

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01743

研究課題名(和文)GNSSシミュレーションによる屋内屋外シームレス・ナビゲーションの研究

研究課題名(英文)Indoor/Outdoor Seamless Navigation by GNSS Simulation

研究代表者

橋爪 宏達 (Hashizume, Hiromichi)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授

研究者番号：40172853

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：スマートフォンを使った歩行者ナビゲーションは、日常生活に欠かせない道具になっている。しかしGNSS(衛星測位システム)の電波は建物内に入らないため、デパートやショッピングセンター内でナビゲーションを利用することはできない。この研究は屋内でもGNSSに相当する測位を可能とすることで、屋外と屋内をシームレスに案内するシステムの実現を目的としている。屋内測位は音響や照明光を使用していき、それをGNSS相当の情報に変換してスマートフォンに送ることで屋外/屋内ナビゲーションを実施する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

屋内測位にはまだ確立された手法がなく、大学や企業など各所で研究が行われている。われわれの研究グループはそれを音響で行う手法、光で行う手法を主に提案しており、いくつかの特許も保有している。この研究により、それらの測位技術を集大成し、スマートフォンによる歩行者ナビゲーションという形で多くの人が利用できる形態にまとめることを目指した。デモソフトをスマートフォン・アプリの形で実現した。また研究の過程で双極子測位法という全く新しい光学測位法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Recently pedestrian's navigation system using smartphones became an indispensable tool for everybody's daily life. The signals from GNSS (Global Navigation Satellite Systems), however, do not penetrate the walls of buildings, those systems are not available in indoor environment like department stores and shopping malls. This research aims for an implementation of navigation system which operates both on indoor and outdoor seamlessly. After locating the indoor positions using acoustic signal or modulated light signal of room lighting, we send the position information to users' phones after converting the format equivalent to GNSS.

研究分野：電子工学

キーワード：電子航法 移動体通信 計測工学 情報通信工学 光学測位 音響測位

1. 研究開始当初の背景

- (1) スマートフォンによる歩行者ナビゲーションの普及で、その利便性や、社会基盤としてのナビゲーション技術の重要性が認識されてきた。現状では GNSS 衛星電波の利用できる屋外でのみ、このサービスは利用できるが、電波の到来しない屋内でもナビゲーション・システムを利用したいとの機運が高まっていた。
- (2) アップル社は 2013 年に iBeacon という低電力 Bluetooth の受信強度法による近接測位システムを市場投入し、iPhone と組み合わせで一気に市場を席捲しようとした。しかしこの方式の位置測位精度の低さから、アプリケーションは制限され、これを普及させることに失敗した。アップルでも失敗したということから、屋内測位システム実現の困難が改めて認識されることとなった。
- (3) 我々の研究グループではこれまで音響・電波・光を使う屋内測位技術を研究しており、屋内ナビゲーション・システムとして成立させうる、測位技術の蓄積を持っていた。

2. 研究の目的

- (1) 屋内でも安定に機能する歩行者ナビゲーション・システムを構築することを目的とする。
- (2) その目的を達成するための、屋内測位手法の選定ないし新方式の考案を行う。
- (3) それを屋外測位のアプリと共通に使用できるようにする。
- (4) 屋外測位とシームレスに動作するナビゲーション・アプリになっているかを検証する。

3. 研究の方法

- (1) これまで研究グループで行ってきた、音響ないし光による屋内測位技法を再構築し、利用者の屋内座標位置を安定に取得できることを立証する。
- (2) スマートフォンの基本機能で上記を達成できる場合は、利用者端末(スマートフォン)に完結したアプリとしてそれを作成する。
- (3) そうでない場合は、実験システムとしては外部測位モジュールの形で製作し、Bluetooth 通信などを使いスマートフォン本体に座標情報を渡す。
- (4) スマートフォンでは GNSS シミュレータを使用して情報形態を衛星受信と同じフォーマットに統一することで、屋外/屋内をシームレスに切り替える形で地図ソフトに反映させる。

4. 研究成果

- (1) この研究では屋内測位システムからスマートフォンに位置情報を伝送することになる。それを次の 2 法で試みた。
 - a. 屋内測位ユニットから NMEA-0183 形式の標準文字列で出力し、それを Bluetooth 通信でスマートフォンに送り、仮想 GPS 機能を経由して地図ソフトに供給する。
 - b. 仮想的な GNSS 衛星電波信号を合成し、スマートフォン搭載の GNSS レシーバ機能を使用して地図ソフトに供給する。



図 1. BladeRF による座標情報伝送装置

このうち a. は地図ソフト等アプリの種類によって偽造位置と判断される場合もあるが、多く場合に有効で、簡便な手法である。本研究では主にこの手段を使用した。相補的な意味もあり、b. も試してみた。仮想的 GNSS 信号は BladeRF 信号合成ボードで作成し、自作パッチアンテナによりそこに密接させたスマートフォンに供給する。実験装置は図 1、アンテナは図 2 のような形式である。この成果については IPIN2017 国際会議にて報告した。(図 3)

- (2) 上記に加えて屋内測位で得た座標を NMEA0183 フォーマットに変換し、スマホのナビゲーション・アプリに Bluetooth で転送する方式についても実験し、良好な結果を得た。この手法によれば、屋外から屋内に入った場合なども、多くの地図ソフトにシームレスな形でデータ・インタフェースのハンドオーバーが可能であることを確認した。
- (3) 新しい屋内測位の方式として、複数の天井照明光により照らされた床面の明るさをスマホのカメラで観測し、撮影された各照明光の明るさの違いから、スマホ位置を求める新手法を開発した。これまで報告された光学的な屋内測位法は、すべて幾何学的原理によるものであった。今回、世界で初めてその受信強度法を試したことになる。結果、照明光の有効範囲（約半径 5m）で 50cm ほどの測位精度を達成した。これは幾何学手法には劣るが、多くの屋内測位応用に十分な精度である。結果を IPIN2018 で報告したところ、初めて行われた光学的受信強度法であったため、多くの注目を集めた。
- (4) 上記手法を発展させることを試みた。(3) は、電波で従来行われていた受信強度法を光に置き換えたもので、電波に比べ光は直進性が高く、その精度を 5 倍～10 倍高めることができた。しかし光の伝搬経路に起因する受信強度の不定さは残り、より高い精度を求めれば、あらかじめフィールド内で光強度を測定し、強度地図を作らなければならない。これはフィンガープリントと呼ばれ、電場方式では当然のように使われる。しかし作成に高いコストを要し、また家具配置などの変更で再作成しなければならない。受信強度法を適用する上での難点となっていた。フィンガープリントの使用はできれば避けたいものである。そこで、受信強度に基づくが、新しい物理原理の導入を考えた。照明光源をごく接近して対（ペア）で配置し、光変調をかけるとき、対の双方で同じ発光と、光変調の正負を逆にした発光を行わせる。前者を単極子発光と呼び、後者を双極子発光と呼ぶことにする。この発光を遠方（通常、光源より 50cm 程度以上）離れて観測すると、単極子の信号は距離の 2 乗に比例して減衰し、双極子の信号は距離の 3 乗に比例して減衰する。両者の比をとることで絶対距離が求まる。また双極子は対の光源の方向性に起因する方位情報も有していて、3 組の光源について計測することで測定位置の 3 次元座標が求まる。
- (5) これは受信強度に基づく幾何学的計測手法で、測位法として、受信強度法、幾何学的手法のいずれにも属さない新カテゴリーである。双極子測位法と命名した。まったく新しいもので、計測用光源は照明器具を兼ねることができると考えられたため、特許を申請した。

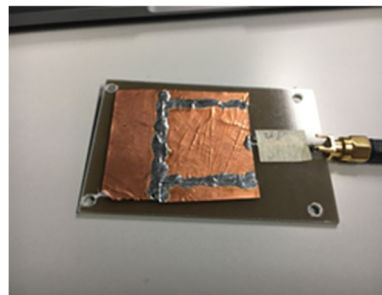


図 2. 結合パッチアンテナ

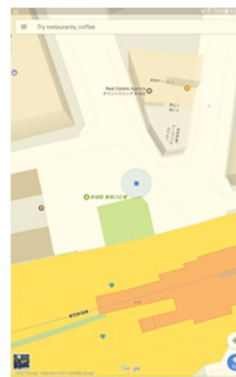
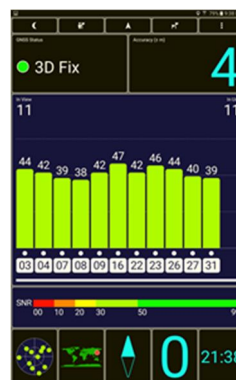


図 3. GPS 模擬による座標位置インタフェースと地図表示例

(6) 双極子測位法を中心に、米国で研究発表を行った。これは通常の学会と異なり、シリコンバレーの企業研究者および投資会社を集めたワークショップだったが、多くの注目を集めた。実用研究に向けた共同研究の申し入れが数件あった。一般の学会としては、中国の厦門大学で開催された測位研究セミナーで招待講演の中でこの手法を発表した。方式の新しさが評価され、海外の研究者から、これは早急に実用研究に向かうべきであるという助言をもらった。

