カメラベース位置推定手法への PDR の統合 及び音声ナビゲーションの検討

釜坂 一歩[‡] 北原 格[†] 一刈 良介[§] 興梠 正克[§] 蔵田 武志[§] 亀田 能成[†]

‡ 筑波大学 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1† 筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

§ 産業技術総合研究所 人間情報研究部門 〒305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1

E-mail: ‡ s1620768@tsukuba.ac.jp, † {kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp \$ {r.ichikari, m.kourogi, t.kurata}@aist.go.jp

あらまし 我々は視覚障害者の単独歩行支援を目的とし、カメラを用いた経路上の位置推定手法を提案している. 視覚障害者が外出する際には、計画された経路について予習を行い、頭の中に構築されたメンタルマップに基づき自己位置を推定している. 単独での外出を支援するためにナビゲータが提示すべき情報として、1)自己位置を判断するために必要な周囲のランドマーク情報、2)目的地に到着するための進行方向情報が挙げられる. これらの情報を提示するためには歩行者の進行方向が必要となるため、歩行者の位置と方向を推定することができる歩行者自律航法(PDR)手法を、これまで使用してきたカメラベース手法に統合する. また、視覚障害者へのナビゲーション情報の提示手段として三次元音響提示手法を用いた方法について検討する.

キーワード 歩行者ナビゲーション,視覚障害者支援,画像認識,歩行者自律航法,三次元音響提示

1. はじめに

視覚障害者は単独で外出する際に得たい情報とし て位置情報を挙げており、また、ナビゲータを必要と している[1]. 視覚障害者の単独外出を支援する歩行ナ ビゲーションシステム実現のためには, 特別な機器を 用いずにどこでも使える位置推定手法が必要となる. 位置推定の手法としては、GPS に代表されるような地 図上の絶対的な位置を求める方法や, 歩行者の移動を 追跡することで初期位置からの相対的な位置を求める 方法があり,これらを統合することでより高精度な位 置推定が可能となる. 我々は後者の位置推定手法とし て、単眼カメラのみを用いた手法を提案している[2]. このカメラベース手法では,経路に沿って事前に撮影 された映像から位置情報と結びつけられた参照画像デ ータベースを生成し, 歩行者が取得した問い合わせ画 像と最も類似する画像をデータベースから検索するこ とで位置推定を行う. この手法ではカメラが進行歩行 前方を向いていることを前提としている. 視覚障害者 ナビゲーションの実現のためには, 歩行者が進行方向 以外を向いた場合を検知し, 正しい進行方向を提示す る必要がある.

カメラ以外を利用して歩行者の相対的な位置と方向を推定する手法が実現しつつある. 特に歩行者が所

持するデバイスから取得される加速度や角速度などを利用した位置推定手法として歩行者自律航法 (PDR) [3]がある. PDR では複数のセンサから得られる情報から歩行者の移動を追跡し、相対的な位置や姿勢を推定することができる.

本研究では、カメラベース手法と PDR を組み合わせることで、歩行者の経路上の位置及び進行方向を推定する.推定された位置姿勢情報を元にした音声通知を行うことで、視覚障害者を出発地点から目的地点まで導くことを目標とする.

推定された位置姿勢情報を元に歩行者に通知する 内容及び方法は、ナビゲーションシステムの重要な検 討項目である. 視覚障害者は自身の周囲状況の大部分 を音で認識しているため、音源の位置を反映した三次 元音響提示によって、自身の周囲を認識するための訓練が提案されている[4]. 従来の三次元音響提示は訓練のために実際の状況に近い訓練環境をシミュレータと して再現するために用いられていた. 本稿では推定された歩行者の位置姿勢情報を利用し、経路上の三次元位置からあたかも音声が生じているかのような音声情報提示を行うことで、周囲環境の認識が容易なナビゲーション方法について検討する.

