

# ヘッドマウントディスプレイ装着時の 安全性向上を目的とした距離—振動変換提示:予備的検討

宮上昌大<sup>†1</sup> 今悠気<sup>†1</sup> 植松遥也<sup>†1</sup> 中村拓人<sup>†1†2</sup> 梶本裕之<sup>†1</sup>

**概要:** 安価なヘッドマウントディスプレイ(HMD)の普及により VR コンテンツを体験する機会は一般的なものとなりつつある。しかし HMD を装着した状態では実空間の障害物を視認することができないため、周囲の障害物や人との衝突が発生する可能性がある。本研究は HMD 装着中のユーザの安全性の向上を目的とし、超音波による障害物との距離検出と振動提示の機能を HMD に付与するものである。本稿では予備的検討として、衝突を未然に防ぐために必要な、ユーザの振動知覚から歩行運動停止までの時間と距離を計測した。実験の結果、最大で 0.8 秒で歩行運動が停止することが確認され、人の歩行速度から障害物が 1m にある時に振動提示によって危険を知らせることで衝突を回避することが可能であることが示された。

## Distance-Vibrotactile Conversion for the Safety of Head Mounted Display Users: a Preliminary Investigation

MASAHIRO MIYAKAMI<sup>†1</sup> YUKI KON<sup>†1</sup>  
HARUYA UEMATSU<sup>†1</sup> TAKUTO NAKAMURA<sup>†1†2</sup> HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1</sup>

**Abstract:** Recent prevalence of Head Mounted Display (HMD) let us daily experience virtual reality (VR) contents. During the experience, users wearing HMD cannot see obstacles in real space, which is a potential risk for current and future VR. We propose to improve safety of VR experience with HMD by presenting distance information to the users. Distance sensor and vibrotactile transducer pairs notify users of the approaching obstacles. As a preliminary investigation, we conducted a walk experiment using a vibrator, an optical sensor, and a projector. The projector presents obstacle pattern, and the vibrator is activated when the sensor detects light. The result showed that ordinary walking motion can be stopped within 0.8 second, suggesting that it is possible to avoid the collision by presenting the vibration 1m before collision.

### 1. はじめに

安価な頭部搭載型ディスプレイ(HMD)の普及により、HMD を利用した VR コンテンツを体験できる機会が一般的になりつつある。HMD を装着した際には周辺環境を視覚的に捉えることは難しくなるため、体験に際してはユーザの周囲にある物を片付け、空間を確保することで安全性を確保することが一般的である。しかしユーザが VR コンテンツに没入し動き回った結果として、安全を確保した空間の外に出てしまうことや、付近の人との衝突が起きてしまうことが予想される。

こうした HMD 装着時の安全確保の手段の一つとして、HMD の前面に搭載されたカメラを用いて、実空間の映像を VR 空間内に重畳するという解決法がある[1]。しかしこの手法ではコンテンツ自体を変容させてしまうという問題がある。

HMD 装着時に周辺の実環境が把握できないという状況

は、得られる実空間の情報に制限があるという点で視覚障害者における状況との共通点があり、視覚障害者向けに研究開発されている障害物検知・伝達の手法が援用できると考えられる。現在まで様々な視覚障害者向けの電子式歩行補助具(ETA)[2][3][4][5]が開発されており、その多くは障害物との距離を超音波センサにより把握し、聴覚ないし触覚にて伝達している。

本研究においても同様の手法によって問題解決を図る。聴覚は VR コンテンツ内で利用されるため、触覚による提示を採用する。なおこうした距離—振動変換は視覚障害者向けの用途以外にも数多く提案されている[6][7]。本研究は特に HMD ユーザの安全確保という用途を提案するものである。

従来の距離—振動変換装置の多くは、触覚提示に応答性の低い振動モータを用いており(応答速度: 0.1 秒以上)、振動提示の信号を入力してから実際にユーザが歩行運動を停止するまでの距離や時間が比較的大きなものであった。ま

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications

<sup>†2</sup> 日本学術振興会 特別研究員  
JSPS Research Fellow

たどの程度の距離をセンシングすれば安全が確保されるかという定量的データに基づくものは少なかった。本研究では応答性の高い直動アクチュエータを用いることでこの問題も解決する。

本稿では、本研究の予備的検討として、通常速度で歩行しているユーザが頭部に触覚提示された際に身体を停止させるまでにかかる時間を測定する。

## 2. 実験

将来的な HMD への衝突警告機能を搭載するため、歩行中のユーザに対して、振動提示が行われてから実際にユーザが歩行運動を停止するまでの必要な距離と時間を計測する実験を行った。

### 2.1 位置計測・振動提示装置

ユーザに装着する位置計測・振動提示装置は、フォトトランジスタ、発振回路、直動共振アクチュエータ (Linear Resonant Actuator: LRA) から構成されている。フォトトランジスタがプロジェクタの光を受けると LRA が振動するという単純な回路であり、PC 等を介さないために通信に起因する遅延をなくすことが出来る[8] (図 1)。

