

One-Shot Wayfinding System: 360度スマートフォンカメラと矢印分析を用いた視覚障害者のための公共施設における方向決定支援システム

山中 優太郎* 粥川 青汰† 高木 啓伸‡ 長岡 雄一§ 平塚 義宗¶ 栗原 聡*

概要. 本研究は駅や空港等の公共施設内において視覚障害者による目的地への方向決定を支援するスマートフォン型システムを提案する。公共施設内に設置される誘導サインは、矢印と目的地の情報を掲示することで目的地への方向を晴眼者に示すが、視覚障害者はその情報を利用できない。提案手法はスマートフォンに接続した360度カメラにより撮影された1枚の全周囲画像からユーザ周辺の誘導サイン上の文字と矢印の検出および文字と矢印の関係性の分析を行うことで目的地への方向を推定する。したがって提案手法は、施設へのセンサの設置や地図等の事前準備を必要とせずに視覚障害者の方向決定支援を実現する。本研究では通常のスマートフォンカメラを用いて誘導サインを読み上げる比較手法を実装し、8名の視覚障害者を対象に提案手法との比較実験を行った。実験の結果、提案手法は比較手法よりも少ない回転量で素早く目的地への方向決定が可能であることを確認した。

1 はじめに

駅や空港といった公共施設内には目的地への方向を示す誘導サインが設置されているが、視覚障害者はサインが示す情報を認識できず、経路の分岐点における目的地への方向決定 (Wayfinding) に役立てることができない。光学的文字認識 (OCR) を用いてサイン上の文字も認識可能な支援システム [9] が提案されているが、視覚障害者が対象のサイン全体を撮影するのは難しい [4]。そのため、システムから必要な情報が得られなかった際に、ユーザは周りに目的地に関するサインがないか、あるいはカメラを適切な方向に向けられていないかの区別が難しい。

そこで本研究は、ユーザが360度スマートフォンカメラを用いてカメラ姿勢を気にせず1回撮影するだけで、周囲の全ての誘導サインを認識可能な方向決定支援システムを提案する (図1)。誘導サインを方向決定に利用するためには文字に加え矢印も分析する必要がある。例えば図1-①に示したように、右矢印つきのサインはサインに対して右方向に目的地があることを示している。そこで提案手法は撮影された全周囲画像 (Equirectangular 画像) からOCRを用いた文字検出に加え、物体検出手法 [8] を用いた矢印検出を行い、検出された文字と矢印を最小全域木を用いて対応付ける。最小全域木を構築する際、ある矢印の上にある文字は矢印の下にある文字よりも矢印との関連性が低い、などの傾向に

基づき、辺の重みを設計した。この結果、図1-2の“Departures”は左矢印に、“Arrivals”は右矢印にそれぞれ対応付けられる。対応付けの結果をもとにユーザの向きに対する目的地の方向を推定し、「3時方向 Arrivals」のように音声で指示を与える。また、ユーザが指示された方向を向いた時にスマートフォンを振動させることで正確な方向決定を支援する。

本研究では、通常のスマートフォンカメラを用いてサインの文字と矢印を読み上げるシステムを比較手法として実装し、8名の視覚障害者による提案手法との比較実験を行った。COVID-19対策として本研究では、事前に空港と駅で撮影した全周囲画像を使用して、施設内での方向決定のタスクを再現した。実験から、(1)提案手法は比較手法よりも余分に回転することなく素早く方向を決定できること、(2)参加者は提案手法が方向決定においても有用である感じる、という結果が得られた。

2 関連研究

ユーザがスマートフォンを用いて撮影した画像から周囲の環境を認識するシステム¹が提案されている。カメラを用いるシステムはマーカやセンサなどを空間に設置する必要が無い利点がある。しかしながら視覚障害者にとって、撮影対象の物体全体をカメラで捉えることは難しく [4]、撮影時に身体の向きを頻繁に変えると方向感覚を失う可能性がある [5]。そこで提案手法は、ユーザが360度カメラで1回撮影した画像を使用し、カメラをサインに向けずに方向決定ができるように支援する。

また、サインの文字を検出し、方向決定に利用するシステムが提案されている [9]。しかしながら、左

Copyright is held by the author(s).

