

### Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
M. Kouroggi, T. Ishikawa, Y., J. Ishikawa, K. Aoki, and T. Kurata	Pedestrian Dead Reckoning and its applications Pedestrian Dead Reckoning and its applications	ISMAR2009 Workshop: Let's Go Out: Research in Outdoor Mixed and Augmented Reality	<a href="http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar">http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar</a>	<a href="https://www.icg.tugraz.at/~reitmayr/lgo/kouroggi_pedestrian.pdf">https://www.icg.tugraz.at/~reitmayr/lgo/kouroggi_pedestrian.pdf</a>	2009

#### IV. 研究成果の刊行物・別刷

# Pedestrian Dead Reckoning and its applications

Masakatsu Kourogi\*, Tomoya Ishikawa\*, Yoshinari Kameda\*\*, Jun Ishikawa\*\*\*, Kyota Aoki\*\*\*\*, Takeshi Kurata\*

\* Center for Service Research, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST Tsukuba, Japan

\*\* University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

\*\*\* University of Shizuoka, Shizuoka, Japan

\*\*\*\* Utsunomiya University, Utsunomiya, Japan

## ABSTRACT

First, we briefly introduce the technologies of PDR (Pedestrian Dead Reckoning) that can be used to track the location and orientation of a pedestrian. Secondly, we show some enhancement of the PDR to improve its performance on accuracy. Finally, we describe the applications of the PDR.

**KEYWORDS:** Pedestrian Dead Reckoning, Pedestrian navigation system

**INDEX TERMS:** K.5.1 [Information Interfaces and Presentation]: Multimedia Information Systems—Artificial, augmented, and virtual realities; I.4.8 [Image Processing and Computer Vision]: Scene Analysis—Sensor fusion.

## 1 INTRODUCTION

Recently, the PDR technologies draw strong attention from many fields of industries since by using the self-contained sensors (ex. accelerometers, gyrosensors, magnetometers and barometers) the PDR can be utilized to track location and orientation of pedestrians indoors where the GPS signal is blocked and becomes unavailable. Compared to the INS (inertial navigation system), the PDR has several advantages on cost, weight and energy consumption of the system thanks to the recent rapid advancement of the MEMS (microelectromechanical system) sensing components. The PDR is classified into two categories by the equipped position of the self-contained sensors on the pedestrian: (a) waist-mounted and (b) shoe-mounted [3]. We took the former approach on PDR since the equipped position allows the system to gather information about the user's action such as walking, going-up/down stairs, standing-up and sitting-down on chair.

## 2 BASICS OF PEDESTRIAN DEAD RECKONING

The PDR is composed of the three key technologies: (a) tracking of the sensor's attitude, (b) detection of walking locomotion and (c) estimation of the walking velocity. In this section, we briefly describe the key technologies.

### 2.1 Tracking of the sensor's attitude

The attitude consists of the gravitational and the horizontal reference (north) components. They are estimated and updated by the Kalman filtering framework [1][2]. The gravitation can be directly observed by accelerometers and the north direction can be observed by the magnetometers. As the magnetic field measured by the sensors is often distorted by local structures of the environment, we use a selective mechanism to filter out the disturbance for the observation on the north direction [1]. The state vector of the Kalman filter is predicted by the angular velocity vector from the gyrosensors.

### 2.2 Detection of walking locomotion

Since human walking locomotion is highly coordinated, the pattern of motion repeatedly appears in acceleration and angular

velocity. If the sensors are placed on the waist which is near the center of gravity of human body, the pattern can be easily recognized by detecting the pair of down-peak and up-peak of the components.

### 2.3 Estimation of the walking velocity

The walking velocity of pedestrians is empirically known to have strong linear correlation with the acceleration amplitude in the vertical direction within a walking cycle. By using linear regression, the equation to estimate the velocity from the accelerometers can be obtained. However, the linear regression parameters differ in person and thus a calibration procedure is required beforehand for more precise estimation of walking velocity.

## 3 ENHANCEMENT OF THE PDR

We introduce two enhancements of the PDR to improve its performance, by map matching and dynamic estimation of walking parameters from surveillance cameras.

Since the PDR is an incremental method of estimating location, its error is accumulated to significant amount over time. Therefore the accumulated error needs to be somehow reduced and corrected. We introduce the constraints of the environment (namely 2.5D map) to the PDR and mechanism to fuse the PDR results and the constraints by using particle filter.

As described in Section 2.3, the walking parameters are slightly different from person to person. Then, we use surveillance cameras to measure walking velocity in order to recalibrate the parameters. The camera can also be used to correct the estimated position by the PDR.



Figure 1. Map matching using a map converted from 3D environment model (Left-column presents probability distributions of locations of the user shown in right-column. Bottom-row presents the state one second before top-row).

### 3.1 Map matching and particle filter

The user's location and orientation are updated by fusing the measurements from the PDR estimation and 2.5D maps [4] generated from 3D environment models [6] and we use the particle filter framework for probabilistically fusing the data [5]. The particle filter which is kind of Bayesian filter efficiently estimates state of a system under the Markov assumption and Monte-Carlo approximation of probability distribution.

The state space of the particle filter is represented by the 4D vector whose components are 2D position, a polygon identification number of the 2.5D map, and an absolute orientation. In this state space, the probability distribution of the user's location is predicted from the estimated position, orientation, and its uncertainties. Note that, in the prediction process of the current probability distribution based on measurement from the PDR, a sample in those representing the probability distribution is eliminated when the displacement vector of the sample intersects with lines of walls or outgoes to outside of floors in the 2.5D map. This map matching improves the performance by utilizing knowledge of the environments. The implementation of the map matching on a typical PC runs in real-time.

### 3.2 Dynamic estimation of walking parameters from surveillance video camera

We aim at improving localization performance by utilizing surveillance cameras used for surveillance service as existing infrastructure. The surveillance camera must be clearly placed in important areas of human traffic, so the feature is absolutely suitable for localization. The surveillance cameras are used for realizing the following two functions.

- Correction of localization error of the PDR
- Dynamic estimation of walking parameter

Camera has high-spatial resolution, and so its measurements are effective for estimating precise location of the pedestrian. In addition, the cameras can also be used to estimate the walking velocity of the pedestrian from the time-series measurements.

In order to realize above functions, our system needs to recognize the user wearing the self-contained sensor module from persons on the surveillance videos. Our system recognizes the user by matching and identifying two kinds of 2.5 D trajectories that are fusion-based trajectory and video-based trajectory. Here, the camera parameters to be used for converting 2D video-based trajectories into 2.5D video-based trajectories can be estimated by 3D environment models as contents and the 3D modeler described above from a photo without any special devices.

When the system successfully matches and identifies trajectories, the identified video-based trajectory is sent to the fusion unit for correction of localization errors. Moreover, the system estimates the walking velocity from the video-based trajectory and sends it to the part of walking parameter estimation in PDR. From the velocity and the acceleration amplitude, the system can estimate walking parameters by the method in [1][2].

## 4 APPLICATIONS OF THE PDR

We have developed two types of applications of the PDR technologies mentioned above. These applications are described in this section.

### 4.1 The PDR Evaluation Kit

We have commercialized the PDR technologies into an evaluation kit, which allows developers to test the accuracy and availability of localization. The kit includes the PDR software and a self-contained sensor module. It can be used to develop indoor

and outdoor localization system such as a pedestrian navigation system and locating (and tracking) system of factory personnel. The evaluation kit can be purchased from SHIBUYA KOGYO at around 5,000 USD.

### 4.2 Application toward visually impaired people navigation

We are currently working on a national project that aims to develop an advanced mobile device which supports visually impaired people to work out streets safely and comfortably. Figure 2 shows a schematic outlook of the device.

One of the problems of visually impaired people navigation is the inaccuracy and unavailability of the positioning of the GPS-based navigation system. Our new device will navigate the visually impaired people more accurately by the help of new sensors including the PDR system described in this paper. The device exploits the GPS for rough position estimation and its bootstrapping, and then the PDR system estimates the position in a map. Additional vision system also gives position correction information by checking landmarks and pre-recorded images in a scene. It also has a voice navigation interface and a refreshable braille display so that we can inform navigation instruction flexibly. The device is planned to be released next spring.

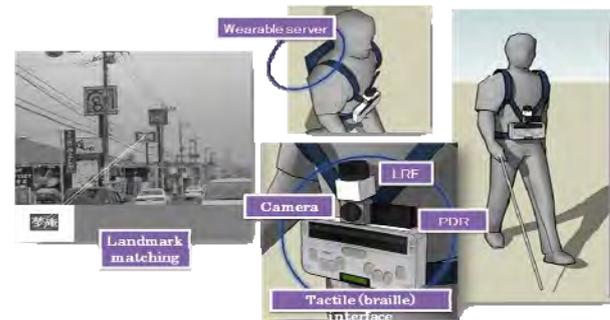


Figure 2. The navigation system for visually impaired people.

## REFERENCES

- [1] M. Kourogi, N. Sakata, T. Okuma, and T. Kurata: "Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/RFID/Self-contained Sensor System", In Proc. 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2006), pp.1310-1321 (2006).
- [2] M. Kourogi, and T. Kurata, "Personal Positioning Based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera", In Proc. 2nd IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2003), pp. 103-112, 2003.
- [3] E. Foxlin: "Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors", IEEE Computer Graphics and Applications, No. 6, Vol. 25, pp. 38-46, 2005.
- [4] O. Woodman and R. Harle, "Pedestrian Localisation for Indoor Environments", In Proc. 10th Int. Conf. on Ubiquitous Computing (UbiComp2008), pp. 114-123, 2008.
- [5] T. Ishikawa, M. Kourogi, T. Okuma, and T. Kurata, "Economic and Synergistic Pedestrian Tracking System for Indoor Environments", International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR2009), Dec., 2009 (To appear).
- [6] T. Ishikawa, T. Kalaivani, M. Kourogi, A. P. Gee, W. Mayol, K. Jung, T. Kurata: "In-Situ 3D Indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors", In Proc. 13th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2009) in San Diego, CA, USA, LNCS 5622, pp. 454-464 (2009)

様式1-1 (第9条第1項関係)

研究倫理審査申請書

平成 21年 11月 30日提出

静岡県立大学長 様

申請者 所属・職名 国際関係学部・教授  
氏名 石川 准   
電話 054-264-5325

所属責任者の承認

所属・職名 国際関係学部・教授  
氏名 富沢 寿勇 

\* 受付番号 \_\_\_\_\_

1 審査対象	実施計画
2 研究課題名	センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験
3 研究代表者の氏名・所属・職名	石川准・国際関係学部・教授
4 研究分担者の氏名・所属・職名	湯瀬裕昭・経営情報学部・准教授
5 研究等の目的	視覚障害者歩行支援システムの位置方位計測の精度向上、及び適用範囲の拡大を目指して、画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを開発している。本実証実験の目的は、開発した屋内外視覚障害者歩行支援システムの評価を行うことである。
6 研究予定期間	承認日～平成22年3月31日
7 研究等の概要	申請者らが開発した画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを、視覚障害者の被験者に屋内外で実際に使用してもらい、システムの評価を行う。システムの評価は、被験者の発話記録や行動のビデオ記録などの解析や、被験者へのヒアリング結果などの分析から行う。
8 研究等の対象及び実施場所	開発したシステムの被験者として視覚障害者を対象とする。また、実証実験の実施場所は、東京駅近郊の地下街及び八重洲エリアの歩道である。

- 注意事項
1. 審査対象欄は、非該当部分を消してください。
  2. 審査対象となる研究等の実施計画書又は公表予定の原稿の写し等を添付してください。
  3. \*欄は記入しないこと。

