

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 10 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700088

研究課題名（和文） 異種測位方式協調機構の構築による屋外シームレス測位性能の向上

研究課題名（英文） Improvement of Indoor and Outdoor Seamless Positioning Performance Due to the Realization of Different Positioning System Coordination Mechanism

研究代表者

神武 直彦 (KOHTAKE NAHIKO)

慶應義塾大学・システムデザイン・マネジメント研究科・准教授

研究者番号：20549836

研究成果の概要（和文）：本研究は、屋内外シームレス測位における測位性能を向上させることを目的とし、必要とする測位性能を満たす測位方式を屋内外それぞれで個別に適用し、屋内外をまたぐ測位においては、一方の測位方式の測位結果を他方の測位方式での測位補強データとして利用する「異種測位方式協調機構」を構築した。結果として、その協調機構によって屋内外シームレス測位における測位誤差が向上を確認した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is that to improve the positioning performance in indoor and outdoor seamless positioning. Positioning methods that satisfies the positioning performance required have been applied separately in the indoor and outdoor, respectively. In positioning straddle the indoor outside, we have developed a "heterologous positioning system coordination mechanism". It is used as reinforcement positioning data of a positioning method the other positioning result of the positioning system of the other hand. As a consequence, we have confirmed that the coordination mechanism to improve the positioning error in seamless indoor and outdoor positioning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：測位、屋内外シームレス、異種測位方式、位置情報サービス、GPS、準天頂衛星、IMES、屋内地図

## 1. 研究開始当初の背景

GPS に代表される測位技術はその応用分野を広げており、2009 年時点では国内で 6,000 万台以上の携帯電話が GPS 測位機能を具備している。それに伴い、緊急通報や子供の見守りなどの安全安心情報の提供、位置連動型広告による顧客誘導など、位置情報サービス（以下、LBS）が数多く創出されており、その市場規模は 2010 年時点で 4,000 億円を超え、急速に拡大している。東京大学柴

崎研究室による東京都市圏の 1 万人を対象にした調査によると、人間の生活行動の 80% 以上は屋内で行われている。そのため、人間の生活行動に応じて柔軟に LBS を提供するには、屋内を含めた屋内外シームレス測位を実現することが重要である。屋内の測位については、GPS 測位では GPS 信号が屋内に到達し難いため、別の測位方式に依存する必要がある。近年では、様々な位置測位技術の発展に伴い、無線 LAN や IC タグ、屋内 GPS

を利用した測位が可能になってきている。また、屋内外シームレス測位の研究としては、高感度 GPS や無線 LAN といった単一の測位方式を用いて屋内外の測位を行う方法（以下、測位方式単一型）と、異なる測位方式を組み合わせて利用し、測位信号の受信状況が良い方の測位方式に適宜切替え、測位に利用する方法（以下、測位方式共存型）が多くを占めている。しかし、測位方式単一型の場合は、屋内外両方の環境で安定した測位性能で位置情報を取得することが難しいという問題があり、測位方式共存型の場合は、測位方式が切り替わる際の初期位置取得時間（以下、TTFF）に時間を要するため、LBS 利用者の屋内外をまたいだ移動の際に適切なサービスを提供することが困難、といった問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、屋内外シームレス測位における測位精度や測位速度などの測位性能を向上させることを目的とした。必要とする測位性能を満たす測位方式を屋内外それぞれで個別に適用し、屋内外をまたぐ測位においては、一方の測位方式の測位結果を他方の測位方式での測位補強データとして利用する「異種測位方式協調機構」を構築することで、屋内外シームレス測位の性能の向上を目指した。具体的な目的は以下の3つである。(1) 様々な位置情報サービスの屋内シームレス測位に対する測位性能要求を分析する (2) 各々の測位方式における測位補強/補完の仕組みの有効性を確認する (3) 屋内外シームレス測位性能向上のための異種測位方式協調法を確立する

## 3. 研究の方法

各年度ごとに研究のゴールを設定し、研究を実施した。平成 23 年度は、主に様々な LBS の屋内シームレス測位に対する測位性能要求の分析および各々の測位方式における測位補強/補完の仕組みの有効性確認、屋内外シームレス測位性能向上のための異種測位方式協調法の試作を実施し、平成 24 年度は、異種測位方式協調機構の測位性能評価と改良と実証実験場所を対象とした測位用データの取得、実証実験場所を対象とした異種測位方式協調機構の LBS への適用評価を行った。

