

ステレオ音と振動提示による視覚障害者誘導インタフェース

小河原 洸貴[§] 宍戸 英彦[‡] 北原 格[†] 亀田 能成[†]

^{†‡§}筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [§]s1411109@u.tsukuba.ac.jp, [‡]shishido@ccs.tsukuba.ac.jp,

[†]{kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々は視覚障害者に対する歩行誘導インタフェースの研究を行っている。我々は以前の研究で、目標経路を直進時と方向転換時に分け、各歩行状況における目標経路に対するずれ指標の算出方法について提案した。本稿では、その指標等を活用し、ステレオ音と振動を提示することで視覚障害者に対して歩行誘導を行うインタフェースを提案する。直進と方向転換のそれぞれにおいて、算出された指標に基づく直進時の進路ずれ修正指示と、方向転換時の回転角度指示を、音で提示する。各状況の切り替わりの自動検出にあたっては、類似画像検索による位置推定とジャイロセンサによる回転角度を用いる方法を使用する。

キーワード 視覚障害者, 歩行誘導, ステレオ音, 振動

Walking Navigation Interface for Visually Impaired Using Sensation of Stereo Sound and Vibration

Kouki OGAHARA[§] Hidehiko SHISHIDO[‡] Itaru KITAHARA[†] and Yoshinari KAMEDA[†]

^{†‡§}University of Tsukuba 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [§]s1411109@u.tsukuba.ac.jp, [‡]shishido@ccs.tsukuba.ac.jp,

[†]{kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We are studying a new walking navigation interface for visually impaired people. In our previous study, we have proposed two methods for measuring gaps between a planned path and a current walking path. Based on the measured gaps, we propose a sound and tactile interface with which visually impaired can walk along the planned path. We have developed two different methods for a situation of straight path walking and that of making turn at corners. The boundary of the two situations are automatically detected.

Keywords Visually Impaired, Walking Navigation, Stereo Sound, Vibration

1. はじめに

2013年時点で日本全国に31万人を超える視覚障害者が存在する[1]。視覚障害者が歩行する際には、経路間違いを防ぐため、同行援護やボランティア等晴眼者の誘導を受けることが望ましい。しかし、補助者の絶対数が不足していることや経済的な負担が大きいことなどの理由から、現状では全ての視覚障害者が満足いく支援を受けることは難しい。そのため、視覚障害者の単独歩行の際に経路に沿った誘導を行う歩行支援が必要とされている。

推定された位置・方向から視覚障害者に適切な指示を与え、目標経路に沿った誘導を行うことのできるインタフェースの研究に我々は取り組んでいる。視覚障害者の単独外出の際に事前に計画される歩行計画は、道なりの歩行と立ち止まって体の向きを変える方向転換の繰り返して構成される。道なりについては歩行訓練によって自力で歩行することが可能となる。ただし、

視覚情報が得られないことによる進路ずれに注意する必要はある。一方で、方向転換は進行方向の誤りが起きやすいために正確な方向への誘導が望まれている。したがって、道なり歩行時と方向転換時では、それぞれに対応した異なる誘導指示を考える必要がある。先行研究[13]では直進時と方向転換時の2種類の支援状況における目標経路に対するずれの指標を算出する方法を述べた。

誘導指示の提示方法については、視覚以外の提示手法を用いる。視覚障害者の誘導システム利用時にかかる負担の要因は指示の聞き取り、マッピング、自己定位の3つであり、特に自己定位は晴眼者に比べ負担が大きいとされる[2]。よって、マッピングや自己定位を誤りなく行うために指示の聞き取りが負担とならないことが望ましい。