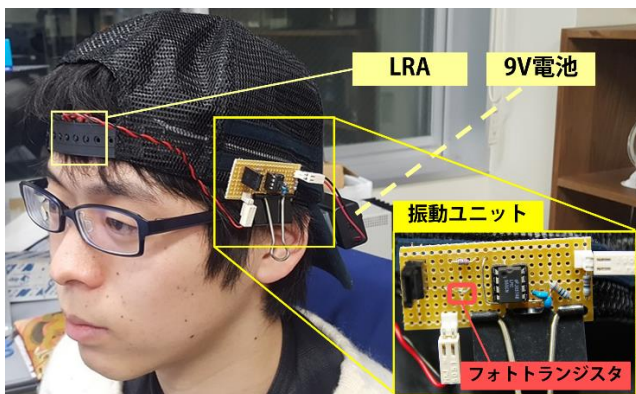


図 1 計測装置

Figure 1 Measuring device

各構成要素は LRA(LD14-002, Nidec Copal Corporation), フォトトランジスタ (PT19-21C, Everlight Electronics CO., Ltd.), 発振回路 (NE555), および 9V 電池で構成されている。また、LRA の駆動周波数は 150Hz である。

#### 2.1.1 プロジェクタによる壁提示

位置計測・振動提示装置を野球帽に搭載し、被験者の側頭部に配置した。その上でユーザの側面からプロジェクタにより白黒のパターンを投影した(図 2)。白い領域が障害物(壁)を表し、計測装置を装着した被験者がこの領域に入った瞬間に LRA による振動が提示される。白い領域の位置は 5 種類用意し、ランダムに提示することで、被験者が提示位置を予測することを防止した。

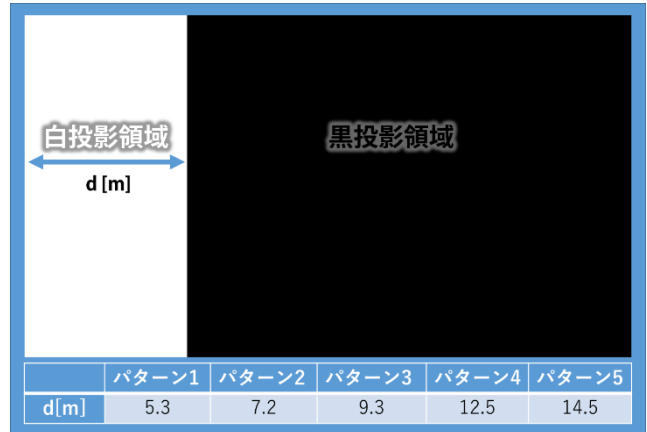


図 2 投影パターン一覧:白投影領域に入ると振動ユニットが駆動し振動が提示される

Figure 2 Projected Pattern List: When entering the white projection area, the vibration unit is driven and vibration is presented

## 2.2 実験条件

### 2.2.1 計測対象

本実験では、衝突予知情報としての振動提示から実際のユーザの歩行運動停止までの時間と距離の計測を行うため、プロジェクタにより前述の 5 種類の画像をランダム順に投影した。被験者には振動を知覚した瞬間に運動を停止するよう指示した。振動提示開始位置から運動停止位置までの距離と、停止までにかかった時間を測定した(図 3)。時間の計測についてはビデオ撮影によって行った。

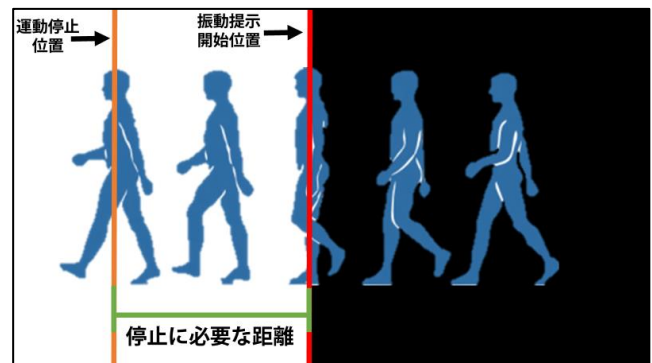


図 3 測定方法

Figure 3 Measuring method

### 2.2.2 負荷条件

ユーザの認知的負荷の異なる 2 つの条件を設定した。条件 1 は認知的負荷の無い条件であり、ユーザは振動知覚にのみ集中して歩行する。条件 2 は認知的負荷の有る条件であり、認知的負荷として、被験者の頭の中で可能な限り高速に 100 から 7 引いた値を計算し続けながら前進するというものである。

### 2.2.3 試行順序

負荷条件なしを最初に、負荷条件ありを後に行う群と、負荷条件ありを最初に行い、負荷条件なしを後に行う群に被験者を振り分けた。また各負荷条件内では、振動提示位置条件 5 種類をランダムな順番に各 1 回ずつ提示した。

