

# 空間音響を用いた視覚障がい者のための 屋内ナビゲーション手法の設計と実装

玉渕誠人<sup>t1</sup> 阿部亨<sup>t1,t2</sup> 菅沼拓夫<sup>t1,t2</sup>

**概要:** スマートフォンや携帯型タブレット端末の高性能化・普及に伴い、モバイルデバイスを用いた視覚障がい者向けの屋内ナビゲーションシステムに関する研究が進んでいる。従来の屋内ナビゲーションでは、視覚障がい者の聴覚機能を活用したシステムが多く提案されているが、音声案内などの言語的音声の使用はユーザの認知負荷が高く、多くの情報を扱うナビゲーションタスクには不向きである。またビープ音などの非言語的音声は経路誘導に有効のだが、音源が複数存在するとユーザに混乱を与えてしまい、ナビゲーションの効率が低下する恐れがある。そこで本研究では、バーチャルな音源による空間音響を適用したユーザインタフェースを用い、非言語的音声である Sonification によって屋内環境での経路誘導を可能にしつつ、Sonification に加えて言語的音声である Text-to-Speech を併用して、障害物への近接状況を警告する屋内ナビゲーション手法を提案する。本発表では提案手法の設計と、設計に基づき作成したプロトタイプの実装の詳細、および実現可能性を検証するために実施した予備実験について述べる。

## 1. はじめに

日本における視覚障がい者の数は平成 28 年度時点で約 31.2 万人であると推計されている [1]。人間は視覚によって周囲環境の情報の大部分を得ており、この機能を失っている場合日常生活の歩行が困難になるため、それを支援するためのナビゲーションシステムの開発が試みられている。例えば、現在位置から目的地まで歩いて向かう際、目的地の方角・距離・経路を適切に把握し、壁や障害物など周囲の環境を考慮して歩行する必要がある。しかしこれらの行動は視覚障がい者にとって非常に難易度が高いため、視覚機能を用いずに周囲環境に関する様々な情報を伝達し、空間をより効果的にナビゲートする方法が研究されている。

視覚機能を使用せずに周囲の状況を伝達してナビゲートする手段として、触覚機能・聴覚機能などの、視覚障がい者が正常に利用できる感覚を活用する手法が考えられてきた。触覚機能を用いた代表的な手法としては、白杖や盲導犬、点字の活用などが挙げられる。触覚器官を通じた情報提示は半径数 m といった近距離環境の把握に適しており、学習時間も比較的短く済むことから広く普及しているが、目的地の方角や経路誘導といった広範囲の空間環境の把握や、障害物の提示など複数の情報の扱いには適していない。

一方、聴覚機能を用いた手法では、言語音声による指示

(Text-to-Speech) や、非言語的な音 (Sonification) による情報提示が挙げられる。Text-to-Speech は通知したい内容を音声メッセージとして知らせる手法であり、博物館のアナウンスなど一般的に広く普及している。Sonification は短いサウンドや効果音といった非言語的音声を用いる手法であり、周波数・再生速度・音質などを変化させることで複数の情報を伝達することが可能である。

視覚障がい者は普段から周囲状況の把握に聴覚機能を用いているため、効果的なナビゲーションが可能であると考えられている。しかし Text-to-Speech を用いた誘導方法では、音声メッセージの意味を解釈するステップが必要であり、ユーザの認知負荷が高くなる点、音声メッセージを提示する適切なタイミングの設定が困難である点が課題として挙げられる。また Sonification を用いた誘導手法では、複数の Sonification が存在する場合にそれぞれの音がどんな意味を表しているのか判断する必要があり、ユーザの混乱をきたすという問題が挙げられる。

視覚障がい者の効果的な屋内ナビゲーションを実現するために、本研究では、空間音響によるユーザインタフェースを用い、Sonification と Text-to-Speech の両手法の利点を生かしつつ欠点を補い、適材適所に両手法を適用する屋内ナビゲーション手法を提案する。空間音響とは、物理的にスピーカーを置かずにバーチャルな音源を設置することで、あたかもそこにスピーカーが存在するかのようにヘッドフォンやイヤホンから音を出力する技術の事を指す。具

