



視覚刺激と振動刺激を用いた位置情報提示手法の評価

Evaluation of Spatial Information Providing Method
using Visual and Vibration Stimulation

田中聖紗¹⁾, 柴田傑²⁾

Misa Tanaka, and Takesi Sibata

1) 室蘭工業大学情報電子工学系専攻 (〒 050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1, 19043044@mmm.muroran-it.ac.jp)

2) 室蘭工業大学しくみ解明系領域 (〒 050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1, shibata@csse.muroran-it.ac.jp)

概要: 人の腕をある位置に向かって誘導するとき、視覚と振動の刺激を組み合わせる位置情報を提示することによって、効果的に誘導できると考えられる。本研究では視覚と振動を組み合わせ位置情報提示によって、どのような効果があるか調べるため、視覚と振動を組み合わせ位置情報提示手法を実装した。実験では実装したシステムを用いて VR 空間上に位置情報を提示し、ユーザは提示された位置に向かって腕を動かし、奥行き方向の動きを評価した。実験の結果、提案手法の方が視覚刺激のみによる提示よりも提示効果があった。

キーワード: 振動子, 視覚, 提示, 教育, 訓練

1. はじめに

楽器演奏や動作の習得を支援するために、視覚刺激を用いて空間中の位置を提示し、腕の動きを誘導する手法が提案 [1] されている。しかし、視覚刺激だけでは奥行き方向の提示は難しい。また、視覚は目標とする移動の到達点 (目的点) だけではなく、奥行き方向や周辺の状態などの観察が要求される。視覚を補助するために奥行き方向や周辺の状態を示す刺激が必要である。視覚刺激以外の刺激を組み合わせ提示することによって、効果的に位置情報を提示すると思われる。

本研究では、目的点の方向を示す刺激として振動刺激に着目する。振動刺激は筋肉に直接作用するため、動作の方向の提示が容易であると考えられる。視覚刺激と振動刺激を組み合わせる位置情報提示手法を提案する。実験では、提案する位置情報提示手法を実装しユーザは提示された位置に向かって腕を動かし、奥行き方向の動きを評価した。

2. 位置情報提示手法の実装

2.1 システム概要

提案する振動提示手法では、目的点の位置と現在の腕の位置に対する目的点の方向 (移動方向) の双方を位置情報として提示する。目的点の位置は視覚刺激によって、移動方向は視覚刺激と振動刺激を組み合わせ提示する。

目的点の位置は CG 空間上の球体の CG オブジェクト (目的点 CG) で表現する。移動方向は、腕に装着した振動子の振動の違い及び腕を表す CG で提示する。装着した振動子の中で目的点に近い振動子の振動を相対的に強くする。これによって、目的点に向かって腕が押し出される印象を与

え、方向を提示する。このとき、振動の強さを色の濃さで表現する。ユーザは、目的点 CG, 腕の CG, 振動子の振動、及び振動の強さを表す色から移動の方向を把握できる。

実装したシステムは、1) 現在の腕の位置を計測する位置取得機能、2) 取得した位置を視覚的に表示する視覚刺激提示機能、及び 3) ユーザの位置に合わせた振動を与える振動提示機能で構成される。実験のために 4) 振動子の強さや装着の状態を確認するデバック機能、5) ユーザの動作を記録する機能を実装した。

2.2 ハードウェア構成

実装したシステムは制御用コンピュータ (DELL/Precision M3800)、腕の位置を取得するための磁気式モーションキャプチャ (磁気式 MoCap : POLHEMUS/G4)、振動子、振動子制御用の小型コンピュータ (Arduino Uno SMD R3) で構成される。図 1 に実装したシステムの構成を示す。同図 (a) に示すように、制御用コンピュータは、同図 (b) に示す磁気式 MoCap 及び同図 (c) に示す 2 つの小型コンピュータに USB ケーブルで接続される。同図 (d) に示すように、小型コンピュータにはそれぞれ 6 個の振動子が接続される。

磁気式 MoCap にはトランスミッタとセンサが接続される。トランスミッタが発する磁気をセンサが観測することによって、トランスミッタを原点とするセンサの位置・姿勢 (6 自由度) のデータを記録する。

制御用コンピュータは目的点 CG 及び腕の CG を表示する。また、磁気式 MoCap で計測した現在の腕の位置と目的点の位置から各振動子の振動の強さを計算する。計算した振動子の強さはシリアル通信によって小型コンピュータへ送信される。