## 4. 研究成果

平成 23 年度には、測位性能要求を分析し、各々の測位方式における測位補強/補完の仕組みの有効性を確認することを重点的に実施し、それらの成果を踏まえ、屋内外シームレス測位性能向上のための異種測位方式協調法の検討を行い、特定の条件でのその有効

性の確認を行った。具体的には数 10 名程度の被験者を募り、既存の複数の LBS について、人やモノが屋内外をまたいで移動した際のサービスの挙動を確認頂き、アンケートやインタビュー、観察によって必要とされる測位性能についての分析を行った。新たに誕生する LBS を想定し、簡単なプロトタイプを作成し、その挙動についての被験者が期待する動作をインタビューで明らかにし、必要とされる測位性能の分析を行った。また、GPS、準天頂衛星、IMES、無線 LAN、自己位置推定法の技術について、それらを実際に用いて同じ環境下で測位を行うことでその特徴や測位性能を明らかにし、屋外から屋内への移動を想定ケースとして異種測位方式協調法の設計と試作、評価を行った。その結果、屋外から屋内の移動に関しては、試作した方式にて初期測位速度、測位精度が向上することを確認した。

平成 24 年度には、前年度に行った測位性能要求の分析や、試作したプロトタイプで得られた知見をもとに、2 つの異種測位方式協調法を適用したシステムの設計とその評価を行った。

1 つめは、GPS による測位方式と IMES による測位を統合する測位システム GIPS (GPS and IMES integrated Positioning System) であり、屋内外の異動に対し、ネットワークを介して位置捕捉のためのデータを提供する仕組みを実現した。GIPS のシステム構成図を図 1 に示す。主な機能は以下の 3 つである。まず、GIPS は、屋内から屋外に移動する状況においては、IMES にて得られた位置情報に関連づいた屋外におけるマスク仰角情報を GIPS サーバから取得し、屋外での測位に利用することができる。また、IMES からの信号によって得た高さ情報を受信機が搭載された端末内に保持し、屋外での測位に活用することができる。最後に、屋外から屋内へ移動する状況では、屋外での GPS によって得た位置情報を元に IMES 送信機配置情報をサーバから取得し、屋内での測位を行う。GIPS の機能の有効性を確認するため、天空率の異なる 3 地点において、最大 216 チャンネルを測位対象として扱うことが可能な JAVAD GNSS 社製 SIGMA 受信機を用いてそれぞれ 1 時間の測位実験を行った。図 2 の通り、天空率はそれぞれ 68.8%、39.8%、14.8% である。取得した観測データについて、通常の GPS 単独測位との比較を測位演算結果の測位地点からの位置誤差の比較によって行った。今回の比較では、マスク仰角は設定せず、測位演算には重み付き最小二乗法を用いて後処理を行った。天空率の低い環境では、信号を受信できる衛星数が少なくなるため、測位精度の向上がより大きく表れるのではないかと考えた。