<sup>t1</sup> 現在、東北大学大学院情報科学研究科

<sup>t2</sup> 現在、東北大学サイバーサイエンスセンター

体的には、目的地までの経路誘導には空間音響化された Sonification のみを用い、また、障害物の警告には同様に Sonification と Text-to-Speech を使用する手法を提案する。Sonification は多次元の情報を扱うことができるため、少数の音源で経路誘導や目的地の方向を提供することができる。また Text-to-Speech の認知負荷の大きさを生かし、緊急性の高い障害物警告に活用することができる。と考える。

本発表では、提案手法の設計と、設計に基づき作成したプロトタイプの実装の詳細、および実現可能性を検証するために実施した予備実験について述べる。具体的には、まず、Sonification を活用した目的地までの経路誘導及び障害物接近を示すアラートが視覚障がい者にとって有効であるかを確認するために、プロトタイプを作成し予備実験を行った。また、LiDAR 搭載のモバイルデバイスを用いて周囲の壁を検知し、検出した位置に空間音響化された Sonification を割り当てることでユーザに壁の接近を警告することが可能であるかを検証した。

## 2. 関連研究

### 2.1 触覚器官を利用した経路誘導

多くの視覚障がい者は、白杖を用いることで点字ブロックを認識したり、壁や障害物の存在を確認したりしている。このためナビゲーションタスクにおいて、視覚機能の代用として触覚器官を用いることは一般的であり導入のハードルが低いと考えられている。文献 [2] では白杖に RFID リーダーを取り付け、点字ブロックに埋め込まれた RFID タグを読み取ることで現在位置を取得し誘導を行っている。文献 [3] ではウェアラブルな指点字インターフェースを活用してユーザの位置や方向を示すことでナビゲーションを可能にしている。

しかし触覚器官による情報提示はユーザの周囲数 m 程度の範囲で特に有効であり、目的地の方向や経路誘導といった広範囲の空間環境の把握や障害物の提示など、複数の情報の扱いには適していない。またナビゲーションタスクを遂行するために開発された触覚デバイスの用意が必要であり、利便性・拡張性に欠けるといった課題がある。

### 2.2 聴覚器官を利用した経路誘導

#### (1) Text-to-Speech の活用

Text-to-Speech は言語的音声によってユーザに情報を提示する手法であり、カーナビゲーションにも応用されている誘導方法である。このため視覚障がい者のためのナビゲーションに対しても広く活用されている [4-7]。文献 [4] では GPS による現在位置と地理情報システムによって周辺情報やルート情報を収集し、目的地の方向や距離の情報を合成音声によってユーザに提示することでナビゲーションを可能にしている。文献 [5] ではユーザの進行方向をアナログ時計の文字

盤に対応させて指示するクロックポジションを用いることで、より直観的かつ具体的な誘導を可能にしている。

しかし Text-to-Speech による誘導では、音声案内を聞き取り意味を解釈するステップが必要であるため、ナビゲーションような周囲の状況を確認しつつ移動する認知負荷が大きい状況には適していないという課題がある [8]。また視覚障がい者は自分が正確な方向に道を歩くことができているか不安になることが多いため [5]、Text-to-Speech による誘導では状況に合わせた安全な歩行が困難であるという課題が挙げられる。

#### (2) Sonification の活用

Sonification は非言語的音声によってユーザに情報を提示する手法であり、音の周波数・再生速度・音質等を変化させることで複数の情報を伝達することが可能である [7-13]。文献 [8] では目的地へ向かう経路上のウェイポイントに空間音響化したビーコン音源を配置し、移動に必要な距離や方向を簡潔に提示している。文献 [9] では障害物の位置に空間音響化した Sonification を設置して位置情報を伝達すると同時に、音源の周波数の高低を変化させることで障害物の高さを表している。また Sonification は単純に音源を空間音響化して配置するものだけでなく、対象の物体に関連する音を音源として提示する Auditory Icons [14]・Earcons [12] や、短い Text-to-Speech を瞬間的に流し Sonification として扱う Spearcons [13] などが考案されており、目的や用途に応じて使い分けができる。