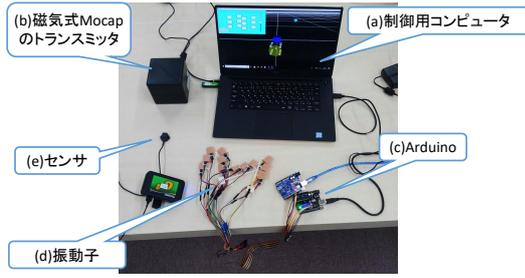


図 1: ハードウェア構成

小型コンピュータは 3.3(V) のデジタル出力を PWM 制御できる制御ポートがあり、制御ポートに振動子が接続されている。小型コンピュータは制御用コンピュータから受信したデータに基づいて振動子を振動させる。

図 2 に振動子を装着した様子を示す。ユーザは同図 (a) のような振動子が 3 つ固定された治具を 4 つ (振動子合計 12 個) を同図 (b) のように腕の周りに装着する。また、磁気式 MoCap のセンサを腕の上面に装着する。ユーザは腕の周囲に振動子を装着することによって、上下左右斜めの各方向の刺激を受けることができる。

2.3 ソフトウェア構成

2.3.1 位置取得機能

実装したシステムでは磁気式 MoCap のトランスミッタを原点とし、ユーザの正面にトランスミッタを水平に置き、ユーザに対して横方向を X 軸、縦方向を Y 軸、奥行き方向を Z 軸とする。

実装したシステムでは、ユーザに装着した磁気式 MoCap のセンサの位置がユーザの腕の位置の中心であり、向きが腕の向きであるとみなして振動を計算する。実装したシステムでは、磁気式 MoCap のセンサに対する振動子の位置をあらかじめ設定し、目的点に対する振動子の位置を求める。図 3 に設定した振動子の位置を示す。同図 (b) に示すように振動子をセンサを中心に各軸方向に $\pm 4.55(\text{cm})$ の位置にあるものとみなす。実際の装着位置は、ユーザの腕の太さなどによって変動するものの、およその方向を提示するこ

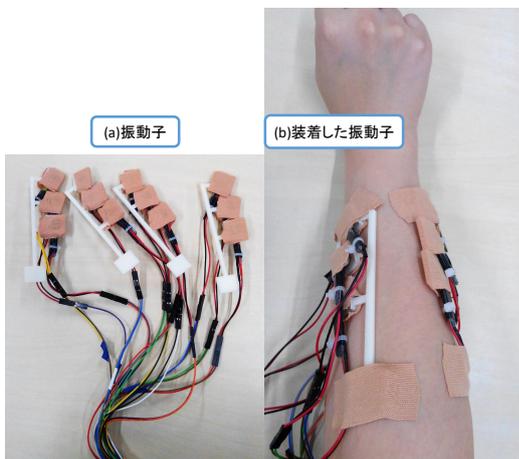


図 2: 振動子

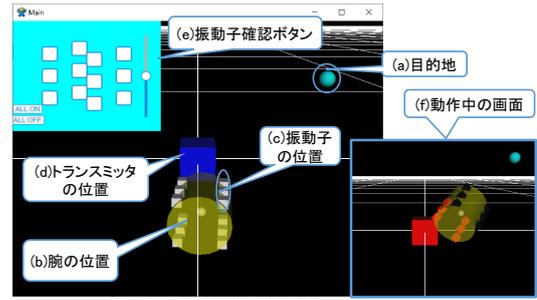


図 3: システム画面

とが目的であるため、一定の値で位置を求めることとした。

2.3.2 視覚刺激提示機能

目的点、現在の腕の位置姿勢、各振動子の振動の強さを可視化することによって、位置情報を提示する。視覚刺激提示機能は位置取得機能で取得された腕の位置に、CG オブジェクトを生成する。現在の腕の位置を CG 空間上に反映するため、CG 空間上の座標は磁気式 MoCap のトランスミッタと同様の座標を取るようにした。目的点は図 3(a) の青い球体の CG で表示される。取得したセンサの位置は同図 (b) の白い球体の CG で表示される。振動子の位置は同図 (c) の白い立方体の CG で表示される。トランスミッタの位置は同図 (d) の青い立方体の CG で表示される。振動子のオブジェクトは振動の強さによって色が変わる。振動が強い場合は赤色に変化し、振動していないときは白色に変化する。振動している振動子のオブジェクトは同図 (f) のように表示される。