本稿では直進時と方向転換時の2種類の支援状況に対応した指示を行うことで視覚障害者の誘導を行うイ

インタフェースを提案する。理想的には直進ではなく道なりに歩行する状況に対する支援が必要であるが、本研究では道なり状況に対する支援のための第一歩として直進に限定する。先行研究[13]に従い、直進時には類似画像検索による位置推定手法と横ずれの指標化を、方向転換時には方位ずれの指標化を行う。これらの指標に基づき指示を決定する。二つの状況の切り替わりを適切に探知する方法も本研究では実現し、この切り替わりの発生も使用者に提示する。これらの提示には非言語なステレオ音と振動を用いる。

2. 関連研究

視覚障害者向けナビゲーションシステムとしてGPSを用いた携帯情報端末[3]やRFIDタグを用いる手法[4]などが提案されている。これらの手法では車用カーナビゲーション等で用いられているターンバイターン方式の音声指示を採用している。こうした音声では、音声を聞き逃す、意味を取り違えるなどによる指示の伝達ミスや、どの程度曲がればよいのかわからないなどの情報量の不足といった事態が起こりうる。

より視覚障害者に適したインタフェースの開発が行われている。Fiannacaらは開けた場所での誘導を行うインタフェースとしてHeadlock[5]を提案し、誘導指示の提示方法として非言語音と言語音の二通りを比較した。その結果から、伝達する情報の内容によって提示方法を変えることが望ましいと述べている。Draganらが開発したBLEビーコンを用いた誘導アプリNavCog[6]ではターンバイターン方式の音声案内に加えて方向転換時の目標角度到達を知らせる音や経路上の情報の通知音などを追加している。しかし、それでも目的の方向に曲がれない、進路ずれが生じる、指示に集中してしまうなどといった問題が発生すると報告されている。

視覚障害者に向けた情報提示としては、聴覚への提示が主である。頭部伝達関数を用いて音像を三次元空間に定位する三次元音響提示は、視覚障害者の歩行訓練に用いられている[7]。近年はスピーカを用いた力覚提示[8]や触覚による歩行誘導[9]等の研究も行われており、視覚障害者に向けた直感的に理解しやすい提示手法として期待されている。

本稿では言語による音声案内ではなく、非言語なステレオ音と触覚への振動提示によって指示の伝達を行うことで、直感的に理解しやすいインタフェースを提案する。

3. ステレオ音・振動による視覚障害者の誘導

本節では、視覚障害者の単独歩行において歩行状況に応じて生じる問題とそれを解決するためのステレ

オ音と振動を用いた誘導指示について述べる。

3.1. 単独歩行時の問題と解決のための目標

視覚障害者が単独で外出する際には事前に歩行計画を立て、出発地から目的地までの経路を目標経路として設定する。実際に歩行する際には周囲の環境音や道路状況などから目標経路上の自己位置を推定することで直進や方向転換などの行動を選択し、目標経路に沿って歩行する。しかし、視覚情報が得られないことによって以下に挙げる二つの問題が起き、その結果経路を間違える可能性がある。

一つ目は直進時の進路ずれ発生である。分岐のないほぼ直進の経路では、経路沿いの壁や側溝を用いて伝い歩きすることで経路に沿って直進することが可能である。しかし、駐車場やガソリンスタンド等開けた空間が経路脇に存在する場合、視覚情報を得られないことによって進路ずれが発生し、経路から逸脱するおそれがある。

二つ目は方向転換時の誤りである。分岐路や交差点などといった方向転換が必要となる経路においては、自身が向く正確な方向を把握しづらいために進行方向を誤ってしまう可能性がある。

本研究ではこれら二つの問題を取り上げ、その解決のためにそれぞれの問題に対応した誘導指示を行う誘導インタフェースを提案する。目標経路に沿った誘導を行うため、事前に目標経路を歩行し、その記録を行う。この記録を行う人物を記録者とする。記録者の体前面に取り付けた単眼カメラを用いて一人称視点映像を記録し、直進時のみ3.2節で触れる手法により位置推定のためのデータベースを生成する。方向転換時には回転角度を記録し、誘導時の目標角度とする。これらを合わせて目標経路の歩行記録と呼ぶ。