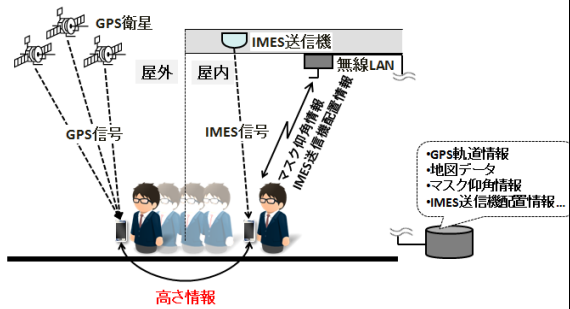


図1 GIPSシステム構成図

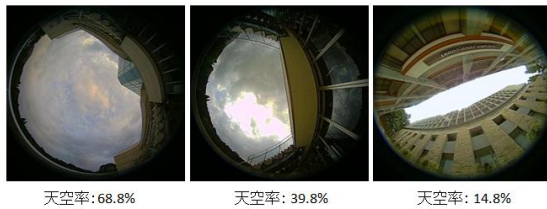


図2 3地点における天空写真

GPS 単独測位と屋内で得た高さ情報を用いた測位の水平方向の位置誤差について、天空率 68.8%地点を図 3、39.8%地点を図 4、14.8%地点を図 5 に示す。図は水平方向の位置誤差を m 単位で示したものであり、中心が正位置である。天空が比較的開けた図 3 においては、通常の GPS 単独測位でも位置誤差が 10m 以内に収まっている。これに高さ情報を加えて測位演算を行うと位置のばらつきが解消されていることが分かる。天空率が半分以下となる図 4 では、単独測位の場合に最大で約 25m の位置誤差が発生しているのに対し、高さ情報を用いると最大位置誤差を 20m 以下に抑えることができた。最も低い天空率である図 5 では、衛星配置によっては信号を受信できる衛星数が 3 つ以下となるため、位置誤差が大きくなり 1000m 以上に達している。一方、高さ情報を用いた測位演算では計算に必要な衛星数が 1 つ減少するため値の飛びが解消され、最大でも 40m 以内の位置誤差となった。図 4、図 5 では位置誤差の方向が縦横に伸びているが、これは天空率の低さが原因であり、天空が遮られているため衛星信号を受信できる方向と時間が制限されているからである。

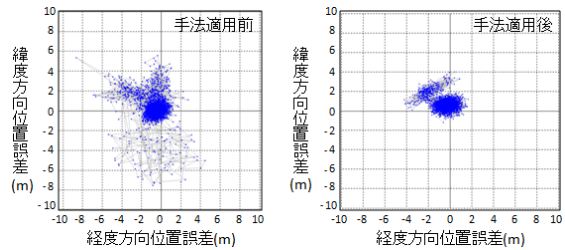


図3 天空率 68.8%地点での位置誤差比較

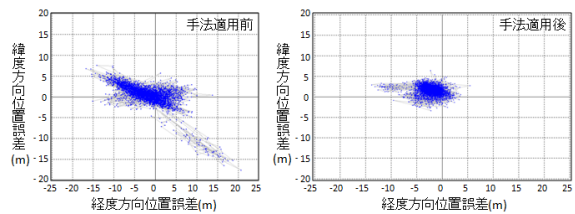


図4 天空率 39.8%地点での位置誤差比較

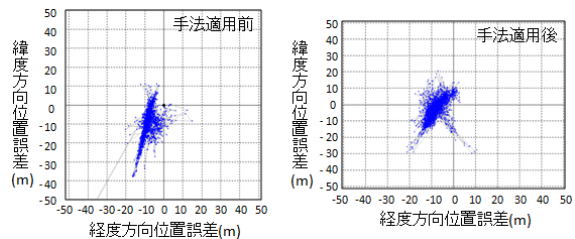


図5 天空率 14.8%地点での位置誤差比較

2 つめは、自己位置推定法による測位方式と、IMES による測位方式を協調させる方式であり、自己位置推定法によって生じる誤差を各所に設置した IMES 送信機からのデータによってキャリブレーションするという仕組みを実現した。図 6 に自己位置推定法・IMES 協調システム構成図を示す。

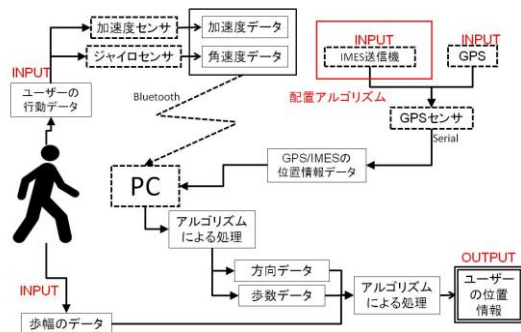


図6 自己位置推定法・IMES 協調システム

このシステムでは、利用者が保持する加速度センサ、ジャイロセンサ、および IMES の受信機能も具備した GPS センサからのデータを入力とし、前者 2 つからの入力から自己位置推定法による測位を行った上で、GPS セン

サからの位置情報によってキャリブレーションを行う。図7に本研究で用いたセンサとその配置について示す。加速度センサおよびジャイロセンサを具備したATR-Promotions社のTSND121とオープンソースソフトウェアで駆動し、IMES信号を受信可能なアルゴリズムに改良したNovatel社Super StarIIを用い、IMES送信機はGNSS社製送信機を用いた。なお、IMES送信機は40mごとに直線上に設置し、その送信出力を3つのレベル(-64dBm, -79dBm, -94dBm)に分けて実験を行った。