2.3.3 振動提示機能

振動提示機能は目的点から遠い振動子を強く振動させることによって移動の向きを提示する。振動子の強さは目的点から遠い場所が強く振動するように設定する。振動子の強さを設定するために距離の二乗に着目した。目的点と振動子の距離を計算する。 i 番目の振動子の位置 \mathbf{P}_i と目的地 \mathbf{G}_p との距離の二乗 d_i^2 をユークリッド距離を用いて式 (1) で求める。

$$d_i^2 = |\mathbf{G}_p - \mathbf{P}_i|^2 \quad (1)$$

ユーザは個人ごとに振動の感じ方が違うため、最も強い振動 (L_{up}) 及び最も小さい振動 (L_{low}) はあらかじめユーザが指定する。12 個の振動子のうち、目的点に最も近い振動子の d_i^2 を d_{min} 、最も遠い振動子の d_i^2 を d_{max} とする。式 (2) を用いて正規化し、式 (3) を用いて指定された範囲の値 p'_i に変換する。

p'_i が負の値を取るときは振動しないものとし、振動の強さ p_i ($0 \leq p_i \leq 255$) は、式 (4) を用いて求める。ユーザは、 L_{min} に負の値を設定することによって、振動する振動子の数を間接的に制御することができる。

$$n_i = \frac{d_i^2 - d_{min}}{d_{max} - d_{min}} \quad (2)$$

$$p'_i = n_i(L_{up} - L_{low}) + L_{low} \quad (3)$$

$$p_i = \begin{cases} 0 & (p'_i \leq 0) \\ 255 & (255 \leq p'_i) \\ p'_i & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

2.4 提示システムの使用

実装システムをユーザが使う場合には、まず、振動子を装着する。振動子は、3 つずつ治具で固定されているので、各治具を腕にテープで固定する。次に磁気式 MoCap のセンサを装着する。システムを起動するとリアルタイムに腕の CG が動くので、磁気式 MoCap の接続を確認することができる。ここで、キーボードの d キーを押すとデバックモードが起動し、図 3 に示す画面が表示される。同図 (e) 振動子確認ボタンのボタンを押すと振動子の動作を確認できる。

3. 評価実験

3.1 実験目的

視覚のみの提示では奥行き方向 (Z 軸方向) の位置情報の提示は難しい。視覚と振動を組み合わせた位置情報の提示によって、Z 軸方向の移動にどのような効果があるか評価する。そこで、視覚刺激のみの提示方法、及び視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法で目的点を提示し、被験者に目的点に向かって腕を移動してもらった。

3.2 実験用機能

実験のために目的点をランダムで設定する機能を実装した。実験では腕を簡単に動かせる範囲にするために、CG 空間上の座標の範囲を机の大きさで設定した。また、実験中に CG 空間上の視点がずれないように原点から Z 軸方向に 100cm 離れ Y 軸方向に 20cm 上の位置に CG 空間上のカメラを固定した。

システム内で動作を記録する機能を実装した。記録中は図 3(f) のようにトランスミッタを表しているオブジェクトが赤色に変化する。動作の記録として取るデータは、総フレーム数、システムの動作時間、1 フレームごとのセンサの座標 (X_t , Y_t , Z_t), 及びセンサと目的点の距離 d_t である。キーボードの s キーを押すと記録が開始される。目的点とセンサの距離が 1cm 以下になったら記録が終了する。

3.3 実験条件

実験の時、ユーザーが視覚刺激を容易に見れるように制御用コンピュータの画面をスクリーンに投影した。腕の動かし方は刺激に応じて目的点に向かい動かすように指示した。被験者は、トランスミッタから Z 軸方向に 15cm の位置 (初期位置) から動きを開始し、動作が終わるごとに初期位置に戻すこととした。目的点はランダムに提示することとした。順序効果が出ないように視覚刺激のみの提示方法と視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法に加え、振動刺激のみの提示方法の 3 つの提示方法をランダムで提示し実験した。

被験者は 20 代の男女 5 名 (男性 3 名, 女性 2 名, 以下被験者 A~E) である。実験は以下の手順で進めた。

1 実験目的及び実験システムの教示

- 2 振動子とセンサの装着及び動作確認
- 3 指定された提示方法に従って腕を目的点から 1cm 未満の位置まで移動
- 4 3 をそれぞれの提示方法で 3 回, 計 9 回実行

3.4 実験結果

目的点はランダムで決まるので、目的点までの移動距離はばらつきがある。ここで、ある時刻 t における目的点までの Z 軸の差を Z_t とする。この時、 Z_0 は計測開始時の目的点までの Z 軸の差である。本実験では、式 (5) を用いて、開始時の腕と目的点との差に対するある時刻位置の比である Z'_t を求める。 Z'_t が 1 より大きいとき初期位置より手前の位置であることを意味し、 Z'_t が 0 未満の時目的点の位置より奥の位置であることを意味する。 Z'_t を求めることによって、目的点のばらつきを考慮して Z 軸方向の提示効果を評価する。

