

プロジェクションを用いた全身への触覚ディスプレイ(第3報) -胴体への拡張と評価-

植松遥也^{†1} 小川大地^{†1} 岡崎龍太^{†1} 蜂須拓^{†2} 梶本裕之^{†1}

家庭用ゲーム機器における全身運動計測装置の普及に伴い、ユーザの全身動作を入力として用いるコンテンツが普及している。全身運動に対応して身体各所に触覚を提示する場合、通信に伴う提示遅延や位置ずれ、膨大な配線等が問題となる。この問題に対して我々は前報までに、触覚提示素子の制御にプロジェクタによって投影した光の明暗情報を用いる手法を提案し、手掌部での実験にて有効性を示した。本稿では同手法を胴体に拡張したデバイスの開発と評価を行った。

Projection-based Whole Body Tactile Display (III) -Extension to the Abdomen-

HARUYA UEMATSU^{†1} DAICHI OGAWA^{†1} RYUTA OKAZAKI^{†1}
TAKU HACHISU^{†2} HIROYUKI KAJIMOTO^{†1}

Contents using users' whole-body motion is now becoming popular, along with the spread of the low-cost whole-body motion capture systems. To present tactile signals to the whole body, latency of the system becomes a critical issue because it leads to spatial gap between the desired position and actual stimulation position, and also leads to spatially blurred sensation. To reduce latency, we have proposed to use projection light to be an input signal for vibrator control. In this paper, we developed vibrator unit for the body, and evaluated the unit using apparent motion.

1. はじめに

家庭用ゲーム機器における全身キャプチャ装置の普及に伴い、ユーザの全身動作を入力として用いるコンテンツが普及している。こうしたコンテンツで提示される視覚情報はほとんどの場合ユーザの外部の情報であるが、Cassinelliらは身体上へのプロジェクタによる映像投影とユーザの動作によるインタラクティブなコンテンツSkinGamesを提案している[1]。こうした身体への提示はユーザの身体表面をコンテンツのメディアとすることで没入感を高める効果があると考えられる。

ユーザの身体表面をコンテンツのメディアとするより直接的な手法は触覚提示である[2]。多くの家庭用ビデオゲームでは把持したコントローラからシーンに応じた振動提示を手指に行うことで体験の没入感を向上させる手法が用いられている[3]。

触覚提示は手指にかぎらず、例えば映画・音楽視聴時に全身への振動提示を行うことで没入感を向上させる研究が数多く行われている[4,5,6,7]。またゲーム用の振動提示ベストは全身への触覚提示を行うことで、インタラクティブなコンテンツでの没入感を高めている[8]。こうした指以外への広範囲な触覚提示の利用手法の多くはユーザの全身運動を前提としていないが、ユーザの腕を虫が這う体験を提示した虫How?[9]は腕を振ることで虫が落下するインタラクティブを持つ。またKuriharaらは身体関節部に振動提示装

置を装着することで、運動時に「歯車の振動」を提示したか本物のロボットになったような感覚を提示している[10]。家庭用ゲーム環境において全身運動を入力として用いることが当然となった現在、こうした全身運動に対する触覚提示はコンテンツの没入感を高めるために今後より重要な技術となると考えられる。

ユーザが動作することを前提とした触覚提示では、提示の遅延が大きな問題となる。提示の遅延は、ユーザの動作速度と遅延時間に依存した大きさの位置ずれへとつながる(図1)。例えばゲーム中の敵キャラクタを叩くような場合にも触覚提示位置はずれてしまい、どのキャラクタを叩いたかユーザが判断できなくなる。動作に対する予測フィルタもゲームにおいてはユーザが急激な動きを行うことが予想されるため難しいと考えられる。

Latency : 0ms Motion : 3 m/s



Latency : 100ms Motion : 3 m/s

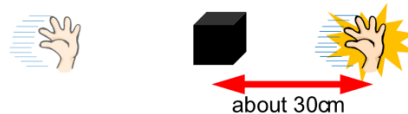


図1 振動提示遅延に起因した振動提示の位置ずれ

^{†1} 電気通信大学
The University of Electro-Communications
^{†2} 筑波大学

この問題に対して我々はプロジェクタからの光を触覚提示装置への入力として用いる手法を提案した[11](図 2). 個々の触覚提示ユニットは振動子と光センサから構成され、独立している. PC からの光は前述の例で言えば敵キャラクターの位置を示しており、各ユニットと光信号が重なった瞬間に触覚が提示される. これにより PC との通信処理による遅延が排除される. ユニット単体で振動制御処理を行っているため処理に要する時間がユニット数に依存せず、例えば全身に数百ユニットを装着するような状況でも遅延が問題とならない.

