

# ターンバイターンナビゲーションに適した 音と振動によるインタフェース

小河原 洸貴<sup>§</sup> 宍戸 英彦<sup>‡</sup> 北原 格<sup>†</sup> 亀田 能成<sup>†</sup>

<sup>†</sup> <sup>‡</sup> <sup>§</sup> 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: §ogahara.koki@image.iit.tsukuba.ac.jp, ‡shishido@ccs.tsukuba.ac.jp,

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

**あらまし** 本稿では、ターンバイターンナビゲーションに適した音と振動を用いるインタフェースを提案する。直進歩行と方向転換を順番に並べていくターンバイターンでの指示は、視覚障がい者へのわかりやすいナビゲーションである。視覚障がい者の単独歩行では直進歩行時と方向転換時で認知負荷の程度や発生する経路誤りの原因が異なる。本研究では、視覚障がい者の単独歩行の特性と利用する位置姿勢推定手法との特性を考慮し、提示される情報とその提示手法の組み合わせを決定する。実際の利用を想定した経路を設定し、フィールドテストにより提案インタフェースの有効性を確認した。

**キーワード** 視覚障がい者、ターンバイターンナビゲーション、音、振動

## 1. はじめに

2018年現在、世界には約13億人の視覚障がい者がいると推定されている[1]。視覚障がい者が単独歩行する際に経路に沿ったナビゲーションを行う歩行支援が必要とされている。視覚障がい者の単独歩行には、直進歩行と方向転換の繰り返しが構成されるという特性がある。直進歩行時にはまっすぐに歩くことに集中する。周囲の危険に注意する必要があるため認知負荷が大きい。壁や点字ブロックなどが無い場合は、経路から逸れる可能性が存在する。方向転換時には立ち止まって向きを変えるため、認知負荷は小さい。視覚情報がないため自身の向いている方向を把握するのが難しい。歩行支援を行う際には、直進歩行時と方向転換時における異なった問題に対処しなければならない。直進歩行と方向転換を順番に並べていくターンバイターンでの指示は、視覚障がい者へのわかりやすいナビゲーションである。

近年では、情報機器を用いた視覚障がい者の歩行支援に関する取り組みが進められている。GPSに代わり屋内でも使用可能な歩行者の位置推定手法として、BLEビーコンや画像を用いた手法が提案されており、これらを用いたターンバイターンナビゲーションが研究されている。これは、交差点等での方向転換の指示が逐次提示されることで誘導が行われる手法である。視覚障がい者が直進歩行と方向転換の繰り返しが歩行するという特性に適している。ターンバイターンナビゲーションでは、一般的に音声によって指示が提示される。音声への過度の集中や聞き逃し、環境音との重複などが発生しうる。

我々は視覚障がい者の単独歩行の特性および位置推定手法の特性を考慮したインタフェースの研究を行

っている。先行研究[2]では直進歩行時と方向転換時の二種類の支援状況に分けて、それぞれで対応した指示を行うインタフェースを提案した。晴眼者を対象とした検証実験を通して、位置推定手法の精度向上や、指示内容の追加など改善すべき点が明らかになった。

本稿では、ターンバイターンナビゲーションに適した音と振動によるインタフェースを提案する。視覚障がい者の単独歩行では直進歩行と方向転換とで認知負荷の程度や発生する問題が異なるため、ターンバイターンナビゲーションを用いて各状況に対応する。二つの状況に対して、それぞれに適した位置姿勢推定とナビゲーション指示の提示が行われる。直進歩行時には、一人称視点映像を用いて類似画像検索による位置推定を行う。方向転換時にはジャイロセンサで計測した角速度を用いて歩行者の回転角度を求める。推定された位置姿勢に基づき、横ずれの修正、方向転換の予告、回転角度指示などが言語音、非言語音、振動によって自動的に提示される。

## 2. 関連研究

情報機器を用いた歩行者の位置推定手法が研究されており、視覚障がい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、屋内向けでの使用を想定したBLEビーコン等の設置型機器を用いた手法が提案されている。Draganらが開発しているBLEビーコンを用いた屋内ナビゲーションアプリケーションNavCog[4]では、既に国内の商業施設における実証実験を行っている。こういった外部機器を用いる手法には、経路への機器の設置および維持コストが必要である。利用可能な範囲が制限されるという問題もある。

これらの手法に代わり、歩行者が身に付けるセンサを用いた位置推定手法が研究されている。

自立移動ロボットの分野においては、自己位置推定と環境地図の作成を同時に行う SLAM や、カメラのみで動作する Visual SLAM と呼ばれる手法[5]が研究されている。計算機器の発達により携帯可能な機器での実時間実行が可能となったため、実際にナビゲーションシステムに利用した研究も存在する[6]。しかし、依然として計算コストが大きいことや、テクスチャレスな環境下では不安定であることなどの問題を抱えている。

釜坂らは類似画像検索による位置推定手法を提案している[7]。この手法では、事前に撮影された経路上の画像群から現在地の画像に最も類似する画像を探し出すことによって歩行者の位置を推定する。Visual SLAM に比べて初期化が不要であることや、使用する機材は単眼カメラのみであり、屋内外を問わず使用可能であるといった特徴がある。

ナビゲーション指示の提示方法に関する取り組みが行われている。Sabrina らはジャイロセンサを用いて直進歩行時の逸れを防ぐアプリケーションを作成した[8]。被験者実験の結果から、断続音より連続音の方が望ましい、音とは反対の方向に修正することが自然である、といった結論が得られている。Pancels らはドアなどのランドマークへのナビゲーションを行うウェアラブルデバイスである Headlock を提案した[9]。彼らは言語音と非言語音によるナビゲーション方法を比較し、両方を組み合わせたナビゲーションが望ましいと述べている。以下に彼らの主張のいくつかを示す。言語音の特徴は聞き取りや理解に訓練が不要であり、簡潔な単語なら理解しやすいことである。非言語音の特徴は距離、角度などの変化量の提示に適している。Ahmetovic らは Navcog を用いてターンバイターン方式でのナビゲーション時における方向転換の解析を行った[10]。停止の合図に対する反応には遅れがあるため、わずかに曲がる場合は停止が遅れやすいことや、大きく曲がる場合は 90°に近似されやすいといった特徴があると述べた。方向転換時の指示は、その開始と停止の案内だけでは不十分であり、正確な方向転換のためには継続的な案内が必要であると結論付けている。

### 3. ターンバイターンナビゲーションに適したインタフェース

本節では、視覚障がい者の歩行および利用する位置姿勢推定手法それぞれの特性について述べ、これを踏まえたナビゲーションインタフェースを提案する。

#### 3.1. 視覚障がい者の歩行特性

視覚障がい者が単独歩行する際には、事前に歩行計

画を立て、目標経路を設定する。目標経路は直進歩行と方向転換の繰り返しによって構成される。実際に歩行する際には、周囲の環境音や白杖による道路状況の把握などを頼りに自己位置定位を行い、目標経路を進む。直進歩行時と方向転換時では、自己位置定位による認知負荷に差があり、発生しやすい経路誤りの原因も異なったものとなる。

直進歩行時には、歩行しながら自己位置定位や周囲の危険の感知を行うために認知負荷が大きい。正確な自己位置定位や危険予知には、環境音や白杖からのフィードバックに集中する必要がある。直進歩行時の経路誤りとして、進路ずれ発生があげられる。目標経路に沿って壁や縁石、点字ブロックなどが存在する場合、白杖を用いた伝い歩きによって正しく直進歩行することが可能である。しかし、ガソリンスタンドや駐車場等開けた空間が経路わきに存在する場合や横断歩道を渡る場合など、伝い歩きができずに進路ずれが発生して目標経路から逸脱してしまう可能性がある。自己位置定位に失敗した場合、方向転換地点に気づかずに通り返してしまう恐れがある。

方向転換時には、立ち止まって体の向きを変えるため、危険予知による認知負荷は少ない。しかし、視覚情報が得られないために自身が向いている方向を正確に把握することが難しく、次の直進歩行すべき方向に対して進行方向を誤る可能性がある。

以上より視覚障がい者のナビゲーションにおいては、直進歩行時と方向転換時のそれぞれに適したナビゲーション指示とその提示手法を検討する必要がある。直進歩行時には自己位置定位による認知負荷が大きいために、指示の聞き取りへの負担を低くする。経路誤りを防ぐために、進路ずれが発生した際にそれを修正する指示が提示される。方向転換地点での行き過ぎを防ぐために、地点までの距離が提示される。方向転換時には認知負荷は比較的小さいため、連続的に指示が提示されることで正確な進行方向の把握を可能とする。

#### 3.2. 位置姿勢推定手法

我々は、釜坂ら[7]によって提案された類似画像検索による位置推定手法(類似画像検索手法)を利用する。手法の概要を図 1(a)に示す。この手法では、事前に目標経路の一人称視点映像を撮影し、ある程度の時間的、空間的間隔を持つように参照画像を抽出してデータベースを作成する。位置推定の際は、歩行者の一人称視点映像を問い合わせ画像としてデータベースとの類似画像検索を行う。類似画像検索は、各画像における SIFT[11]特徴量 (SIFT キー) の類似度に基づいて行われる。問い合わせ画像と参照画像との対応する SIFT キーの組(キーペア)が複数得られる。検索によって得られた最も類似度が高い参照画像の撮影位置を現在位置

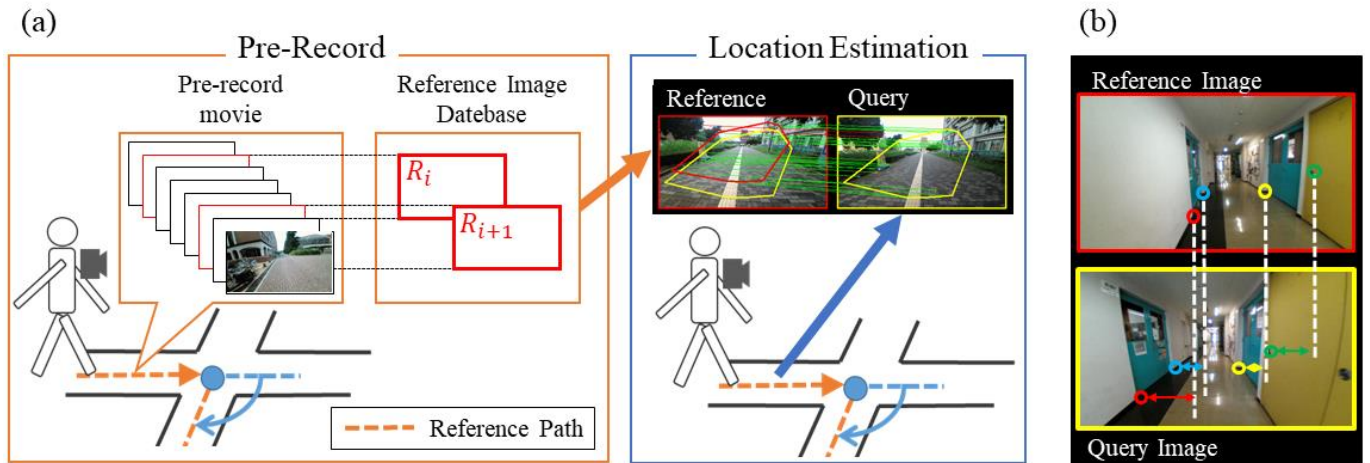


図 1 類似画像検索による位置推定手法  
(a) 事前記録と位置推定 (b) 横ずれ指標の算出

と推定する。参照画像が空間的な間隔を持つため、この手法で推定可能な位置の精度は理想的な環境下では 0.5~1m ほどである。

ナビゲーションインタフェースに利用するために、我々は推定位置の精度向上手法を提案した[12]。弱透視投影モデルを仮定した場合、撮影位置の前後関係によって画像中の物体の見かけの大きさが変化する。すなわち、参照画像と問い合わせ画像の物体の大きさの変化を用いて位置推定結果を補正する。参照画像データベース作成の際に、事前撮影映像との類似画像検索を行って各フレームにおける凸包面積比を求める。ここで、凸包面積比とは、図 1(a)の赤と黄色の多角形で示されるような、問い合わせ画像と参照画像のそれぞれにおけるキーペアに含まれる SIFT キー群の凸包面積の比率である。各参照画像について凸包面積比の回帰直線を求める。位置推定の際には、類似画像検索によって参照画像を選んだ後に凸包面積比を算出し、これを回帰直線に当てはめることによって推定位置を補正する[12]。この補正によって、経路上を正しく歩行する場合は 80%以上のフレームで進行方向の推定誤差 0.2[m]以下になったという結果が得られている。しかしながら、回転や併進が発生し経路から逸れた場合には精度の向上が見込めない。

進路ずれの発生を検出するために、横ずれ指標の算出を行う。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の指標を算出する(図 1(b))。

方向転換時の姿勢推定には、ジャイロセンサによって計測される角速度を利用する。ジャイロセンサを用いて重力方向の軸周りの角速度を取得し、台形公式を用いて近似積分する。これによって、方向転換中の歩行者の回転角度が得られる。正確な方向転換のために、

目標角度と回転角度との差を方位ずれ指標として産出する。

### 3.3. 特性を考慮したインタフェース

視覚障がい者の歩行および利用する位置姿勢推定手法の特性を考慮したターンバイターンナビゲーションのためのインタフェースを提案する。直進歩行と方向転換を順番に並べていくターンバイターンでの指示は、視覚障がい者への分かりやすいナビゲーションである。状況によって異なる認知負荷の程度や経路誤りの原因に対応するため、直進歩行時と方向転換時で異なる位置姿勢推定手法を用意する。ナビゲーション指示についてもそれぞれで異なる情報が提示され、提示方法をその状況や情報の種類によって変化させる。

直進歩行時には、類似画像検索による位置推定を行う。その結果および横ずれ指標に基づいてナビゲーション指示の決定と提示が行われる。ナビゲーション指示として方向転換地点の行き過ぎを防ぐ方向転換の予告と、進路ずれを防ぐための修正指示が提示される。聞き取りの負担を減らすため、必要ときのみ指示が提示される。

方向転換時には、ジャイロセンサによる回転角度の算出を行い、方位ずれ指標に基づいてナビゲーション指示の決定と提示が行われる。ナビゲーション指示として方向転換中の現在の方向と向くべき方向が提示される。認知負荷は比較的少ないため、これらの提示を連続的に行い正確な方向転換を可能にする。

## 4. ナビゲーション指示と提示方法

視覚障がい者がナビゲーションインタフェース利用時に必要とする情報は、自分が経路上のどこにいるのかという位置姿勢情報、どこに進むかという誘導情報の 2 つである。直進歩行と方向転換という二つの状

況に合わせて、これらの情報がそれぞれの程度提示されるかを決定する。加えて、ナビゲーション自体の動作情報が開始時、終了時、状況の切り替わり時に提示される。

提示には言語音、非言語音、振動を用いる。非言語音については、音の周波数やステレオチャンネルの左右などの変化も利用する。

#### 4.1. 直進歩行時におけるナビゲーション指示

直進歩行時は、歩行に集中し、周囲の環境に注意するため認知負荷が大きい。そのため、提示される情報は最低限にとどめ、聞き取りへの負担を減らす。経路誤りを防ぐために、進路ずれの修正を行う。

現在位置に関する情報は、提示されない。方向転換地点の行き過ぎを防ぐため、方向転換の予告が行われる。方向転換の予告は、断続的なピープ音が再生され、方向転換地点に近づくほどその間隔が短くなる。ピープ音には、周波数 1024[Hz]の三角波を用いる。

進路ずれによる経路誤りを防ぐために、誘導情報として進路ずれの修正音が提示される。進路ずれの修正音は、横ずれ指標が一定値を超えている場合にピープ音を逸れた方向のチャンネルに二回提示される。周波数と方向転換の予告に用いるものと同じであるが、波形は矩形波が利用する。指標が一定値を超え続けている場合は一定時間空けて繰り返し提示される。