Sonification は多くの情報を伝達することができる一方で、複数の障害物に多種類の Sonification を割り当てると、どの音源がどんな意味を成しているのか理解するのに混乱してしまう恐れがある。

また多くの既存研究では Sonification の提示方法として、目的地へ向かう経路上のウェイポイントに配置するというターンバイターン方式をとっているが、文献 [15] によると空間音響を用いた誘導手法は複数存在し、これらの手法のうち、実際にどれが効果的かは未検証である。

## 3. 提案

### 3.1 屋内誘導における Sonification の提示

屋内環境を移動する際、周囲環境の理解を阻害することなく目的地の方向・距離などを示すことが必要である。そのため本提案では、目的地までの経路上に空間音響化した Sonification を配置することで誘導を行う。

Sonification は非言語的な音声であり、音質・周波数・再生間隔を変化させることで複数の情報を伝達することができる。また Sonification を空間音響化する、つまり音源に

3次元の位置情報を持たせることによって距離・方向に関する情報を付与することができる。そのためナビゲーションにおいて目的地や障害物位置の提示のために多く使用されている。

文献 [15] では空間音響ナビゲーション手法におけるバーチャルな音源の提示方法として4種類挙げている。提示方法の詳細を図1に示す。

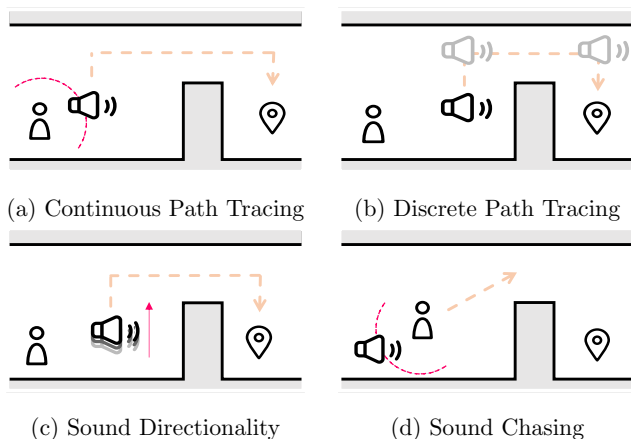


図 1: 空間音響の提示方法

#### (1) Continuous Path Tracing

Continuous Path Tracing の詳細を図 1a に示す。Continuous Path Tracing では、音源は目的地までのナビゲート経路上に配置される。音源とユーザは一定の距離を保っており、ユーザの前進・後退・旋回に合わせて音源も経路上を連続的に移動する。ユーザは音源の後を追いかけるように進み歩いていくことで最終的に目的地へ到達することができる。

#### (2) Discrete Path Tracing

Discrete Path Tracing の詳細を図 1b に示す。Discrete Path Tracing では、音源は目的地までのナビゲート経路上に配置されるが、音源は経路上の分岐点・ウェイポイントなどユーザが方向転換をする必要がある場所に離散的に設置される。ナビゲーション中はユーザに最も近い位置に存在している音源からのみ音が再生され、ユーザがウェイポイントに到着すると次の音源が選択され誘導を促す。

#### (3) Sound Directionality

Sound Directionality の詳細を図 1c に示す。音源は目的地までのナビゲート経路上に配置される。音源はユーザの現在位置を基準に、ひとつ前に通過したウェイポイントとひとつ先のウェイポイントを結ぶ線分上を一方方向に移動を繰り返す。ユーザは音源の移動方向に沿って移動することで目的地に近づくことができる。

#### (4) Sound Chasing

Sound Chasing の詳細を図 1d に示す。音源は常にユー

ザの後方に位置しており、ひとつ先のウェイポイントの位置と音源の間にユーザが位置するように設置される。ユーザは音源から逃げるような方向に移動を続けることによって目的地に到達することができる。

4種類の誘導方法のうち (b) の Discrete Path Tracing はカーナビゲーションやスマートフォンを用いたナビゲーションに応用されており広く社会に普及している。このため本実装では (b) Discrete Path Tracing を採用して空間音響化された Sonification による誘導を行う。