$$Z'_t = \frac{Z_t}{Z_0} \quad (5)$$

開始時点で Z'_t が 2cm 未満の施行は、Z 軸方向の移動がほとんど含まれないため、考察から除外する。

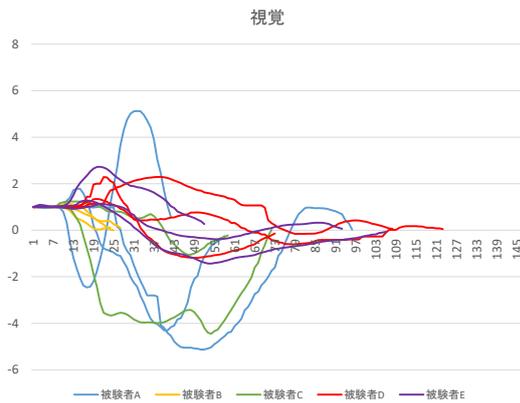
求めた Z'_t を図 4 に示す。図 4(a) は視覚刺激のみの提示方法、図 4(b) は視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の Z'_t のグラフである。グラフはそれぞれ縦軸が Z'_t 、横軸がフレーム数である。図 4(a) の縦軸を見ると最小値が 5 と負の方向に大きくずれていることがわかる。正の方向のずれをみると最大 5 程度であることがわかる。同図 4(b) の縦軸を見ると負の方向のずれは大きくないことがわかる。正の方向のずれをみると同図 (1) を除くと最大 3.8 程度であることがわかる。

3.5 考察

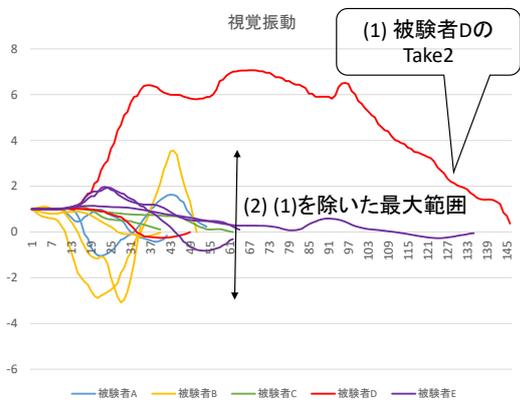
Z 軸と目的点までの距離のばらつきについて評価するため、 Z'_t を箱ひげ図で比較した。図 5 に箱ひげ図を示す。箱ひげ図の縦軸は Z'_t 、横軸は提示方法である。同図 (1) は 0 から 1 の範囲を表している。(1) より視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の方が、 Z'_t のばらつきが 0 から 1 の間であることがわかる。これらのことから、視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の方が目的点まで遠回りせず、まっすぐ向かっていることがわかる。したがって、視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の方が Z 軸方向の提示効果が高いと考えられる。

図 5 の箱ひげ図の Z'_t のばらつきに差があるか調べるため、優位水準 1% で F 検定で比較した。検定をかけた結果分散は不等分散でありばらつきに差があることが分かった。視覚刺激のみの提示方法に比べて視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の方が個人や初期位置によらず、位置情報を提示できると考えられる。

以上のことから、Z 軸方向の提示に対して視覚刺激のみの提示方法に比べて、視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の方が、提示効果が高いと考える。したがって、本研究で提案した位置情報提示手法は奥行き方向の提示に対して提示効果に影響があると考えられる。



(a) 視覚刺激のみ



(b) 視覚刺激と振動刺激

図 4: 各提示方法の Z 軸のずれ

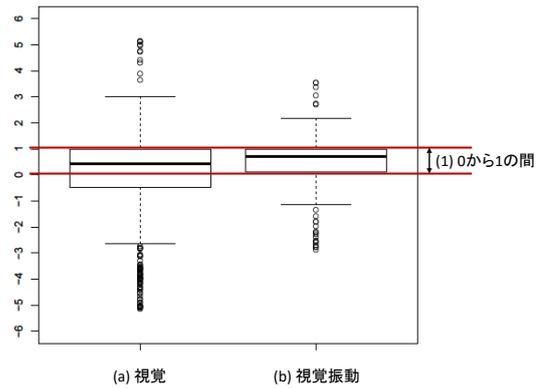


図 5: Z 軸方向のずれ

4. おわりに

本研究では、目的点の方向を示す刺激として振動刺激に着目し、視覚刺激と振動刺激を組み合わせる位置情報提示手法を提案した。提案した位置情報提示手法が奥行き方向の提示に対して提示効果に影響があるか評価するため評価実験をした。実験の結果、視覚刺激のみの提示方法より視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法の方が、奥行き方向を提示する際に提示効果が高いことが分かった。したがって、視覚刺激と同時に振動刺激を提示することによって、動作の誘導をするときに視覚の補助ができると考えられる。

今後の課題として、実際に実装したシステムを用いて、楽器演奏の一連動作の誘導が挙げられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 18K18163 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 柴田傑, 他: VR 環境を利用した三味線の撥さばき自習システムの開発と学習者の評価, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 19, pp. 216-219, 2014.