

# 距離の変化・差分に基づく振動提示による環境知覚支援システム —振動刺激提示シミュレーション環境の構築—

森田 慎一郎<sup>†</sup> 吉田 裕輝<sup>†</sup> 遠藤 一太<sup>†</sup>  
小林 春美<sup>†</sup> 武川 直樹<sup>†</sup> 中村 明生<sup>†</sup>

**概要：**本研究は距離の変化・差分に基づく光学的流動の性質を模擬した振動刺激提示に検討を加える。シミュレーション環境上にユーザの頭部に仮想的な距離センサを設置し、取得した距離の時間差分に基づく要素とその時点での距離の逆数に基づく要素を掛け合わせた振動強度を算出し、振動刺激として提示するシステムを構築した。構築したシステムで壁面に対し回転探索した際の振動強度シミュレーション値を確認し、壁面に対し正対する方向を知覚する振動パターンを確認した。以上により距離の変化・差分の振動提示による壁面の方向定位の可能性が示唆された。

## 1. 序論

視覚障害者の歩行時における環境知覚支援する目的で Electronic Travel Aids(ETAs)の開発がなされている[1]。ETAsは周囲環境をセンシングし視覚以外のモダリティに変換することで周囲環境情報を残存感覚を介して伝達する。代表的な例として、距離センサで取得した値を振動モータの振動強度に変換した例があり、周辺環境の知覚支援に有効である[2]。

ETAsシステムはセンサ計測値を非視覚モダリティへ断続的に変換し情報提示している。しかし、連続的な情報提示がユーザのストレスになりうる可能性がある。したがって、ETAsの中には刺激発生のための ON/OFF スイッチを内包している例[3]もあるが、意図していない情報をユーザが獲得することが困難であると想定される。

一方で、生態心理学の知見によると、人間が環境知覚をする上で重要な情報として変化・差分が挙げられ、特に視覚においては光学的流動が環境知覚に対し重要な役割を持つとされている[4][5]。変化・差分に基づいた非視覚刺激を提示すれば、環境とユーザが相対的な変化がない場合は刺激が発生しない。またユーザの動作をトリガーとした刺激を発生でき、ユーザが停止している場合でも移動障害物など相対的に移動する対象から情報を獲得できる。

先行研究として、光学的流動を簡易的に描画した情報提示による周囲環境知覚の検証をしてきた[6]。そこで、我々は光学的流動の性質を模擬し距離情報から非視覚刺激へのモダリティ変換することを目指す。本稿では VR シミュレーション上での距離の変化・差分より生成した振動提示手法のシステムの構築を検討する。

## 2. 問題設定

本研究は光学的流動を模擬した振動刺激提示システムの開発を目指しており、頭部装着型ウェアラブルデバイスシステムのプロトタイプの開発を行ってきた[7]。これまで、シミュレーション環境上での光学的流動を簡略的に表現し振動刺激として提示するシステムの検討を行ってきた。しかし、2021 現在の ETAs においては入力情報として距離センサを活用している例が多い[8]。そこで我々は光学的流動の性質を模擬し、距離の変化・差分に基づく振動提示による周囲環境の知覚の可能性を検証している。

視覚における変化・差分である光学的流動を模擬し振動強度を算出する。光学的流動の拡大における代表的な性質として以下の2点を挙げる。

- ・動きの変化に比例して流動は大きくなる。
- ・自身から面が近いほど大きく、遠いほど小さくなる。

1 点目は、自身の動きの変化に比例して流動の大きさが変化する点である。ユーザの動作に比例して流動の大きさは常に変化する。2 点目は自身と面との距離の違いで流動の大きさが変化する点である。自身に近い面に投影された面の方が流動は大きく、自身から遠い面に投影された面の流動は小さくなる。よって、この2点の性質を模擬した振動刺激を距離情報から算出しユーザに提示する。具体的には、1 点目の性質を距離の時間差分により算出し、2 点目の性質を障害物とユーザとの距離により算出し、2 点を組み合わせた振動刺激を生成する。

## 3. システム構成

### 3.1 振動刺激シミュレーション環境の構築

図 1 に本システムの構成を示す。本システムは振動提示部とシミュレーション環境用 PC で構成される。振動提示部には装着者の頭部位置・姿勢を追跡するためのトラッカ

が搭載されており、その追跡情報を PC で取得する。その追跡情報を基にシミュレーション環境上で頭部に仮想的な距離センサを実装する。仮想距離センサはシミュレーション環境上に構築した障害物(壁や床)との距離を算出し、振動強度算出プログラムへ送信される。振動強度算出では受信した距離を基に距離変動に基づく振動刺激強度を算出し、強度情報を振動提示部に搭載されている振動コントローラに送信する。振動コントローラにはマイコンモジュールおよびモータドライバ回路が搭載されており受信した強度情報を基に、振動提示デバイスに搭載されている扁平型振動モータの駆動電圧を制御する。この時 PWM 制御により駆動電圧を制御することで、装着者の頭部に提示される振動強度を変化させる。

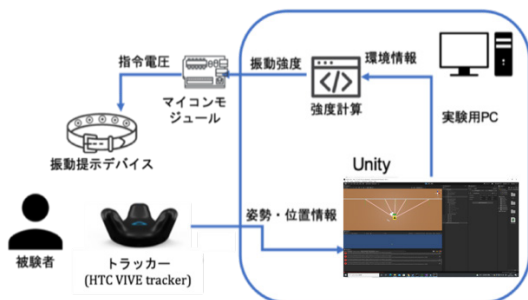


図1 システム構成

### 3.2 視覚変動の簡略表現手法

距離に基づく振動刺激強度の算出手法について述べる [9]。2.2 節で述べた光学的流動の性質(1), (2)を模擬した時刻  $t$  における振動強度  $I(t)$  の算出式を式(1)に示す。  $I(t)$  は 0~1 の値であり、1 以上の値は 1 とする。振動強度  $I(t)$  は時刻  $t$  における距離差分変数  $X(t)$  と距離変数  $\omega(t)$  の積で算出される。時刻  $t$  における距離差分変数の算出式を式(2)に距離変数の算出式を式(3)に示す。

式(2)は距離の変化・差分に基づき、動きに比例して大きくなる振動強度を算出する。動きの基準として平均歩行速度を採用し、歩行時の約 1 歩分に相当する 0.6s 間(本システムでは 2 フレーム)の距離変化を累積し、ユーザの歩幅  $m$  を尺度として算出する。したがって、  $X(t)$  はユーザが平均的な歩行で障害物に接近した時 1 に近づく。対して、停止し障害物と相対的な距離が一定の場合 0 になり、振動が発生しない。

式(3)は距離に基づき障害物との距離に比例した振動強度である。現時刻  $t$  の時障害物との距離に近いほど大きく、遠いほど小さい振動強度を算出する。この時  $l_{max}$  は衝突までの十分な時間を確保できると想定し約 10 歩分の距離である 5000mm とした。また Fig.3 に距離に応じた距離変数値を示す。接近した時の単一平面の面積拡大を模擬するため指数的な増加となる式を採用した。その際、衝突の警告を促す意味で衝突の約 2 歩手前である 1.5m 以下の場合  $\omega(t)$

が 1 より大きくなり、  $l_{max}$  の時およそ 0.1 となる式となるよう実験的にパラメータを決定した。

以上より算出した 0~1 の振動強度  $I(t)$  を 1byte の 0~255 で表現し、振動モータを制御する。

$$I(t) = X(t) \cdot \omega(t) \quad (1)$$

$$X(t) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^2 \|l(t) - l(t-k)\| \quad (2)$$