### 3.2 空間音響による障害物警告

Sonification は物体位置・方向を伝達することができる一方で、複数の Sonification を提示すると認知負荷が大きくなってしまいナビゲーション効率が低下してしまう [8]. また障害物警告はナビゲーションの中でも緊急性の高い行動であり、ほかの情報より優先して提示する必要がある。そこで本提案では Sonification と Text-to-Speech を併用して障害物警告を行う。言語的音声はメッセージを聞き取り解釈する必要があるため非言語的音声に比べて認知負荷が高くなるが、急迫した状況では注目度の高い情報になり警告指示として活用できると考えている。また、屋内環境において最も検知回数の多い障害物は壁であると考えられる。壁を検出した際に毎回 Text-to-Speech を提示すると多くのメッセージを受け取ることになり、誘導の効率が悪くなると考えられる。そのため壁を検出した時だけは Text-to-Speech ではなく Sonification を用い、壁以外の障害物を検出した場合は Text-to-Speech を用いて警告する。本発表の実装では Sonification を用いた壁の接近を示すアラートのみを実装し、Text-to-Speech による障害物回避は未実装とした。

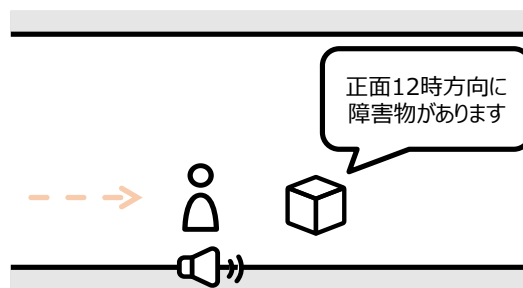


図 2: Sonification・Text-to-Speech による障害物警告

## 4. 実装

### 4.1 実装概要

屋内環境で Sonification を用いたナビゲーション手法及び、Sonification を用いた壁の接近を示すアラートの有効性を評価するために、プロトタイプを作成し予備実験・評

働を行った。

本システムのユーザインターフェース部分は Unity と AR Foundation を用いて実装した。また空間音響の提示には Resonance Audio SDK を利用した。モバイルデバイスとしては LiDAR が搭載されていてかつ比較的軽量である iPad Pro を使用した。またナビゲーション中に周囲の環境音を聴取することができるよう、オーディオデバイスとして骨伝導イヤホンである AfterShokz 社の Aeropex を使用した。

本システムの処理手順は、事前処理とランタイム処理の2つのステップに分かれる。図3に構成図を示す。

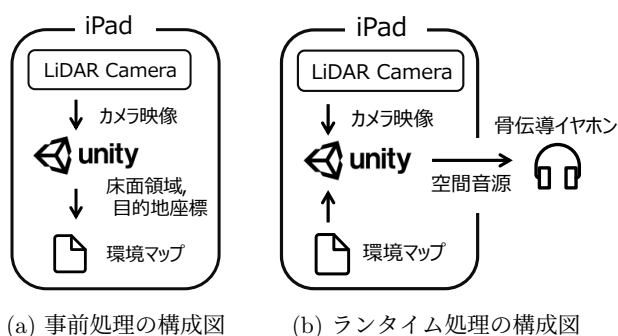


図3: 本システムの構成

## 4.2 事前処理

屋内ナビゲーションではユーザの現在位置の把握・移動距離の推測など地理的な情報が必要不可欠である。既存研究では現在位置推定手法として RFID [2, 16] や BLE ビーコン [17], 画像処理 [8], 地磁気などがあるが、本研究では省コストで小デバイスかつ比較的高精度に定位ができる LiDAR を用いた位置推定手法を用いた。

事前処理では、iPad Pro を用いて床面・目的地点を含んだ屋内環境マップを構築する。実装の様子を図4に示す。

事前処理は建物の管理者などが予め実行することを想定しており、以下の手順により実行される。

### (1) 部屋の床面領域を取得

AR Foundation の MeshClassification 機能によって、カメラ入力画像から床面領域を判定し Mesh 平面を取得する。取得した床面 Mesh は図4aのように青色の平面としてディスプレイ上に表示することで、どの領域を判定し終えたか確認できる。

