

視覚障がい者向けターンバイターンナビゲーションにあわせた 音振動提示

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: §ogahara.koki@image.iit.tsukuba.ac.jp, ‡{shishido, kitahara}@ccs.tsukuba.ac.jp,
†kameda@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々は、視覚障がい者に向けたナビゲーションに関する研究を行っている。先行研究では、ターンバイターンナビゲーションにあわせた音と振動によるインタフェースを提案している。本インタフェースでは目標経路を直進歩行と方向転換に分割し、状況に即したナビゲーション指示を音と振動により提示する。本稿では、我々が提案するインタフェースを実際に作成し、視覚障がい者を対象とする被験者実験を実施した。アンケートを用いて指示の有用性、聞き取りやすさ、理解しやすさといったインタフェースのユーザビリティを調査した。この被験者実験により、我々が提案するナビゲーション指示とその提示方法が視覚障がい者ナビゲーションにおいて有効であることを確認した。

キーワード 視覚障がい者向けナビゲーション, 音振動提示, ヒューマンコンピュータインタフェース

1. はじめに

現在、日本全国に約 30 万人の視覚障がい者が存在する[1]。視覚障がい者の単独歩行を支援するナビゲーションが求められている。視覚障がい者の単独歩行は、直進歩行と方向転換の繰り返し、すなわちターンバイターンで構成されるという特性を持つ。これら二つの状況では、発生しうる経路誤りの原因や認知負荷の程度が異なる。直進歩行時は自己位置定位や危険予知により認知負荷が大きい。開けた空間では経路からの逸れが発生しやすい。方向転換時には立ち止まって向きを変えるため、比較的認知負荷が低い。視覚情報が得られないため、正確な進行方向の把握が難しい。直進歩行と方向転換を交互に繰り返す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。

我々は、視覚障がい者の単独歩行の特性に着目したナビゲーション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それぞれに対応した位置姿勢推定および指示の提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フィールドテストにより、動作速度の向上や指示の提示方法の再考といった改善点が明らかになった。

本稿では、視覚障がい者に向けたターンバイターンナビゲーションにあわせた音と振動による指示の提示方法を提案する。我々が提案するインタフェースを実際に作成し、視覚障がい者を対象とする被験者実験を実施した。アンケートを用いて指示の有用性、聞き取りやすさ、理解しやすさといったインタフェースのユーザビリティを調査した。

2. 関連研究

視覚障がい者向けナビゲーションにおける指示の提示方法に関する研究が行われている。

Pancels らはジャイロセンサを用いて進行方向を測定し、直進歩行時の逸れを防ぐアプリケーションを提案した[3]。被験者実験の結果より、断続音よりも連続音での提示が望ましい、逸れている方向に音を提示するのが自然である、といった結論を得ている。Fiannaca らはランドマークへの誘導を行うウェアラブルデバイスである HeadLock を提案した[4]。彼らは、指示の提示方法として言語音と非言語音を比較した。言語音は聞き取りや理解に訓練が不要であり、簡潔な単語による指示が有効である。非言語音は距離や角度などの変化量の提示に適する。以上の特徴を踏まえ、指示の内容によってこれらを使い分けるのが良いと述べている。Ahmeeticovic らは、BLE ビーコンによるナビゲーションアプリ NavCog[5]を用いてターンバイターンナビゲーションにおける方向転換動作の解析を行った[6]。NavCog では、方向転換地点での言語音による案内に加え、目標角度に到達した際に停止の合図が提示される。解析の結果、以下の特徴が明らかになった。停止の合図への反応には遅れが生じるため、小さな角度で曲がる場合は誤差が生じやすい。大きな角度で曲がる場合は 90 度に近似されやすい。これらの特徴から、彼らは方向転換時の指示の設計指針を次のように述べている。方向転換時の指示は開始と停止の合図のみでは不十分である。正確な方向転換のためには、継続的な案内が必要である。

3. 視覚障がい者に向けたターンバイターンナビゲーションインタフェース

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、事前の歩行計画により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などを頼りに自己位置定位や危険予知を行い、目標経路を進む。直進歩行時と方向転換時では、自己位置定位や危険予知による認知負荷に差がある。発生しやすい経路誤りの原因も異なる。

