機の試作とその評価 測位航法学会全国大会, 2014/4/25, 東京, URL : <http://www.gnss-pnt.org/taikai26/yoko26/murata.pdf>

(10) 村田 翔太郎, 屋良 朝克, 金田 一将, 五百蔵重典, 田中博, スマートフォンの非可聴音を用いた測位システムの開発と実現性の確認, DICOM02014, 2014/7/11, 新潟 月岡温泉, D-3, pp. 1608- 1613

(11) Shotaro Murata, Chokatsu Yara, Kazumasa Kaneta, Shigenori Ioroi and Hiroshi Tanaka, Accurate Indoor Positioning System using Near-Ultrasonic Sound from a Smartphone, NGMAST2014, 2014/9/10, Oxford(UK), pp. 13 -18

(12) 金田 一将, 村田 翔太郎, 五百蔵重典, 田中博, 非可聴音を用いた屋内測位の実験結果, 2014 信学ソ大, 2014/9/25, 徳島, B-18-26, pp. 386

(13) 鈴木 洋平, 屋良 朝克, 五百蔵重典, 田中博, HMD 搭載慣性センサの利用を想定した屋内位置推定とその評価, HCG シンポジウム 2014, 2014/12/17, 下関, HCG2014-A-2-1, pp. 57-62

(14) 金田 一将, 村田 翔太郎, 五百蔵重典, 田中博, 音を用いた屋内測位システムの使用音源に関する基本検討, 2015 信学総大, 2015/3/12, びわこ・くさつ, B-18-60, p. 607

(15) Chokatsu Yara, Yuta Noriduki, Shigenori Ioroi, Hiroshi Tanaka, Design and Implementation of Map System for Indoor Navigation, ISISS2015, 2015/3/26, Hawaii (USA), pp. 70-73,

〔図書〕(計1件)

田中博, 芹井滋喜, 東京電機大学出版局, PIC16 トレーナーによるマイコンプログラミング実習, 139 頁, 2013, ISBN978-4-501-33010 -1

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: 携帯端末を使用した所在階数推定システム、携帯端末及びプログラム

発明者: 山本 富士男, 田中 博

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2014- 7477

出願年月日: 平成 26 年 1 月 20 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.tnklab.ic.kanagawa-it.ac.jp/
tanakalab/index.htm](http://www.tnklab.ic.kanagawa-it.ac.jp/tanakalab/index.htm)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 博 (TANAKA Hiroshi)
神奈川工科大学・情報学部・教授
研究者番号：00434415

(2) 研究分担者

五百蔵 重典 (IOROI Shigenori)
神奈川工科大学・情報学部・教授
研究者番号：20318992

(3) 連携研究者

西村 広光 (NISHIMURA Hiromitsu)
神奈川工科大学・情報学部・講師
研究者番号：70329308