#### 4.2. 方向転換時におけるナビゲーション指示

方向転換時は、立ち止まっているために周囲の環境把握による認知負荷が少ないが、視覚情報がないために曲がる角度を誤りやすい。正確な角度把握のため、位置姿勢情報や誘導情報が連続的に提示される。

位置姿勢情報として、連続したピープ音が再生される。ピープ音の周波数の高さをを用いて回転角度が提示される。方位ずれ指標が小さくなるほど、音階に従って周波数が高くなる（図 2）。波形は三角波である。

誘導情報の提示には、ピープ音のステレオチャンネルを利用する。目標角度との差があるときは、回転すべき方向のチャンネルからピープ音が鳴る。目標角度に到達した場合、左右両方のチャンネルからピープ音が鳴る。

#### 4.3. 動作情報の提示

ナビゲーションの動作情報の提示として、開始時、終了および直進歩行の開始時の音声通知と、直進歩行と方向転換の切り替わり案内を行う。インタフェースが案内を開始したことや目的地に到着したことを知らせるため、ナビゲーションの開始時と終了時が言語音で案内される。各直進歩行の開始時にはその距離と次の方向転換の方向が通知される。直進歩行と方向転換が切り替わる際には、それを知らせる振動が提示される。

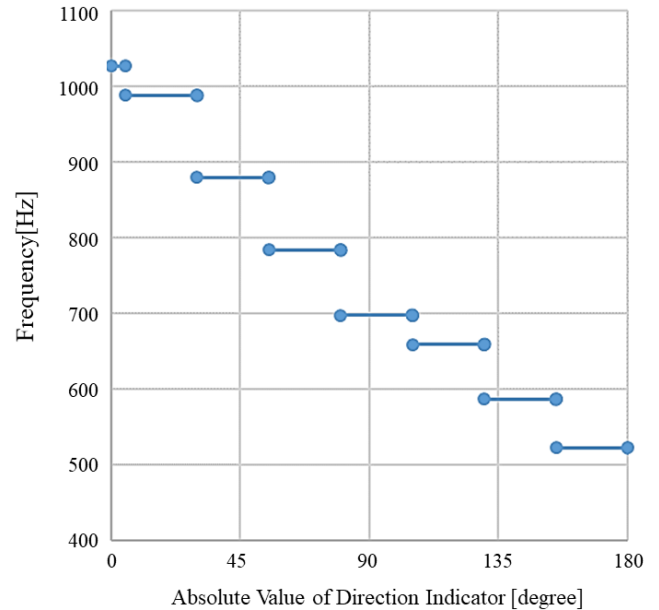


図 2 方位ずれ指標と周波数

## 5. フィールドテスト

### 5.1. テスト概要

3, 4 節で述べたインタフェースを実際に作成し、インタフェースの使用感などを調査するフィールドテストを行った。装着時の様子を図 3 に示す。リュックに入れたノート PC(CPU: Intel core i7 8700, RAM: 32GB) で位置推定等の処理を行った。平均的な処理速度は約 5[fps]であった。一人称視点映像の撮影は USB カメラ (BUFFALO BSW200MBK) を用いた。ジャイロセンサとして Intel RealSense T265 を利用し、200[fps]で角速度を取得した。音声と振動の提示には骨伝導ヘッドフォン (AfterShokz TREKZ TITANIUM) とスマートフォン (SONY Xperia XZ) を用いた。

被験者は晴眼者 2 名である。テスト経路は筑波大学内に屋外と屋内を含むように設定した。テスト経路の様子を図 4 に示す。経路は、5 つの直線と 4 つの方向転換で構成され、全長は 100[m]程度である。5 つの直線のうち前半の 2 つの直線は屋外に、後半の 2 つの直線は屋内にあり、中央の直線は屋内外の出入り口を通過する。いくつかの直線では、壁や点字ブロックなどが存在しない開けた空間を歩行する必要がある。4 つの方向転換のうち 2 つは約 90 度、残り 2 つは約 50 度曲がる。それぞれ左折と右折が一回ずつである。