直進歩行時には、歩行しながら自己位置定位や危険予知を行う。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。そのため、直進歩行時は認知負荷が増大する。直進歩行時の経路誤りとして、進路ずれの発生がある。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が可能である。しかし、開けた空間においては伝い歩きができず、目標経路から逸脱しやすい。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行き過ぎる可能性がある。

方向転換時には、立ち止まって体の向きを変えるため、自己位置定位や危険予知による認知負荷は小さい。視覚障がい者は、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い。そのため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、各状況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。直進歩行時には認知負荷が大きいため、指示の聞き取りへの負担を低減する。経路誤り防止のため、進路ずれが発生した際に修正指示が提示される。方向転換地点の行き過ぎ防止のため、その予告音が提示される。方向転換時には認知負荷は比較的少ないため、連続的な指示により正確な進行方向の把握を可能とする。

3.2. 視覚障がい者向けナビゲーションインタフェースの提案

我々は、視覚障がい者の歩行特性を考慮したターンバイターンナビゲーションインタフェースを提案している[2]。本インタフェースでは、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している。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[7,8]を利用し、位置や横ずれの程度を算出する。その結果

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。聞き取りの負担を低減するため、指示の提示は最低限とする。

方向転換時には、ジャイロセンサを用いて回転角度を計測する。目標角度とのずれ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。認知負荷は比較的小さいため、連続的な指示により正確な方向転換を可能にする。

4. ターンバイターンナビゲーションにあわせた音振動提示

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主に二つ存在する。一つ目は、自分が経路上のどこにいるのか、どちらの方向を向いているのかといった位置姿勢情報である。二つ目は、この先どちらの方向に進むかという誘導情報である。直進歩行と方向転換という二つの状況に合わせて、この二つの情報がそれぞれど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。

ナビゲーションの中心となる位置姿勢情報や誘導情報については非言語音を利用し、周波数やチャンネルの変化による提示を行う。指示の学習コストを低減させるため、極力単純な設計とする。補助的に提示される動作情報には、言語音と振動を利用する。

4.1. 直進歩行時のナビゲーション指示

直進歩行時は自己位置定位や危険予知により認知負荷が大きい。そのため、提示される情報を最低限にとどめることで聞き取りの負担を低減する。経路誤り防止のため、進路ずれの修正を行う。

位置姿勢情報は基本的に提示されない。方向転換地点の行き過ぎ防止のため、方向転換の予告が行われる。方向転換の予告は、左右両方のチャンネルに断続的なビーブ音が再生される。ビーブ音は、周波数 523[Hz]の三角波である。方向転換地点に近づくほどその間隔が短くなる。本研究では 1.0[s], 0.5[s], 0.2[s]の順に変化させる。

誘導情報として進路ずれの修正音が提示される。横ずれ指標の値が一定値を超えている場合にビーブ音が二回提示される。チャンネルについては、先行研究[2]では逸れている方向に提示されるのが良いとされている。しかし、晴眼者や視覚障がい者への事前テストを行った際に後述する方向転換と同様に修正する方向に提示されるのが良いとの意見が得られた。よって本研究では、逸れている方向とは逆の、修正すべき方向に

提示されることとする。周波数と波形方向転換の予告に用いるものと同じである。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. 方向転換時の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自己位置定位や危険予知による認知負荷が少ない。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、連続的なビープ音が再生される。ビープ音の周波数の変化を用いて回転角度が提示される。目標角度とのずれが小さくなるほど、音階に従って周波数が高くなる。波形は三角波である。

誘導情報の提示には、ビープ音のチャンネルを利用する。目標角度とのずれがあるときは、向くべき方向のチャンネルのみからビープ音が提示される。目標角度に到達した場合、左右両方のチャンネルからビープ音が鳴る。

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、終了時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が提示される。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言語音で案内される。直進歩行と方向転換が切り替わる際には、振動が提示される。

5. 被験者実験

5.1. 実験概要

インタフェースを実際に作成して被験者実験を行い、インタフェースのユーザビリティを調査した。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。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。被験者は視覚障がい者二名である(以下被験者 A, B とする)。実際の装着の様子は先行研究[2]を参照されたい。二名とも先天性の全盲で、歩行訓練の経験があった。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。経路は、5つの直進歩行と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。

実験では、はじめに実験の概要と、実験経路について説明した。続いて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。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. 実験結果

被験者 A の歩行軌跡を図1に、各方向転換における回転角度を図2に示す。歩行軌跡は、Structure from Motion の一手法である COLMAP[9,10]を用いて求めたカメラ位置に基づいて作成した。青線で示される reference は目標経路、赤線で示される query は被験者の歩行軌跡である。目標経路からのずれが発生する場面もあったが、目的地への到達に成功した。2つ目、4つ目の直進歩行で横ずれが発生し、その修正を行ったために逆方向の横ずれが発生するといった状態が繰り返し発生した。横ずれ指標算出時のローパスフィルタによる遅延や、進路ずれ修正指示が一定時間ごとに提示されるためだと考えられる。方向転換については、1つ目、4つ目の方向転換終了後の進行方向が目標方向からずれている。本研究では、直進歩行から方向転換時に切り替わった際の向きを初期値として角度を測定する。したがって進行方向のずれが発生している状態で方向転換に切り替わった場合に方向転換終了後もずれたままになると考えられる。

被験者 B の歩行軌跡を図3に、各方向転換における回転角度を図4に示す。屋内区間にて経路誤りが発生し、目的地まで到達することができなかった。3つ目

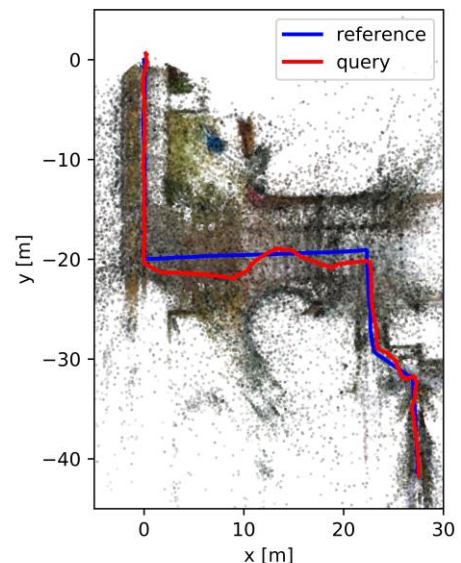


図1 被験者 A の歩行経路

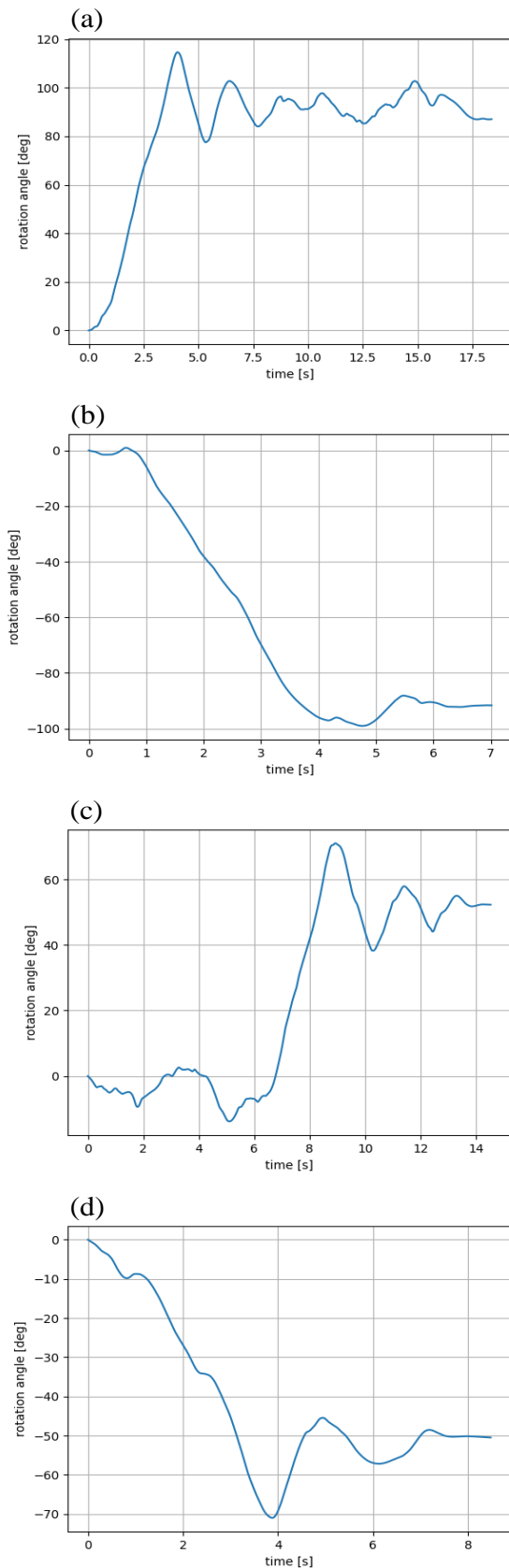


図2 被験者 A の回転角度推移

(a) : 一番目の方向転換, (b) : 二番目の方向転換,
 (c) : 三番目の方向転換, (d) : 四番目の方向転換

の直進歩行までは大きな誤りもなく歩行した。3 つ目の方向転換での回転角度が目標より小さかった。図 4(c)より, この方向転換では一度目標角度を超えており, 向きを修正している途中で方向転換指示が終了していることがわかる。続く 4 つ目の直進歩行では, 区間が短かったため横ずれの修正が間に合わず壁につき当たった。このとき図 5 に示すような特徴量マッチングの失敗による誤推定が発生し, 4 つ目の方向転換へと切り替わった。この方向転換では壁に面する方向に指示がなされ, 被験者は正しい経路を自力で探しはじめた。一度は目標経路の方向に移動したものの, そちらが正しいという確証が得られずに引き返した。結果, 誤った経路に進み, 実験終了となった。

5.3. アンケート調査

本研究では, インタフェースのユーザビリティとして有用性, 聞き取りやすさ, 理解しやすさの 3 点に着目する。提示される指示について, 上記の 3 点について設問を用意し, 1(全くそう思わない) から 7(とてもそう思う) までの 7 段階で回答を求めた。設問の内容と回答結果を表 1 に示す。回答の際には, あらかじめ設問に対して 1 から 7 で回答を求めると, 回答の尺度と意味の対応を口頭で説明した。Q1 から順に設問を読み上げ, 回答間違いがないように尺度と意味を確認しながら回答を求めた。あわせて, 設問に対する回答理由や指示に対する意見を自由回答にて求めた。

直進歩行時の進路修正について, 有用性, 聞き取りやすさ, 理解しやすさに対する設問を Q1~3 のように用意した。二名とも, 各項目で良い評価をつけた。自由回答では, 言語音で提示されるより良いと思うという意見が得られた。