事前に記録を行う際の直進時と方向転換時の判別にはジャイロセンサから得られる回転角速度を利用する。直進後に方向転換を行う経路を歩行したとき、回転角速度およびその移動平均(窓長=10)は図1のようになる。歩行時の揺動によるノイズを移動平均により平滑化し、その絶対値がしきい値を超えた場合を方向転換時であると判別する。

歩行記録に基づき、目標経路に沿って歩行する歩行者の誘導を行う。歩行者は記録者と同じカメラを同じ固定方法で取り付ける。先行研究の手法に従い、直進時には類似画像検索による位置推定手法と横ずれ指標の算出を、方向転換時にはジャイロセンサの回転角速度を利用して方位ずれ指標の算出を行う。また、直進時には位置推定手法を、方向転換時には算出した方位ずれ指標を用いて各々の状況の切り替わり判定を行う。これらの指標及び判定の提示には非言語なステレオ音と振動を用いる。

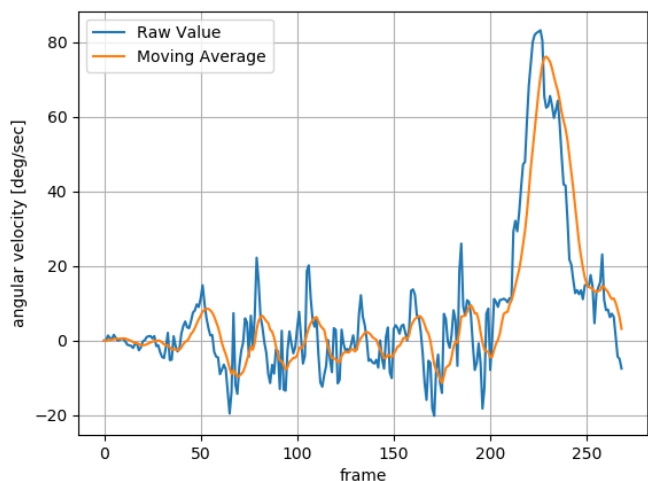


図1 歩行中の回転角速度と移動平均

3.2. 誘導指示のための指標と切り替わり判定

3.2.1. 直線時の横ずれ指標算出

直進時は、先行研究[13]の手法を用いて目標経路に対する歩行者の横ずれ指標を算出する

指標算出の前段階として、釜坂ら[10]によって提案された類似画像検索を用いた歩行者位置推定手法により、歩行者の位置推定を行う。

以下にその手順について説明する。まず記録者の前面に取り付けた単眼カメラを使用して事前に目標経路に沿って一人称視点映像の撮影を行う。撮影された一人称視点映像をフレーム分割して得られる画像群に対し SIFT[11]特徴量(以下 SIFT キー)の検出を行い、各フレーム間の SIFT キーの類似度から参照画像を抽出する。このとき、各参照画像間の類似度が一定以下になるようにする。そして、抽出された参照画像群と、各参照画像において検出された SIFT キーの記述を蓄積したデータベースを生成する。

歩行者位置推定の際には、歩行者は記録者と同様にカメラを前面に取り付ける。このカメラによって撮影される問い合わせ画像から検出された SIFT キーと、データベースに蓄積された各参照画像の SIFT キーのマッチングを行う。マッチングにより問い合わせ画像と最も類似度が高いとされた参照画像を求める。以上の手順により、ある問い合わせ画像に対する位置推定結果として、データベース中の最も類似する参照画像とマッチング結果のキーペアが得られる。

この位置推定の結果から、各キーペアの水平方向の座標差の平均値を求め、時間方向のローパスフィルタをかけることで横ずれ rdx_t を算出する。

3.2.2. 方向転換時の方位ずれ算出

方向転換時は、まず先行研究[13]の手法によりジャイロセンサから得られる回転角速度を積分し、歩行者の回転角度 θ_n を算出する。本稿では、この回転角度と

事前記録中の目標角度との差を方位ずれ指標 $\Delta\theta_n$ とし、方向転換時の回転角度指示に用いる。

3.2.3. 直進と方向転換の切り替わり

直進時と方向転換時においてそれぞれ指標の算出を行うため、誘導時にそれぞれを切り替える必要がある。したがって、直進から方向転換への切り替わり判定と方向転換から直進への切り替わり判定を行う。