9 研究等における倫理的・社会的観点の配慮について

(1) 動物実験の結果に基づく研究等の安全性の確保  
該当しない

(2) 研究等の対象となる個人の人権の擁護、プライバシーの保全及び福祉の向上  
研究参加前に十分なインフォームドコンセントを行い、文書による同意を得てから実証実験を行う。実証実験の際に撮影したビデオや音声の記録データについては、厳重に管理し、個人情報外部に漏れないようにし、プライバシー確保に細心の注意を払う。また、被験者の個人情報については、個人情報の保護に関する法律（平成17年3月）に基づき、厳重に取り扱う。

(3) 対象者への研究の目的、内容、方法、起りうる危険ならびに必然的に伴う不快な状態への十分な説明、ならびにその理解と同意

被験者に対しては、実証実験の実施前に、本研究の説明文書及び同意書を渡す。さらに、被験者に対して十分な説明を行い、被験者からの質問に対して被験者が納得できるよう返答を行う。被験者本人が実証実験の内容をよく理解したことを確認した上で、実証実験への参加について自由意志による同意を文書で得る。

(4) 研究等によって生ずる当該個人への不利益及び危険性の予測

実証実験の際には、被験者に必ず実験補助者が同行し、歩行している被験者の安全確保に努める。そのため、実験補助者に対して、事前に被験者の安全確保についての講習会を行う。また、実証実験前に実験リハーサルを行う。実証実験に関しては、歩行訓練士の専門的助言を得る。

万が一、被験者が歩行中に障害物などに接触するなどして、怪我をした場合には、速やかに医療機関での手当を行うなどの対処を行う。

(5) 研究の教育、学術、社会への貢献度

視覚障害者は、自由かつ安全に移動するためのインフラ整備、歩行支援機器、ガイドヘルパの充実等を切望している。本研究は、これらのうち ICT 技術による歩行支援の可能性と安全性を高めることに寄与する。

(6) 研究等が自然環境に及ぼす影響と安全性の確保

今回の実証実験は、地下街や路上で行うが、周辺の施設などに手を加えることがないため、特に自然環境に及ぼす影響は全くないといえる。

10 本研究計画の危険性等について

(該当する項目に○を記入すること)

- ① 研究対象者に対して最小限の危険（日常生活や日常的な医学検査で被る身体的、心理的、社会的危害の可能性の限界を超えない危険であって、社会的に許容される種類のをいう）を超える危険を含まない研究計画
- ② ①以外の研究計画
- ③ ヒトゲノム・遺伝子解析に関する研究

# 研究計画書

## 1. 研究課題

センサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験

## 2. 研究の全体計画と目的

研究申請者らは、視覚障害者歩行支援システムの位置方位計測の精度向上、及び適用範囲の拡大を目指して、画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを開発している。申請者らが開発した画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムを、視覚障害者の被験者に実際の歩行で使用してもらい、システムの評価を行う。そのため、実証実験の実施場所の調査、実験補助者への講習、関係機関への連絡、視覚障害の被験者の確保、被験者による実証実験、実験データの分析などを行う。

本研究の目的は、研究申請者らが開発した屋内外視覚障害者歩行支援システムの有用性などを実証実験によって明らかにすることである。

## 3. 研究の背景

視覚障害者は、自由かつ安全に移動するためのインフラ整備、歩行支援機器、ガイドヘルパの充実等を切望している。これまで視覚障害者歩行支援システムでは、RFIDタグ等のローカルインフラを用いる方式とGPSを用いる方式が試みられてきた。前者には新たにインフラを整備する必要があるという問題があり、限定的な環境における実験にとどまっている。後者は、新たにインフラを整備する必要はないが、市街地で頻発するマルチパス等に起因する大きな誤差に対処できないという問題がある。それらに対して、研究申請者らは、GPS、画像処理、PDRの統合により、GPS測位誤差補正に正面から取り組み、センサ統合による屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発を行ってきた。