直進歩行時の進路修正について, 有用性, 聞き取りやすさ, 理解しやすさに対する設問を Q1~3 のように

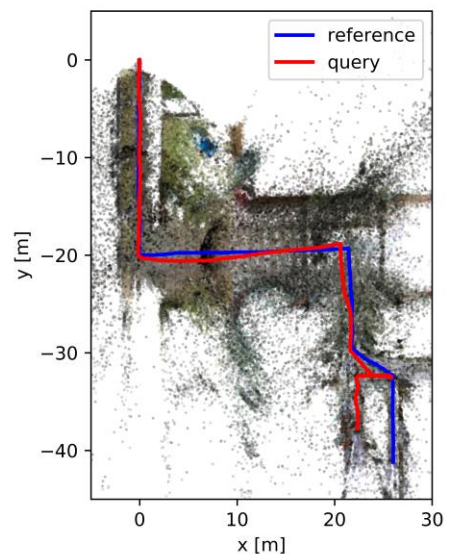


図3 被験者 B の歩行経路

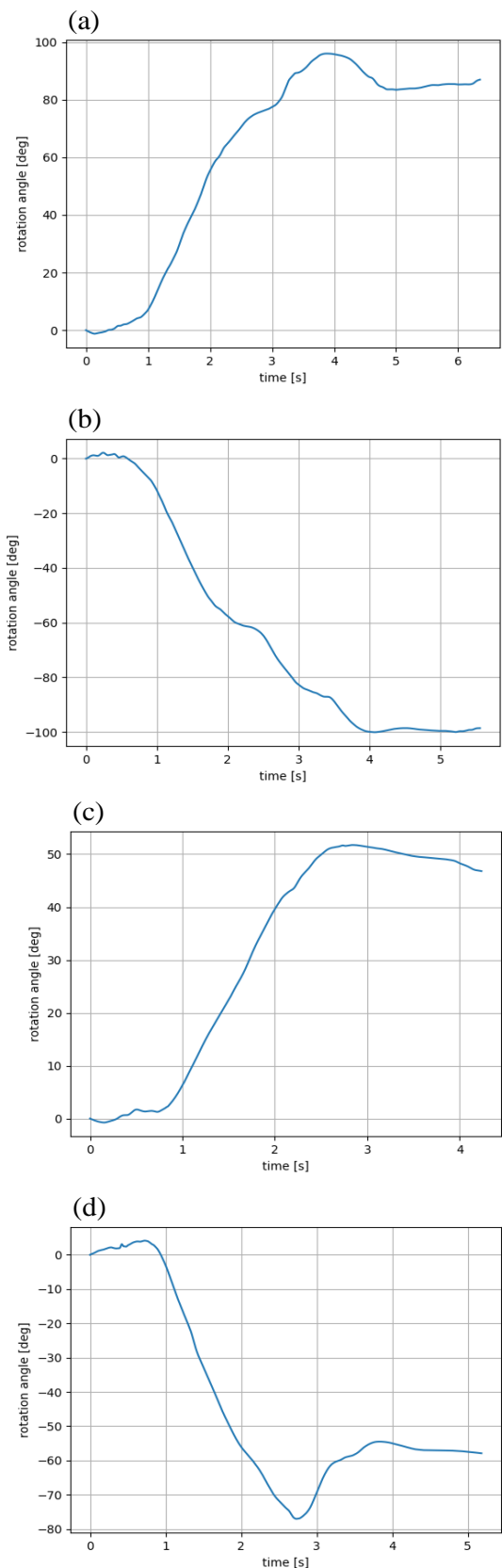


図4 被験者Bの回転角度推移

(a)：一番目の方向転換，b：二番目の方向転換，
c：三番目の方向転換，d：四番目の方向転換)

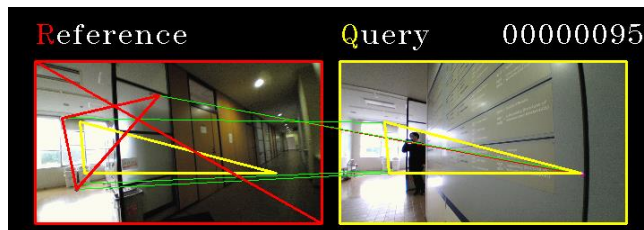


図5 位置推定の失敗例

用意した。二名とも、各項目で良い評価をつけた。自由回答では、言語音で提示されるより良いと思うという意見が得られた。

方向転換の予告について Q4～6 の設問を用意した。二名とも、各項目で良い評価をつけた。自由回答では、非言語音での提示に加えて具体的な距離が言語音などであるとよい、音の高さも変えるとわかりやすいといった意見が得られた。

方向転換時の回転角度指示について Q7～9 の設問を用意した。二名とも、各項目で良い評価をつけた。自由回答でも、非常にわかりやすく新しい考え方である、より正確に方向を確かめられる、屋内の開けた空間などで有効であるといった評価が得られた。改善案として、一度目標角度を向いて音が鳴りやんだ後、歩き出さない限りは複数回目標角度を確認できるとよいという意見が得られた。

ナビゲーション開始時および終了時の音声案内について Q10～12 の設問を用意した。二名とも、各項目で良い評価をつけた。自由回答では言語音は聞きなれているので使いやすく、なじみ深いという意見が得られた。

直進歩行開始時の音声案内について Q13～15 の設問を用意した。二名とも、各項目で良い評価をつけた。自由回答では、曲がり角の近くで再度確認したいという意見が得られた。

