

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K01587

研究課題名（和文）視覚障害者向け聴覚インタフェースにおける環境情報の音楽的構造化

研究課題名（英文）Musical structuring of environmental information in the auditory interface for the visually impaired

研究代表者

高尾 秀伸（Takao, Hidenobu）

神奈川工科大学・創造工学部・教授

研究者番号：60329307

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：構造化された実世界のオブジェクトの位置から呈示される仮想音源に音楽情報（旋律、和音、律動）およびを構造的に割り当て、立体音響を用いて空間的に表現することで、屋内施設の店舗空間において重度視覚障害者が単独で周囲の複数の環境情報を低ストレスで同時聴取・認知可能な複合現実ユーザインタフェースの開発を行なった。大型商業施設のコンコース歩行を想定し、店舗などの屋内施設の位置を聴覚的に表現した概念実証用プロトタイプインタフェースを開発した。実際の商業施設において全盲の視覚障害者2名にご協力頂き歩行実験を行った結果、2名とも聴覚情報をもとに正しく指定店舗に単独で到達することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

聴覚・音声情報は物理的には1次元情報であるため、これまで情報の多次元的な表示が困難であるとされてきた。これに対して本研究では立体音響を用いて空間情報を付加した聴覚・拡張現実空間に加え、音楽情報空間という一種の認知的な情報空間を付加することで、複合現実空間を表現することに成功した。これにより、重度視覚障害者がより多くの環境情報を一度に認知できるようになる可能性が示された。今後はさらに研究を進展させることにより、当事者が健常者と同様に単独で外出先で楽しむことができるというUXが提供できるようになれば、日常生活行動の幅を拡げ、QOLの向上に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：By structurally assigning music information (melody, chords, rhythm) to virtual sound sources presented from the positions of structured objects in the real world and expressing them spatially using stereophonic sound, indoor facility stores, We have developed a mixed reality user interface that enables severe visually impaired people to hear and perceive multiple environmental information in a space at the same time with low stress. Assuming walking on the concourse of a large commercial facility, we have developed a prototype interface for proof of concept that aurally expresses the location of indoor facilities such as stores. As a result of conducting a walking experiment in an existing commercial facility with the cooperation of two blind and visually impaired persons, they reached the designated store correctly based on auditory information.

研究分野：人間工学

キーワード：視覚障害 立体音響 拡張現実 ユーザインタフェース 音楽 複合現実

1. 研究開始当初の背景

H23～25 および H26～28 科研費にて開発した視覚障害者用立体音響ナビゲーションインタフェースでは、屋内店舗空間を歩行中の当事者ユーザに対して、周囲のランドマークとなる設備、障害物ならびに陳列されている商品の実在する位置に立体音響を用いて仮想音源を生成し、完全開放型イヤスピーカを介して設備名称や説明を「そのものの位置から」音声呈示し、これをジェスチャで選択的に聴取可能な拡張現実を実現した。しかし、主に言語情報を用いて呈示する従来の方法では、多数の設備等を一度に呈示すると聞き取り易さに課題が残った。

2. 研究の目的

そこで本研究では、前章で述べたシステムを拡張し、構造化された実世界のオブジェクトの位置から呈示される仮想音源に音楽情報（旋律、和音、律動）を構造的に割り当てることで、周囲の複数の環境情報を低ストレスで同時聴取・認知可能な複合現実ユーザインタフェースの開発を目標とする。パイロットテストから得られた知見を元に、設計指針を得るための以下の検討事項について検討を行うこととした。

- 1) 一度により多くの情報を正確に認知可能とするために音楽情報をどのように設計すれば良いのか
- 2) 環境情報に対する音楽情報の適用に関する設計指針の検討
- 3) 複合現実空間における情報の圧縮率をどのように定義および評価すれば良いのか