## 4. 期間内の達成目標

研究申請者らが開発した屋内外視覚障害者歩行支援システムの実証実験を行い、開発システムの有用性や改良点などを明らかにする。

## 5. 研究方法

### 5.1 実証実験の概要

実証実験の概要は次のとおりである。最初に視覚障害者の被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムの仮想歩行機能を使ってもらい、歩行経路の把握を行ってもらう。その後、実験者が指定したスタート地点からゴール地点まで被験者に屋内外視覚障害者歩行支援シ

システムを使いながら歩行してもらおう。その際に、被験者の発話や行動を記録する。実証実験終了後に、被験者への個別ヒアリングを行う。その後、他の被験者と一緒に開発システム使用についてのグループディスカッションを行ってもらおう。

システムの評価は、被験者の発話記録や行動のビデオ記録などの解析や、被験者へのヒアリングなどの結果の分析から行う。

## 5.2 実証実験の対象者

### (1) 実験対象者の選定条件

選定条件	年齢層	性別	人数
視覚障害者（点字が読める人）	18歳以上	不問	5名以上

### (2) 実験対象者の同意を得るための手続きと方法

実験対象者（あるいは代諾者）に対して実験内容を書面および口頭で説明し、文書等による同意を得る。

### (3) パワーハラスメント（威圧）への配慮等

実験対象者には、一度実験の参加に同意した後でも、自分の意思で、実験の途中であっても同意を撤回できることを予め十分説明しておく。

## 5.3 実証実験の手順

### (1) 実証実験についての説明

- ①実験者が実証実験全体の流れについて説明し、被験者からの質問を受ける。
- ②実験者が実証実験で使用する装置やその使用法について説明し、被験者からの質問を受ける。
- ③実験者が実証実験の際の安全の確保や注意事項について説明し、被験者からの質問を受ける。

### (2) 実験準備

- ①実験者が、歩行などの実験に必要な動作を被験者が可能かどうかについて確認する。
- ②実験者が、センサ装置と点字端末を被験者の体に装着する。また、制御用コンピュータを背負わせる。
- ③被験者に説明会場の中を歩行してもらい、実験者が装置の装着状態を調整する。
- ④実験者が実験装置の使用法についての説明を再度行い、被験者が装置使用の練習を行う。
- ⑤被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムの仮想歩行機能を使ってもらい、実

証実験を行う場所の地理的イメージを把握してもらう。

⑥実験者が、被験者に装着したICレコーダなどの装置の動作を確認する。

### (3) 実証実験

①実験者が被験者を実証実験のスタート地点まで誘導する。

②実験開始前に、被験者のコンディションを確認する。

③被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムを使ってもらい、スタート地点からゴール地点まで歩行により移動してもらう。その際、システムから提供される情報を点字や音声で把握してもらう。

④実証実験中は、被験者の発話をICレコーダに記録する。また、装置を使っている様子や歩行している様子をビデオカメラで記録する。被験者には、実験補助者が同行し、被験者の安全確保に努める。

⑤実験者が被験者を実証実験のゴール地点から説明会場まで誘導していきます。

### (4) 実験後のヒアリング

①被験者の体に装着した装置を取り外す。また、背中に背負った制御用コンピュータを降ろさせる。

②被験者に屋内外視覚障害者歩行支援システムを使った感想などについてのインタビューを行う。

③他の被験者と一緒に、本実験で使用した屋内外視覚障害者歩行支援システムについてのグループディスカッションを行う。

## 5.4 実証実験での計測項目

(1) 被験者に与えた刺激や負荷等  
特になし。

(2) 刺激や負荷を与える際に使用した装置又は方法等  
特になし。

(3) 計測に使用する装置又は方法等

受動センサ（加速度・磁気センサなど）、GPS、カメラ、能動センサ（レーザレンジセンサ）、点字端末、制御用コンピュータを被験者の身体に装着する。

(4) 計測する内容

センサデータ、ビデオ映像、音声、主観申告（アンケート等）、インタビュー、グループディスカッション

## 5.5 予測される実験対象者への不利益、苦痛、危険性とその予防・安全確保の方法

実験補助者が実験中の被験者に同行して安全確保に努めるが、被験者はデバイスを複