

PerMan: 頭部への刺激を用いた情報提示デバイスのエンタテインメントへの利用

兼古 哲也^{1,a)} 棟方 渚^{1,b)} 小野 哲雄^{1,c)}

概要: 近年, 視覚以外の感覚に情報提示を行うデバイスの研究が盛んである. 中でも触覚を用いた情報提示デバイスは, 直感的であるという点で有望といえよう. われわれは他のデバイスとの干渉が少ない部位として頭部に注目し, 振動や圧迫等の刺激を与えることで情報提示を行うデバイスを開発した. このデバイス PerMan の特性について述べるとともにエンタテインメント分野における利用を検討する.

PerMan: Development and Evaluation of Wearable Device for Information Presentation Using Sensation of Head on Entertainment Use

KANEKO TETSUYA^{1,a)} MUNEKATA NAGISA^{1,b)} ONO TETSUO^{1,c)}

Abstract: In recent years, the devices which present informations to senses except the sight is actively developed. Especially, tactile devices are hopeful, because it is easy to understand. A lot of hand grip type devices are already developed, but they are not useful in case that you use another device at the same time. Therefore we focus on the surface of head. The Shape of head is hemisphere, then we infer it is suitable for presentation of 3D coordinate data, and we develop a device using vibrates and pressure.

1. はじめに

近年, 情報処理技術の発展により, コンピュータゲームを初めとしたエンターテインメント業界における技術の進歩はめざましいものがある. とりわけ 3D 映像や立体音響といった技術は, 多くの製品が供給されることで, 以前よりは気軽に利用が出来るようになってきた. しかし, 一般家庭においては依然としてあまり普及しておらず, コンピュータゲームのようなコンテンツからの出力はディスプレイからの映像と, 2ch スピーカからの音声の 2 系統が主流である. かつての 2D 見下ろし型のゲーム (エニックスのドラゴンクエストや, スクウェアのファイナルファンタジー) や, 横スクロール型のゲーム (任天堂のスーパーマリオブラザーズや, コナミのグラディウス) ではこれらの出力で

問題はなかった. その後, 処理能力の向上によりいわゆるドット絵に代わり, コンピュータグラフィックスのリアルタイムレンダリングが主要な表現技法となった. それに伴い, ファーストパーソンシューティング (以下, FPS と省略) が大きなジャンルとして確立した. Electronic Arts 社の Battlefield や Activision 社の Call of Duty 等に代表されるような FPS とは, プレイヤが操作する主人公の視界, いわゆる一人称視点でゲーム中の空間を任意に移動し, アクションを行ったり, オブジェクトにインタラクトするゲームである. こういった特徴から, FPS は 2D 見下ろし型や横スクロール型と比べ, より実世界に近い体験を提供することが出来る. しかし, 同時に従来 2D 見下ろし型や横スクロール型ではあまり発生しなかった問題が生じた. 第一に死角の発生である. 従来 2D の空間情報を平面ディスプレイに表示していたため, 不足なく情報を提示することが可能であったが, FPS では基本的にプレイヤーの正面方向の 3D の空間情報を平面ディスプレイに表示するため, 視界に含まれない空間の情報を提示す

¹ 北海道大学大学院情報科学研究科情報理工学専攻 HCI 研究室

a) kaneko@complex.ist.hokudai.ac.jp

b) munekata@complex.ist.hokudai.ac.jp

c) tonono@complex.ist.hokudai.ac.jp

ることが出来ない。

第二に目的地の提示が難しくなることである。従来は矢印で十分に目的地の方向を提示できていたが、FPSでは↑の様に提示された場合、前方を指しているのか上方を指しているのか区別がつかない。また、矢印が直接目的地を指向している場合は、幾つかの地点から観測し三角測量を行わなければ距離が分からない。

これらを解決する手段として、VR技術があげられる。あたかもプレイヤーがゲームの世界に存在するかのよう感じさせるとともに、平面ディスプレイに表示された画像をいかにも立体物であるかのように見せかけることにより違和感を大きく減少させることが出来る。