直進から方向転換への切り替わり判定には 3.2.1 節と同様に類似画像検索による位置推定を利用する。位置推定の結果から直進経路の終端に到達したことを確認した場合に切り替える。方向転換から直進への切り替わり判定には方位ずれ指標を用い、これが一定値以下となった場合に切り替える。

これらの切り替わり判定については 4 節で詳細を述べる。

3.3. 誘導指示の決定・伝達

算出された指標に基づく誘導指示と状況の切り替わりの提示は、受け取りや理解が負担とならないように非言語なステレオ音と、携帯端末の振動によって行う。

直進時の進路ずれ修正指示については、横ずれ指標によって進路ずれの傾向を把握し、進路ずれが大きくなっている場合に正しい進路に修正するように指示を決定する。指示内容は進行方向に対して左右どちらに修正するかといった形で誘導が可能と考えられる。伝達の際はステレオ音を使用し、そのチャンネルを切り替えることで修正すべき方向を伝える。

方向転換時の回転角度指示については、方位ずれ指標が 0 となるように指示を決定する。伝達には直進時と同様に方位ずれ指標の符号に合わせたチャンネルのみを使用し、その大きさに応じて音の高さを変化させる。

直進時と方向転換時の切り替わりにおいては指示が切り替わることによって混乱が生じるおそれがある。これを防ぐために、状況が切り替わった際には携帯端末の振動を提示する。

これらの指示の決定と伝達手法については 5 節で詳細に述べる。

4. 直進と方向転換の切り替え

4.1. 直進から方向転換への切り替わり

直進時から方向転換時への切り替わりは、3.2 節で述べた類似画像検索による位置推定手法を利用する。直近の一定フレーム中において、過半数の問い合わせ画像に対してデータベース中の最後の参照画像が検索結果として得られた場合に直進から方向転換への切り替わりを判定する。データベースの生成は事前撮影映像からのフレーム抽出によって行われるため、データ

ベース中の参照画像のフレーム間隔は事前撮影映像のフレーム間隔よりも大きいものとなる。釜坂らは、実際に 3fps で 2050 フレームの事前撮影映像から 348 フレームの参照画像を生成している[10]。事前撮影映像を 3fps、問い合わせ画像の撮影を 30fps で行った場合、各参照画像に対して複数フレームの問い合わせ画像が対応する。歩行者が一定の速度で歩行すると仮定すれば、各参照画像に対応する問い合わせ画像のフレーム数はある一定の値に近づくことが期待される。これより、現在の直進時に得られた検索結果において各参照画像に対する問い合わせ画像のフレーム数の平均を求め、このフレーム中で先ほどの判定を行うこととする。

ただし、この手法では直進に切り替わった直後において判定に用いるフレーム数が小さくなるという問題点があり、ここで誤推定によりデータベース中の最後の参照画像が結果として得られた場合、誤って切り替わる可能性がある。また、歩行者が立ち止まることによってある参照画像に対してのみ多くの問い合わせ画像が対応する場合や、データベース中の最後の参照画像が結果として得られなかった場合などにうまく切り替わらないことが考えられる。

4.2. 方向から直進への切り替わり

方向転換時から直進時への切り替わり判定は、方位ずれ指標 $\Delta\theta_n$ を利用する。目標角度を向いたとみなせる許容角度 ε を設定し、 $|\Delta\theta_n| < \varepsilon$ である場合正しい方向を向いているとする。これが一定時間継続した場合に方向転換から直進への切り替わりを行う。本研究では ε を 5[degree]と設定し、1 秒間継続した場合に切り替える。