* 慶應義塾大学

† 早稲田大学

‡ IBM Research

§ 東京視覚障害者生活支援センター

¶ 順天堂大学

¹ <https://www.microsoft.com/en-us/seeing-ai>

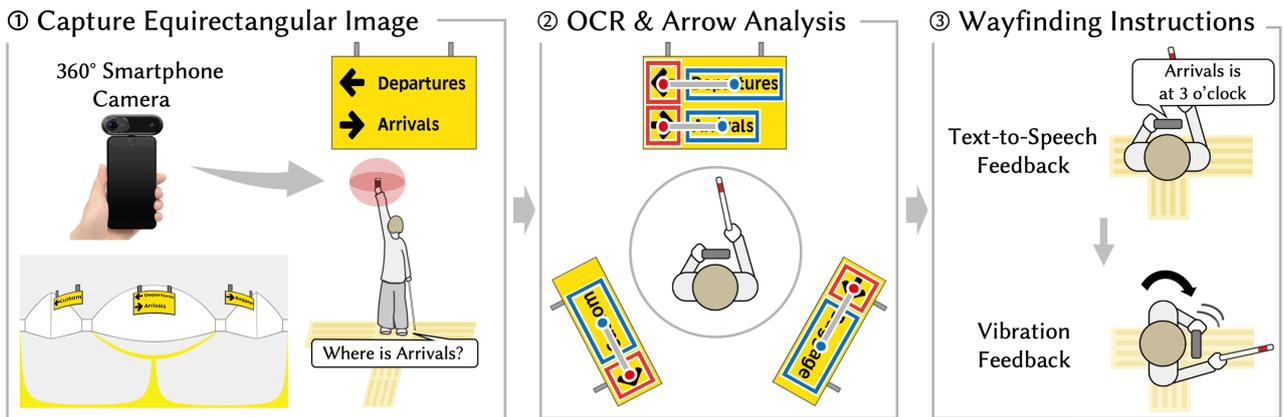


図 1. 提案手法の概要図.

右の矢印も掲示された誘導サインはサインの設置方向と目的地への経路が一致しないため、サインの文字情報を伝えるだけでは方向決定ができない。そこで提案手法はサインの矢印も検出し、文字情報を矢印に対応付けることで、目的地への方向を推定する。

視覚障害者向け案内手法では音声や触覚による指示が多く採用されている。Loomisら [7] は、時計方向による指示で視覚障害者を目的地まで誘導できることを示した。一方で、視覚障害者が自力で方向を細かく調整することは難しく [10]、頻繁な音声フィードバックは環境音を妨害し、視覚障害者の認知負荷を増加させる可能性が指摘されている [2]。そこで提案手法は時計方向による音声の指示と振動フィードバックを組み合わせた指示方法をデザインした。

3 提案手法

本研究は公共施設の点字ブロック上を歩く視覚障害者が分岐に差し掛かった際に、目的地がどちらの方向にあるかを指示する方向決定支援システムを提案する。ユーザはまず音声入力を用いて目的地をシステムに登録する。次にユーザの後方も写るように頭上にスマートフォンを掲げて全周囲画像を1枚撮影する。システムは画像から文字と矢印を認識し、文字と矢印の関係性を分析(矢印分析)することで、ユーザの向きに対する目的地への方向を推定する。システムは推定した方向を音声と振動による指示を用いてユーザに伝え、ユーザはシステムからの指示および点字ブロックや壁といった周囲のランドマークを考慮して最終的に進む方向を決定する(図1-3)。

