



視覚と振動を用いた反復動作の学習システムの評価

Evaluation of Repetitive-motion Learning System
using Visual and Vibrational Feedback

田中聖紗¹⁾, 柴田傑²⁾

Misa Tanaka, and Takeshi Shibata

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) 茨城大学数理・応用科学領域 (〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学 工学部 S1 棟 812 号 室, takeshi.shibata.vrs@vc.ibaraki.ac.jp)

概要: 楽器演奏を習得するためには一つの音を出す動作を繰り返し練習しなければならない。本研究では視覚と振動を組み合わせた提示方法を用いた反復動作学習システムを実装した。本実験では実験参加者は実装したシステムを用いて提示された位置に向かってリズムに合わせて腕を反復動作した。実験後の感想から性別によって刺激の受け取り方が違う傾向があった。そこで、男女の目的点までの平均到達時間を比較した。実験の結果、男性の平均到達時間が短かった。一方で、振動を加えることによって男性は 0.34 秒、女性は 0.72 秒平均到達時間を短縮できた。

キーワード: 振動, 視覚, 教育, 訓練

1. はじめに

楽器演奏を習得するためには、自分自身の動きを熟練者の動きと比較すること、比較した結果から動作を修正すること、一つの音を出す動作を繰り返し練習することが必要である。楽器演奏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されている [1]。また、視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法で腕の動きを誘導する手法が提案されている [2]。

本研究では、楽器演奏の中でも三味線に着目する。三味線は民俗芸能を担う重要な楽器である。三味線には弦があり弦を弾くために撥を使用する。決められた弦を撥で弾くことによって演奏する。三味線演奏の習得するためには、まず、一つの音を正確に出す必要がある。一つの音を正確に出すには撥を弦に向かってまっすぐ動かす動作(打ち下ろし)が必要である。そのため、学習者は打ち下ろしを反復練習することになる。

本研究では、三味線の打ち下ろしに着目し、視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法を用いた反復動作学習システムを実装する。実験では、実装したシステムを用いて実験参加者に提示された位置に向かって腕を反復動作させ、システムの効果を評価した。

2. 実験

2.1 実装システム

実装システムでは、目標となる腕を振り上げる位置または振り下ろす位置(目的点)を視覚刺激と振動刺激を用いて表示する。図 1 に実装システムのハードウェア構成を示

す。実装システムは制御用コンピュータ (DELL/Precision 5530)、腕の位置を取得する磁気式モーションキャプチャ(磁気式 MoCap: POLHEMUS/LIBERTY)、振動子、振動子制御用の小型コンピュータ (Arduino 互換マイコン) で構成されている。同図 (a) に示すように、制御用コンピュータには同図 (b) に示す磁気式 MoCap 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し、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には同図 (c) に示す 2 つの小型コンピュータが USB ケーブルを使って接続される。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。

実装システムのソフトウェアは 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刺激提示機能で構成される。

1) 位置取得機能では磁気式 MoCap のトランスミッタを原点としている。磁気式 MoCap のトランスミッタと磁気式 MoCap のセンサの位置から CG 空間上に表示する CG オブジェクトの位置を決定する。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。

2) 視覚刺激提示機能は位置取得機能の位置情報を CG で表示する。目的点の位置は図 2(a) の青い球体 CG、現在の腕の位置姿勢は同図 (b) の黄色い円柱 CG、振動子の位置は同図 (c) の白い立方体 CG、トランスミッタの位置は同図