5. 誘導指示の決定と伝達

5.1. 直進時の指示決定と伝達

先行研究[13]の手法によって算出された横ずれ指標 rdx_t の符号によって目標経路に対して左右どちらにずれているかを確認する。目標経路上への修正を行うため、進路ずれの方向に対して反対の方向を修正すべき方向と決定する。

指示の伝達には、左右二つのチャンネルを持つステレオ音を用いる。修正すべき方向のチャンネルにのみ周波数 1027[Hz]、継続時間 500[ms]のビーブ音を 2 回提示する。修正指示の間隔は 5[sec]とした。

5.2. 方向転換時の指示決定と伝達

方位ずれ指標 $\Delta\theta_n$ の符号により向くべき方向を、その大きさにより修正量を決定する。

指示の伝達には、直進時と同様にステレオ音を用いて連続したビーブ音を提示する。ここで、提示するチャンネルと周波数を $\Delta\theta_n$ に基づき変化させ、チャンネルによって向くべき方向を、周波数によって修正量を提

示する。

$|\Delta\theta_n| < 5[\text{degree}]$ のとき正しい方向を向いているとし、周波数 1027[Hz]のビーブ音を左右両方のチャンネルに提示する。

$|\Delta\theta_n| \geq 5[\text{degree}]$ の場合は向くべき方向のチャンネルにのみ連続したビーブ音を提示し、 $\Delta\theta_n$ の大きさによって周波数を音階に従って変化させる。このとき $5[\text{degree}] \leq |\Delta\theta_n| < 180[\text{degree}]$ の範囲を等間隔に分割し、 $\Delta\theta_n$ が大きくなるほど音階が下がるようにする。本研究では分割数を 7 とし、 $\Delta\theta_n$ と周波数の対応は表 1 の通りである。

5.3. 直進と方向転換の切り替わり

直進と方向転換の切り替え時には Android 端末のバイブレーション機能を使用して振動を提示する。指標の算出及び指示の決定と伝達を行うタブレット PC と Android 端末を Bluetooth により接続し、タブレット PC から Android 端末に振動提示の指示を与える。

6. 検証実験

6.1. 実験概要

2018 年 2 月 5 日(天候：晴れ)に図 8 に示す筑波大学敷地内の経路を歩く場合においてインタフェースを動作させ、2 名の晴眼者に対して誘導を行った。歩行記録については、一人目は 2 月 3 日(天候：曇り)に、二人目は実験同日に行い、どちらも 3fps の事前撮影映像からデータベースを生成した。実験には 6.1 節、6.2 節と同じ Surface Pro 4 と USB カメラを用い、問い合わせ画像の撮影は 30fps で行った。ステレオ音と振動の提示にはそれぞれ骨伝導ヘッドホン(AfterShokz TREKZ TITANIUM)と Xperia XZ を使用した。インタフェース装着時の様子を図 9 に示す。

6.2. 実験結果

一人目の被験者においては、直進時の進路ずれ修正指示や切り替わり判定がうまく動作しない場合があった。特に屋外の経路においてその傾向が強くみられた。

表 1 修正量と周波数の対応

修正量 $ \Delta\theta_n $ [degree]	周波数[Hz] (音階名)
$0 \leq \Delta\theta_n < 5$	1027 (C6)
$5 \leq \Delta\theta_n < 30$	988 (B5)
$30 \leq \Delta\theta_n < 55$	880 (A5)
$55 \leq \Delta\theta_n < 80$	784 (G5)
$80 \leq \Delta\theta_n < 105$	698 (F5)
$105 \leq \Delta\theta_n < 130$	659 (E5)
$130 \leq \Delta\theta_n < 155$	587 (D5)
$155 \leq \Delta\theta_n < 180$	523 (C5)



図 8 インタフェースの動作実験経路
(実線部：屋外，点線部：屋内)