提案システムは、**Web API**(全周囲画像の前処理、矢印検出、OCR、矢印分析)とスマートフォンインタフェース(目的地の方向推定およびユーザへの指示)から構成される。本研究は360度カメラとしてInsta360 ONE²を使用し、iPhone6³に取り付

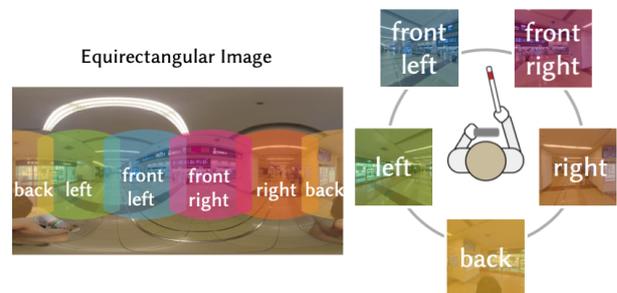


図 2. 全周囲画像からキューブマップ画像への切り出し。

けた。撮影された全周囲画像は、カメラに内蔵されるジャイロセンサにより水平方向に補正されるため、ユーザはスマートフォンの傾きに注意を払うことなく撮影が可能になる。撮影された画像はサーバ上のWeb APIに送信される。

3.1 全周囲画像の前処理

全周囲画像は歪みがあるため、正確に矢印検出を行うためにキューブマップ画像を作成する。キューブマップの境界で矢印が見切れてしまうことを防ぐために、提案手法は全周囲画像を水平方向に重複する領域を持つ5個のキューブマップ画像(front left, front right, left, right, back)に分割する(図2)。提案手法はキューブマップ画像全てを用いて矢印検出を、全周囲画像とbackのキューブマップ画像を用いてOCRを行う。

3.2 矢印検出とOCR

矢印検出は物体検出手法(Yolov3 [8])を用いて行う。Open Images Dataset[6]とFlicker API(Creative Commonsの画像のみ)から矢印が写る画像を集め、4つのラベル(前, 下, 右, 左)でアノテーションを行い、モデルを学習させた。提案手法は5つのキューブマップ画像から矢印を検出し、各矢印の全周囲画像における位置を取得する。キューブマッ

² <https://www.insta360.com/product/insta360-one>

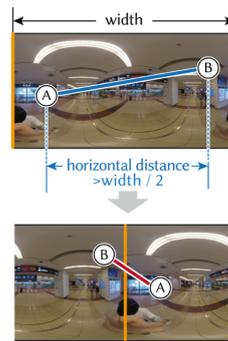
³ <https://support.apple.com/kb/sp705>

a) Definition of Edge Weights

$$Weight_{A \rightarrow B} = \lambda_1 (A_x - B_x)^2 + \lambda_2 (A_y - B_y)^2$$

Edge Type	$\begin{cases} A_x \leq B_x \\ A_y \leq B_y \end{cases}$	$\begin{cases} A_x \leq B_x \\ A_y > B_y \end{cases}$	$\begin{cases} A_x > B_x \\ A_y \leq B_y \end{cases}$	$\begin{cases} A_x > B_x \\ A_y > B_y \end{cases}$
Example				
(λ_1, λ_2)	(1, 1)	(1, 50)	(4, 1)	(4, 50)

b) Edge Design



c) Arrow Analysis Result

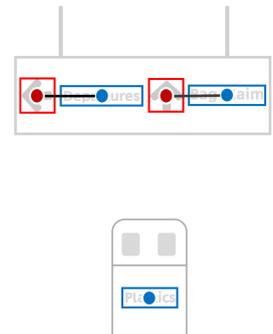


図 3. 矢印分析の概要： a) 辺の重みの定義， b) ノードの位置関係による重みの再計算， c) 矢印分析の結果。

ブ画像で重複した領域で同じ矢印が検出された場合は、予測時の確信度が高いものを採用する。

提案手法は文字検出を行うために Google Cloud Vision API⁴で提供される OCR パッケージを利用する。全周囲画像に加えて、back のキューブマップ画像も OCR の入力にすることで全周囲画像の両端で分割された文字も検出する。矢印検出と同様に、検出された文字の全周囲画像における位置を取得する。

3.3 矢印分析

検出した矢印と文字を紐づけるために、提案手法は最小全域木を構築する。具体的にはまず、検出された矢印と文字の矩形領域の中心座標をノードとした有向グラフを構築する。この際に文字ノードと矢印ノード、文字ノード同士には辺を張るが、矢印ノード同士には辺を張らない。次に2つのノードの位置関係と辺の長さに基づいて、辺の重みを定義する(図3-a)。左から右方向に書かれる言語では、誘導サインにおいて矢印の右側に文字が掲示されることが多いため[1]、あるノードから左や上のノードに繋がる辺にはより大きい重みを与えた。また全周囲画像においてノード同士の水平距離が全周囲画像の横幅の半分よりも大きい場合は、画像を180度分だけシフトさせ、辺の重みを計算し直す(図3-b)。提案手法は各矢印ノードに重み0の辺で繋がるノードを追加し、このノードから最小全域木を構築する。構築した全域木から重みが0または5000以上の辺を削除することで、矢印ノードを根、文字ノードを子とした木が矢印ノードの個数分だけ得られる(図3-c)。提案手法では根の矢印ノードのラベル(前、下、左、右)が子の文字ノードの方向を示すとす

3.4 矢印検出と矢印分析の評価

矢印検出と矢印分析の評価およびユーザ実験での使用を目的として、本研究では空港と駅の点字ブロックの分岐地点で撮影した全周囲画像104枚(空

港: 43枚, 駅: 61枚) からなるデータセットを構築した。各画像に対して分岐地点での方向決定に関する誘導サインの矢印の領域とその方向を示すラベル、そして矢印がカバーするサイン上の領域をアノテーションした。

矢印検出に関して mAP (Mean Average Precision) を測定したところ、空港は71.0%、駅は72.8%、全体では71.9%であった。

矢印分析の評価のために、OCRで検出された文字に関して以下の分類をおこなった：

- TP : サイン上の文字が正しい矢印に紐づいた。
- FP_1 : サイン上の文字が誤った矢印に紐づいた。
- FP_2 : サイン上にない文字が矢印に紐づいた。
- FN : サイン上の文字がどの矢印にも紐づかなかった。
- TN : サイン上にない文字がどの矢印にも紐づかなかった。

以上の分類を元に、矢印分析全体の精度として $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP_1+FP_2+FN+TN}$ を、サイン上の文字が正しい矢印に紐づいたかに注目した精度として $Precision_1 = \frac{TP}{TP+FP_1}$ を計算した。 $Precision_1$ の値が低い場合、つまりサイン上の文字の多くが誤った矢印に紐づいた場合、方向決定支援において重大なミスとなる。評価の結果、空港と駅における矢印分析の $Accuracy$ はそれぞれ82.0%と73.4%、 $Precision_1$ は91.4%と80.0%であった。

3.5 誘導サイン上の文字の方向推定

矢印分析完了後、Web APIは矢印の位置と向きのラベル、そして矢印に紐づいた文字情報をシステムに返す。結果を元に提案手法は目的地への方向推定をおこなう。提案手法では図4に示したように以下の二つの角度を定義する：**Angle to Arrow**: 全周囲画像の中心に対する矢印の中心への角度、**Arrow Context Angle**: 矢印の予測ラベルに基づく角度(前/下: 0度, 左: -90度, 右: 90度)。システムは

⁴ <https://cloud.google.com/vision/docs/ocr>

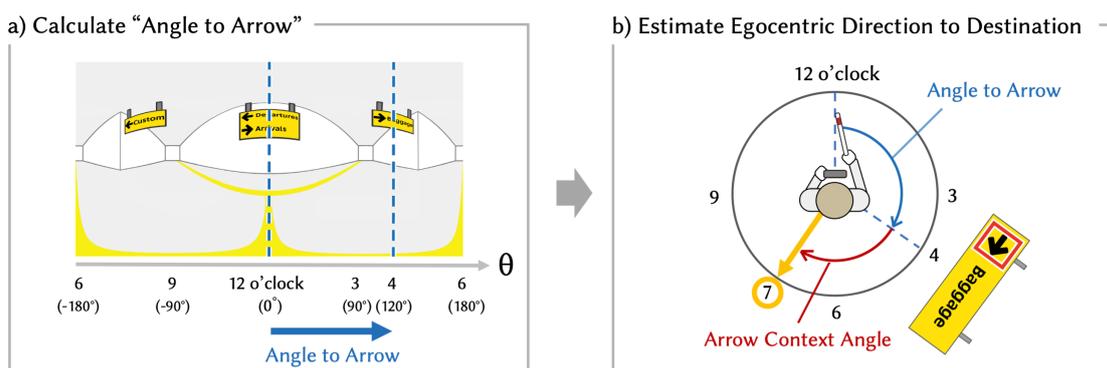


図 4. 誘導サイン上の文字の方向推定.

Angle to Arrow に Arrow Context Angle を足すことで、ユーザの向きに対する目的地への方向を推定する (図 4-b)。

3.6 ユーザインタフェース

提案手法は時計方向による音声の指示と振動フィードバックを組み合わせることで推定された目的地への方向をユーザに伝える。例えばユーザが“Arrivals”とシステムに登録し、推定された方向がユーザの向きに対して 120 度右であった場合、システムは“4 時方向 Arrivals”と読み上げる。ユーザが向きを変更する間、システムはスマートフォンのジャイロセンサを用いてユーザの向きをリアルタイムに取得する。ユーザが指示された方向に向いた際には、システムはスマートフォンを振動させることでユーザに対して正しい方向を向いていることを通知する。

システム操作のインタフェースとして、スマートフォンの画面に以下の 3 つのボタンを配置した：

Record：画面上部に配置されたボタン。音声入力を用いて目的地を登録する。

Capture：画面左下に配置されたボタン。全周囲画像を撮影する。

All：画面右下に配置されたボタン。矢印に紐づいた全ての文字を読み上げる。

ユーザは Record ボタンで目的地を登録し、分岐に差し掛かるたびに Capture ボタンを押して周囲の画像を撮影し、方向決定を行う。登録した目的地に関する音声フィードバックが無い場合、ユーザは All ボタンを押して周囲の看板の文字情報を認識し、他に方向決定に有用なキーワードがないかを確認する。

4 ユーザ実験

8 名の視覚障害者 (男性 5 名, 女性 3 名, 平均年齢 46.4, 全盲 3 名, Legally Blind 5 名) を対象にユーザ実験⁵を行い、提案手法の有用性を検証した。本実験ではスマートフォンに内蔵のカメラを使用し

て誘導サインをリアルタイムで読み上げるシステム (比較手法) を実装し、提案手法との比較を行った。

4.1 実験手順

本研究では COVID-19 対策として、事前に駅および空港で撮影した全周囲画像のデータセット (節 3.4) を使用し、実験室内で方向決定の場面を再現した。実験では使用する画像ごとに撮影地点と同じ配置の点字ブロックの分岐を研究室の床に敷き、目的地へ向かう点字ブロックを選択するタスクを参加者に与えた。データセットの中から、1) 建物 (空港または駅)、2) 参照する誘導サインがある方向 (参加者のタスク開始時の向きに対して前後左右のいずれか)、3) 点字ブロックの分岐数 (3 または 4) の 3 つの条件が同じ 8 対の画像を選択し、8 枚の画像からなるサブセット A, B を用意した。参加者をグループ X, Y に分け、グループ X はサブセット A を提案手法、サブセット B を比較手法を用いてタスクに取り組み、グループ Y は X とは逆の手法を使用した。