(7) 光強度法および双極子測位法では照明光源を測位の基本座標（アンカー）として使うが、アンカーごとに識別番号（ID）を送信し、それをスマホの動画カメラで受信できなければならない。このためには可視光通信技術を併用する必要がある。その観点から、この研究の中でスマホカメラで受信可能な可視光通信技術についても研究を行った。仮想正弦波による高速可視光通信技術を着想し、国際特許も含め特許出願した。前記光学測位ではその技術を使用した。

(8) 研究成果をまとめる形で、スマートフォン・アプリに屋内地図を表示させておいて、これらの手法で計測した現在位置を重ねて示すことを実験した。たとえば(3)の手法の実用誤差が50cmなどはこのアプリで計測したものである。より発展させ、この手法を空港ビルなど実用環境で実験する計画も持っていたが、本研究の最終年度末に発生した新型コロナウイルスの影響でそれは果たせなかった。状況の改善を待ち、改めてこれを立案するつもりである。

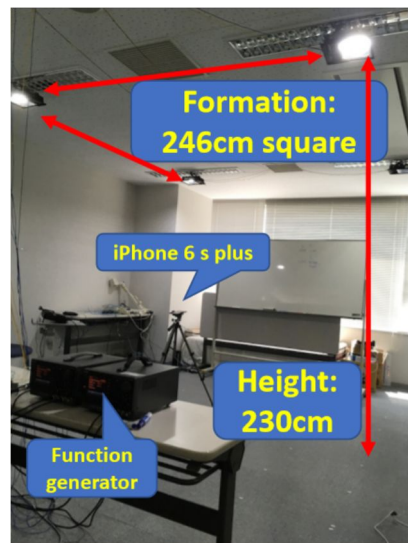


図 4. 照明光による受信強度測位の実験風景

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 宇野耕平, 平野新, 嶋田祥太, 渡邊拓貴, 橋爪宏達, 杉本雅則	4. 巻 61巻3号
2. 論文標題 変調光照明を用いた違法写真撮影判定手法の提案とその評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 628-637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 村上弘晃, 中村将成, 橋爪宏達, 杉本雅則	4. 巻 60巻12号
2. 論文標題 鏡像スピーカを用いたスマートフォン高精度3次元測位手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 2314 - 2324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 嶋田祥太, 橋爪宏達, 杉本正雅則	4. 巻 Vol. J102-B
2. 論文標題 COMS イメージセンサを用いたOFDM高速可視光通信	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 (和文B)	6. 最初と最後の頁 605-613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2018WFP0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Alfarozi, S, Hashizume, H, Pasupa, K, Woraratpanya, K, Sugimoto, M	4. 巻 Vol.7
2. 論文標題 Square Wave Quadrature Amplitude Modulation for Visible Light Communication using Image Sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 94806 - 94821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2928417	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Hiroaki, Nakamura Masanari, Yamasaki Shoma, Hashizume Hiromichi, Sugimoto Masanori	4. 巻 1
2. 論文標題 Smartphone Localization Using Active-Passive Acoustic Sensing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 9th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2018), pp. 206-212, Sept, 2018	6. 最初と最後の頁 206-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IPIN.2018.8533764	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shota Shimada, Hiromichi Hashizume and Masanori Sugimoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Indoor Positioning Using Reflected Light and a Video Camera	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 9th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2018), pp. 1-4, Sept, 2018	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IPIN.2018.6533738	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugimoto Masanori, Kumaki Hayato, Akiyama Takayuki, Hashizume Hiromichi	4. 巻 1
2. 論文標題 High-Speed Optical Camera Communication Using an Optimally Modulated Signal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE Int'l Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 3739-3743, April, 2018	6. 最初と最後の頁 3739-3743
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP.2018.8462349	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉本雅則, 秋山尚之, 橋爪宏達	4. 巻 Vol. J101-B, No. 5
2. 論文標題 TOPVLC: 時間遅延推定のための最適変調信号を用いることによる高速可視光通信手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 405-416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2017JBP3047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 橋爪宏達, 杉本雅則	4. 巻 Vol.101, No.1
2. 論文標題 汎用ビデオカメラを用いた可視光通信	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 44-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 杉本雅則, 秋山尚之, 橋爪宏達	4. 巻 Vol. J101-B, No.5
2. 論文標題 TOPVLC: 時間遅延推定のための最適変調信号を用いることによる高速可視光通信手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 pp.1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2017JBP3047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋爪宏達, 杉本雅則	4. 巻 Vol.101, No.1
2. 論文標題 汎用ビデオカメラを用いた可視光通信	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.44-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akiyama Takayuki, Sugimoto Masanori, Hashizume Hiromichi	4. 巻 10.1109/IPIN.2017.8115904
