

視覚障がい者のソーシャルインタラク션을 可能にする仮想現実空間の提案

横山 皓祐[†] Panote Siriaraya^{††} 中島 伸介[†]

[†] 京都産業大学 情報理工学部 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

^{††} 京都工芸繊維大学 情報工学・人間科学系 〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町

E-mail: [†]{g2054470,nakajima}@cc.kyoto-su.ac.jp, ^{††}spanote@kit.ac.jp

あらまし 仮想現実空間は、場所を選ばずに現実空間に近い体験ができるため、障がい福祉にも積極的に取り入れられている。しかし、視覚障がい者は、仮想現実空間内の情報を視覚から得ることができず、自ら行動することや他者との交流は困難であり、そこから生まれる体験を享受しづらい。そこで本研究では、聴覚情報から視覚障がい者のソーシャルインタラク션을促す立体音響を用いた仮想現実空間を提案する。本研究では、物体の動静に関わらず仮想現実空間内の各物体に音を付与する。その音や音声案内を頼りに空間を把握し、視覚障害者の仮想現実空間での行動をサポートする。加えて、HMDの頭の向き情報を視線の向きをとし、視線が自分に向いているかや他のユーザの振る舞いによって会話の意思の有無を予測し交流を促す仮想現実空間を提案する。予備実験では、仮想現実空間の立体音響による空間把握の有効性の確認とユーザビリティ、臨場感に関する評価を行った。結果から、空間把握に関する有効性を確認でき、空間の臨場感において高い評価を得たが、ユーザビリティは改善が必要であることがわかった。

キーワード VR・AR, 立体音響, ユーザー支援, ソーシャルインタラク션

1. はじめに

視覚障がい者は、平成28年度の厚生労働省の調査によると、日本に31.2万人いるとされている[1]が、視覚障がい者への教育・リハビリテーションに、仮想現実空間の活用が有効であることが確認されている[2][3][4]。仮想現実空間は、現実空間のような物理的な障害がないため、仮想現実空間内においては比較的安全に行動でき、場所を選ばずに現実に近い、またはそれ以上の様々な体験をすることができるため、障がい福祉分野においても積極的に取り入れられている。しかしながら、視覚障がい者は、仮想現実空間内の情報を視覚から得ることができず、自ら行動することや他者との交流は困難であり、そこから生まれる体験を享受しづらい。また、視覚障がい者をサポートするためのサービスとして言語的音声サービスがあるが、それらはユーザの認知負荷が大きく、感覚的な空間把握には不向きである。そこで我々は、聴覚情報に着目し、立体音響を用いることで仮想現実空間内の行動をサポートできないかと考えた。本研究では、視覚障がい者のソーシャルインタラク션을可能にする立体音響を用いた仮想現実空間を提案を目的としている。ソーシャルインタラク션とは、個人やグループ間の動的なやりとりにおいて、相手の行為、反応に対して自らの行為を変化させることであり、本稿ではソーシャルインタラク션을「周りの状況を把握しつつ自由に動きながら他のユーザとコミュニケーションをとる」という意味で位置付けている。視覚障がい者の仮想現実空間内での空間把握を補助するための手法としては、仮想現実空間内の各物体への音声の付与を検討する。これにより、物体そのものの音や簡単な音声案内を頼りに空間を把握し、視覚障害者の仮想現実空間での行動をサポート

することが可能になり、周囲の状況がわかることで移動の恐怖を減らし、自由に行動ができるようになることを目指している。加えて、視覚障がい者の仮想現実空間内でのコミュニケーションを補助する手法として、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）の頭の向き情報を視線の向きをとし、視線が自分に向いているかや他のユーザの振る舞いによって会話の意思の有無を推定し交流を促す仮想現実空間を提案する。

2. 関連研究

仮想現実空間内での視覚障がい者の行動の困難性の解決として、触覚や力覚を用いた研究や、聴覚を用いた研究が行われている。

触覚や力覚を用いた研究として、巽ら[2]は、力覚フィードバックデータグローブ装置を用い、仮想物体に触れることで得られる力覚のデータを収集し、人工的な触力覚を生成することで仮想現実感を体感させる手法を提案している。白杖を持つ手指に擬似的な触知感を与えることで視覚障がい者のこれまでの経験で培われた認知経験や環境認識を利用できることが述べられている。阿部ら[5]は、三次元VRゲーム環境において、HMDによる両眼視差立体視、距離画像センサーによるユーザの身体動作計測、およびグローブ型振動デバイスによる触覚提示を統合することで仮想空間内での作業をスムーズにできないかの実験を行い、その有効性が確認された。