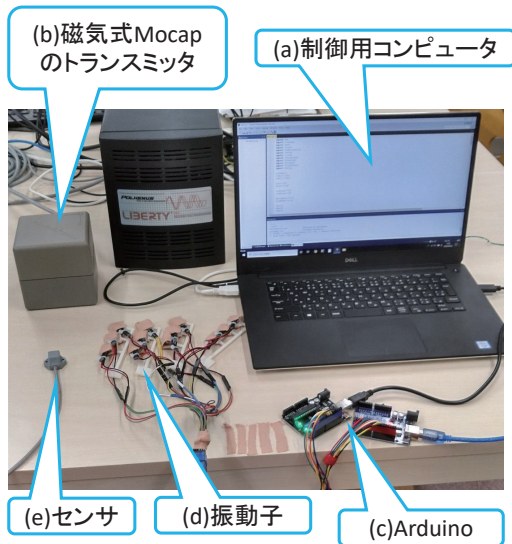


図 1: ハードウェア構成

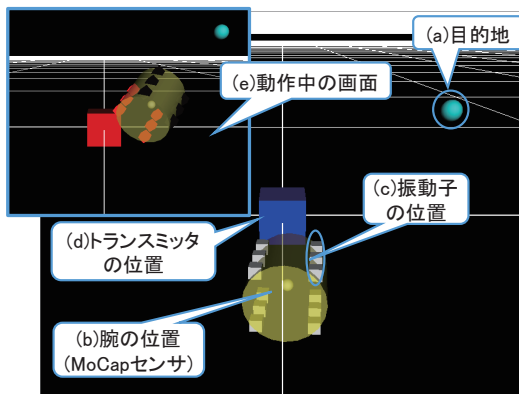


図 2: システム画面

(d) の青い立方体の CG で表示される。

3) 振動刺激提示機能は文献 [2] と同様に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。目的点と振動子の距離から振動の強さが決められる。各振動の強さは同図 (e) に示すように立方体 CG の色で表示する。振動が強い場合は赤色、振動していないときは白色に変化する。振動はユーザごとに感じ方に個人差があるため、振動の強さの上限と下限をユーザが設定することができる。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し、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。

2.2 実験目的・条件

視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法 (提案提示方法) と視覚刺激のみの提示方法 (視覚のみの提示方法) で、打ち下ろしの目的点を提示する。実験参加者に目的点に到達するまで打ち下ろしを反復させる。提案提示方法と視覚のみの提示方法を目的点に到達するまでの時間の平均 (平均到達時間) によって比較する。

実験のため実験参加者が座る椅子、磁気式 MoCap のトランスミッタを置くための机、制御用 PC と磁気式モーション

表 1: 目的点の座標パラメータ

軸	振り上げの座標/cm	振り下ろしの座標/cm
X	-11.0, -13.0, -18.0, -15.0	-1.0, -3.0, -5.0, -2.0
Y	11.3, 11.7, 11.5, 11.4	4.5, 7.0, 9.5, 2.3
Z	30.0	41.0, 43.0, 46.0, 44.0

ンキャプチャの本体を置くための机、実験参加者が視覚刺激を容易に認識できるように制御用コンピュータの画面を投影するスクリーン、及び記録用のビデオカメラを設置した。

実験参加者はメトロノームの音に合わせて打ち下ろしを反復する。メトロノームは 120 bpm、二拍子のリズムで音を鳴らす。打ち下ろしを反復させ目的点に到達するまでを 1 take とする。目的点とセンサの距離が 1.5 cm 以下になったら目的点に到達したとみなす。目的点は表 1 からランダムに選んだ位置を提示する。順序効果を考慮し、提案提示方法と視覚のみの提示方法を交互に提示した。また、実験参加者によって初めに提示する刺激を変え実験した。

本実験では各 take ごとに腕に装着したセンサの位置 (3 自由度)、目的点の座標、センサ数、計測したフレーム数、計測開始時刻、計測終了時刻のデータを記録する。

実験参加者は男女 4 名 (男性 2 名、女性 2 名) である。実験をする前に実験の大まかな流れについて説明し、実験参加者の同意を取った。実験は以下の通りに進めた。

- 1 実験手順の説明
- 2 振動子とセンサの装着及び動作確認
- 3 システムの説明及びシステムの体験
- 4 実験条件の説明
- 5 提示された提示方法に従って腕を目的点から 1.5 cm 未満の位置までリズムに合わせて 15 往復移動
- 6 5 をそれぞれの提示方法で 3 回、計 6 回実施
- 7 振動子とセンサを外す

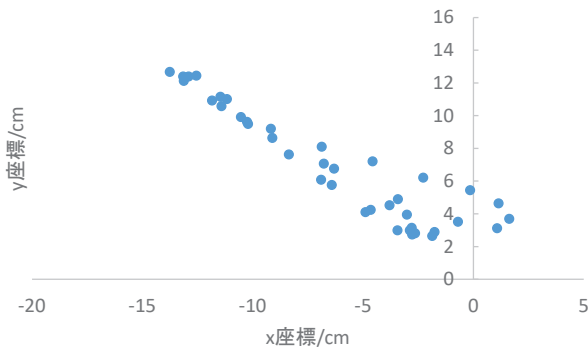
また、実験参加者の一人に関しては時間の都合上、それぞれの提示方法を 2 回、計 4 回の実施となっている。