参加者は点字ブロックの分岐の上に立ち、タスクごとに実験者から目的地の情報を伝えられる (例: 「Arrivals の方向にある点字ブロックを選んでください」)。参加者は事前に目的地が登録されたそれぞれのシステムを用いて目的地へ伸びる点字ブロックを決定し、実験者に口頭で伝える。

4.2 提案手法と比較手法

提案手法は参加者が Capture ボタンを押した際に、iOS の API を用いて設置した点字ブロックに対するカメラの姿勢を取得する。取得したカメラの姿勢の分だけ事前に撮影した全周囲画像を θ 方向にずらすことで、施設内の点字ブロックの分岐地点で参加者が撮影した全周囲画像を研究室内で再現する。この画像を入力として目的地への方向を推定し、ユーザに伝達する。

比較手法は参加者が使用する間のカメラの姿勢を iOS の API を用いてリアルタイムに取得し、全周囲画像上で画角 (水平方向: 100 度, 垂直方向: 80 度) に入る目的地と全ての矢印のラベルを読み上げ

⁵ 慶應義塾大学 生命倫理委員会承認済み (番号 2020-69)

る。複数の矢印が画角に入る際は、左上から右下の順番で読み上げる。本実験では事前に各画像についてOCRと矢印検出を行うことで、システムが目的地と矢印をリアルタイムに読み上げるように実装した。

4.3 評価指標

実験では各システムに対し、8回のタスクで正解の点字ブロックを選んだ回数の割合をタスク正解率として計算した。また各タスクの開始から点字ブロックの選択までに経過した時間をタスク完了時間として測定した。提案手法はWeb APIに画像を送信してOCRおよび矢印検出を含む処理を行うが、比較手法は事前にOCRおよび矢印検出を行っているため処理時間がほとんどない。そこで本実験では、提案手法の処理時間（APIの処理時間とAPIとの通信時間）を除いたタスク完了時間も測定した。また実験中はスマートフォンのジャイロセンサを用いてユーザが正解の点字ブロックを選ぶときの参加者の回転量を測定し、理想の回転量（ユーザの実験開始時の向きから正解の点字ブロックまでの角度）との差分の絶対値をタスクの回転効率として計測した。この値が小さいほどユーザは余分な回転を行うことなく方向を決定できたことを表し、またユーザが回転によって方向感覚を失うリスクも低減する[5]。主観評価指標として、全てのタスクが完了後にSystem Usability Scale (SUS) [3]のアンケート調査および各手法の利点欠点に関するインタビューを行った。

5 結果

5.1 タスク正解率、完了時間、および回転効率

提案手法のタスク正解率(93.8%)は比較手法(75%)よりも高かったが、Wilcoxonの符号順位検定(有意水準5%)を用いて比較したところ、本実験では有意差は認められなかった($p = 0.057$)。

図5に各手法と誘導サインの位置ごと、およびそれらをまとめたタスク完了時間の平均と95%信頼区間を示した。Wilcoxonの符号順位検定(有意水準5%)を行ったところ、提案手法のタスク完了時間(処理時間を除く)は比較手法よりも短くなった($p < 0.0001$)。またサインの位置が参加者の後方にある場合は、処理時間を含んだタスク完了時間においても提案手法は比較手法よりも有意にタスク完了時間が短くなった($p = 0.004$)。提案手法に関する処理時間の平均と標準偏差の値は、通信時間が 1.01 ± 0.62 秒、Web APIでの処理時間が 6.91 ± 0.78 秒、全処理時間が 7.92 ± 0.88 秒であった。