さらに画期的な解決方法として、立体視可能なディスプレイ、特にヘッドマウントディスプレイ（以下、HMDと省略）の使用があげられる。HMDとは、頭部に装着するディスプレイである。ゴーグルの様な形状をしており、それぞれの目に一枚ずつディスプレイを配置することで立体視が可能となっているものが多い。ここ数年は、HMDの発展が顕著であり、SonyのHMZ-T1やOculus VR社のOculus Riftに代表されるHMDの登場により、安価に立体視可能なディスプレイを入手できるようになった。HMDはその機構上、人間の視覚を自然な形で再現することができる。具体的には、左右の視差による距離の表現や、ヘッドトラッキングによる視線移動が可能である。これにより多くの問題は解決されるが、やはり、死角の問題は残ったままである。

そこで我々は、非視覚的モダリティによる情報提示デバイスを利用することで、死角に存在するオブジェクトの情報を提示出来るのではないかと考えた。以下に、こういった用途に使用できそうな非視覚的モダリティによる情報提示デバイスを幾つかあげる。

岡本らによるCyARM[1]。CyARMは超音波距離センサとユーザの腰に装着し、長さが計測された距離に基づいて制御されるワイヤからなる。CyARMではセンサを向けた方向に障害物が存在しない場合はワイヤは固定されずにユーザは腕をのばすことができるが、障害物が存在する場合は距離に応じてワイヤの長さが収縮および固定され、ユーザは腕を伸ばすことができず、あたかも障害物に触れているかのような感覚を生む。センサを換装することで、ゲーム内のオブジェクトに手が触れているかのような感覚を生むことが期待できる。

杉本ら[2]による前庭感覚への電気刺激（Galvanic Vestibular Stimulation, 以下GVS）デバイスGVSとは、人間の平衡感覚を司る前庭感覚に電気刺激を与えることで、平衡感覚を操作する技術である。杉本らはこの技術を用いたGVSデバイスを開発した。このデバイスの装着者は実際に入力として与えられる頭部への電気刺激を意識することなく、平衡感覚のみに刺激を受け、眩暈に似た感

覚によって情報を受け取ることができる。このデバイスの外観はヘッドセット状であり、耳の後部に電流を流すことでGVSを行う。このデバイスを用いることで地面の傾斜や加速度といった情報を提示出来ることが期待できる。

塚田らによるActive Belt[3] Active Beltとは塚田らが開発した触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構である。ベルトは腰の周りを360度一周する形態を持つため、アクチュエータを用いて触覚刺激を与えることで、方位情報を直接想起させることが可能である。

我々はこれらのデバイスを参考にPerManを開発した。本来は歩行時やロボットの遠隔操作時の情報提示を目的としたデバイスであるが、死角に存在するオブジェクトの情報提示にも使用が可能であると考えた。

2. 情報提示デバイス PerMan

本デバイスの名称、“PerMan”とはPerception Manipulatorの略称である。頭部の触覚に刺激の強弱を通して情報を提示することにより、あたかも頭部からマニピュレータが何本ものびているかのように障害物を検知するという意味を込めている。このデバイスは主に3つの要素から構成される。以下に構成の概要(図1)を示す。