本実験は、室蘭工業大学の倫理委員会の審査を経て実施した。

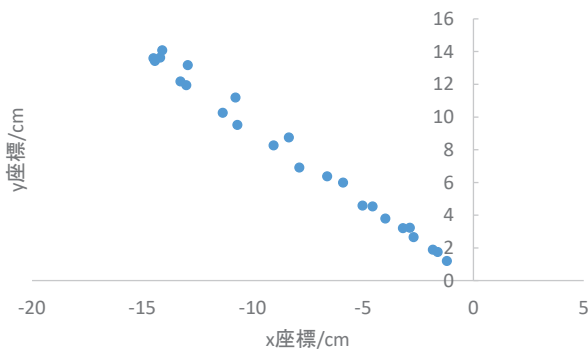
2.3 実験結果

図 3 にある実験参加者の提案提示方法の take 1 と take 15 の散布図を示す。同図の縦軸は y 座標、横軸は x 座標、各点はあるフレームの位置である。目的点を原点とする。実験で実験参加者の動きと同様に各点が直線に分布していることが分かる。take 毎の点の分布を見てみると、take 1 では点が多くフレーム数が多いので目的点を探すのに時間がかかっている。take 15 では点が直線状に分布されているためまっすぐ目的点に向かっている様子が計測されている。これは実験参加者の動きの様子に一致し動きが計測できていると考えられる。この傾向は他の実験参加者にもみられた。

実験参加者に実験終了後に簡単な感想を聞いたところ、男性は振動があったほうがわかりやすかったという傾向が得



(a)提案提示方法のtake1



(b)提案提示方法のtake15

図 3: 各提示方法の散布図

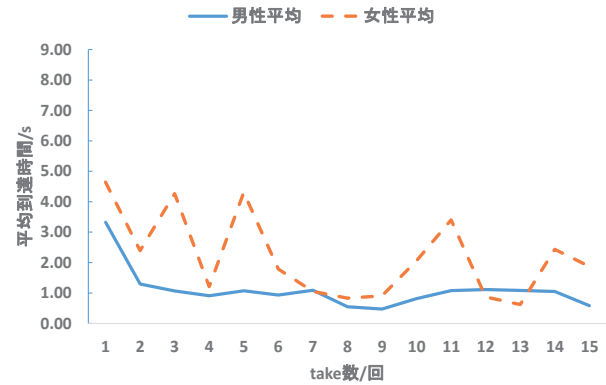
られた。女性は振動があっても特に変わらないと感じたという傾向が得られた。そこで男女の平均到達時間の結果を比較する。

男性の実験参加者と女性の実験参加者でそれぞれの提示方法の平均到達時間のグラフを図 4 示す。図 4(a) が提案提示方法の男女比較のグラフ、(b) が視覚のみの提示方法の男女比較のグラフである。グラフは実線が男性、破線が女性の平均到達時間である。また、縦軸が平均到達時間、横軸が take 数である。同図 (a) を見てみると提案提示方法では take 7, 12, 13 以外は男性の方が平均到達時間が短い。同図 (b) を見てみると視覚のみの場合は全 take で女性の方が平均到達時間が短い。

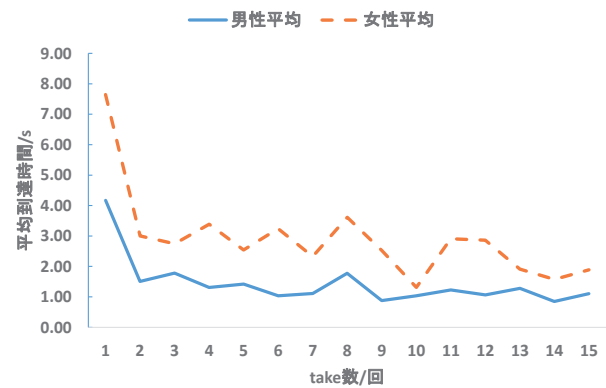
3. 考察

提案提示方法と視覚刺激のみ場合の全 take の平均到達時間の男女比較のグラフを図 5 に示す。同図 (a) が提案提示方法の男女比較のグラフ、同図 (b) が視覚のみの提示方法の男女比較のグラフである。同図の縦軸は時間、横軸は性別である。

同図 (a) から提案提示方法では男性の平均到達時間は 1.10 秒、女性の平均到達時間は 2.18 秒、その差は約 1.08 秒であった。t 検定の結果、 $p < 0.01$ で有意に男性の方が短かった。同図 (b) から視覚のみの場合では男性の平均到達時間は 1.44 秒、女性の平均到達時間は 2.90 秒、その差は約 1.46