$$\omega(t) = 2e^{\frac{-3l(t)}{l_{max}}} \quad (3)$$

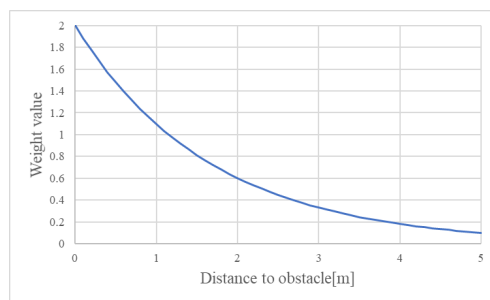


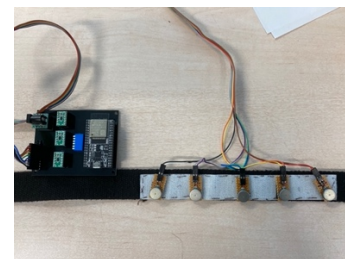
図2 距離変数

### 3.3 振動提示部

図3に示す振動提示部はヘルメット、トラッカ(HTC VIVE tracker)および扁平型振動モータで構成される。扁平型振動モータはベルトに貼り付けるように頭部の2点弁別域を考慮するように設置されており、振動モータを額に密着するように装着する。振動モータの配置は人間の視野角である  $120^\circ$  の範囲内であり、正面、斜め、横と直感的に解釈しやすいことに鑑み、額中心を  $0deg$  とした  $-60, -30, 0, 30, 60deg$  の5方向に設置した。その上より頭頂にトラッカが搭載されたヘルメットを被せるようにして装着する。シミュレーション環境 PC では振動モータの装着方向に一致させた方向に対して距離を算出する。



ヘルメット部



振動モジュール

図3 振動提示部

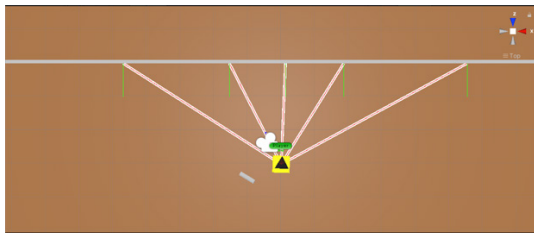


図4 シミュレーション上での距離計測

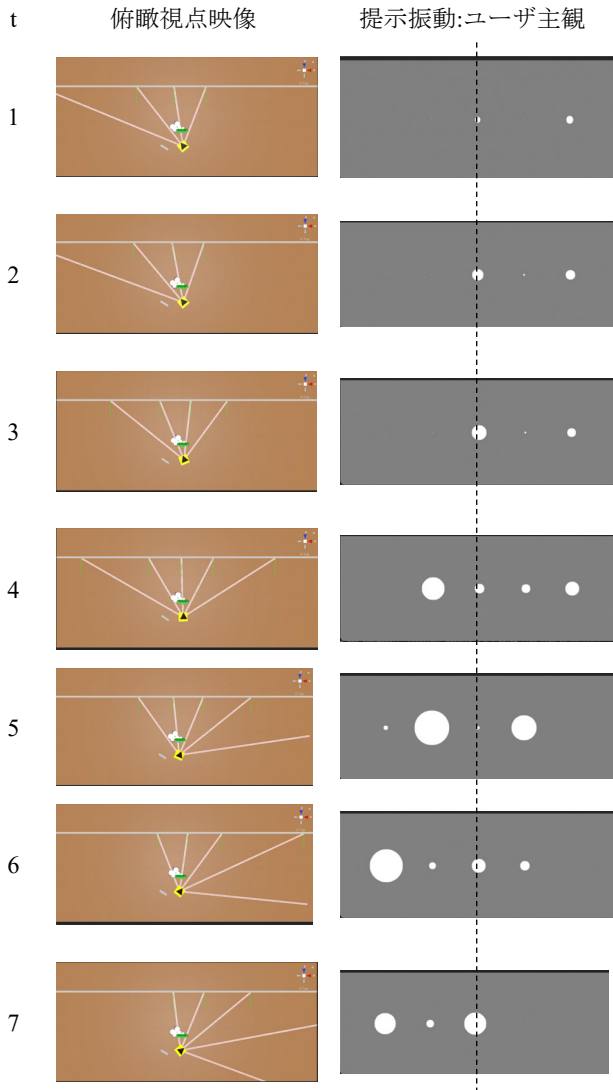


図5 首振り探索時の提示振動

#### 4. システムの動作

システムの動作を説明する。図4にシミュレーション環境内で取得する仮想的な距離センサを示す。図では三角で示すユーザ位置から線を伸ばしている方向に距離を計測する。図中のシチュエーションではユーザの前方3mに壁面を設置しており、線と壁面が設置するまでの距離を取得する。