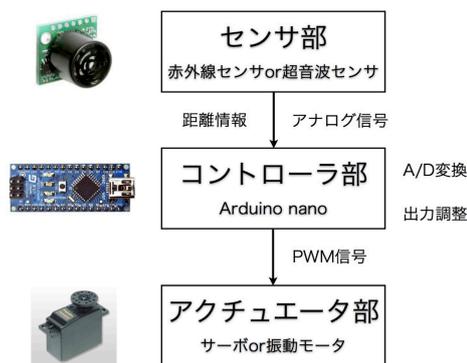


図1 デバイス構成概要

Fig. 1 Structure of PerMan

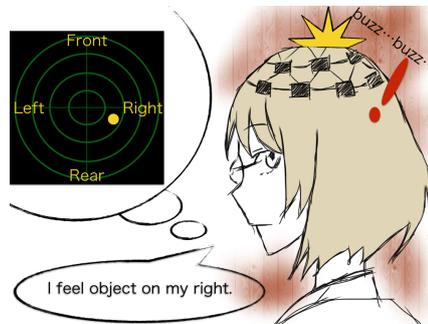


図2 PerManのコンセプト

Fig. 2 Concept of PerMan

2.1 PerMan の構成

コントローラ部

コントローラ部ではセンサ部から得た情報をもとに、アクチュエータ部の出力を調整し情報提示を行っている。今回、コントローラ部として Arduino Nano 3.1 もしくは Arduino Mega2560 を使用した。実環境で使用する場合は、センサ部から距離情報をアナログ信号で取得する。ゲーム等の仮想空間で使用する場合は、ゲームエンジン上にプレイヤーからオブジェクトまでの距離を測定し送信する関数を実装することでセンサ部とする。コントローラ部では A/D 変換を行い、出力を調整の上、Pulse Width Modulation(パルス幅変調: PWM) 信号としてアクチュエータ部に出力を行う。

センサ部

PerMan では周囲の状況を把握するために距離情報を利用している。現在のところ以下の二種類のセンサを用いて計測を行っている。また、仮想空間の情報を提示するために使用した場合は、関数によって実装されるため、物理的なセンサは必要ない。

・LV-MaxSonar-EZ0 超音波距離センサ

LV-MaxSonar-EZ0 はパルス幅出力、アナログ電圧出力、シリアル通信の 3 種類の出力を備える。サーボ制御も同時に行うため、今回は同期の必要がないアナログ電圧出力を選択した。このセンサは計測した距離に対して線形な値を出力する。

・GP2Y0A02YK 赤外線センサ

GP2Y0A02YK はアナログ電圧によって計測した距離を出力する。赤外線を利用して距離を計測しているため屋外での使用は向かない。このセンサは計測した距離に対して非線形な値を出力するためコントローラ部で調整をする必要がある。

アクチュエータ部

PerMan ではセンサ部からの入力をコントローラ部で処理し、このアクチュエータ部に出力することで装着者に情報を提示する。

アクチュエータ部では振動モータもしくはサーボモータを使用している。

・振動モータ

東京パーツ社の FM34F 型の振動モータを使用した。この振動モータは小型であり装着箇所を選ばないため、様々なフレームに装着可能である。フレームに直接貼り付けた場合、フレームを振動させてしまうことによるエネルギーの損失が大きいので、低反発素材をフレームとの間に挟むことで対策とした。

・サーボモータ

双葉電子工業株式会社の S3003 型のサーボモータを使用した。arduino の Servo ライブラリによって制御を行っているため、180 段階の出力が可能である。一部のプロト

タイプではサーボを圧力発生機構として使用した。圧力発生機構について説明する。この圧力発生機構(図 3)はサーボと 2 つの金属板、及びワイヤから構成される。サーボはフレームに固定されている。この際サーボの軸は鉛直下向きになる様に固定されている。2 つの金属板は軸の左方向に軸と平行になる様に等間隔で固定されている。ワイヤの一端をサーボの軸に固定する。もう一端を中間の金属板の下をくぐらせ、左端の金属板に固定する。この際ワイヤは十分に張る様に調整する。動作原理は、サーボがワイヤを巻き取ることによって金属板を引き寄せ、二者の距離が近づくことで締め付ける。中間の金属板は張力を増すための補助である。この機構では圧力を発生させることが出来るが、大型化してしまうため現在のところ 8 機程度までしか装着が出来ない。また、サーボの軸が 180 度までしか回転しないため、巻き取れるワイヤの量が少ないことも問題である。ギア、もしくは滑車を用いることで巻き取り量を増やすことは可能であるが、更なる大型化が見込まれ現実的ではない既存の直動アクチュエータを使用することででも圧力は発生させることが出来る。コストパフォーマンスの面では悪化してしまうが、出力特性は大幅に改善が見込まれるため、今後はこちらの使用も検討している。