聴覚を用いた研究として、関[3]は、仮想現実空間で視覚障がい者に車が通過する音のような環境音を3次元音響で提供し、空間把握能力を養う訓練を行い、訓練として有効であるかを調査した。結果、実空間訓練よりも有効であることが示された。大内ら[4]の研究では、3次元音響バーチャルリアリティを実現



図 1 仮想現実空間における視覚障がい者の活動

するための聴覚ディスプレイを開発し、身近空間認知や認知地図形成の実験を行なった。結果、訓練効果が認められ、有効であることが示された。玉渕ら [6] の研究では、空間音響のみを用いた屋内ナビゲーションを提案している。現在地から目的地までの平面を取得し、音源を設置することで視覚障がい者を誘導する手法を提案している。

これらの関連研究は、仮想現実空間での実験を通して現実空間での訓練に応用することが目的であり、仮想現実空間での行動を目的としたものではない。我々は、仮想現実空間において視覚障がい者が抱える視覚的問題を解決するための研究である。

3. ソーシャルインタラクションを可能にする仮想現実空間

3.1 概要

本研究では、視覚障がい者の空間把握を補助する手法と視覚障がい者のコミュニケーションを補助する手法を提案する。視覚障がい者の空間把握を補助する手法として、仮想現実空間にある物体に立体音響を用いた音を付与し、簡単な音声案内と組み合わせることで自由に行きたい場所に行くことができるようになることを目指す。コミュニケーションを補助する手法として、「他のユーザの視線が自分を向いているか」を基準として、HMD の機能で頭の向き情報を取得し、その情報から視線を推定する。視線が自分の方向を向いているかつ他のユーザと自分が特定の距離以内にいる場合に、そのユーザの情報を音声案内で通知する。ユーザの情報がわかるかつ自分に興味を持っているという情報を得ることでコミュニケーションを開始しやすくすることを目指す。

以下、それぞれの手法について詳細を述べる。

3.2 空間把握を補助する VR 空間の設計

3.2.1 物体への音の付与

視覚障がい者が聴覚情報から空間を把握できるための手法として、仮想現実空間内の物体に音を付与する。物体に付与する音は、Unity の機能を用いて立体音響として実装し、近づけば音が大きく、離れれば小さく聞こえるようになっており、一定の距離が離れると完全に聞こえなくなるようになっている。また、川であれば水が流れる音、学校であればチャイムがなる音など、各物体に適した音を付けることで、音を聞くだけでその

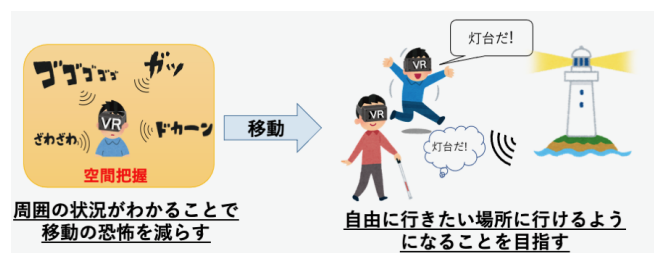


図 2 空間把握補助の概要

物体が何であるかを感覚的にわかるように設計する。

3.2.2 立体音響

立体音響は、音源の方向感や奥行き感など音場の立体的な雰囲気や臨場感を再現するために用いられる再生方式のことである。関連研究 [3] [4] [6] においても、立体音響は視覚障がい者への空間認識を助ける手法として有効であることが示されている。本研究では、VR 空間を作成する際に広く利用されている Unity を利用する。立体音響を作成する上で Unity 内の機能のひとつである Oculus Audio Spatializer [7] について述べていく。

Oculus Audio Spatializer を用いた立体音響では、音源位置の認識を以下の機能を用いることで実現している。今回は屋外の空間を想定しているため、室内空間において利用される機能については省略している。

- 空間化. 頭部伝達関数 (HRTF) を利用し、モノラル音源を変換することで目的の方向から音が発せられているかのように聞こえるプロセスである。
- ヘッドトラッキング. 頭の位置と方向をトラッキングすることで、正確に音声の空間化を行う。また、頭の小さな動きによる音の方向の変化の大きさは、音声の距離を伝えることにも利用できる。
- 体積音源. 音源に半径を設定することで、音源に体積を持たせる。これによって音声広がるため、聞き手が音源に近づき完全に包み込むと音源空間全体に音声広がる。
- 近接レンダリング. 聞き手の頭に近接した音源は、その空間化の一部の側面が音源の距離に依存しないという特性を持つ。近接レンダリングでは、音波回折