テストでは、はじめにインタフェースが提示する情報の説明とデモンストレーションを行った。テスト経路については、視覚情報による補正を低減させるため説明せずにテストを行った。被験者は十分にインタフェースに慣れた後で、インタフェースによるナビゲーションを受けながら経路上を歩行した。歩行後、リッ

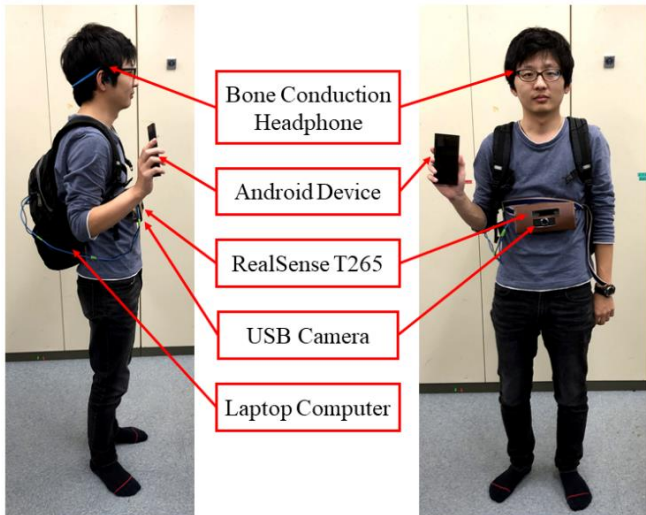


図3 インタフェース装着時の様子

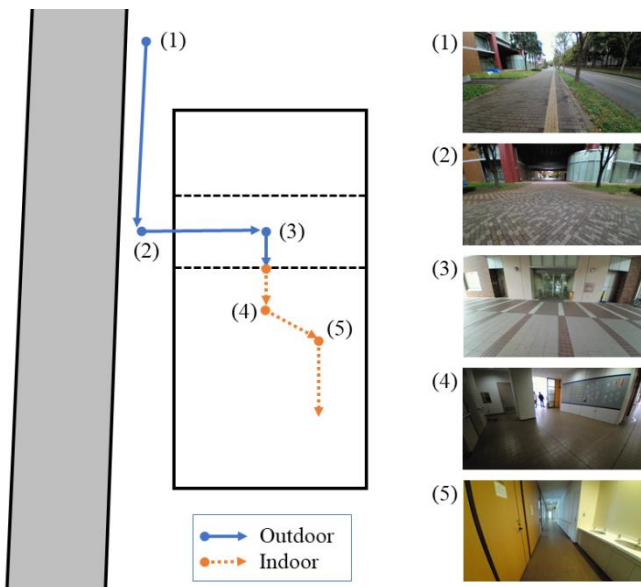


図4 テスト経路の様子

カード尺度を用いた選択式の設問と自由記述を含むインタフェースの評価アンケートを行った。

## 5.2. テスト結果

テスト時の位置姿勢推定について述べる。直進歩行時の類似画像検索による位置推定では、実行速度の低さから、指示の提示や直進歩行から方向転換への切り替わりなどに遅延が発生した。方向転換への切り替わりが遅れた場合には、次の直進歩行の開始地点がずれた状態となる。この場合、直進歩行の開始直後から横ずれの修正音が提示され、混乱しやすいという意見が得られた。図5(3)の直線では途中で自動ドアを通過するが、切り替わりの遅れによってドアの位置と進路がずれてしまう場合もあった。今回用意した環境では位置推定の動作速度が約 5[fps]であり、遅延によって正しいインタフェースの評価ができないおそれがある。

より精度の高いナビゲーション指示や正しい評価のためには、位置推定手法の速度向上が必要である。方向転換時のジャイロセンサによる回転角度算出自体には大きな誤差は見られなかった。今回の実装では、直進歩行の終了時に正しい進行方向を向いていると仮定して、その方向を方向転換の初期値として方位ずれの算出を行う。そのため、直進歩行時に進行方向からずれてしまった場合には初期値を誤り、正しい方向転換ができない。テストにおいても、方向転換の直前に体の向きを変えてしまった場合に正しい進行方向が指示されない場合があった。磁気センサなどによる絶対的な角度計測や、類似画像検索手法での横ずれ指標との併用などによって初期値を正しく設定する解決策を検討したい。

