

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—

Projection-based Whole Body Tactile Display (II) -Evaluation of shape perception by the movement of user-

○植松遥也 (電通大) 小川大地 (電通大) 岡崎龍太 (電通大, 日本学術振興会)
蜂須拓 (電通大, 日本学術振興会) 梶本裕之 (電通大, 科学技術振興機構さきがけ)

Haruya UEMATSU, The University of Electro-Communications, uematsu@kaji-lab.jp
Daichi OGAWA, The University of Electro-Communications, ogawa@kaji-lab.jp
Ryuta OKAZAKI, The University of Electro-Communications/JSPS, okazaki@kaji-lab.jp
Taku HACHISU, The University of Electro-Communications/JSPS, hachisu@kaji-lab.jp
Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications/ JST PRESTO, kajimoto@kaji-lab.jp

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 unsharp sensation. We have proposed to use linear resonant actuator as a high response vibrator, and use projection light to drive the vibrators so as to eliminate latency derived from PC-sensor communication. This paper reports result of the user study evaluating shape perception of the presented image by allowing free user motion. The result suggested that high-response vibrator and larger number of vibrators are both effective for achieving quick recognition.

Key Words: Display Based Computing, Linear Resonant Actuator, Projection, Tactile Display, Whole Body, Latency

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。その多くで視覚情報は HMD ないしスクリーンによって外界の情報として呈示しているが、身体自体を情報呈示メディアとして利用する例もある。Cassinelli 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]。こうした身体への呈示は、ユーザがコンテンツ内において自己を発見する手がかりを与え、以って没入感を高める効果があると考えられる。

身体自体へのフィードバックは視覚に限らず、身体への振動すなわち触覚によっても行いうる。これまで手指のみならず全身へ振動を呈示する手法が数多く提案されてきた[2,3,4,5,6]。その多くは映画・音楽体験の質の向上を目的としており、ユーザの全身運動を前提としてはいないが、例えば虫が這う体験をユーザの腕に提示した虫 How? [7]は腕振りによって虫が落下するインタラクションをもつ。またゲーム用の振動呈示ベスト[8]はインタラクティブなコンテンツでの全身への触覚呈示を行うことを視野に入れたデバイスであるといえる。

ユーザ動作のあるコンテンツに対して振動呈示を行う際には振動呈示遅延が大きな問題となる。振動呈示に遅延が存在した場合、第一に実際に振動呈示が行われる点は身体動作の速度と振動呈示遅延の大きさに依存した位置ずれが生じる。第二に振動の ON/OFF に時間のかかるキレの悪い振動子では振動時間が所望の時間内に終わらず、一点の振動呈示点に対し同時に複数箇所での振動呈示が行われるため、空間的にぼやけた振動呈示となる。以上の問題から、ユーザ動作のあるコンテンツにおける全身への振動呈示では、低遅延な振動呈示手法を用いる必要がある。

振動子の応答性に関しては振動モータではなく低遅延のボイスコイル型アクチュエータを用いることで遅延を抑えることが出来る。一方で振動呈示を行う際の遅延の多くは PC との通信処理に起因しており、処理をユニット内で完結させシ

テムから PC を排除することで遅延を小さくすることが可能であると考えられる。

そこで我々は前報において、振動呈示素子の制御にプロジェクタの光を用いることで、ユーザ動作のあるコンテンツに対して時間遅れを小さくした全身への振動呈示を行う手法を提案した[9]。受光センサにより振動子の駆動制御を行う小型ユニットを多数身体に装着する。明度差の大きい画像をプロジェクタから投影し、明るい光があたった場所のみ振動呈示が行われることにより任意の振動呈示パターンを身体に呈示することができる(図 1)。

振動呈示処理はユニット単体で完結しており、PC との通信処理に依存した時間遅れが生じないため高い応答性を実現できる。また、ユニット単体で振動呈示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、複数振動ユニット制御を行う際も遅延が大きくなる(図 2)。