の効果を自動的に見積り,1メートルより近い音源をより現実的に表現する。

- 減衰と反射. 距離のシミュレーションでは正確な反射が最も重要な機能であり, 正確な距離の手がかりを得るためには, 音の直接パスと反射の間に自然な均衡があることが非常に重要である. このモデルは, 反射と直接信号の適切な均衡を保つことができる. 今回は屋外の空間を想定しているため, 反射の機能は使われない. また, 音の減衰についての設定も行うことができる. 音の減衰は距離の手がかりとなる要素である. 高周波は低周波と比べて早く減衰するため, 距離の手がかりとなる. 高周波減衰は空気吸収(大気条件)によって得られる効果であり, ローパスフィルタを通すことでモデリングすることができる.

Oculus Audio Spatializer ではこれら機能により, 立体的な音響表現を可能としている。

3.2.3 音声案内

物体への音の付与だけでは, 川と海のような似ている音が付与されていた場合に, 正しく聞き分け, 正しく物体を認知することができない. よって, 特定の距離内に被験者が接近した場合に「これは(物体の名前)です」のような音声を流すように設定する. また, 第1節でも述べたように, 音声案内ではユーザの認知負荷が大きいため, あまり多くの情報を伝えるのではなく, そこに何があるのかのみを伝えるようにする.

3.3 仮想現実空間内でのコミュニケーションサポートの設計

3.3.1 頭の向き情報の取得と視線判定

仮想現実空間におけるコミュニケーションにおいて, 視覚障がい者が他のユーザの性別や容姿などの情報を得る手段がない. また, 他のユーザが自分とコミュニケーションを取る意思があるのか, はたまた偶然自分の近くにいるだけなのかが分からない. そこで, 我々は, 他のユーザの「視線」に注目し, 一定の距離以内にいる他のユーザの視線が自分の方向を向いているかどうかで「コミュニケーションの意思」があるのかを推定する. 本研究では, HMDとして, Meta社のOculus Quest2を用いて頭の向き情報を取得する. また, 頭の向きから図??のような円錐部分の領域に入っていたら, 「視線がこちらを向いている」とする. この円錐は, 他のユーザのアバターの位置をP, 長さを1に正規化された向きを \vec{d} , 被験者のアバターの位置をQ, 視野角を θ , 最大距離をDとする. Qが視界に入る条件は以下の式で表せる.

$$\frac{\vec{PQ} \cdot \vec{d}}{|\vec{PQ}|} > \cos \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

$$0 < |\vec{PQ}| < D \quad \text{但し} |\vec{d}| = 1 \quad (2)$$

3.3.2 音声案内

他のユーザが一定の距離以内かつ視線がこちらを向いていると判定できた場合, 他のユーザの情報を音声案内で通知する.

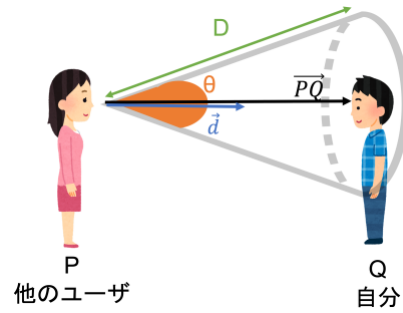


図3 コミュニケーション補助の概要

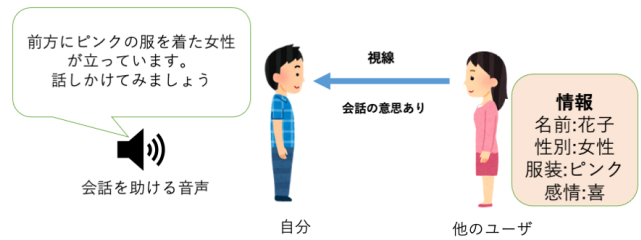


図4 コミュニケーション補助の概要

伝える情報は, 「性別」「名前」「容姿」「性格」とし, それらの情報を被験者に通知する. 会話の情報がわかることで, コミュニケーションを取ることに心理的ハードルが低くなり, 会話がしやすくなるのではないかと考える.

4. 予備実験

3.2節で説明した空間把握を補助する手法において, 立体音響がVR空間における空間把握に有効であるかを検証するために, 新たにVR空間を作成し, 被験者実験を通して評価する. 被験者は, 視覚障がい者でない5名(20代男性4名, 20代女性1名)に対して行った.