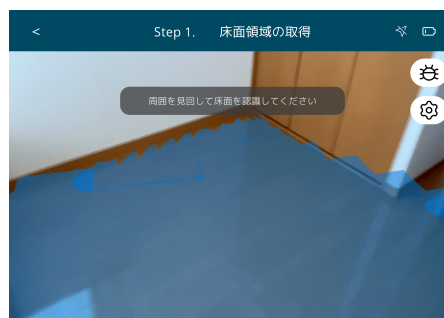
### (2) 目的地の登録

ユーザを誘導させたい地点の座標を、ディスプレイをタッチすることで登録し、目的地リストに追加する。目的地は(1)で取得した Mesh 上に設置することができる。また目的地は複数設置することができる。

### (3) 環境マップの保存

取得した床面領域の情報と、登録した目的地の座標を

テキストファイルに書き出しモバイルデバイス内に保存する。そのため作成したテキストファイルを他のモバイルデバイスで共有することで同じ環境マップを利用することができる。



(a) 平面を取得



(b) 座標の登録



(c) マップの保存

図4: 事前処理の様子

## 4.3 ランタイム処理

ランタイム処理では、iPad Pro と骨伝導イヤホンを用いて、選択した目的地までユーザをナビゲートする。実装の様子を図5に示す。

ランタイム処理は視覚障がい者が実行することを想定しており、以下の手順により実行される。

### (1) 自己位置推定

事前準備で作成したテキストファイルをインポートし、環境マップとモバイルデバイスからのカメラ入力映像を AR Foundation の ARWorldMap 機能によって照合することで、初期現在位置を推定する。以降はモバイ

ルデバイスに搭載されている加速度センサやジャイロセンサなどを用いた VIO (Visual-inertial Odometry) によって現在位置を更新する。

(2) 目的地の選択

インポートしたテキストファイルから目的地リストを読み取り、ディスプレイをタッチすることで目的地リストから目的地を選択する。

(3) 空間音源の設置

現在位置から選択した目的地までの経路を Unity の Navigation 機能によってリアルタイムに計算する。その後作成した経路上に音源を配置する。音源はフリーBGMとして提供されているものを繰り返し流す。今回の実装では図 1c のような Discrete Path Tracing によって誘導を行う。以降、(1) と (3) を繰り返すことでユーザの誘導を行う。

(4) 壁接近の検知

目的地までのナビゲーションを行っている最中は、左前方・右前方 60 度の方向に仮想的な Ray を発射させ、壁と Ray が衝突した時にその深度値を取得する。深度値が閾値  $\alpha m$  を超えた場合に壁に接近していると判定し、検出位置に空間音響化した警告音を設置してユーザに注意を向けさせる。本システムでは  $\alpha = 0.5$  とした。



(a) 自己位置推定



(b) 目的地の選択

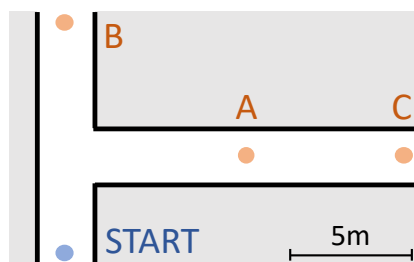
図 5: ランタイム処理の様子

## 5. 実験

### 5.1 実験環境

本システムにおいて Sonification によるナビゲーションが可能であること、また Sonification による壁接近のアラートが有効であることを確認するために予備実験を行った。

実験は大学の施設内で行い、21-23 歳の男性 6 名 (P1-P6) を対象に行った。被験者は全員視覚障がい者ではないため、実験中はアイマスクを装着してもらい視覚器官からの情報を遮断した。また iPad Pro を首から下げ、両耳に骨伝導イヤホンを装着してもらった。実験環境の詳細を図 6 に示す。