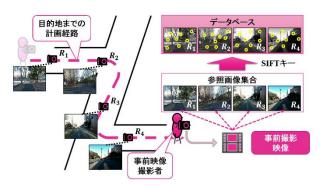


図 1 経路映像を用いた検索データベース生成([13]より改変)

2 節では関連研究として、視覚障害者を対象とした ナビゲーションシステムの位置推定手法及び複数セン サを統合した位置推定手法について述べる. 3 節では 類似画像検索を用いた歩行者位置推定手及び PDR を 統合したカメラ姿勢推定手法ついて説明し、屋外環境 における姿勢推定の実験結果について述べる. 4 節で は、推定された位置及び角度に基づく音声通知方法の 検討について述べ、最後に5節でまとめを述べる.

2. 関連研究

視覚障害者の単独外出を支援するためのナビゲー ションシステムの構成には、屋内外でシームレスに利 用できる位置推定技術が必須である. 絶対的な位置推 定手法のうち屋外で利用可能な位置測位技術としては GPS[5,6]が広く用いられており、視覚障害者を対象と したナビゲーションシステムで商用化されているもの も存在する[7]. しかし, GPS は屋外での使用に限られ る. 屋内外を問わず利用可能な位置推定手法として, 経路に沿って配置されたタグ[8,9]やビーコン[10,11]を 利用する方法が提案されており、駅など人の利用が多 い施設での実証が進められている. しかしこれらのシ ステムを視覚障害者が必要とする全ての経路及び施設 に導入することは現実的ではなく, 人口の多い地域や 使用頻度の高い施設への適用に留まることが想定され る. 我々が提案するカメラベース位置推定手法は,経 路映像を用意するだけでどこでも利用可能である.

初期位置からの相対的な位置を推定する手法である歩行者自律航法(PDR)は、複数センサが搭載されたデバイスの普及により注目を集めている. PDR では複数のセンサ値からにより現在の歩行速度や方向を推定する. 過去の状態を元に更新を行うため、時間の経過に従い誤差が蓄積するという問題がある. この誤差を修正するためには、絶対的な位置推定手法との統合が必要である. 科学博物館で行われた実験[3]では、館内に設置された RFID タグや、事前に収集したマップ

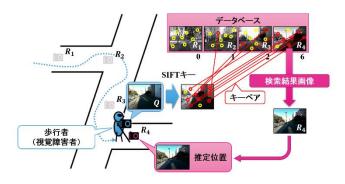


図 2 特徴点マッチングによる類似画像検索を用いた歩行者位置推定([13]より改変)

情報を元に誤差の修正を行っている.これらの情報を必要とせず,経路に沿った映像をこれに対して本研究ではカメラベースでの位置推定結果を頼りに,蓄積誤差の修正を行うことを考える.

3. 歩行者位置及び進行方向の推定

本章では、カメラベース位置推定手法の概要について述べる.また、PDRと画像処理によって歩行者の進行方向を推定する方法について述べる.

3.1. カメラベース位置推定

視覚障害者が外出する際には、同行援護を受けることができるが、自治体によっては通学や通勤などの見期に渡る外出には利用できない場合が多いという問題がある。通学や通勤の際にはあらかじめ経路についを予習を行い、頭の中の地図であるメンタルマップを元に自分の位置と目的地までの経路を推定しながらうなって自分の位置と目的地までがある。この性質を利力を表してあると、経路上の同じ地点で撮影された画像で表すると、経路上の同じ地点で撮影された画像を表すると、経路上の同じ地点で撮影された画像を表すると、経路上の同じ地点で撮影された画像を表すると、経路上の同じ地点で撮影された画像を表すると、経路上の同じ地点で撮影された画像を表すると、経路上の同じ地点で撮影された画像を表すると、この性質を利用し、局所特徴量ASIFT[12]を用いた一般的な画像認識手法による類似画像検索によって位置推定を行う。

図1に事前撮影映像を用いたデータベース生成の流れを示す.事前に定められた目的地までの計画経路に沿って撮影された映像から,経路上の異なる地点のフレームを参照画像集合として選択する.参照画像の選択方法としてフレーム間類似度に応じた手法を用いる[13].すべての参照画像から SIFT キーと呼ばれる局所特徴量を検出し,データベースに登録する.この際,すべての SIFT キーは自身が検出された参照画像の番号と対応付けられる.