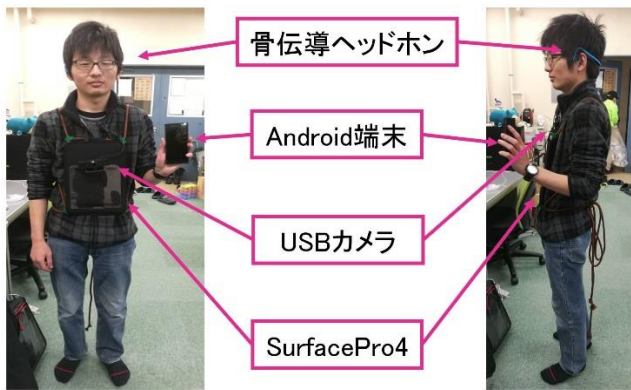


図 9 インタフェース装着時の様子

歩行記録時と誘導時の天候が異なるため、直進時の位置推定の精度が下がったことが原因であると考えられる。撮影環境の異なるデータベースの統合により精度を向上させる手法[12]が提案されており、こちらを利用することでこの問題が解決できると考えられる。

二人目の被験者においては歩行記録が同日のものであるため、位置推定自体は精度良く行われた。しかし、カメラの固定が十分でなかったため歩行者に対してカメラが回転した状態となってしまう、横ずれ指標の算出が正しく行われない場合があった(図 10)。

また、両者ともに最後の直線において方向転換後まもなく直進からの切り替えが発生し、終了してしまった。事前歩行時に方向転換を行った点から少し過ぎた地点で切り替え判定がなされることもあった。二人目の被験者における第一の直線時には、問い合わせ画像 142 フレーム中最後の 6 フレームがデータベース中の最後の参照画像に対応した。参照画像番号と問い

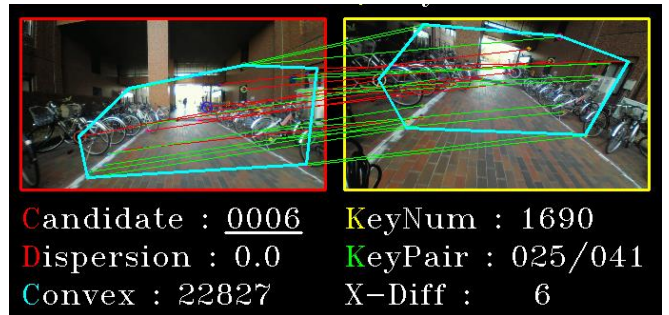


図 10 カメラの傾きによる横ずれ指標の誤算出

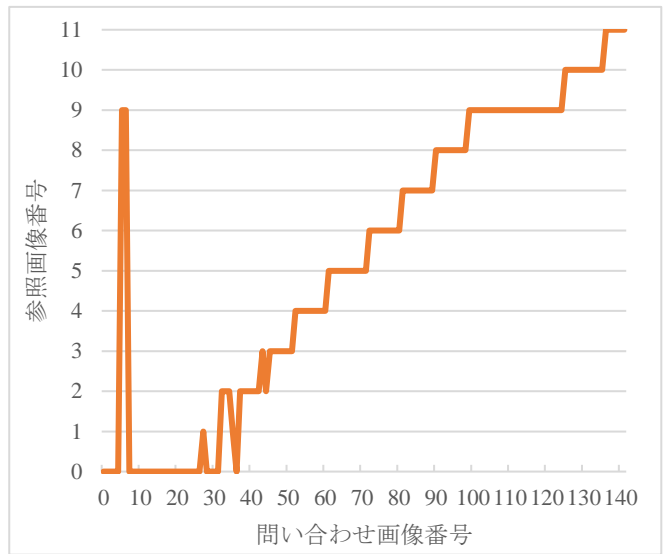


図 11 参照画像番号と問い合わせ画像番号の対応

合わせ画像番号の対応のグラフを図 11 に示す。4.1 節で述べた手法はあまり精度が高くない手法であったが、晴眼者に対する誘導では、経路をたどることは可能であった。しかし、視覚障害者を対象とした場合少しのずれでも大きな影響を与える可能性があると考えられる。そのため、今後直進から方向転換の切り替えについてはより正確に切り替わりの探知を行う手法が必要である。