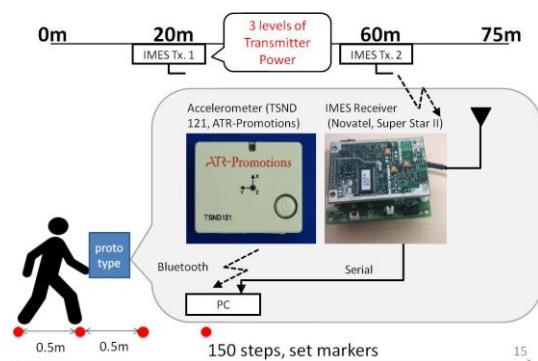


図7 本研究で用いたセンサとその配置

なお、IMES送信機からのデータによってキャリブレーションについては、本研究においてはオフラインでの処理とし、GPSセンサでのIMES信号の受信信号強度に閾値を設け、閾値以上かつ極大値となる場合のみキャリブレーションを行う処理を行い、測位精度誤差がどの程度向上するかの評価を行った。IMESによる測位誤差が数mから10m程度のため、それよりも小さい精度でのキャリブレーションが困難であるという制約はあるが、IMES送信機を適切に配置することで、概ね数m以内での位置誤差に抑えることが可能になり、また、携帯端末に具備されたセンサで自己位置推定法を実現可能なシステムを実現することができた。

これらの成果より、本研究では、位置情報サービスの屋内シームレス測位に対する測位性能要求を分析し、測位方式における測位補強/補完の仕組みの有効性を確認することができ、2つのプロトタイプシステムによって屋内外シームレス測位性能向上のための異種測位方式協調法を構築することができたと考えている。今後の課題は、実用化に向けた各種センサの1パッケージ化やアルゴリズムの最適化であり、今後も研究を継続していきたい。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Asoo Shikimura, Katsuhiko Mutoh,

Naohiko Kohtake, Masato Utsumi, Tetsuhiro Furutou, Hitoshi Tomita, Makoto Ishii, Seamless Location Based Services in Train Stations using Guidance Navigation Ssatellite System and Indoor Messaging System, ION GNSS+2013, 2013. (査読有・掲載確定)

② Masaki Hidaka, Naohiko Kohtake, Calibration of Dead Reckoning with IMES for Pedestrian Navigation, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, CD-ROM, 2012. (査読有)

③ 中島 円, 神武 直彦, 春山 真一郎, MCM: 各階平面図を利用した屋内地図データ簡易作成手法, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.14, No.2, pp.121-130, 2012 (査読有)

[学会発表] (計6件)

① Naohiko Kohtake, System Design and Management for Edge City in Tokyo, Universal Village Conference, 2013年1月17日, Beijing, China

② Naohiko Kohtake, Indoor and Outdoor Seamless Positioning and Mapping for Location Based Service, 4th Asia Oceania Regional Workshop on GNSS, 2012年12月9日, Kuala Lumpur, Malaysia (招待講演)

③ 日高 正貴, 森本 修介, 神武直彦, IMESおよびDead Reckoning技術を用いた室内シームレス測位基盤の設計, 情報処理学会, 2012年3月7日, 名古屋工業大学

④ 森本 修介, 日高 正貴, 神武直彦, 屋内外シームレス測位の実現に向けたGPS/IMES測位統合システムの設計, 情報処理学会, 2012年3月6日, 名古屋工業大学

⑤ 神武 直彦, IMESによる屋内外シームレスLBS実用化に向けて, 測位航法学会GPS/GNSSシンポジウム2011, 2011年10月28日, 東京海洋大学

⑥ Naohiko Kohtake, Disaster Management on Location-Based Service, Sentinel Asia Joint Project Team Meeting 2011 (招待講演), 2011年07月13日, Putrajaya International Convention Center, Malaysia

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

神武 直彦 (KOHTAKE NAOHIKO)

慶應義塾大学・システムデザイン・マネジ

メント研究科・准教授  
研究者番号：20549836

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし