

Ubicomp/ISWC 2015 PDR Challenge 開催報告

梶 克彦[†] 河川 信夫^{††}

[†] 愛知工業大学情報科学部 〒 470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247

^{††} 名古屋大学未来社会創造機構 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町 1

E-mail: [†]kaji@aitech.ac.jp, ^{††}kawaguti@nagoya-u.jp

あらまし 屋内位置推定において重要な技術の一つである PDR (Pedestrian Dead-Reckoning) に着目し, Ubicomp/ISWC 2015 における技術チャレンジとして PDR Challenge を開催した. 本チャレンジでは, アルゴリズム部門, 評価手法部門, エキシビションの 3 カテゴリーを用意した. 本稿では PDR Challenge の開催経緯, 概要, 結果について報告する.

キーワード Pedestrian Dead-Reckoning, スマートフォン, コーパス,

A Performance Report of Ubicomp/ISWC 2015 PDR Challenge

Katsuhiko KAJI[†] and Nobuo KAWAGUCHI^{††}

[†] Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology
Yachigusa 1247, Yakusa-cho, Toyota, Aichi 470-0392 Japan

^{††} Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University
Furo-cho 1, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8603 Japan

E-mail: [†]kaji@aitech.ac.jp, ^{††}kawaguti@nagoya-u.jp

Abstract PDR (Pedestrian Dead-Reckoning) is one of the promising technology for indoor positioning. We organized PDR Challenge as one of the technical challenge of Ubicomp/ISWC 2015. In the challenge, we provided three categories: 1. PDR Algorithm Category, 2. Evaluation Method Category, 3. Exhibition. In this paper, we report background, abstract, and result of the challenge.

Key words Pedestrian Dead-Reckoning, Smartphone, Corpus

1. はじめに

GPS を搭載したスマートフォンの普及により, 空の良く見える屋外ならいつでもどこでも端末の位置が手軽に取得でき, 様々な位置情報サービスが便利に受けられる時代が到来している. しかし, 都市における人の日常生活を考えると, 8 割近くは屋内にいるといわれており, 買い物や移動を行う場合でも大規模なショッピングセンターや地下鉄といった屋内移動が大きな割合を占めている. このような屋内や地下では, GPS による測位は困難であり, 他の測位手法が求められている.

屋内での測位が可能になれば, 店舗や駅・ホームなどへの案内がより精密に可能になるだけでなく, ユーザの店舗間移動動向調査や, 災害時の避難指示や救助支援など, 様々な応用が可能になる. 特にオリンピックなどで多数の外国人観光客などが訪問する場合, 日本の複雑な都市を案内するのに有用であろう. また, 妊婦や老人, 障がい者といった移動弱者に対しても階段が少ない経路を案内するといった利用も期待できる. 日本は世界的にも大規模で複雑な駅や地下街, ショッピングモールが多

数存在する国であり, 屋内測位技術の高度化が実現できれば, 多様な屋内位置情報サービス産業の発達と世界への展開が期待できる.

屋内位置情報サービスを実現するため, 様々な屋内測位技術が提案・登場しはじめている. しかし, 現時点では, どの技術も一長一短で決定的な屋内測位技術が存在するわけではない. 例えば, WiFi の電波の近接性を利用した屋内測位はすでに多くのスマートフォンには搭載されているが, その正確性はまだまだ十分とはいえない. 同様に電波を利用した技術として, Bluetooth Low Energy を利用した各種ビーコン (iBeacon など) や, GPS と同じ種類の電波をビーコン的に利用する IMES (Indoor Messaging System) が存在する. さらに, 30cm 程度の測位精度が期待できる UWB (Ultra Wide Band) や, 音波を利用した測位技術も登場している [1]. これらの測位技術では, 電波や音波のビーコンや UWB のアンテナを環境側に設置する必要があり, 設置・維持コストが課題となる. また, 建物内の磁気のゆがみを活用した測位技術なども登場している [2].

これらの屋内測位技術では, 電波や音, 磁場といったノイズ

が容易に混合する信号を利用しているため、位置推定の安定性に欠けるといった課題があり、複数回の測位に基づいて安定性を出すといったノウハウが必要になる。また、微小な動きがノイズと見なされて、推定するのが困難といった課題がある。そこで登場するのが歩行者デッドレコニング (PDR: Pedestrian Dead-Reckoning) 技術である [3], [4]。PDR は、加速度センサやジャイロセンサの値を用いて、人の向きと歩数、歩速などを推定し、相対的に人の移動経路を推定する技術であり、初期位置・絶対方向がわかっているならば、屋内測位技術として利用できる。もちろん光ファイバジャイロなどを用いた高価な IMU (Inertial Measurement Unit) を利用すれば、数 cm の精度も期待できるが、これでは一般的には普及しない。既存のスマートフォンが有するセンサのみを用いて、PDR に加え、先に挙げた他の絶対測位が可能な屋内測位技術との組み合わせで、どこまで高精度な屋内測位が実現できるか、に期待が寄せられている。そのためにも、スマートフォンなどの安価なセンサを用いた PDR 技術の高度化が求められている。

従来の PDR の評価方法は、主に位置推定精度についての評価が主流であった。従来の位置推定精度評価手法では、経路末端や推定を行った各時刻において正解座標と推定誤差の距離を求め、平均・標準偏差・平均二乗誤差などを位置推定精度とみなしていた。この評価手法では評価に用いる経路の複雑さ・長さ・偏りなどに評価結果が依存してしまうため、PDR の手法を比較検討する際には全く同じ評価データを用いなければ相対比較が困難である。また、精度の評価には様々なバリエーションのデータを用意しなければならない。しかし、現状では研究グループごとにデータを収集するため、十分なバリエーション (長さ・複雑さなど) のデータの用意が困難である。さらに PDR は、ステップ推定・進行方向推定・歩幅推定・階段昇降推定など様々な要素技術の複合によって実現されているが、評価結果として得られる位置推定精度は一つであり、どの要素技術がうまくいっているか、ボトルネックはどこかといった検討ができない。

この問題を解決するためには、1: PDR 研究に共通利用できるコーパスの構築、2: 歩行経路のバリエーションに依存しない位置推定評価指標の確立、3: 要素技術ごとの精度評価や比較を可能にする、の3点が求められる。1の問題を解決するために、筆者らは PDR 評価コーパス HASC-IPSC [5] を構築してきたが、端末種類が限定的であり、まだ十分とはいえない。2と3を解決するために、近年では複数の評価指標が提案されている [6] ~ [8]。例えば筆者らの提案している手法 [6] では、単位時間ごとに位置推定誤差を求め、原点を通る回帰線の傾きを精度指標としている (図 1)。位置推定誤差の累積度合いを評価指標としているため、データセットが異なってもほぼ同様の値が求められる。ただし、これらの新しい評価指標は、まだ実際の PDR に多く適用されてはならず、比較検証は十分とはいえない。

さらに、数ある PDR 手法の中から一つを選定して実環境で利用しようとした場合、位置推定精度だけではなく、レイテンシ・計算量・メモリ使用量・センサのサンプリングレート・省電

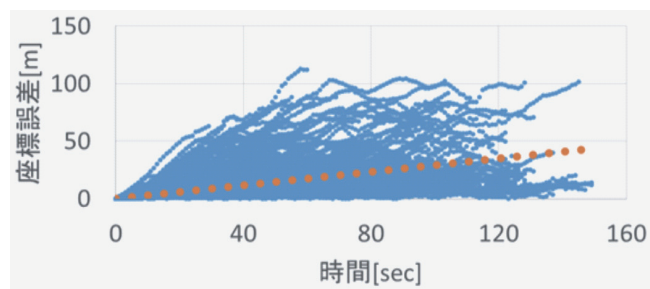


図 1 原点を通る回帰線の傾きを精度指標とみなす位置推定精度評価手法

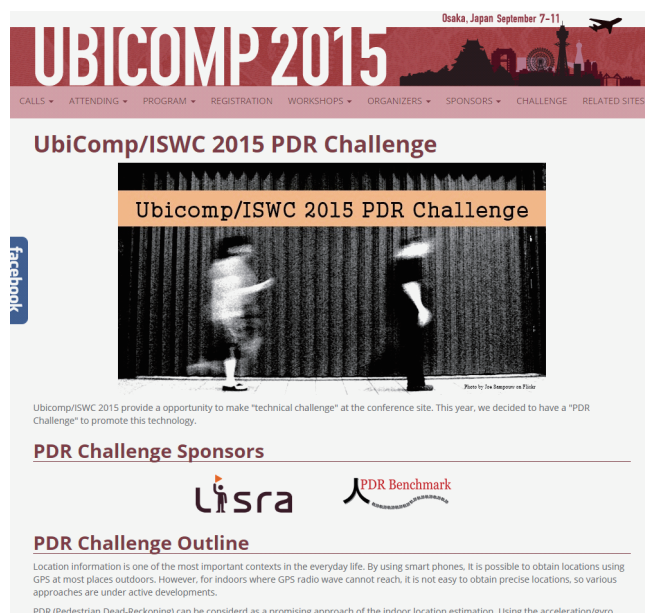


図 2 UbiComp/ISWC 2015 PDR チャレンジの Web ページ (<http://ubicomp.org/ubicomp2015/challenge.html>)

力性・デバイスの種類や実環境のイレギュラな動作に対するロバスト性など、様々な項目を考慮する必要がある。しかし、これらの評価指標や評価方法、あるいはこれらの項目を統合したような評価指標は存在せず、選定の決め手となる情報が不足しているというのが現状である。

これらの問題を解決するために、UbiComp/ISWC 2015 のチャレンジの一つとして PDR Challenge を開催した。本稿では PDR Challenge の開催報告を記述する。

2. UbiComp/ISWC 2015 PDR Challenge

PDR の技術的向上、PDR 評価用コーパスの充実、PDR 評価手法の確立を目的として、UbiComp/ISWC 2015 において PDR Challenge を開催した (図 2)。本チャレンジでは、アルゴリズム部門、評価手法部門、エキシビションという 3 つのカテゴリを用意した。

各部門の概要は以下のとおりである。アルゴリズム部門では、UbiComp/ISWC 2015 の会場であるグランフロント大阪の建物内において、会議参加者らが様々な種類のスマートフォンを携帯して歩行したセンシングデータを用いて位置推定精度を競う。評価手法部門では、位置推定精度に限らず、レイテンシ

や省電力性など複数項目を統合した評価手法や、全く新しい軸による評価手法を募集し、ワークショップ会場で発表する。エキシビションでは、PDRに加えてWiFi/iBeacon等を用いた絶対位置推定やマップマッチングを統合した手法をデモンストレーションする。

最終的な本チャレンジの参加チーム数は、アルゴリズム部門：5チーム、評価部門：2チーム、エキシビション：1チームであった。アルゴリズム部門では、企業からの参加もあり、レベルの高いPDR技術が提出された。評価部門では、経路の複雑さによらない精度指標や、PDRベンチマークのケーススタディに関する発表があり、新たなPDR評価指標の議論が活発に行われた。エキシビションには企業からの参加があり、PDR・BLE・マップマッチングの統合手法が実機でデモンストレーションされており、UbiComp/ISWC参加者が高水準の屋内位置推定を体験する場となった。

以降では、特にアルゴリズム部門にフォーカスし、ルール設定、チャレンジ用スマホアプリのスケルトン、評価システム、データ収集、最終結果について述べる。

2.1 ルール設定

本チャレンジはオープンチャレンジとして位置づけ、チャレンジ参加者と実行委員が共に議論して詳細なルール等を設定していった。オープンチャレンジとした理由の一つに、最先端技術を持つ企業の参加を促したい、という点が挙げられる。企業にとってはルール次第でそもそも参加できない場合がある。また、その基準も実行委員側にはわからないため、共に議論していく中で参加可能な方式を追求できる方式として、オープンチャレンジという形式をとった。本チャレンジが最終的に採用したルールや詳細情報を以下に示す。

- デバイス：Android 端末（PDR Challenge用スケルトンが提供される）
- センサ：加速度，角速度，磁気，気圧
- デバイス保持方法：手持ち
- 被験者：学生ボランティアとUbiComp/ISWC 2015参加者
- 場所：グランフロント大阪（UbiComp/ISWC 2015のワークショップ会場）
- 正解情報：1秒毎の時刻と正解座標が提供される
- キャリブレーション：直線的に14.4mを歩行したデータを利用可能
- 評価方法：1秒ごとの誤差を3次元ユークリッド距離で求め、その平均を精度とする

評価指標は単純な位置推定精度とした。当初は省電力性・実環境のロバスト性・レイテンシなど様々な指標での評価を検討していた。しかし評価指標の実装が間に合わず、今回は新たな評価指標の提案を評価手法部門にゆずり、評価指標としては単純なものを採用した。

また議論の結果、スマートフォンでのリアルタイム動作を前提とすることが決定された。オフライン処理によって高精度の歩行軌跡を求める手法も存在するが[9]、屋内位置情報サービスとして大きな需要の見込めるナビゲーションではリアルタイ

ム動作が必要である。この前提によって、移動開始から現在までのセンサ情報を用いて現在の位置を求めることになり、オフライン処理では可能である未来の情報は使用できないことになった。

一般的なコンペティションで採用される方法の一つとして、対象となるデータセットを参加者に提供し、参加者は推定結果をファイルとして提出する、という方法がある。しかし、この方式では各アルゴリズムがオフライン処理によって未来の情報を利用しているかどうか判断できないため、本チャレンジでは採用できない。

また、一部のアルゴリズムコンテストやオンラインプログラミング学習システムでは、参加者がプログラムのソースコードをアップロードし、サーバ側で提出されたソースコードをコンパイル・実行する、という方法がとられている。しかし、多くの企業ではソースコードそのものの提供は様々な制約によって困難である。企業参加を促したいという観点から、この方法も本チャレンジでは採用できない。

一方で、コンパイル済みのバイナリを提出してもらうという方法も考えられる。この方法であればソースコードそのものを提出する必要はないため企業にとっても参加しやすくなる。しかし、この場合本チャレンジが許しているもの以外のセンサ（例えばiBeaconやWiFiの情報）を使用しているかどうかをチェックできず、公平性の確保が困難である。よってこの方法も本チャレンジでは採用できない。

これらの問題を解決するため、本チャレンジでは以下に示す方式を採用した。まず運営側がPDR Challenge用のスマートフォンアプリケーションの雛形（スケルトン）を用意する。このスケルトンでは、各種センサデータの取得、フロアマップや歩行軌跡の可視化などの機能を備えており、参加者は純粋にPDRのアルゴリズムのみを実装すれば良い。また、アルゴリズム部分のみをコンパイルし、そのバイナリを提出してもらう。この方法であれば、バイナリ提出のため企業参加の敷居を下げつつ、本チャレンジが想定したセンサのみを用いたアルゴリズムが提出されるため公平性を担保できる。

3. データ収集

UbiComp/ISWC 2015の参加者に協力いただき、ワークショップ会場のフロア周辺の歩行センシングデータを収集した。フロアマップと歩行空間ネットワーク構造を図3に示す。今回は直線通路・直角の曲がり角・階段で構成された環境とした。会場の制約が強く、階段によるフロア間移動が含まれているものの、データ収集場所として用意できたのは比較的単純な環境であった。歩行者は運営側が用意した端末を手に保持し、腕振りをしていない自然な状態で歩行する。歩行の際には補助者が同行し、指定経路を間違えずに歩行するよう案内した（図4）。

正解データは、同行者が保持する記録用端末とボタンを用いて作成した。歩行開始時に、歩行者と同行者の各端末のスタートボタンを同時に押下し、以降は曲がり角ごとに同行者がボタンを押下してスタートから何秒後に右左折したかというタイミングを記録していく。曲がり角から次の曲がり角までは等速で

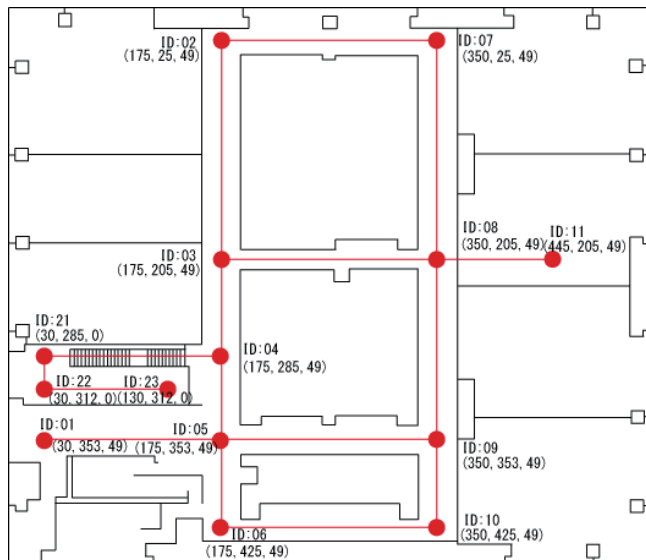


図 3 対象環境のフロアマップ



図 4 データ収集の様子

移動していると仮定し、1秒毎の正解座標を生成して、位置推定精度評価に使用した。ただし、データ収集を行った環境は、様々なワークショップが開催されており通路も混雑していた時間帯があるため、必ずしも等速移動ができなかった場合が見受けられた。

より詳細な正解データを生成するため、同行者のボタン押下の方法とは別に、レーザレンジセンサを環境に複数設置してデータ収集を行い、人位置計測システム「ATRacker」^(注1)を用いて歩行者のトラッキングを試みた(図5)。今後、トラッキングデータを解析してより詳細な正解データを生成する予定である。

収集されたデータの概要は表のとおりである。あらかじめ設定しておいた経路パターンは5種類である。また、2日間の期間のデータ収集によって、ユニークユーザ数105人、経路データ数343個のデータを収集できた。後日、正解データが整合しない、センサデータが正常に記録されていない、といった不備のあるデータを取り除く作業を行った。最終的にはユニークユーザ数90人、経路データ数229個を正常な屋内歩行センシ

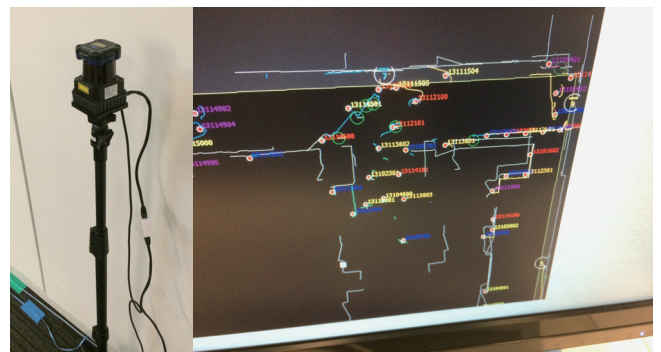


図 5 レーザレンジセンサ(左)とATRackerによるトラッキングの様子(右)

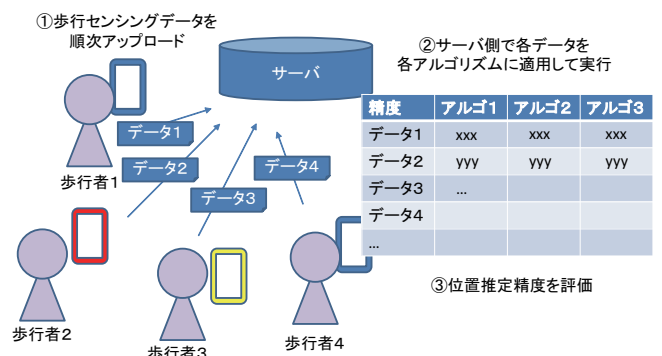


図 6 評価システムの概要

ングデータとしてまとめることができた。何らかの不備があって使用できなかったデータは全体の1/3程度にのぼることから、データ収集を正確に行うための工夫が必要であるといえる。例えば、歩行者・同行者共に、スマホアプリの操作方法を十分に理解してもらってからデータ収集を行えば、データ収集の不備を低減できたと考える。今回データ収集に用いた端末は、Nexus(4, 5, 6), Xperia(ZL2, Z3, Tablet), ULBANO L01であり、全7種類である。これらは本チャレンジの対象センサである加速度・角速度・磁気・気圧をすべて備えた端末である。HASC-IPSCの端末種類はNexus 4とGaraxy S3の2種類のみであった点を考えると、幅広い端末でのデータ収集を実現できたといえる。

4. 評価システム

アルゴリズム部門参加チームの位置推定精度をリアルタイムに確認できるよう、オンライン評価システムを構築した(図6)。収集された歩行センシングデータと同行者のボタン押下データは、随時サーバにアップロードされる。サーバがデータのアップロードを検知すると、参加チームそれぞれのアルゴリズムが適用されたスマートフォンのエミュレータが動作し、推定結果を出力する。同行者のボタン押下データから正解座標データを生成し、それと推定結果を比較して各歩行センシングデータに対する位置推定精度を算出する。また、各歩行センシングデータの位置推定精度の情報を集計して、全体的な位置推定精度が算出される。

(注1): <http://www.atr-p.com/products/HumanTracker.html>

	Error Avg. [m]	Error SD.
Team Freshers	12.96	9.21
TUT USL	13.06	7.78
No PDR, No future.	3.49	1.69
Kohei Kanagu	10.67	6.53
Team UCLAB (unofficial)	46.93	9.37

図 7 アルゴリズム部門最終結果

評価結果はオンラインで随時確認できる^(注2)。各歩行センシングデータに対するそれぞれのアルゴリズムの精度を表として閲覧可能であり、さらに歩行軌跡を可視化して比較することもできる。

いくつかのアルゴリズム部門参加チームはこれらの評価システムの結果を踏まえて、当日もアルゴリズムの改良を行い、さらなる精度向上を試みていた。改良されたアルゴリズムはチャレンジの順位付けには反映されないが、参考情報としてオンライン評価システムで確認できるようにした。

5. アルゴリズム部門最終結果

最終結果を図 7 に示す。結果的には、位置推定技術を製品化している企業からの参加チームが突出した精度を達成して優勝を果たした。図 8 に同一の歩行センシングデータを各アルゴリズムに適用して軌跡を可視化した例を挙げる。右上が優勝チームの推定結果である。直線的な移動、直角の曲がり角といった環境知識を導入し、気圧センサを用いた階段移動判定にも頑健性を備えたアルゴリズムであり、他のチームが大きく推定を誤っている場合にもほぼ正確な位置推定を達成していた。企業の技術力をアピールできる場として機能したといえる。

また、本チャレンジは教育という観点からも意義があったと考える。他の参加チームは学生で構成されていた。それらのメンバにヒアリングしたところ、もともと屋内位置推定や PDR に関する研究をしていたのは 2 チーム、ほとんどそれらの知識のない状態からの参加も 2 チームあった。屋内位置推定研究者の裾野を広げ、また屋内位置推定研究者の技術向上の役割も果たしたと考える。