図 3 圧力発生機構の外観

Fig. 3 Appearance of Pressure Generator

2.2 デザイン

PerMan では、出力を伝える媒体として頭髮を使用するため、頭髮を覆う必要がある。よって形状は半球状、端的に言えば帽子のようになる。多数のアクチュエータをフレームに装着することで、半球状の任意の部位に刺激を与え情報を提示する。この形状の利点として、方位の他に仰角を提示できる利点がある。初期のプロトタイプでは仰角のアクチュエータを使用しないし装着していないが、今後実装を行う予定である。今後の実装により三次元情報を扱えるようになることで得られる利点として以下のことが想定される。なお、ここでいう三次元情報とは、方位角、仰角、距離の三要素を指す。第一に、多くのデバイスでは直感的に提示することが難しい三次元情報を、直接提示すること

ができる。これは、頭を中心と刺激を与えるアクチュエータを結んだ線状に対象物が位置するようにアクチュエータを選択し、刺激の強さによって距離を提示することで実現する。第二に、移動する物体の三次元情報を提示することができる。Poupyrevら [4] によると、異なる二点を振動させることによって、その間の単一の点が振動しているように錯覚する現象、いわゆるファントムセンセーションを用いることによって、わずかな振動子でもいろいろな部位を刺激することが可能である。この手法を利用することで、振動刺激を移動させ、移動する物体の三次元情報の提示が可能になると考えている。

また、今後の課題として、装着部位よりも下、特に足元の三次元情報をどのように提示するかという点が挙げられる。我々が現在想定している対策は、半球状の空間の中心を頭部から足元へと変更することである。つまり仰角0度周辺には足元の高さの障害物が、仰角30度周辺には腹部の高さの障害物が、仰角60度周辺には頭部の高さの障害物が提示される。この場合、視覚とのズレが想定されるが、現時点で足元の情報が必要となる状況は、視覚が使用できない場合と、遠隔操作を行っている場合に限られると考えているので問題なならないと予想しているが、検証が必要である。

PerManのプロトタイプ

プロトタイプについては以下のように、幾つかのアクチュエータを検討している。現在のところ実装の容易な、振動モータを使用したモデルの開発を先行させている。アクチュエータを頭部全体に配置するためにヘルメット型の筐体を理想としている。

振動モータを使用した簡易モデル

センサ部には赤外線センサを使用した。また、アクチュエータ部には振動モータを使用したため小型となった。装着には鉢巻を使用した。装着者の頭のサイズによらず装着が可能であるが、振動モータの位置を装着者にあわせて変更する必要がある。

サーボモータを使用した簡易モデル

サーボモータが振動モータと比較して大型であるため、装着時のフレームとして帽子を選択した。装着者の頭部の形状によって帽子の側面の傾きが変化するため、センサ部分は胴体部分に装着する仕様とした。

振動モータを使用した全天型モデル

振動モータを18個搭載したモデルである。6個を一組として、頭頂部を中心に3つの同心円を描くように配置している。装着時のフレームにはヘルメットのライナを使用している。振動モータの増加に伴い、Arduino nanoではPWM出力が不足するため、制御にはArduino Megaを使用した。振動モータの固定は、簡易モデルからのフィードバックから、フレームとの間に緩衝剤を挟むことで振動の出力向上に成功した。



図 4 振動モータを使用した全天型モデルのデバイス装着イメージ
Fig. 4 Fitting Image of PerMan



図 5 振動モータを使用した全天型モデルのデバイスイメージ
Fig. 5 Operating Image of PerMan

2.3 デバイス開発のロードマップ

本デバイスは次のようなロードマップ(図6)に基づいて開発を行っている。

デバイス実装ロードマップ



図 6 デバイス開発ロードマップ
Fig. 6 Roadmap of Development

2.4 特性評価

過去の実験 [5] において頭部への刺激に対する反応速度を測定した。前後左右の四方向について、矢印による提示、文字による提示と振動型デバイスによる提示を比較した。五十試行を行った際の回答時間の平均は、矢印が29.2秒に対してデバイスが43秒、文字が45秒であった。四方向での提示では矢印が優位な結果となったが、3次元情報を提示する場合には矢印や文字による提示が複雑化するのに対し、デバイスは提示方法が変化しないため、弁別距離に対して十分に余裕がある場合、この差は改善されると考える。また、過去の実験 [6] において別の作業に集中している際の反応速度を測定した。ロボットを遠隔操作で走行させて