提案手法におけるタスクの回転効率の平均と標準偏差は 66.6 ± 94.3 度、95%信頼区間は40.1–93.1度となった。また比較手法は回転効率の平均および標準偏差が 110.1 ± 98.3 度、95%信頼区間は81.6–138.7度であった。Mann-WhitneyのU検定を用

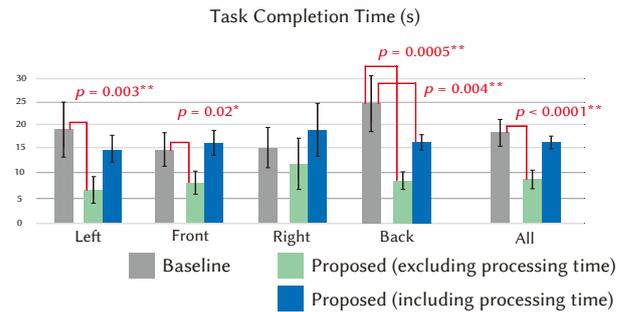


図5. タスク完了時間。

いて比較したところ、提案手法は比較手法よりも余分な回転量を伴うことなく点字ブロックを選択可能であることが明らかになった($p = 0.00095$)。

5.2 主観評価

それぞれのシステムのSUSスコアの平均と標準偏差は提案手法が 78.4 ± 13.1 、比較手法が 63.4 ± 25.3 であった。また8名中6名(P2, P3, P5–P8)において、SUSスコアは提案手法の方が高くなった。

6名の参加者(P3–P8)が、誘導サインの内容を読み上げるシステムは方向決定に役立つと述べた：A1:「公共空間での単独歩行に自信がないため、サインの内容を読み上げて目的地への方向を教えてくれるシステムを使いたい。」(P3)。6名の参加者(P2, P3, P5–P8)は、提案手法がサインの方向に体を向けずに方向を決定できる点を高く評価した：A2:「2番目のシステム(比較手法)はその場で回転するために自分の中で方向がわからなくなると感じたが、1番目のシステム(提案手法)は様々な方向に体を向ける必要がないのが良い。」(P5)。一方でP4は、ユーザ自身が周囲のサインにカメラを向ける比較手法を好んだ：A3:「1番目のシステム(比較手法)は自分の向いている方向にあるサインの内容を読み上げるので、自分の動きと一致して自然な使い方ができる。」(P4)。

6名の参加者(P2, P3, P5–P8)は提案手法の指示方法を高く評価した：A4:「2番目のシステム(提案手法)は直感的に指示された方向を理解することができたが、1番目のシステム(比較手法)はサインの方向に向いた後に目的地の方向を考える必要があるため時間がかった。」(P2)。一方でP1は、比較手法が右/左といった単純な方向の指示で案内する点を評価した：A5:「時計の位置での指示は自分にとっては理解しにくい。2番目のシステム(比較手法)の方向指示の方が直感的に理解することができた。」(P1)。

半分の参加者(P2, P4–P6)が360度カメラの重量に関して否定的な評価をした。また、P3からA6:「実環境でシステムを使わないと本当にどちらが良いのか比較できない」というコメントを得た。

6 議論

6.1 提案システムの有効性

ユーザ実験の結果より、提案手法は比較手法に比べてユーザが余分な回転をせずに方向を決定できることが明らかになった。参加者からも提案手法が身体の向きを変える必要が無く、方向を見失うリスクを抑えられる点を評価された (A2)。

また、比較手法はユーザが読まれた矢印に応じて自分で正しい方向を決定する必要があったのに対し、提案手法は目的地の方向を推定してユーザに提示した (A4)。この違いおよび先述した余分な回転が必要でない点が、提案手法の方がタスク完了時間が短くなった結果につながったと考えられる。