ナビゲーション指示について述べる。直進歩行時には、正しく経路上を歩行している場合は指示がない。そのため、横ずれの修正音により向きを変えた後そのまま逆方向に逸れてしまい、再度修正音が鳴るといった場合が見られた。方向転換地点では、正しい進行方向に合わせる事が難しく、左右への細かい修正を繰り返すといった傾向が見られた。

テスト後のアンケート調査により、それぞれの指示について有用性、聞き取りやすさ、理解しやすさ等を調査した。前述の通り直進歩行時の指示には遅延が発生していたが、ほとんどの項目で高評価であった。自由記述では、以下のような回答が得られた。

- ・左右から提示される指示について、どちらから音が鳴っているのかわかりにくい。
- ・方向転換の予告や直進歩行の開始時の案内があるため、状況の切り替わり時に提示される振動はなくてもよい。

音量バランスなどの各種パラメータや、提示すべきナビゲーション指示などは再考の余地がある。

今回のフィールドテストでは、晴眼者を対象としたため経路をたどることが可能であった。視覚障がい者を対象とした場合、位置推定と指示の遅延によるずれは悪影響を与える可能性が高い。提示される指示やその方法についても晴眼者とは異なった意見が存在すると思われる。今後、実際に視覚障がい者を対象とした被験者実験を経て、インタフェースとしての完成を目指す。

## 6. おわりに

本稿では、ターンバイターンナビゲーションに適した音と振動によるインタフェースを提案した。視覚障がい者の単独歩行の特性と利用する位置推定手法の特性を考慮し、目標経路を直進歩行と方向転換の二つの状況に分け、それぞれに適した位置姿勢推定および指

示の提示を行った。

直進歩行時には進路ずれの発生を防ぐために方向転換の予告と横ずれの修正を行った。聞き取りの負担を低減するため、断続的な非言語音により提示した。方向転換時には正確な方向転換のために連続的な非言語音により目標角度との方位ずれを提示した。ナビゲーションの開始と終了時および直進歩行の開始時は言語音によって通知した。状況の切り替わりの際には、振動を提示した。

実際にインタフェースを作成し、実際の利用を想定した経路にてフィールドテストを行った。テスト後のアンケートを通し、提案したインタフェースの有効性を確認した。

本研究の一部は科研費 17H01773, 18H03504 の助成を受けて行われた。ここに謝意を表する。

## 文 献

- [1] World Health Organization, “Blindness and vision impairment,” 2018, <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- [2] 小河原 洸貴, 宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, “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”, 信学技報 MVE, vol.117, no.48, pp.17-22, 2018.
- [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] 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.
- [5] R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel, J. D. Tardos, “ORB-SLAM: a Versatile and Accurate Monocular SLAM System,” IEEE Transactions on Robotics, vol.31, no.5, pp.1147-1163, 2015.
- [6] T. Guldel, S. Kärcher, C. Curio1, “Vision-Based SLAM Navigation for Vibro-Tactile Human-Centered Indoor Guidance,” ECCV 2016 Workshops, Part II, LNCS 9914, pp. 343-359, 2016.
- [7] 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 MVE, vol.115, no.495, pp.19-24, 2016.
- [8] S. A. Paneels, et al, “The walking straight mobile application: Helping the visually impaired avoid veering,” Georgia Institute of Technology, 2013.
- [9] 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.
- [10] D. Ahmetovic, et al, “Turn right: Analysis of rotation errors in turn-by-turn navigation for individuals with visual impairments,” Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, pp. 333-339, 2018.
- [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] 小河原 洸貴, 宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, “類似画像検索における歩行位置推定能力の实地検証”, 情処研報 ITS, vol. 2019-ITS-77, no.19, pp.1-2, 2019.