以上につき、製品化フェーズで求められるトータルなナビゲーションシステムとしての製品レベル開発ではなく、インタフェース機能の検討に特化した研究を実施した。すなわち、提案インタフェースを搭載した概念実証用プロトタイプの開発を通して、次期フェーズの製品化を念頭に置いた人間特性データの収集とそれに基づいた設計値導出、ならびにユーザビリティ実証データを収集することを本研究で扱う範囲とした。

3. 研究の方法

3.1 概念実証プロトタイプ・インタフェースの開発

(1) 機能の概念

インタフェース開発を行う上で、空間認知と関係性の強い認知地図の重要な構成要素とされるパス・ノード・ランドマークに着目し、これらの情報を呈示する機能を提案した。以下に機能の概念を示す。

1) 音楽サウンドマーク機能(以下、音楽SM機能)

ユーザ周囲にある複数の店舗などのランドマークを音楽的サイン音によって気配として抽象的に表現し、同時に呈示する。店舗名称など詳細がわからない場合でも、存在そのものや位置情報、そして店舗ジャンルを定常的に呈示する。そして、詳細情報が必要な際は認知した店舗に対してアクセスすることで、音声言語による情報を得るといった段階的な情報呈示を行う。

2) パスノード音機能

ユーザ周囲のパス、ノードの情報を提供し、単独歩行が可能な情報環境を作り出す。目的地への経路情報のみ呈示を行う一般的なナビゲーション機能に対して、ユーザ周囲の通路構造情報を全て呈示し、通路構造の認識とその中から選択的に自由な歩行を行うことを可能にする。

(2) 設計

インタフェースプロトタイプは郊外型の大型商業施設を利用場面として想定した開発を行う。想定される商業施設は1階から4階のフロア構成で、250以上の多種多様なジャンルの店舗が存在する大型な施設である。このように大型の商業施設では、店舗の特性も様々で買い物行動において多様なシーンが含まれると考える。上記の利用場面に対応した設計開発を行うことで、他の商業施設にも応用しやすいと考えられる。

次に、実際の商業施設に赴き、取り扱う商品などの分析を行い、店舗ジャンルの分類を図った。分布割合が多かった「ファッション、ファッショングッズ、インテリア・生活雑貨」の従来ジャンルは、ファッション系のほかにも楽器や図書、スポーツやアウトドアといった商品を扱う店舗が含まれていたため、ファッションとインテリア雑貨、趣味性の強いホビーの3つのジャンルに分類した。分布割合が比較的少ない「グルメ&フード、フードコート」「サービス・カルチャー・その他」は従来そのまま扱い、5つの店舗ジャンルに分類した。この5つの店舗ジャンル分類は、生活に不可欠な“衣食住”に関連するジャンルと、“生活をより豊かにする”ジャンルとし

た。

1) 音楽サウンドマーク機能の設計

前記の 5 つの店舗ジャンルに対し、それぞれ異なる楽器の音色を割り当てることでジャンルの違いを表現した(表 1)。

表 1 店舗ジャンル分類と楽器音色の割り当て

店舗ジャンル	ファッション	グルメ	インテリア・雑貨	サービス・カルチャー	ホビー
楽器音色	エレクトーン	バイオリン	ピアノ	鉄琴	ギター

更に 1 つの店舗ジャンルを 2 つの詳細ジャンルに分け、割り当てられた音色の下降・上昇系列音のメロディによる表現を行った(図 1)。情報を木構造化して聴覚表現する手法には Blattner, Brewstar らのイヤコンを、音色の選定には楽器音色で色彩を表現する製品の設計を参考にした。これらの店舗から呈示される音楽的サイン音は、同時に呈示される音楽的サイン音が最大 6 店舗程分になるようにユーザの半径約 10m 内に位置する店舗から呈示される設計とした。最大 6 つの音楽的サイン音が弁別して並列聴取出来るよう、ゲシュタルト知覚における類似性や接近性を元に、呈示タイミングや音域、音の立ち上がりが重ならない様に設計し、店舗別に音楽的サイン音が知覚的に群化される様に考慮した。