6.2 より高精度な目的地の方向推定

提案手法では矢印分析を行う際に、誘導サインはユーザに正対していると仮定し、右または左の矢印はそれぞれ誘導サインからみて右または左 90 度の方向にある目的地を示すと考え (Arrow Context Angle)、目的地への方向を推定した。提案した推定方法を用いた場合、多くの参加者は正しい方向の点字ブロックを選ぶことができたが (93.8%のタスク正解率)、推定された方向が点字ブロックの分岐のちょうど間の方向となった際に参加者は間違った点字ブロックを選ぶ場合があった。方向推定の精度を向上させる改善案としては、撮影した全周囲画像から点字ブロックや通路の壁など方向決定に役立つ物体を検出することや、深度センサを用いて誘導サインの角度を測定することなどが考えられる。

6.3 実環境での実験

また P3 が述べたように (A6)、本研究で実験を行った研究室内の環境と公共施設の実環境では多くの差がある。例えばエコロケーションや環境音、空気の流れや通行人の気配など視覚障害者が移動する際に活用する感覚、照明条件の違いや通行人によるサインの遮蔽が引き起こす認識精度の低下は研究室内で再現することができない。今後は実際の公共施設内で実際にユーザに移動してもらいながらシステムの評価実験を行うことで、実環境により適したインタフェースやアルゴリズムの実装を検討していきたい。具体的には、提案手法の処理時間の削減、社会受容性が高くかつユーザの負担を減らすシステムのデザイン (360 度カメラの装着方法など)、ユーザの O&M (Orientation and Mobility) スキルに合わせた指示方法のデザインなどが挙げられる。

7 まとめ

本研究は 360 度スマートフォンカメラを用いて視覚障害者の周囲にある誘導サインを認識する方向決定支援システムを提案した。提案手法は撮影した全

周囲画像からサインの上の文字と矢印の検出およびそれらの関係性の分析を行い、サインに書かれた目的地への方向を推定する。提案手法は時計方向を用いた音声の指示とユーザがその方向を向いた際に振動するフィードバックを組み合わせることで目的地への方向をユーザに伝える。通常のスマートフォンカメラを用いた比較手法との比較実験の結果、提案手法は比較手法よりも余分な回転をせずにすばやく目的地への方向を決定できることを確認した。今後は実環境での実験を通して、実環境での使用により適した案内方法や方向推定のアルゴリズムを検討していきたい。

謝辞

本研究は AMED 研究費 20dk0310108「ロービジョンケアの連携と最適化推進に関する研究」、JSPS 科研費 (JP20J23018)、早稲田大学理工学術院総合研究所若手研究者支援事業 (アーリーバードプログラム) の助成を受けた。また日本空港ビルデング株式会社、東日本旅客鉄道株式会社から協力を得た。

参考文献

- [1] Wayfinding Guidelines International Health Facility Guidelines.
- [2] S. Azenkot, et al. Smartphone Haptic Feedback for Nonvisual Wayfinding. In *ASSETS '11*, p. 281–282.
- [3] J. Brooke. SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry '96*, p. 189.
- [4] C. Jayant, et al. Supporting Blind Photography. In *ASSETS '11*, p. 203–210.
- [5] S. Kayukawa, et al. Guiding Blind Pedestrians in Public Spaces by Understanding Walking Behavior of Nearby Pedestrians. *The Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 4(3).
- [6] A. Kuznetsova, et al. The Open Images Dataset V4: Unified image classification, object detection, and visual relationship detection at scale. *International Journal of Computer Vision '20*.
- [7] J. M. Loomis, et al. Spatial updating of locations specified by 3-D sound and spatial language. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition '02*, p. 28:2:335.
- [8] J. Redmon, et al. Yolov3: An incremental improvement. 2018.
- [9] M. Saha, et al. Closing the Gap: Designing for the Last-Few-Meters Wayfinding Problem for People with Visual Impairments. In *ASSETS '19*, p. 222–235.
- [10] D. Sato, et al. NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based Blind Indoor Navigation Assistant with Semantic Features in a Large-Scale Environment. In *ASSETS '17*, p. 270–279.