(a) 実験を行った屋内地図



(b) 実験装置

図 6: 実験環境の詳細

### 5.2 実験手順

実験は以下の手順で行った。

- (1) 実験前に事前処理を行い、図 6a のように地点 A, B, C を目的地として設定する。
- (2) 被験者に実験の説明を行い、その後図 6b のように被験者にアイマスク・骨伝導イヤホン・iPad Pro を装着させる。この時、目的地 A, B, C の位置情報は被験者には伝えずに実験を行う。
- (3) ランタイム処理によって初期現在位置推定を行った後、目的地 A を選択しナビゲーションを開始する。
- (4) 被験者はウェイポイントに設置された Sonification を頼りに移動をしてもらう。またナビゲート中に壁に接近したことを知らせるアラート音が聞こえた場合は音



源を回避するように行動してもらおう。

- (5) 目的地 A に辿り着いた場合、到着を知らせる音楽を流す。そして続けて目的地 B を選択しナビゲーションを行う。また目的地 B に辿り着いた場合も同様に音楽を流し、目的地 C を選択してナビゲーションを行う。
- (6) 目的地 C に辿り着き、到着の音楽が流れたことを確認した後、アイマスク等の装備を外して実験を終了する。
- (7) 実験終了後、システムの使用感について5段階のリッカート尺度 (1. とても使いづらい~5. とても使い易い) でアンケートに回答してもらおう。また感想・改善点について自由記述形式で回答してもらおう。

### 5.3 実験結果

Sonification によって目的地 A, B, C までのナビゲーションを行った結果を表 1 に示す。また実験で使用した Sonification と壁接近アラート音の使用感についてアンケート調査をした結果を表 2 に示す。Sonification による誘導では評価の平均値が  $3.5 \pm 0.76$ 、壁の接近を示すアラート音では評価の平均値が  $3.33 \pm 1.11$  であった。

		P1	P2	P3	P4	P5	P6
START	→ 目的地 A	○	○	○	○	○	○
目的地 A	→ 目的地 B	○	○	○	×	○	○
目的地 B	→ 目的地 C	○	○	○	○	○	○

表 1: 被験者ごとの目的地到達結果

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Sonification による誘導	2	4	3	4	4	4
壁の接近を示すアラート音	4	2	4	2	3	5

表 2: システムの使用感の評価結果

### 5.4 考察

表 1 より Sonification による目的地までのナビゲーション実験では、START から目的地 A まで、目的地 B から目的地 C まで経路では被験者の全員が到達することができ、目的地 A から目的地 B までの経路では P4 以外の被験者が到達することが出来た。この結果から空間音響を用いることで視覚機能を使用することなく屋内環境をナビゲーションすることが可能であると確認できた。

P4 の被験者は目的地 A から目的地 B に向かう際、逆方向の目的地 C へ進んでしまったため到達することが出来なかった。これは目的地 B へ誘導するためにウェイポイントに設置された Sonification の位置に関して、前後を誤認識してしまったことが原因であると考えられる。人間の聴

覚は左右方向に比べて前後方向の音像位置を区別しにくいと考えられている [18] ため、音源の提示位置によって周波数を変化、またはフィルターを通して音質を変化させるといった処理を行い、前後方向が判別できる工夫が必要である。

また表 2 より、Sonification による誘導システム・壁接近アラート音の使用感はともにリッカート尺度の中央値である 3 を超えてはいるものの、被験者によってばらつきがあることが確認できた。また自由記述形式の感想では、次に曲がる方向が分かりづらい、次のウェイポイントに切り替わる際に音が急に小さくなる場合がある、前方に壁がある場合の回避が難しい、壁の位置がイメージしづらかった、といった Sonification の提示に関する意見が多くみられた。本システムでは Sonification の提示方法として一般的に Text-to-Speech で用いられている Discrete Path Tracing を用いたが、3.1 節にあるように空間音響の提示手法としては他に 3 種類の方法が考案されており、それぞれについて有効性を調査する必要があると考える。

## 6. おわりに

本研究では視覚障がい者が屋内環境でのナビゲーションを行うために、空間音響上に Sonification を適用した経路誘導手法、及び Sonification と Text-to-Speech を併用した障害物警告手法を提案した。また Sonification による目的地への誘導や空間音響による壁接近を示すアラートの有効性を確認するため、プロトタイプを作成し予備実験を行った。実験の結果、6 名の被験者の内 5 名が視覚機能を使用せずにナビゲーションタスクを完了させることできたため、Sonification によるナビゲーションの有効性を確認できた。