図5に代表シチュエーションとして壁面に対し回転探索

した場合の振動刺激のシミュレーションを示す。図5では1から7の順で首を回転させた時のシミュレーション上での距離計測(左列)および振動の強度を白円の直径として描画(右列)したものを示している。振動提示の列に示す黒破線は中心を示し、頭部の中心に提示される振動強度を示している。また円の位置が振動の提示される方向を示している。図5の $t=3$ の時、中心から右60度方向に向かい「強弱強」の振動パターンが提示されている。次に左30度から右60度にかけて「強弱弱強」のパターンが提示されている。 $t=7$ では左60度から中心にかけて「強弱強」のパターンが提示されている。これは壁面に対し垂直に計測するほど回転による時間差分が減少するからである。ユーザはこの強振動、弱振動、強振動を感じ取ることで、壁面に対し正対する方向を知覚できると考えられる。

#### 5. デモ展示

デモ展示では、今回提案したシステムを展示し、距離変動に基づく振動刺激による提示情報をデモンストレーションする。この際、シミュレーション環境および刺激パラメータを逐次変更し、詳細な説明および環境知覚の可能性について議論する。

#### 6. 結論

距離の変化・差分に基づく振動による周囲環境知覚支援の可能性検証のためのシミュレーション環境を構築した。光学的流動の性質を模擬するため、シミュレーション環境に構築した仮想的な距離センサから取得する距離の時間差分と、その時点での距離を掛け合わせる振動強度を算出し振動として提示するシステムを構築した。振動強度のシミュレーションから壁面方向の知覚に対して考察し、強度パターンによって提示される可能性を示唆した。

今後、被験者実験を行い、壁面の方向定位に対し検証を進め、非視覚刺激による環境把握に対する有効性を調査する。

**謝辞** 本研究の一部はJSPS 科研費 JP19K12881 の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] D. Dakopoulos and N. Bourbakis, "Wearable Obstacle Avoidance Electronic Travel Aids," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part C: Applications and Reviews, Vol. 40, No. 1, pp.25-35, 2010.
- [2] Cassinelli, A., Sampaio, E., Joffily, S. B., Lima, H. R. S., and Gusmão, B. P. G. R., "Do Blind People Move More Confidently with the Tactile Radar?," Technology and Disability, Vol. 26, pp.161-170, 2014.
- [3] WA, Shanaka P. Abeysiriwardhana; RM, Maheshi Ruwanthika; AM, Harsha S. Abeykoon. "Vibro-Haptic White Cane with Enhanced

Vibro Sensitivity.” In: 2018 2nd International Conference On Electrical Engineering, p. 156-161, 2018.

- [4] J. J. ギブソン, “生態学的視覚論”, サイエンス社, 1985.
- [5] 佐々木正人, 三嶋博之, “アフォーダンスの構想 知覚研究の生体心理学的デザイン”, 東京大学出版会, 2001.
- [6] 谷部航太郎, 森田慎一郎, 鬼頭一帆, 小林春美, 武川直樹, 中村明生, “視覚情報の変化・差分提示による環境把握の検証:HMDを用いたシミュレーションシステムの構築”, インタラクション 2020 論文集, pp.279-281, 2020.
- [7] Shinichiro Morita, Yoshihiro Kanehara, Kazuho Kito, Harumi Kobayashi, Naoki Mukawa, and Akio Nakamura, “Environment Understanding During Walking via Modality Conversion from Visual to Haptic Information,” International Workshop on Advanced Image Technology 2020, pp.1-6, January 2020.
- [8] S. Bahadir, V. Koncar, F. Kalaoglu, “Wearable obstacle detection system fully integrated to textile structures for visually impaired people”, Sensors and Actuators A, No.179, pp.297-311, 2012.
- [9] 遠藤一太, 森田慎一郎, 奥田昂太, 吉田裕輝, 小林春美, 武川直樹, 中村明生, “距離変化から変換した振動刺激に基づく歩行時環境知覚の基礎検証”, HCG シンポジウム 2021, A-4-4, 2022.