いる際に、障害物をカメラ映像に合成し目視で発見するまでの反応速度と、デバイスからの刺激によって発見するまでの反応速度を比較した。デバイスを用いることで平均反応時間が四秒以上短縮され、統計検定を行ったところ有意差が見られた ($p=0.017$)。このことから意識のフォーカスが外部に向いている時に、本手法が有効であるといえる。振動型デバイスでは、今後振動パターンによる比較等も検証を行う予定である。

2.5 歩行支援

視覚に障害のある方、もしくは暗所等での使用を前提とした歩行支援用途について検討を行う。本論文ではセンサによる壁面認知、及び実験者がコントローラを用いて被験者に進行方向を示す手法 (Wizard of OZ 手法: WOZ) による、ルート案内について検証を行っている。

2.6 遠隔操縦

ロボットからの情報を本デバイスを使用して受け取ることで、ロボット周囲の障害物情報等を直感的に感じることを目的とする。また、歩行支援の応用として、カメラを使用できない環境でもロボットの操作を可能とすることも目的としている。過去の実験 [7] において、ロボットの走行中に障害物を検知する能力が、視覚のみの場合に比べ優れているという結果がえられている。

2.7 情報提示

ゲーム空間のように、3D 情報を提示する必要がある用途において直感的な情報提示が可能であると考え、今回検討を行う。

3. VR 環境における使用

本デバイスを VR 環境下で使用した場合の特性を評価するため、応用例を検討する。

3.1 使用ソフト

VR 環境を構築するために、Unity(図 7) を使用する。Unity とはゲームエンジンの一つで、フリーで提供されている。Arduino との通信も可能であり、PerMan との相性も良いためこのソフトを使用した。

3.2 応用例 1：障害物までの距離提示

障害物をランダムに配置し、その中を移動する。一定の距離よりも近くに接近した障害物方向のアクチュエータを作動させ、距離に応じて出力を調整する。これにより、死角に存在するオブジェクトを感知可能になることが期待される。実環境においては、視覚を塞いだ状態で障害物の検知に成功している [7] ので、実現する可能性は高いと思われる。どの程度の密度の障害物まで対応できるか検証が必

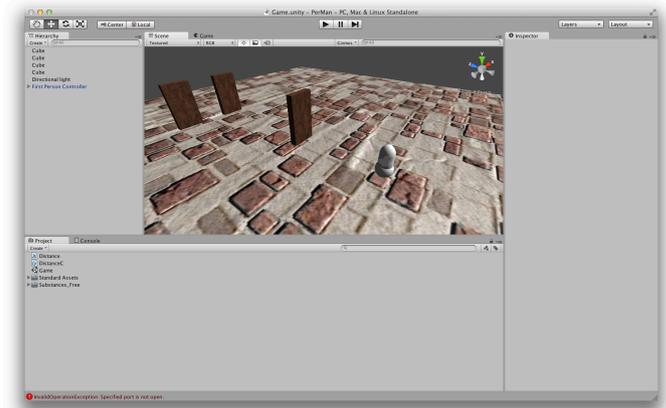


図 7 Unity における開発画面
Fig. 7 SDK of Unity

要である。

3.3 応用例 2：迷路脱出

壁面を幾つか配置して迷路を作成し、その中から脱出する。アクチュエータの出力によって壁までの距離を提示することで、視覚に頼らずとも迷路から脱出できることが期待される。実環境においては、壁に囲まれ一つだけ出口のある正方形の空間 (図 9) から視覚を用いずに脱出することに成功している [7] ので、実現の可能性が高いと思われる。