視覚障害者の外出時には類似画像検索による位置 推定結果を用いてナビゲーションを行う. 図 2 に示す

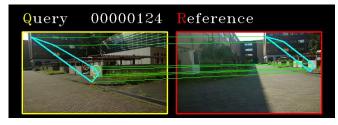


図 1 カメラ向きの違いによる特徴点座標の差

ように視覚障害者の進行方向正面を向いたカメラから、一定の時間間隔で問い合わせ画像を取得する.問い合わせ画像と最も類似する参照画像が撮影された位置が、歩行者の経路上における推定位置となる.類似画像検索には SIFT キーのマッチング数による投票を行う.問い合わせ画像から検出された全ての SIFT キーについて、データベースから最も類似する SIFT キーを探索し、その対をキーペアと呼ぶ.データベースから探索された SIFT キーは、検出された画像と対応付けられているため、最も多くのキーペアが検出された参照画像が検索結果画像である.

3.2. PDR を統合したカメラ姿勢推定

問い合わせ画像を取得したカメラと、検索結果画像が取得された事前撮影時のカメラの間の厳密な相対姿勢はキーペアの対応を利用したエピポーラ幾何に基づき求めることができる.しかし実環境下での撮影画像からは、精度の高い姿勢推定を行うために十分な数のキーペアが得られない場合がある.

一方で、視覚障害者のナビゲーションにおいて求められるのは、経路に沿って歩くことができているか、あるいは沿っていない場合に左右どちらに進めばよいかである. したがって求めるべき姿勢情報としては、予定された経路に沿って正しい方向に進めているかを判断できれば良い.

事前撮影映像は経路に沿って撮影されていることを前提とすると、画像中の対応する特徴点座標の差から事前撮影の経路に対する進行方向のずれを算出できる。図3は左の問い合わせ画像に対する検索結果画像との間のキーペアを緑の線で示しており、水色の線はそれぞれの画像から検出されたキーペアの凸包を表す。画像はフルHD(1920x1080)の解像度で撮影され、処理時には320x180に縮小して用いた。検索結果画像と問い合わせ画像の間の対応する特徴点は、画像座標上で平均148.17 画素左に移動している。これは、歩行者に装着されたカメラが事前撮影の経路よりも右側を撮影していることを意味する。しかし、画像上の見かけの特徴点座標だけでは、その原因がカメラの並進によるものなのか回転によるものなのかを区別することが



図 4 二回の直角の曲がりを含む実験経路

できない.

PDR では初期姿勢からの相対的な進行方向の変化を推定することができる.一方で、時間の経過によって推定誤差が蓄積するという問題がある.そこで、特徴点座標による姿勢推定の結果により PDR を初期化し、新たな初期値から相対姿勢を推定することで誤差を修正する.問い合わせ画像と検索結果画像が十分に類似しているとき、歩行者は事前撮影の経路に沿って進んでいると判断できる.したがって、1)特徴点による凸包面積が大きい、2)特徴点の座標差が小さい、という条件が満たされたとき、PDR の初期姿勢を推定位置における経路に沿った方向とすることで誤差の蓄積を解消する.

3.3. カメラ姿勢推定結果

画像間の特徴点座標及び PDR による進行方向推定の精度を検証するため、図 4 に示すような二回の直角の曲がりを含む、徒歩一分半程度の経路で実験を行った.最初に経路に沿った映像を撮影し、画像検索のデータベースを作成する.このデータベースに対し類似画像検索による位置推定を行うと同時に、PDR での姿勢推定を行う.問い合わせ画像の撮影条件として、経路に沿った方向を向いて歩行する場合と、進行方向に対し蛇行する場合の二種類について検証した.特徴点による補正を行わない場合のカメラ姿勢推定の結果を図 5.6 に示す.