(a)提案提示方法の各takeの平均到達時間の男女比較



(b)視覚刺激のみの提示方法の各take平均到達時間の男女比較

図 4: 各提示方法の各 take の平均到達時間の男女比較

表 2: 各提示方法の平均到達時間の差

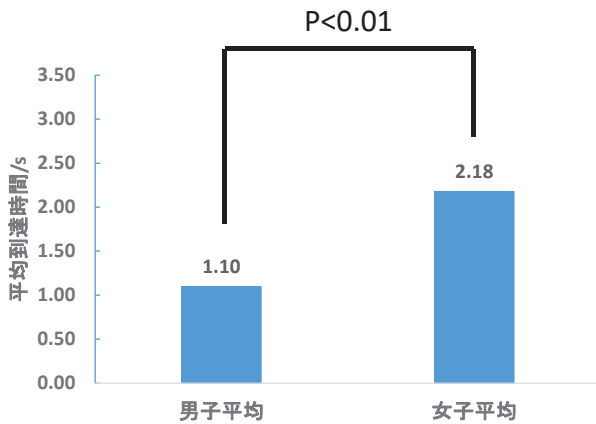
	男性	女性
提案提示方法	1.10	2.18
視覚刺激のみ	1.44	2.90
平均の差	0.34	0.72

秒であった。t 検定の結果、 $p < 0.01$ で有意に男性の方が短かった。従って、男性の方が短い時間で目的点に到達する。実験参加者の感想に近い傾向が得られた。

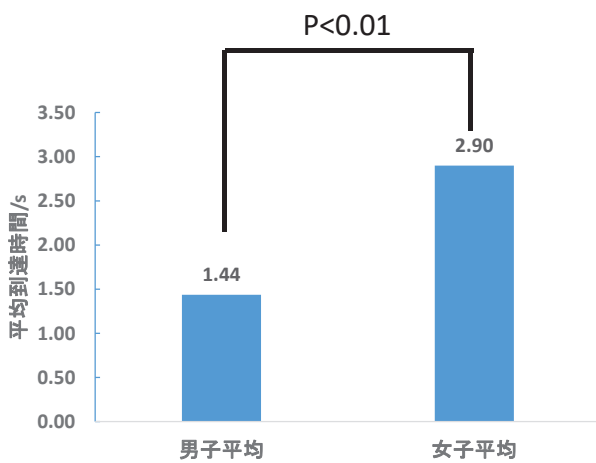
各性別において提案提示方法と視覚のみの場合の平均到達時間を比較した。表 2 に比較結果を示す。男性では提案提示方法の平均到達時間と視覚のみの提示方法の平均到達時間の差は約 0.34 秒、女性では提案提示方法の平均到達時間と視覚のみの提示方法の平均到達時間の差は約 0.72 秒短いことがわかる。振動刺激を加えることによって男性に比べて女性の方が平均到達時間がより短くなった。女性の方が男性に比べて振動を組み合わせた場合の効果が高いことが考えられる。実験参加者の感想では女性の実験参加者からは、振動を組み合わせても特に変わらないという傾向だったが、実験参加者の感想とは違う傾向が得られた。

4. おわりに

楽器演奏や動作の習得をするためには、一つの音を正確に出す必要がある。そのため同じ音を出す反復練習をしな



(a)提案提示方法の全takeの平均到達時間の男女比較



(b)視覚刺激のみの全take平均到達時間の男女比較

図 5: 各提示方法の全 take の平均到達時間の男女比較

なければならない。本研究では、三味線の打ち下ろしに着目し、視覚刺激と振動刺激を組み合わせた提示方法を用いた反復動作学習システムを実装した。実験では、実装したシステムを用いてユーザに提示された位置に向かってリズムに合わせて腕を反復動作させ、システムの効果を評価した。実験後の感想から性別によって刺激の受け取り方が違う傾向があったため、男女の目的点までの平均到達時間を比較した。結果、男性の平均到達時間が短かったことがわかった。一方で、振動刺激を加えることによって女性の平均到達時間がより短くなったことがわかった。

今後の課題として、データをさらに増やし効果の検討をする予定である。

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.
- [2] 田中聖紗, 柴田傑: 視覚刺激と振動刺激を用いた位置情報提示手法の評価, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, No.6A-08, pp.1-4 2019.