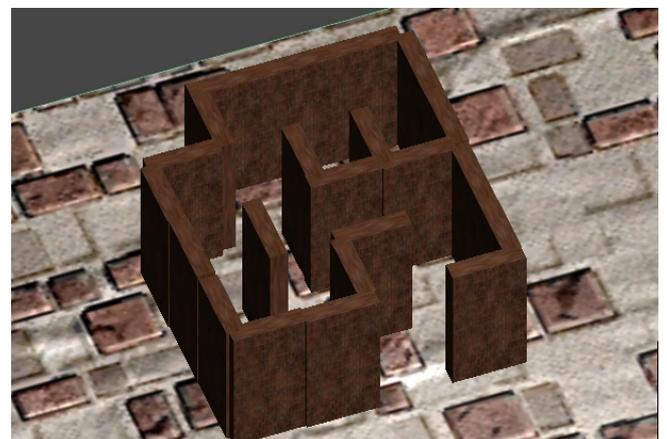


図 8 迷路の例
Fig. 8 Maze

3.4 応用例 3：ポインティング

オブジェクトを乱雑に配置した空間内から、目標のオブジェクトを見つけてもらう。一般的に用いられる、矢印やレーダによるポインティングと比べ、どちらがより直感的か比較を行う。FPS 等の場合、相手プレイヤーの位置は重要な情報であり、このシステムを用いて素早く伝えることが出来れば有用であると考えている。



図 9 実環境における脱出
Fig. 9 Escape in real world

3.5 応用例 4：ルート案内

ある程度広い空間においてルート案内を行う。平面的なマップでは矢印やレーダによる提示と大差ないと思われるので、上下方向の移動が多い立体的なマップを用意し比較を行う。

3.6 応用例 5：実環境における遠隔操作との比較

実環境に配置した遠隔操作対象と、VR 空間に配置したそれを遠隔操作した際に、認知的な差異が現れるか確認を行う。特に、一人称視点と三人称視点においてどのような差異が現れるかに注目する。

4. まとめ

本稿では、我々の開発した情報提示デバイス PerMan を取り上げ、エンターテインメント分野における応用例について議論した。Unity を用いることで、実環境では難しかった複雑な地形や障害物の配置が可能となるので、より効率的にこのデバイスの特性評価が可能となる。今回取り上げた応用例について検証を行う予定である。これらの応用例が使用可能となることで、FPS で問題となる死角に存在するオブジェクトの感知が可能となることが期待される。また、矢印やレーダによるルート案内が適さない、上下方向の移動が多い立体的なマップでの効率的なルート案内が可能になることが期待される。

参考文献

- [1] 秋田 純一, 伊藤 精英, 小野 哲雄, and 岡本 誠. Cyarm : 非視覚モダリティによる空間認識装置 (入出力デバイス, <特集> インタラクション: 技術と展開). 情報処理学会論文誌, 46(7):1693–1700, jul 2005.
- [2] 安藤 英由樹, 渡邊 淳司, 杉本 麻樹, and 前田 太郎. 前庭感覚インタフェース技術の理論と応用 (バーチャルリアリティ, <特集> インタラクション技術の原理と応用). 情報処理学会論文誌, 48(3):1326–1335, mar 2007.
- [3] 塚田 浩二 and 安村 通晃. Active belt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構 (ウェアラブル/ユビキタス・コ

ンピューティング)(<特集>「インタラクション:理論, 技術, 応用, 評価」). 情報処理学会論文誌, 44(11):2649–2658, nov 2003.

- [4] Ali Israr, Seung-Chan Kim, Jan Stec, and Ivan Poupyrev. Surround haptics: Tactile feedback for immersive gaming experiences. In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, pages 1087–1090, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [5] 兼古 哲也, 棟方 渚, and 小野 哲雄. 頭部への圧迫感による情報提示デバイスの開発と評価. In *ヒューマンインタフェース 2012*, 2012.
- [6] 兼古 哲也, 棟方 渚, and 小野 哲雄. 頭部への刺激を用いた情報提示デバイスの開発. In *情報処理北海道シンポジウム 2013 講演論文集*, pages 185–192, 2013.
- [7] 兼古 哲也. 頭部への刺激を用いた情報提示デバイスの開発. Master's thesis, 北海道大学大学院情報科学研究科, 2013.