初期位置のカメラ姿勢を 0 度とすると、姿勢推定の結果が正しければ最後の直線でのカメラ姿勢は 0 度となる。PDR のみの進行歩行推定では推定誤差の蓄積により、最終的な推定姿勢に 20 度前後の誤差が生じている。そこで、図 7 に示すような、特徴点の凸包面積が S_{convex}^2 画素以上かつ、特徴点座標の差の平均の絶対値が $P_{difference}$ 画素未満の場合、予定経路に沿った方向として初期化を行う。320x180 画素の画像に対し、 S_{convex} 及び $P_{difference}$ はそれぞれ実験的に 100, 20 と定めた。

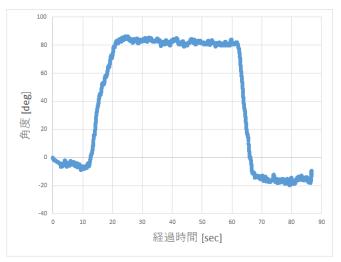


図 5 経路に沿った歩行における PDR による進行 方向推定

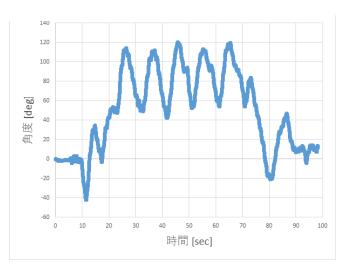


図 6 経路に対して蛇行した歩行における PDR による進行方向推定

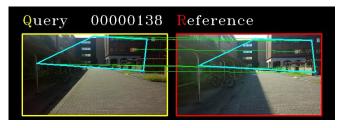


図 7 特徴点の分布による初期化を行う例

誤差修正を行った結果を図 8,9 に示す. 図 8 の経路に沿って平行に歩行した場合,直線区間で頻繁に誤差修正が行われるため,最後の直線区間でも進行方向が正しく推定されている.一方で極端に蛇行しながら歩行した場合は誤差の蓄積が早く,また,正面を向いた誤差を修正する機会が減少するため,図 9 のおよそ 35秒や 50 秒のあたりの様に,推定された進行方向が急激に切り替わる場合が存在する.しかし,視覚障害者は

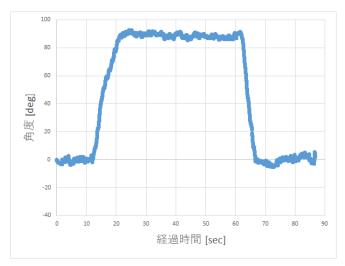


図 8 経路に沿った歩行における PDR 及び特徴点 情報を用いた誤差修正による進行方向推定

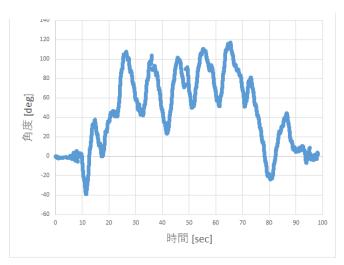


図 9 経路に対して蛇行した歩行における PDR 及び特徴点情報を用いた誤差修正による進行方向推定

白杖を使用して道の端などを確認しながら歩行するため,極端な蛇行は発生しにくいと考えられる.実際に視覚障害者がどの程度方向を保って歩行しているのかを今後調査する予定である.

4. 推定位置姿勢に基づく音声ナビゲーション

視覚障害者の単独での外出を支援するため、1)自己位置を判断するために必要な周囲のランドマーク情報の通知、2)目的地に到着するための進行方向情報の通知を行う。その手段として三次元音響提示手法の適用を予定している。三次元音響提示とは、通常のステレオヘッドホンを通じて、三次元上の任意の位置で発せられたかのような音像を提示する技術である。視覚障害者が周囲の状況を音で認識する訓練環境構築に用いられている[4]。本稿では本技術を音声ナビゲーションへ応用する。

1)視覚障害者は経路上のランドマークとの相対関係で自身の位置を把握している.ランドマークの位置を通知することで自己位置推定の助けとなることが考えられる.その方法として,歩行者とランドマーク間の相対的な位置姿勢に応じた三次元音響提示を行う.すなわち,あたかもランドマークの位置から音声が生じているかのように提示する.