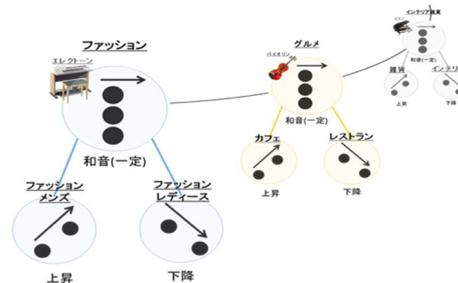


図 1 音楽的サイン音のメロディパターン

サイン音は音楽理論における主要三和音を用いてコードの割り当てを行った。

系列的な上昇下降で表す下位階層に割り当てられるメロディは、以下の要点を元に設計した。

同じ楽器のコードとメロディは音の立ち上がりをずらす。

上昇メロディと下降メロディはピッチ弁別を利用する。

メロディの 2 音は完全 5 度、または完全 4 度の関係にする。

メロディの 2 音には C メジャースケールを用いる。

2) パスノード音機能の設計

設計したパスノード音機能はパス音、ノード音の各機能音によって構成される。パス音は、ユーザが頭部正面にノードを捕らえた際に、そのノード地点から鳥のさえずりのサイン音を呈示し、音源の到来方向によりパスの方向を、音源との距離による音圧変化によって距離感を示す。ノード音はノードに到達した際に横方向に位置する別のノード地点から鳥の羽ばたきの音を呈示することにより、ノードに到達したことと別のパスの存在を示す。これらの各機能音によって、認知地図構成要素におけるパス、ノードの情報を呈示し、通路構造把握を行える設計とした。

(3) 実装

概念実証用のインタフェース・プロトタイプは以下の環境を用いて開発した。

1) サイン音制作

音楽的サイン音の制作には Apple 社提供の音楽制作アプリケーション「Garage Band iOS」を使用した。制作した呈示音全般の調整には株式会社コードリウム社提供の音声波形編集フリーソフト「Sound Engine Free」を使用した。

2) 複合現実空間に用いる仮想空間開発

仮想空間の生成と空間および音響制御には Unity Technologies 社提供のゲームエンジン「Unity」を用いた。スクリプト言語には C#を用いた。

立体音響生成には、オーディオ環境構築のアセットとして Valve 社「Steam Audio」を用いた。開発システムの構成図を図 2 に示す。ユーザは完全開放型ヘッドホン (RG-H100A/シャープ) を装着することで、実音響空間の環境音と重畳された拡張現実空間の仮想音を同時聴取する。今回ナビゲーション機能は実装せず、ユーザの空間座標は、ユーザの移動に合わせて実験者が逐次的にシステムに入力することにより、実空間と仮想空間における現在位置座標を一致させた。

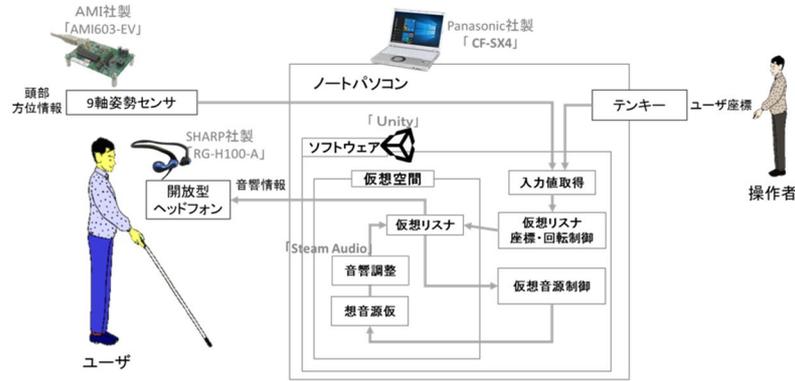


図2 評価システム構成図

3.2. インタフェース概念実証評価実験及び結果

(1) 実験

全盲の視覚障害者2名(いずれも障害等級が一種一級の熟年男性)にご協力頂き、開発したインタフェースを使用したユーザビリティ評価を行った。実験タスクとして、商業施設内の通路構造情報と店舗情報を把握しながらカフェ店舗を探索して頂いた。実験タスク中に発話プロトコル法を用いて協力者の認知過程とその度合いを抽出し、空間認知の正確性として測定した。ユーザビリティ評価に主観的な満足度をアンケート形式で問う USE 評価、精神的作業負担の測定にメンタルワークロード評価、ユーザの評価構造モデルの抽出に評価グリッドによるインタビュー手法を用いた。歩行実験風景を図3に示す。