また、本手法では懐中電灯などの投光機を用いることでも振動子の制御が可能であり、例えばユーザ同士が手に持った懐中電灯を用いて相手の身体上で光を移動させることにより”ぱったり感”[12]を提示するといった、光によるインタラクションも可能である.

前報において我々は手の平に装着する振動ユニットの開発、評価を行った. 本稿ではプロジェクタによる振動提示制御システムを胴体全体へ拡張したデバイスを開発し評価を行う.

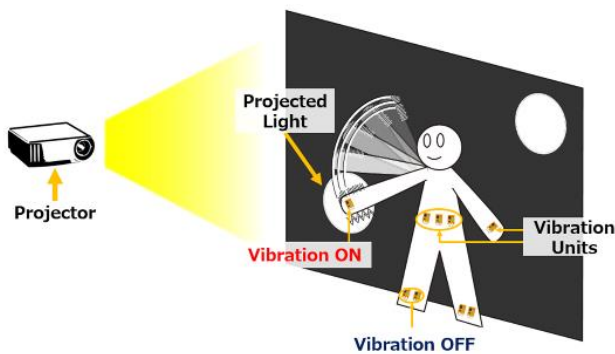


図 2 システム概要

2. システム構成

光によって振動子を制御し胴体上に振動提示を行う装置を作成した(図 3, 図 4). コルセット内側に振動子(パイロトランスデューサ Vp2 株式会社アークヴラボ製)を縦 2×横 3 の計 6 個装着し、振動子に対応する位置の表側にフォトトランジスタ(NJL7502L 新日本無線株式会社製)を振動子と同数装着した. 振動子の制御はマイコン(mbed LPC1768 ARM 社製)を用いて行っており、フォトトランジスタが外光を受光するとマイコンから対応した位置の振動子へ PWM 出力が行われ、その出力をオーディオアンプ(TA7252AP 東芝製)で増幅することで振動提示を行う. 振動子は 20Hz-15000Hz で駆動可能であり、触覚として知覚できる範囲の出力を広く制御できる. コルセットを身体に締め付けることで複数の振動子を同時に身体に密着させ、胴体への振動提示を実現する.

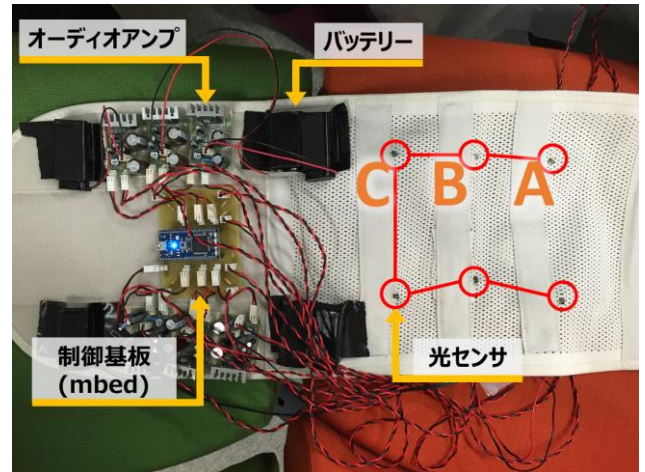


図 3 胴体装着型光制御振動提示装置(表面)

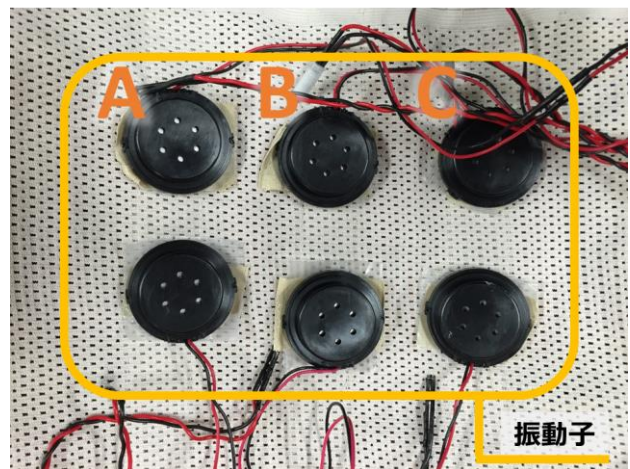


図 4 胴体装着型光制御振動提示装置(裏面)

3. 振動遅延が入力光の認識に与える影響実験

全身触覚提示装置に多く用いられる偏心モータタイプの振動子は振動が最大振幅に達するまでに一定の遅延が生じる. 前報において我々が検証した結果では偏心モータは一定出力になるまでに約 150ms かかり、手の平への振動提示においてこの差は物体認識の精度を下げるという結果が得られた. 同様に身体への振動提示においても振動子の時間遅れは刺激の認識精度へ影響があると考えられる. そこで本章では身体に装着した振動子の応答速度が投影光の認識精度に与える影響を検証するための実験を行った.