指示や判定の提示については 2 名ともから好印象な評価を受けた。特に方向転換時においては音の変化によって正確な方向を把握しやすいという意見が得られた。ただし、目標の方向の範囲である $\pm 5[\text{degree}]$ に合わせるのが難しいといった声もあり、実際に目標方向を行き過ぎて再度反対の方向に修正するといったことが生じた。このような指示における範囲、間隔、音程等の各種パラメータについては今後詳細に検討する必要がある。

7. おわりに

本稿では、類似画像検索の結果と先行研究の手法により算出された指標から直進時と方向転換時の二つの

状況の切り替わり判定を行う手法と、これらの指標と判定をステレオ音と振動を用いて提示する誘導インタフェースを提案し、実際の経路において誘導が可能か検証した。

直進時においては位置推定の結果得られる参照画像と問い合わせ画像のキーペアの座標差を用いることで算出した横ずれを指標として、進路ずれ発生時にはその傾向から修正方向を決定し、その方向に合わせてチャンネルを設定したステレオ音により修正指示を行った。直進から方向転換への切り替わり判定は位置推定の結果を利用した。

方向転換時にはジャイロセンサからの回転角速度を利用して算出された方位ずれ指標から向くべき方向を決定した。この値が一定以下の状態が継続した場合、方向転換から直進への切り替えを行った。ステレオ音の左右のチャンネル設定および周波数の変化によって回転方向を指示した。

これらの手法によってインタフェースを構成し、実際の経路において晴眼者を対象とした誘導を行った結果、経路をたどっていくことは可能であることを示せた。しかし、指標の算出や切り替わり判定等において未だ改善すべき点が多い結果となった。今後、より詳細な被験者実験等を経て指示内容や伝達手法の改善や比較を行い、視覚障害者に向けたインタフェースとしての完成を目指す。

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] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部，“平成23年生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）結果”，2013.
- [2] 亀田能成，釜坂一步，一刈良介，蔵田武志，石川准，“視覚障害者の移動を支援する位置提示の実証実験”，HCGシンポジウム2016，pp.343-346，2016.
- [3] 有限会社エクストラ，“トレッカーブリーズ”，2012，<http://www.extra.co.jp/breeze/>
- [4] 後藤浩一，松原広，深澤紀子，水上直樹，“駅環境における携帯端末を用いた視覚障害者向け情報提供システム”，情報処理学会論文誌，vol.44，no.22，pp. 3256-3268，2003.
- [5] A. Fiannaca, I. Apostolopoulous, and E. Folmer, “Headlock: a wearable navigation aid that helps blind cane users traverse large open spaces.” Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility, pp.19-26, 2014.
- [6] D. Ahmetovic, et al. “NavCog: a navigational cognitive assistant for the blind.” Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, pp. 90-99, 2016.
- [7] 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.

- [8] 田辺健，矢野博明，岩田洋夫，“振動スピーカを用いた力覚提示手法の知覚特性”，計測自動制御学会論文集，vol.53，no.1，pp.31-40，2017.
- [9] 渡邊淳司，安藤英由樹，朝原佳昭，杉本麻樹，前田太郎，“靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究”，情報処理学会論文誌，vol.46，no.5，pp.1354-1362，2005.
- [10] 釜坂一步，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”，信学技報，vol.115，no.495，pp19-24，2016.
- [11] D. G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” International Journal of Computer Vision, vol.60, issue.2, pp.91-110, 2004.
- [12] 釜坂一步，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.
- [13] 小河原洗貴，北原格，亀田能成，“事前撮影映像に基づく視覚障害者の歩行誘導インタフェースの検討”，信学技報，vol.117，no.252，pp.1-5，2017.