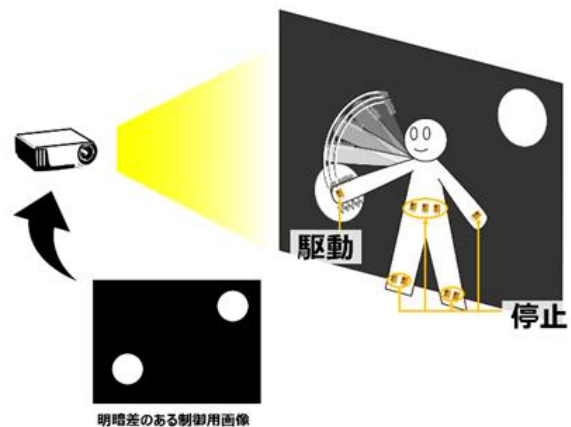


Fig. 1 Overview of the system

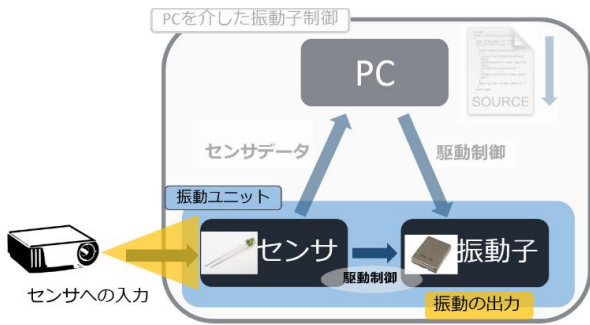


Fig. 2 Control of vibrator without PC

光をユニットの制御に用いることで高速な応答性を実現する手法は Augmented Coliseum 等[10]で行われており、本研究はそこで提案された Display-based Computing の手法を採用したものであると言える[11]. プロジェクタをデバイスへの入力装置として用いたものとして VisiCon があり、投影範囲の拡大縮小が容易であり、あらゆる場所への情報投影が可能であるというプロジェクタの利点を活かしている[12]. プロジェクタをユニットの制御に用いることで本研究でもそれらの利点を活用することが可能となる.

我々は前報にて、単一の振動ユニットを手に着した状態で、プロジェクタによって投影された四角や丸などの簡単な図形の認識が可能であることを示した[9]. 本稿では従来の振動呈示手法で多く用いられる偏心モータと本手法で用いているリニア振動子との比較、および振動ユニットの個数による影響について検証を行った.

2. ユニット構成

作成した振動ユニットを図 3 に示す. 振動ユニットは、リニア振動子(LD14-002 日本電産コパル社製), リチウムイオンポリマー電池(PRT-11316 SparkFun 社製), リニア振動子を制御するための発振回路, 受光センサとなるフォトトランジスタ(NJL7502L 新日本無線株式会社製)から構成される.

リニア振動子は応答性の早さと小型サイズを兼ねるものとして選定した. 従来手法で多く用いられる偏心モータと比較したところ, 偏心モータの遅延は 170ms 程度. 今回のリニア振動子は 20ms 程度であった.

発振回路はリニア振動子の共振周波数のパルス信号を常時出力している. フォトトランジスタの受光量により振動子の駆動と停止を制御する. 使用するリチウムイオンポリマー電池は容量 40mAh でおよそ 20 分連続駆動可能であるが, 運用の際には駆動状態と停止状態を推移するため実際にはより長時間使用可能となる. この振動ユニットを全身に複数個装着し, 明度差の大きい画像パターンをプロジェクタから投影することによって全身に振動呈示を行う.

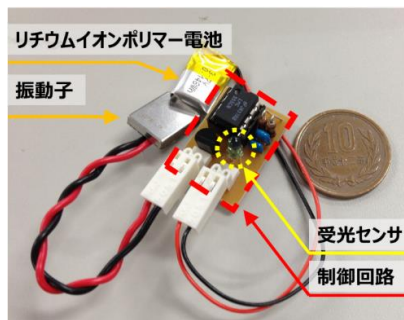


Fig. 3 Overview of the vibration unit

3. 実験 振動子の条件による図形判別精度の差異

作成した振動ユニットの性能評価を目的として、従来多く用いられる偏心モータと本手法で用いているリニア振動子の図形判別精度を比較し、また振動ユニットの個数の影響を検証した. 評価はプロジェクタによって呈示された形状を判別させるタスクによって行った (図 4).