6. おわりに

本チャレンジで収集したデータは、1 年後を目処に PDR Challenge Corpus として公開する予定である。また、今回の会場は直線的な通路と直角な曲がり角で構成された単純な環境であったため、より自由度の高い空間での PDR 精度を競うチャ

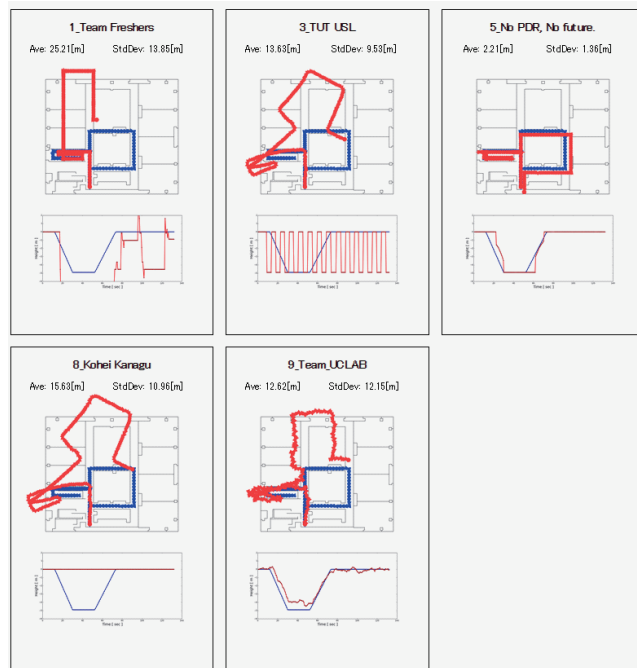


図 8 推定軌跡可視化によるアルゴリズム比較 (青：正解軌跡，赤：推定軌跡)

レンジを開催できないかと検討中である。

文 献

- [1] 河口信夫. 測位技術の変遷～天文航法から屋内測位まで測位メディアの観点から～. 電気学会誌, Vol. 134, No. 12, pp. 832–835, 2014.
- [2] Ban, R., Kaji, K., Hiroi, K., Kawaguchi, K. Indoor Positioning Method Integrating Pedestrian Dead Reckoning with Magnetic Field and WiFi Fingerprints. In *Proceedings of The Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015)*, pp. 169–174, 2015.
- [3] 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之. 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 558–570, 2011.
- [4] 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志. 屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/GPS/RFID を統合した組み込み型パーソナルポジショニングシステム. 信学技報, Vol. 106, No. 234, pp. 109–114, 2006.
- [5] Kaji, K., Watanabe, H., Ban, R., Kawaguchi, N. HASC-IPSC: Indoor Pedestrian Sensing Corpus with a Balance of Gender and Age for Indoor Positioning and Floorplan Generation Researches. In *International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Its Application (HASCASCA2013)*, pp. 605–610, 2013.
- [6] 安部真晃, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫. 経路の複雑さによらない PDR 評価指標と経路可視化ツールの提案. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム, pp. 334–339, 2015.
- [7] 興梠正克, 蔵田武志. 歩行者自律航法 (PDR) ベンチマークの一手法とその評価. HHCG シンポジウム, 2014-A-1-4, 2015.
- [8] 小西啓佑, 五十嵐規和, 松下祐介, 吉澤史男. 1 歩毎の測位誤差を考慮した PDR の定量的精度評価手法の検討. 情報処理学会全国大会, 4D-03, 2015.
- [9] 梶克彦, 河口信夫. 安定歩行区間に基づく歩行軌跡推定手法. 情報処理学会研究報告, Vol.2014-UBI-44, No.19, pp. 1–8, 2014.

(注2): <http://pdsv.hasc.jp/>