2)一般的な音声ナビゲーションで用いられる「N メートル先左方向」のような移動方向の提示方法について,交差点の位置から生じたように聞こえる三次元音響提示を行う.

今後,歩行者の推定位置及び進行方向に応じて三次 元音響提示による情報提示を行い,通常の音声提示と 比較して周囲状況や経路の認識の差を検証する.

5. おわりに

本稿では、カメラベース手法と PDR を組み合わせた、 経路上における歩行者の位置姿勢推定手法を提案した。 画像間の特徴点座標の差から経路に沿って歩いてる 場合を特定し、PDR の推定誤差を行うことで歩行者の 進行方向推定の精度を向上した。また、推定された位 置姿勢情報を元に、三次元音響提示を用いたナビゲー ション方法について検討した。今後は、推定位置姿勢 に応じて歩行者に提示する情報や、提示を行う距離や 頻度などについて検証を行い、実際の経路において視 覚障害者による被験者実験を予定している。

本研究の一部はJST-RISTEXと科研費 17H01773 の助成を受けた. ここに謝意を表する.

文 献

- [1] 北川博巳, 横山哲, 船場ひさお, 「視覚障害者を対象とした歩行誘導システムのニーズに関する研究」, 土木計画学研究発表会・講演集, no.30, 2004.
- [2] 釜坂一歩, 北原格, 亀田能成, 「撮影環境の異なる画像群間の類似画像検索による歩行者位置推定」, HCG シンポジウム 2016, pp.140-146, 2016.
- [3] 興梠正克, 大隈隆史, 蔵田武志, 「歩行者ナビのための自蔵センサモジュールを用いた屋内測位システムとその評価」, モバイル研究論文集, vol.2008, pp.151-156, 2008.
- [4] 関喜一, 「視覚障害者のための音による空間認知の訓練技術 ーリハビリテーション現場での実用化に向けてー」, Synthesiology, vol.6, no.2, pp.66-74, 2013.
- [5] E. Carrasco, E. Loyo, O. Otaegui, C. Fosleitner, J. Spiller, D. Patti, R. Olmedo, M. Dubielzig, "Autonomous Navigation Based on Binaural Guidance for People with Visual Impairment," Assistive Technology: From Research to Practice: AAATE, no.33, pp.690-694, 2013.
- [6] R. Ivanov, "Mobile GPS Navigation Application, Adapted to Visually Impaired People," Journal of Information Technologies and Control, no.1, pp.20-24, 2009.

- [7] 「トレッカーブリーズ」, エクストラ, 2012. http://www.extra.co.jp/breeze/
- [8] H. Fernandes, V.M. Filipe, P. Costa, J. Barroso, "Location Based Services for the Blind Supported by RFID Technology," 5th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion, vol.27, pp.2-8, 2014.
- [9] S. Chumkamon, P. Tuvaphanthaphiphat, P. Keeratiwintakorn, "A Blind Navigation System Using RFID for Indoor Environments," Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, vol.2, pp.765-768, 2008.
- [10] D. Jain, "Path-Guided Indoor Navigation for the Visually Impaired Using Minimal Building Retrofitting," Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility, pp.225-232, 2014.
- [11] S. Bohonos, A. Lee, A. Malik, L.R. Manduchi, "Universal Real-Time Navigational Assistance (URNA): An Urban Bluetooth Beacon for the Blind," Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE International Workshop on Systems and Networking Support for Healthcare and Assisted Living Environments, pp.83-88, 2007.
- [12] J. M. Morel, G. Yu, "ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison," SIAM Journal on Imaging Sciences, vol.2, no.2, pp.438-469, 2009.
- [13] 釜坂一歩, 北原格, 亀田能成, 大田 友一, 「経路 上の歩行者位置推定に適した事前撮影映像から のデータベース生成」, 電子情報通信学会 技術研 究報告 MVE, vol.115, no.494, pp.19-24, 2016.