3.1 実験環境

被験者は胴体に振動提示装置を装着した状態で椅子に座り、アイマスクとヘッドホンにより視覚・聴覚を遮断した. 実験者が懐中電灯を振ることにより、振動提示装置の振動子のうち横に連続した 3 つの振動子 ABC を A→B→C または C→B→A の順に駆動し仮現運動を発生させた. この際の各振動子の駆動周波数は 100Hz とした. 被験者は仮現運動の移動方向を被験者から見て「右から左」「左から右」

もしくは「分からない」の3択で回答した。振動提示時の光源移動速度は0.1m/s～3m/sの範囲内でランダムに提示した。

提示振動波形は「振動子を通常通り駆動したもの」と「印加電圧に150msの立ち上がり傾斜を付与した波形(図5)」の2条件で行った。150msの遅延は従来手法の振動提示で多く用いられていた偏心モータを模したものである。これにより振動子の立ち上がり遅延が投影光の認識にもたらす影響を確認するのが目的である。各条件30試行ずつ行いその際の被験者の回答と光源の移動速度を記録した。実験は被験者6名(男性6名 22-25歳)に対して行った。

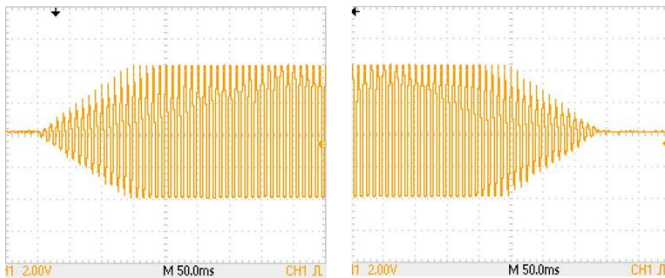


図5 150msの傾斜を付与した振動波形
(左：立ち上がり時傾斜 右：立ち下がり時傾斜)