今後は実験の結果を踏まえ、効果的なナビゲーションができる Sonification の提示方法の調査及び、Sonification と Text-to-Speech を活用した障害物警告手法の実装に着手していく予定である。

### 参考文献

- [1] 厚生労働省: 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) 結果の概要, 入手先 ([https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/seikatsu\\_housa\\_bh28.pdf](https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/seikatsu_housa_bh28.pdf)) (参照 2021-05-17).
- [2] Chumkamon, S. et al.: A blind navigation system using RFID for indoor environments, *5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2008*, Vol. 2, No. May 2014, pp. 765–768 (online), DOI: 10.1109/ECTICON.2008.4600543 (2008).
- [3] Aamemiya, T. et al.: Virtual leading blocks for the deaf-blind: a real-time way-finder by verbal-nonverbal hybrid interface and high-density RFID tag space, *IEEE Virtual Reality 2004*, pp. 165–287 (online), DOI: 10.1109/VR.2004.1310070 (2004).
- [4] Petrie, H. et al.: MOBIC: Designing a Travel Aid

- for Blind and Elderly People, *Journal of Navigation*, Vol. 49, No. 1, p. 45–52 (online), DOI: 10.1017/S0373463300013084 (1996).
- [5] Nakajima, M. and Haruyama, S.: Indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication and compensated geomagnetic sensing, *2012 1st IEEE International Conference on Communications in China (ICCC)*, pp. 524–529 (online), DOI: 10.1109/ICCCChina.2012.6356940 (2012).
- [6] Ran, L. et al.: Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service, *Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications, 2004. Proceedings of the*, pp. 23–30 (online), DOI: 10.1109/PERCOM.2004.1276842 (2004).
- [7] Fiannaca, A. et al.: Headlock: A Wearable Navigation Aid That Helps Blind Cane Users Traverse Large Open Spaces, *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '14, p. 19–26 (online), DOI: 10.1145/2661334.2661453 (2014).
- [8] Wilson, J. et al.: SWAN: System for wearable audio navigation, *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC*, No. November 2007, pp. 91–98 (online), DOI: 10.1109/ISWC.2007.4373786 (2007).
- [9] Presti, G. et al.: WatchOut: Obstacle Sonification for People with Visual Impairment or Blindness, *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '19, Association for Computing Machinery, p. 402–413 (online), DOI: 10.1145/3308561.3353779 (2019).
- [10] Moreno, M. et al.: Realtime local navigation for the blind: Detection of lateral doors and sound interface, *Procedia Computer Science*, Vol. 14, No. Dsai, pp. 74–82 (online), DOI: 10.1016/j.procs.2012.10.009 (2012).
- [11] Kitagawa, T. and Kondo, K.: Evaluation of a Visually Handicapped Navigation System Using 3D Audio on a Smartphone Under Realistic Conditions, *IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 497–498 (2018).
- [12] Blattner, M. et al.: Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles, *Hum.-Comput. Interact.*, Vol. 4, No. 1, p. 11–44 (online), DOI: 10.1207/s15327051hci04011 (1989).
- [13] Walker, B. et al.: Spearcons (Speech-Based Earcons) Improve Navigation Performance in Advanced Auditory Menus, *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 55, pp. 157 – 182 (2013).
- [14] Gaver, W. W.: Auditory Icons: Using Sound in Computer Interfaces, *SIGCHI Bull.*, Vol. 19, No. 1, p. 74 (online), DOI: 10.1145/28189.1044809 (1987).
- [15] Sommer, B. M. et al.: SPATIAL AUDIO NAVIGATION, Apple Incorporated, U.S.Patent 20200264006A1 (2020).
- [16] Chen, J. et al.: *Blind Path Identification System Design Base on RFID* (2010).
- [17] Sato, D. et al.: *NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based Blind Indoor Navigation Assistant with Semantic Features in a Large-Scale Environment*, Association for Computing Machinery (2017).
- [18] Ida, K.: *Fundamentals of head-related transfer function and its application to 3-D sound system*, Acoustical Society of Japan, ASJ (2017).