図3 ユーザビリティ評価実験の様子

(2) 結果

結果を図4~7に示す。両協力者とも約3分~3分40秒の時間でカフェ店舗を認識しすぐ近くまで単独歩行を行っており、通路構造の認識の他に、ファッションジャンルが密集しその中にサービス店舗があることなど、特徴的な店舗ジャンル分布の把握を行っていたことが発話プロトコルにより明らかになった。上記の結果は、パスノード音機能と音楽サウンドマーク機能の各機能音を弁別して並列聴取し活用可能なことを示唆しており、評価構造モデルにおいても「うるさくない」や「全体的にととても聴きやすい」の証言から始まり「音楽的サイン音とパスノード音の弁別聴取が出来る」と両協力者が証言している。1人の実験協力者はUSE評価における得点が非常に高く、メンタルワークロードの精神的作業負担の値が低いことからインタフェースに対する満足度が高いことが伺える。以上のことから、音楽的表現を用いて環境情報を表現し立体音響呈示する手法は、聴覚情報の並列聴取により空間認知性に寄与し単独の自由歩行とウィンドウショッピングの実現、およびUXの提供が可能なが示唆された。

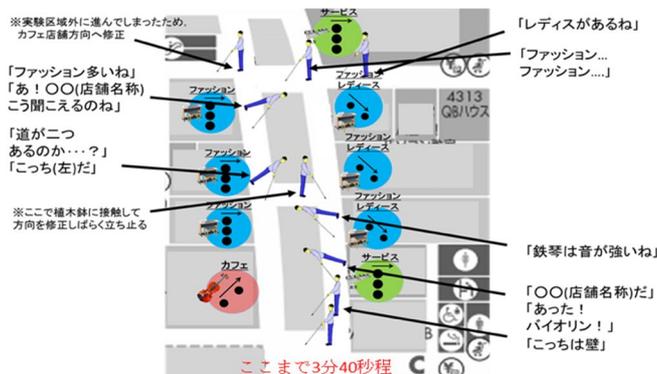


図4 歩行過程及び発話プロトコルの例

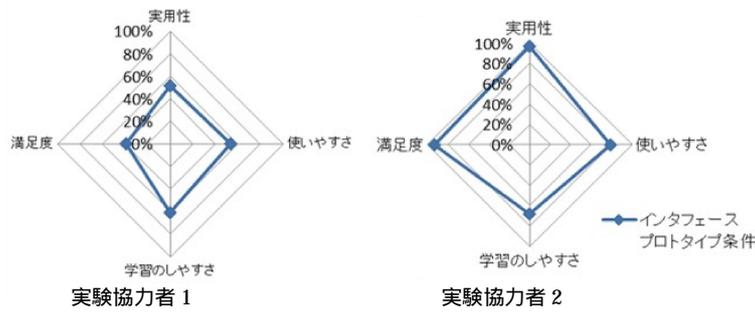


図5 USE評価結果

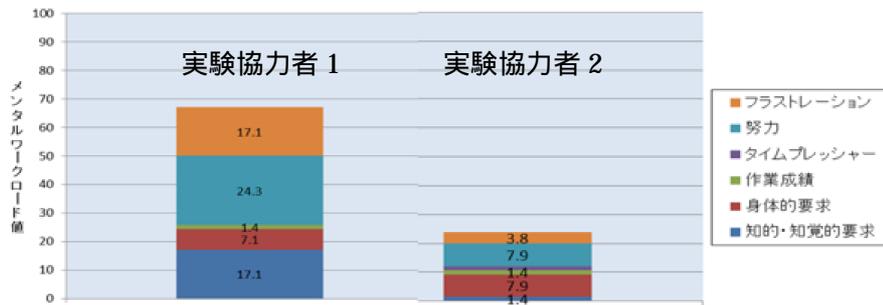


図6 メンタルワークロード評価

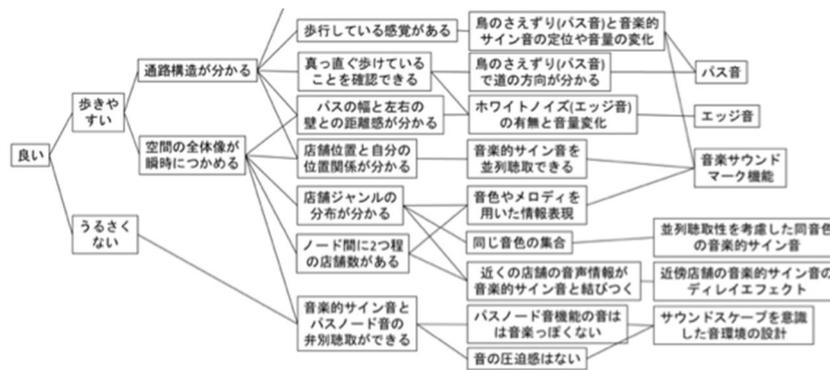


図7 評価構造モデルの例

4. 研究成果

聴覚・音声情報は物理的には1次元情報であるため、これまで情報の多次元的な表示が困難であるとされてきた。これに対して申請者らはこれまでに立体音響を用いて空間情報を付加することで、認知性を高めてきた。この聴覚・拡張現実空間に加えて本研究では、音楽情報空間という一種の認知的な情報空間を付加することで、聴覚的な複合現実空間を表現することに成功した。これにより、ユーザは並列化された複数の情報を一度に認知できるようになることが明らかになった。このことは、時間軸における聴覚・音声情報の一種の「圧縮」と考えられる。ただし、本研究では圧縮率の検討を実施する予定であった分担者が一身上の都合で研究継続が困難になったため、圧縮の現象を確認したところで終了することとなった。