### 2.3 実験手続き

被験者は男性 6 名(22~33 歳)で行った。被験者は計測装置、アイマスク、Bluetooth イヤホンを着用した。被験者はスタート位置に立ち、イヤホンからホワイトノイズと 100BPM メトロノーム音が提示された後、任意のタイミングで歩行を開始した。被験者には、振動を知覚した瞬間に停止するように指示した。また、メトロノーム音に合わせて歩行するように指示した。

## 3. 実験結果および考察

図 4 は、負荷条件ごとの振動提示位置から歩行停止位置までの距離を示したものである。マイナスの数値は被験者が歩行停止をする際、バランスが取れず上半身を少し後ろに引いてしまった場合に発生したものである。実験結果より、本手法においては、負荷条件ありにおいて人が振動を提示されてから停止するまでの距離は平均で約 0.2m、最大 0.8m であることがわかった。

振動を提示してから運動を停止するまでにかかった時間については、条件 1 の場合に最低 0.3 秒、最大 0.8 秒であり、条件 2 の場合に最低 0.4 秒、最大 0.8 秒であった。日本人の年齢別歩行データ[9]によると、平均歩行速度は 1.2m/s であり、これに最大の経過時間 0.8 秒をかけると、0.96m となる。この 2 つの結果から、歩行に関しては振動提示が行われてから運動を停止するまでに約 1m の距離があれば障害物との衝突を防げることが分かった。

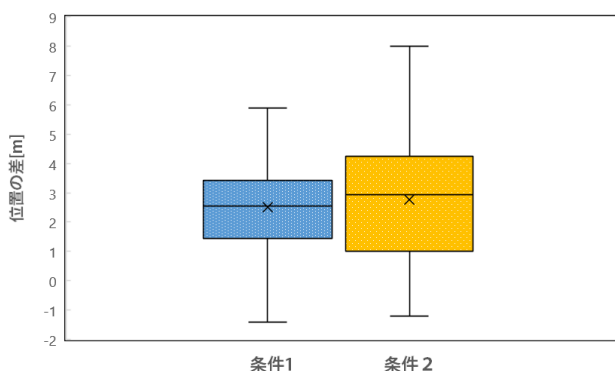


図 4 条件ごとの位置の差

Figure 4 Difference in position for each condition

## 4. まとめと今後の展望

本稿では、将来的な HMD ユーザの安全性確保を目的と

して、視覚障害者用途で多く提案されている距離—振動変換を採用することを提案した。このための予備的検討として、振動提示を行ってからユーザが運動を停止するまでの距離と時間を測定することで、障害物との衝突を未然に防げる距離を検証した。

本実験では光パターンの投影とセンシングを用いたが、実際の状況では表面性状に影響されない超音波センシングが望ましい。超音波によるセンシングの場合、原理的には往復距離/音速の遅延が発生するが、例えば 1m の距離では 7ms 以下であり、今回測定された人間による遅延より圧倒的に早く、センシング自体の遅延が問題にならないと考えられる。一方で振動子の応答性については一般的な偏心錘タイプの振動子では 0.1 秒以上の遅延が発生するため悪影響を及ぼす可能性があり、今回用いた LRA を今後も採用する必要があると考えられる。

今後は実際の HMD に超音波距離センサと振動子を装着し、VR 体験中における使用感の調査を行う。また手や手で握るコントローラ自体が検出されてしまう問題に対しては距離情報を用いる等の対策を講じる。

## 参考文献

- [1] HTC, “VIVE”. <https://www.vive.com/jp/>, 2016.
- [2] RTB GmbH & Co. KG, “Ultra Body Guard”. <http://www.rtb-bl.de/RTB/en/blind-aids/ultra-body-guard/>, 2003.
- [3] Sound Foresight Technolog, “UltraCane”, <https://www.ultracane.com/>, 2003.
- [4] H. Freiburger, A.M, “The Mark II Binaural Sensory Aid”, Bulletin of Prosthetics Research - Spring 1974, pp. 73-78, 1974.
- [5] J. M. Benjamin, Jr., M.S. E.E, “The Laser Cane”, Bulletin of Prosthetics Research - Spring 1974, pp. 443-450, 1974.
- [6] A. Cassinelli, E. Sampaio, S. B. Joffily, H.R.S. Lima and B.P.G.R.Gusmão, “Do blind people move more confidently with the Tactile Radar?”, Technology and Disability 26 (2014) pp. 161-170, 2014.
- [7] C.Bertram, M. H. Evans, M. Javaid, T. Stafford, T. Prescott, “Sensory Augmentation with Distal Touch: The Tactile Helmet Project”, Living Machines 2013: Biomimetic and Biohybrid Systems pp. 24-35, 2013.
- [8] H.Uematsu, D.Ogawa, R.Okazaki, T.Hachisu, H.Kajimoto, “HALUX: Projection-based Interactive Skin for Digital Sports ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies”, Article No. 10, 2016.
- [9] 阿久津邦男, “歩行の科学”, 不味堂出版, 1975