切り替わり時の振動について Q16～18 の設問を用意した。これらの設問はやや意見が分かれた。一名は、おおむね良い評価であり自由回答でも“音に集中し、振動はあまり気にしなかったが無くてよいというものでもない。”と回答した。もう一名は中立的な評価であり、自由回答では“歩いている最中に気づきにくく、音の方をよく聞いていた。”と回答した。加えて、“左右にあればよいかもしれない。”との改善案が得られた。

本研究で提案するナビゲーション指示とその提示方法は、有用性、聞き取りやすさ、理解しやすさといった点で高い評価を得ており、視覚障がい者ナビゲーションにおいて有効であることが示唆された。自由回答の結果からいくつかの改善点を得られた。デモに関する設問(Q19, 20)からも、理解しやすいナビゲーション指示であったことが示唆された。

6. おわりに

本稿では、視覚障がい者に向けたターンバイターンナビゲーションにあわせた音と振動による指示の提示方法を提案した。我々が提案するインタフェースを実際に作成し、視覚障がい者を対象とする被験者実験を実施した。アンケートを用いて指示の有用性、聞き取りやすさ、理解しやすさといったインタフェースのユーザビリティを調査した。アンケートの結果、各指示において高い評価が得られた。本研究で提案するナビゲーション指示と提示方法が視覚障がい者ナビゲーションにおいて有効であることが示唆された。

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] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部, “平成 28 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”, 2018.
- [2] 小河原洗貴, 宍戸英彦, 北原格, 亀田能成, “ターンバイターン方式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”, HCG シンポジウム 2019, HCG2019-C-3-3, 6 pages, 2019.
- [3] S. A. Paneels, et al, “The walking straight mobile application: Helping the visually impaired avoid veering,” Georgia Institute of Technology, 2013.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [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] 小河原洗貴, 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実地検証”, 情報処理学会研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ, Vol.2019-ITS-77, No.19, pp.1-2.
- [9] J. L. Schonberger and J. M. Frahm, “Structure-from-Motion Revisited,” The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 4104-4113, 2016.
- [10] J. L. Schonberger, E. Zheng, J. M. Frahm, and M. Pollefeys, “Pixelwise View Selection for Unstructured Multi-View Stereo,” European Conference on Computer Vision, pp. 501-518, 2016.

表 1 アンケートの設定と回答

	被験者 A	被験者 B
Q1. 直進時の進路修正指示は、進行方向を修正する助けになると感じますか？	5	7
Q2. 直進時の進路修正指示を聞き取ることは簡単でしたか？	7	6
Q3. 直進時の進路修正指示の意味を理解することは簡単でしたか？	7	6
Q4. 方向転換の予告音は、進行方向を修正する助けになると感じますか？	7	6
Q5. 方向転換の予告音を聞き取ることは簡単でしたか？	7	6
Q6. 方向転換の予告音の意味を理解することは簡単でしたか？	7	6
Q7. 回転角度指示は、正しい方向を知る助けになると感じますか？	7	7
Q8. 回転角度指示を聞き取ることは簡単でしたか？	7	7
Q9. 回転角度指示の意味を理解することは簡単でしたか？	7	7
Q10. ナビゲーション開始時および終了時の音声案内はそのタイミングを知る助けになると感じますか？	7	7
Q11. ナビゲーション開始時および終了時の音声案内を聞き取ることは簡単でしたか？	7	7
Q12. ナビゲーション開始時および終了時の音声案内の意味を理解することは簡単でしたか？	7	7
Q13. 直進歩行開始時の音声案内は、経路を知る助けになると感じますか？	6	7
Q14. 直進歩行開始時の音声案内を聞き取ることは簡単でしたか？	7	7
Q15. 直進歩行開始時の音声案内の意味を理解することは簡単でしたか？	7	7
Q16. 切り替わり時の振動は、切り替わりを正しく把握する助けになると感じますか？	5	4
Q17. 切り替わり時の振動を感知することは簡単でしたか？	7	5
Q18. 切り替わり時の振動の意味を理解することは簡単でしたか？	7	4
Q19. デモで十分にナビゲーション指示を理解することができましたか？	7	6
Q20. 実際に歩行した際に、指示の意味が分からなくなってしまうことはありましたか？	1	2