これは今後の課題とさせていただきたい。最後に、本研究の提案手法により、重度視覚障害者が聴覚情報を用いてより多くの環境情報を一度に認知できる可能性を示すことができた。今後はさらに研究を進展させることにより、当事者が健常者と同様に単独で外出先で楽しむことができるというUXが提供できるようになれば、日常生活行動の幅を拡げ、QOLの向上に寄与することが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 余宮岳斗、片山遼介、高尾秀伸
2. 発表標題 携帯端末実装型立体聴覚ARインタフェースの音像定位精度の検証
3. 学会等名 日本人間工学会第29回システム大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田大顕、片山遼介、高尾秀伸
2. 発表標題 音楽的表現を用いた視覚障害者向け三次元空間情報呈示インタフェースの開発
3. 学会等名 日本人間工学会第27回システム大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中根雅文、片山遼介、高尾秀伸
2. 発表標題 スクリーン・リーダーの発話内容を聴き直す際の挙動に関する調査
3. 学会等名 日本人間工学会第27回システム大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山遼介、高尾秀伸
2. 発表標題 視覚障害向け店舗内聴覚インタフェースにおける環境情報の音楽的構造化
3. 学会等名 日本人間工学会第26回システム大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中根雅文, 片山遼介, 高尾秀伸
2. 発表標題 視覚障害者による製品識別情報読み取り迅速性の計測
3. 学会等名 日本人間工学会第26回システム大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中根 雅文 (Nakane Masafumi) (90383926)	慶應義塾大学・政策・メディア研究科(藤沢)・特任助教 (32612)	
研究分担者	片山 遼介 (Katayama Ryosuke) (50867447)	神奈川工科大学・創造工学部・研究員 (32714)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------