3.2 実験結果

各条件での光源の移動速度と正答率は図6 図7のようになった。

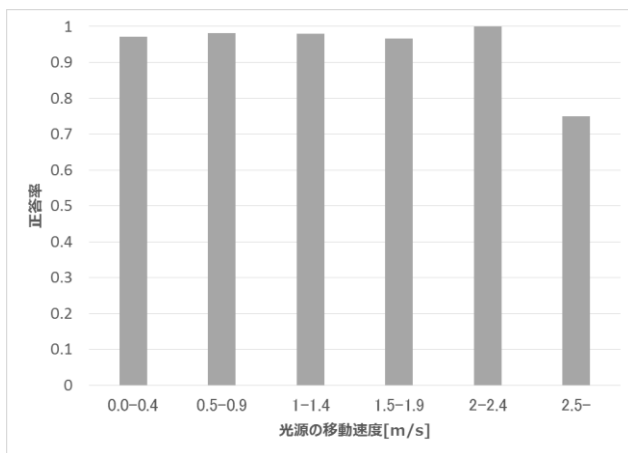


図6 通常駆動振動子の光源移動速度と正答率の関係

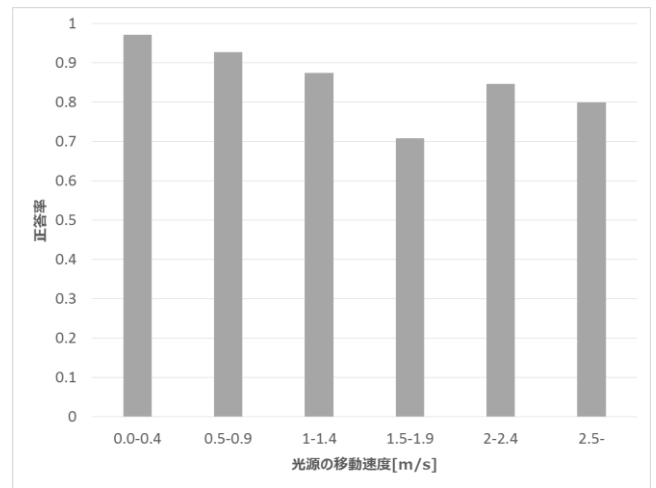


図7 遅延駆動振動子の光源移動速度と正答率の関係

全試行における正答率は通常駆動振動子で96.6%、遅延駆動振動子で86.0%であり、どちらの条件においても胴体上での仮現運動方向を知覚出来ているといえる。しかし遅延駆動振動子を用いた場合光源の移動速度が上昇するに従い正答率が減少していく傾向が見られた。これは光源の移動速度が速い場合、提示振動の振幅が最大にならず振動の知覚そのものが困難になるためであると考えられる。また仮現運動を生じるためには2振動子間の振動提示時間間隔と振動提示時間の2値が重要となる[13]。振動子駆動に遅延が存在した場合、人間が知覚する実質的な振動提示時間が短いものとなり、移動として認識ができなかったと考えられる。一方通常駆動振動子では光源の移動速度に関わらず高い正答率を維持しており、光源の高速な移動にも振動提示を行うことができていると考えられる。これらの結果より振動提示時の立ち上がり遅延は振動子の仮現運動方向の知覚に影響を与えていると考えられ、胴体への仮現運動を生起させるためにはシステム全体の時間遅れの小さい手法を用いることが必要であると言える。

4. おわりに

本稿ではユーザの動作時に振動提示遅延がもたらす問題点について挙げ、振動提示遅延を小さくするための方法として光をデバイスに対する入力信号として用いる手法について述べた。次に同手法を全身へ拡張するための展開として胴体へシステムの拡張を行うためのデバイスを開発した。開発したデバイスを用いて振動提示遅延が入力光の認識に与える影響について検証したところ、光源の移動速度が速くなるに従い遅延を有した振動提示での仮現運動の知覚精度が下がるという結果となった。今後は身体上の振動駆動制御を遅延なく容易に行えるという利点を活かし、懐中電灯による胴体への振動提示制御を用いたユーザ間でのインタラクションを有するコンテンツの開発を行う。

謝辞 本研究は JST-ACCEL「身体性メディア」プロジェクトの一環として行われた

参考文献

- 1) Cassinelli, A., Angeseleva, J., Watanabe, Y., Frasca, G. and Ishikawa, M.: Skin Games: Interactive Tabletops and Surfaces (ITS), 2012
- 2) M. Lheilig. Sensorama Simulator. U.S. Patent (3,050,870), Patented August 28, 1962.
- 3) Sony DualShock®4 Controller
<http://www.jp.playstation.com/ps4/peripheral/cuhzct1j.html>
- 4) Dijk, E., Weffers-Albu, A. and Zeeuw, T.: A tactile actuation blanket to intensify movie experiences with personalised tactile effects: Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (INTETAIN), 2009
- 5) Israr, A., Poupyrev, I., Ioffreda, C., Cox, J., Gouveia, N., Bowles, H., Brakis, A., Knight, B., Mitchell, K. and Williams, T.: Surround Haptics: sending shivers down your spine: Special Interest Group on Computer Graphics (SIGGRAPH), 2011.
- 6) Lemmens, P., Crompvoets, F., Brokken, D., Eerenbeemd, J. and Vries, G.: A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing: EuroHaptics, 2009.
- 7) Karam, M., Branje, C., Nespoli, G., Thompson, N., Russo, F. and Fels, D.: The Emoti-Chair: An Interactive Tactile Music Exhibit: Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), 2010.
- 8) KOR-FX – Immersive Gaming Vest <http://korfx.com/>
- 9) 佐藤, 松尾, 佐藤, 佐藤, 岡野, 福嶋, 梶本.: 虫How? 気持ち悪さを提示する触覚ディスプレイ: 第4回横幹連合コンファレンス, 2011.
- 10) Kurihara, Y., Kuniyasu, Y., Hachisu, T., Sato, M., Fukushima, S., Kajimoto, H.: Augmentation of Kinesthetic sensation by Adding "Rotary Switch Feeling" Feedback, 3rd Augmented Human International Conference, 2012.
- 11) 植松, 小川, 岡崎, 蜂須, 梶本.: プロジェクションを用いた全身への触覚呈示ディスプレイ (第2報) — ユーザの動きによる形状知覚の評価 —: ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015.
- 12) 大島, 橋本, 渡邊, 梶本.: 仮現運動を利用した”ばっさり感”提示の研究: 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会論文集, 2007
- 13) 大山, 今井, 和気.: 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書店, pp1241-1245. 1994