4.1 実験手順

作成したVR空間を図5に示す. 作成したVR空間について説明する. 四角い領域の真ん中に道を作成し, その道の両脇に右, 左, 右, 左と交互になるように立体音響を用いた物体を4つ配置する. 物体から流れる音声は, コンビニ, 学校, 自販機, 川の4つの音声流れるように設定する. 被験者には, HMDとヘッドフォンを装着し, スタートからゴールまで, 目を瞑ったままコントローラで移動してもらい, 音の聞こえ方などを体験してもらった. ゴールに到達したら実験を終了し, アンケートを実施する.

4.2 評価方法

実験終了後にアンケートを答えてもらう形式で実験を行う. アンケート内容として, VR空間の立体音響による物体認識において物体の名称がわかったか, 物体の位置を予測できたかという質問を5段階(15点)で答えてもらう. それらの質問に加えて, ユーザビリティと空間の臨場感に関する以下の2つの評価指標を採用する.

- System Usability Scale (SUS)
- Presence Questionnaire(PQ)

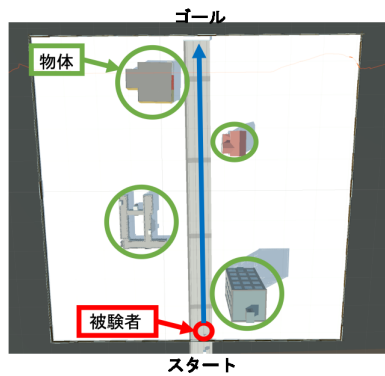


図5 作成した VR 空間

表1 SUS スコア表

SUS Score Range	Grade	Percentile Range
84.1-100	A+	96-100
80.8-84.0	A+	90-95
78.9-80.7	A-	85-89
77.2-78.8	B+	80-84
74.1-77.1	B+	70-79
72.6-74.0	B-	65-69
71.1-72.5	C+	60-64
65.0-71.0	C+	41-59
62.7-64.9	C-	35-40
51.7-62.6	D	15-34
0.0-51.6	F	0-14

4.2.1 System Usability Scale (SUS)

System Usability Scale(SUS) [8] は、John Brooke が開発したシステムのユーザビリティの数値的な評価が可能な評価尺度である。100 点を基準とした最終スコアを算出する。Sauro [9] は、SUS の平均得点とグレードの目安の点数を統計により導き出した。SUS の平均得点は 68 点であり、グレードの目安の表を表 1 に示す。本実験では、独自に日本語訳したものを使用した。

4.2.2 Presence Questionnaire (PQ)

Presence Questionnaire(PQ) は、Witmer ら [10] が開発した空間の臨場感を定量評価するための評価尺度である。PQ は Involvement, Sensory Fidelity, Adaptation/Immersion, Interface Quality の 4 つの大項目に分かれている。質問は 29 個あり、それぞれ 4 つの大項目に分類される形になっている。Adaption/Immersion に該当する質問は、空間内でのアクティビティやタスクを行ったときに関する質問が多く含まれている。Interface Quality に該当する質問は、視覚依存の質問やタスクを行った時のインタフェースに関する質問が含まれており、Interface Quality に該当する質問の個数が 3 つと少ないため、正確に測定することができないと判断した。よって、Adaption/Immersion, Interface Quality の二つの項目を削除し、Involvement と Sensory Fidelity に関する質問をアンケートに使用した。質問内容は 2 相対する属性で構成されており、被験者はそれぞれの質問について 7 段階 (1 7 点) で回答する。大項目のスコアは、質問の平均点 (7 点満点) で算出する。

4.3 結果

「物体の位置がどの程度わかりやすかったか」という質問に

表2 VR 空間内に何がありましたか

物体	正	誤	正答率
コンビニ	4	1	0.8
学校	5	0	1
自販機	3	2	0.6
川	1	4	0.2
			0.65

対して、5 段階で答えてもらったところ、平均で 4.0 点であった。また、「VR 空間内に何がありましたか」という質問に対して、記述形式で答えてもらったところ、全体の正答率が 65 % であった。コンビニ、学校、自販機、川のそれぞれの正答率をまとめた表を表 2 に示す。