2. 論文標題 Time-of-arrival-based Smartphone Localization Using Visible Light Communication	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 8th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation	6. 最初と最後の頁 pp. 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IPIN.2017.8115904	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村将成, 秋山尚之, 橋爪宏達, 杉本雅則	4. 巻 2017-UBI-55(,no. 2)
2. 論文標題 波によるスマートフォンの屋内3次元位	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第55回情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会	6. 最初と最後の頁 pp.1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Hiromichi Hashizume
2. 発表標題 Dipole Localization as a Hybrid of RSSI And Multilateration
3. 学会等名 Workshop of Seamless Position And Location Service (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromichi Hshizume, Masanori Sugimoto
2. 発表標題 Novel techonologies for Indoor Positioning and Navigarion
3. 学会等名 1st US-Japan Hi-Tech Industrialization Forum (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teramoto, K, Mukainakano, R, Watanabe, H, Hashizume, H, Sugimoto, M
2. 発表標題 3D Tracking Using Smartphones for a Marker-Based Optical Motion Capture System
3. 学会等名 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Murakami, H, Nakamura, M, Hashizume, H, Sugimoto, M
2 . 発表標題 3-D Localization for Smartphones using a Single Speaker
3 . 学会等名 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2019)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kouhei Uno, Arata Hirano, Hiromichi Hashizume, Masanori Sugimoto
2 . 発表標題 Illegal Photograph Detection under modulated LED Illumination
3 . 学会等名 Prevasive Computing 2019 (PreCom 2019)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Marcelo Koti Kamada, Hiromichi Hashizume and Masanori Sugimoto
2 . 発表標題 GPS Signal Generation Platform for Seamless Localization
3 . 学会等名 Proceedings of 8th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2017), pp. 1-4, Sept, 2017
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Hiroaki Murakami, Hiromichi Hashizume and Masanori Sugimoto
2 . 発表標題 Smartphone Inertial Sensor-based Indoor Localization using Acoustic Signal GPS Signal Generation Platform for Seamless Localization
3 . 学会等名 Proceedings of 8th Int'l Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2017), pp. 1-4, Sept, 2017
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 雨夜将吾, 嶋田祥太, 秋山尚之, 橋爪宏達, 杉本雅則 (北大)
2. 発表標題 空間分割多重化による汎用動画カメラを用いた高速可視光通信
3. 学会等名 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN), 信学技報 vol. 117(no. 134) 159-164 2017年7月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 嶋田祥太, 秋山尚之, 橋爪宏達, 杉本雅則
2. 発表標題 汎用動画カメラを用いたOFDM可視光通信
3. 学会等名 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN), vol. 117(no. 134) 153-158 2017年7月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koki Kudo, Masanori Sugimoto, Takayuki Akiyama and Hiromichi Hashizume
2. 発表標題 Multicamera Synchronization for Smartphones using Optimally
3. 学会等名 Proceedings of ACM MobiSys 2017 2017年6月
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Hiromichi Hashizume	4. 発行年 2018年
2. 出版社 IPSI Convention, Vol. 40, No. 02, pp. 73-79,	5. 総ページ数 7
3. 書名 IEEE Annals of the History of Computing	

1. 著者名 Hiromichi Hashizume	4. 発行年 2017年
2. 出版社 IEEE Annals of the History of Computing, Vol. 39, No. 03, pp. 65-67, 2017年7月	5. 総ページ数 pp. 65-67
3. 書名 Desktop Publishing Pioneer Meeting at Computer History Museum	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 測位システム、測位方法、信号発信装置、信号受信装置及び制御プログラム	発明者 橋爪宏達、杉本雅則、嶋田祥太	権利者 情報システム研究機構・北海道大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-201196	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 情報送信装置、情報受信装置、情報伝送システム及びプログラム	発明者 橋爪宏達、杉本雅則、秋山尚之、熊木逸人、嶋田祥太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2018/025024	出願年 2018年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 情報送信装置、情報受信装置、情報伝送システム及びプログラム	発明者 秋山尚之、杉本雅則、熊木逸人、嶋田祥太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-135654	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	杉本 雅則 (Sugimoto Masanori) (90280560)	北海道大学・情報科学研究科・教授 (10101)	