SUS のスコアは 62 点であった。図 1 の中で Grade が D であり、平均点が 68 点であることから、ユーザビリティが低い結果になった。PQ のうち、Involvement のスコアが 4.95 点、Sensory Fidelity のスコアが 4.93 点であった (7 点満点)。PQ の質問の中には、「バーチャル環境内でうまくオブジェクトを動かしたり操作することができましたか」など、今回の実験で測ることができないスコアが含まれており、その質問を削除した場合のスコアで評価すると、Involvement が 5.2 点、Sensory Fidelity が 5.7 点であった。このスコアは 17 点で評価されたスコアであり、十分高いスコアであると考えられる。

4.4 考察

「物体の位置がどの程度わかりやすかったか」という質問に対して、平均で 4.0 点、「VR 空間内に何がありましたか」という質問に対して、全体の正答率が 65 % であったことから、仮想現実空間に空間把握において、立体音響は有効であることがわかる。

SUS のスコアが低かった要因として、「このシステムを頻繁に利用したいと思う」「使いやすいシステムだと思った」「このシステムはほとんどの人がすぐに使い方を覚えられると思う」の 3 つのスコアが低かった。被験者が視覚障がい者ではないため、普段から利用したいとは思わなかったのではないかと考えられる。また、実験に使う機器が、HMD とそのコントローラ、ヘッドフォンと 3 つあり、目を瞑ってもらうという制限があったことから、全体的に使いやすいシステムではなく、使い方が覚えにくい要因になったのではないかと考えられる。

PQ のスコアが、Involvement, Sensory Fidelity 共に高かった。このことから、立体音響を用いた今回の空間では、空間の臨場感において高い評価を得ることができたと考察した。

5. まとめと今後の課題

本研究では、視覚障がい者の仮想現実空間内でのソーシャルインタラクションを可能にするために、視覚障がい者の仮想現実空間での空間把握と視覚障がい者の仮想現実空間でのコミュニケーションの 2 つに問題を分け、それぞれ手法を提案した。空間把握を可能にする手法として、物体に立体音響を用いた音を付与し、音声案内を付加情報として用いる手法を提案した。

コミュニケーションを可能にする手法として、頭の向き情報と視線情報を HMD から取得し、音声案内で他のユーザの情報を通知することでコミュニケーションを促す手法を提案した。

立体音響を用いた空間把握における有効性を調査するための予備実験を行った。その結果、仮想現実空間に空間把握において、立体音響は有効があることが確認でき、空間の臨場感に関しても高い評価を得た。一方で、ユーザビリティの改善が必要であることがわかった。今後は、本稿の提案手法を実装した仮想現実空間の作成を行うと共に、作成した仮想現実空間の有効性を確認するための評価実験の実施を行いたいと考えている。また、視覚障がい者が利用することを考慮したユーザビリティの改善も行っていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科研費(課題番号:20H04293, 22K12274, 22H03700) および京都産業大学先端科学技術研究所(ヒューマン・マシン・データ共生科学研究センター) 共同研究プロジェクト(M2001)の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

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), https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa_h28.html
- [2] 巽 久行, 村井 保之, 関田 巖, 徳増 眞司, 宮川 正弘:”視覚障がい支援のための仮想触力覚の利用”, FIT2014 K-020,2014.
- [3] 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-リハビリテーション現場での実用化に向けて-”, Synthesiology Vol.6 No.2, 2013.
- [4] 大内 誠, 岩谷 幸雄, 鈴木 陽一:”視覚障害者のための 3 次元聴覚情報の提示”, バイオメカニズム学会誌 Vol.31 No.2, 2007.
- [5] 阿部 新大, 中島 健太, 新妻 実保子:”三次元 VR ゲーム環境における空間立体視と実スケール身体動作の有用性の検証”, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌) Vol.33 No.3 pp.651-656, 2021.
- [6] 玉淵 誠人, 阿部 亨, 菅沼 拓夫:”空間音響を用いた視覚障害者のための屋内ナビゲーションの提案”, 情報処理学会第 83 回全国大会 1U-06, 2021.
- [7] Meta Quest, Oculus Audio Spatializer の機能, <https://developer.oculus.com/documentation/unity/audio-spatializer-features>
- [8] Brooke, J. 1996. “SUS: A “quick and dirty” usability scale”. In Usability evaluation in industry, Edited by: Jordan, P. W., Thomas, B. A. Weerdmeester and McClelland, I. L. 189-194. London: Taylor Francis.
- [9] Sauro, J., Lewis, J. (2016). Quantifying the user experience: Practical statistics for user research. Amsterdam; Waltham, MA: Elsevier/Morgan Kaufmann.
- [10] Witmer, B. G., Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 7, 225-240.