Fig. 4 Conditions of an experiment

3.1 実験手順

被験者は振動子の個数・種類の異なる条件の振動ユニットをてのひらに装着し図 4 のように閉眼状態でスクリーンの横に立った. 実験中その場を動かずに手を自由に動かし, 掌上の振動ユニットの駆動状態を手がかりとして投影された図形を回答した. 振動子の条件は偏心モータ×1 個, リニア振動子×1 個, リニア振動子×9 個の 3 種類であり, 投影図形は図 5 のとおり「四角」「円」「三角」「ばつ」の 4 種類である. 各図形 5 回ずつランダムに投影し計 20 試行を行った. 実験は被験者 6 名(男性 6 名, 21-23 歳)に対して行った.

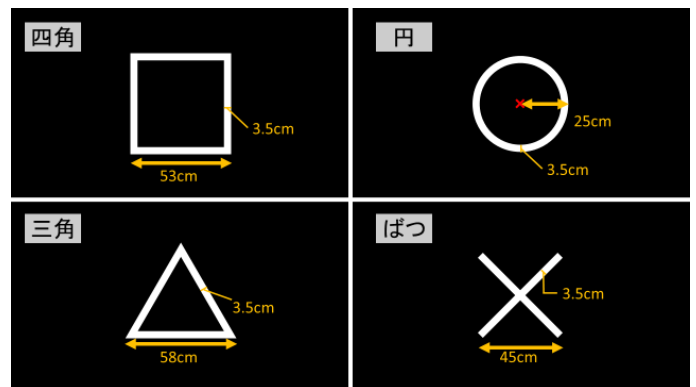


Fig. 5 Projected patterns

3.2 実験結果

図 6 に各手法の図形回答所要時間の平均を, 図 7 に正答率の平均を示す.

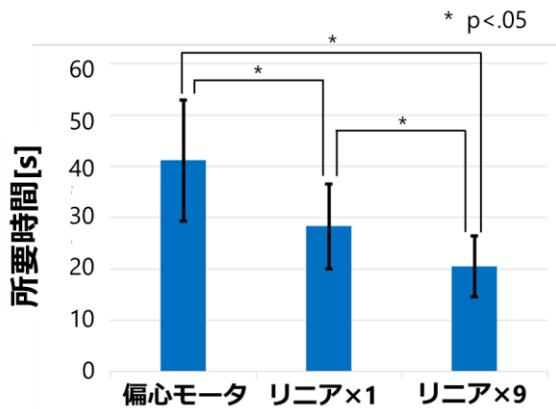


Fig. 6 Average of response time for each method

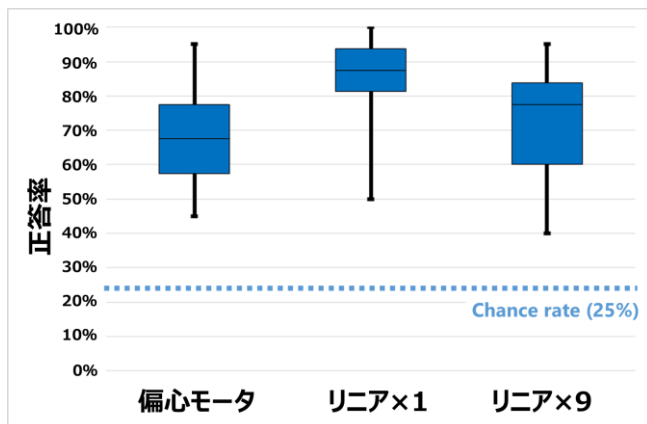


Fig. 7 Average of correct answers for each graphic

偏心モータ, リニア振動子×1, リニア振動子×9の順に回答時間が短くなっており, 各手法間に有意差が見られた($p < 0.05$). 結果より偏心モータはリニア振動子より図形の判別に時間を要するといえる. これは偏心モータでは被験者の素早い手の動きに対応した正確な位置での振動呈示が行えなかったためであると考えられ, 偏心モータは動作中の振動呈示には不向きであると考えられる. また, リニア振動子の増加に伴い回答所要時間が短縮した. これは振動子の個数が増えることにより単位時間での同時探索可能範囲が拡大し全体把握に要する時間が短縮されたためであると考えられる.

一方正答率に手法ごとの差は見られなかったが各手法チャンスレートを上回る正答率であり, どの条件においても身体動作による図形の判別は可能であるといえる. これらの結果より振動ユニットを増やすことで投影図形に対する応答速度が上がると思われる. そのため, ユーザ動作に対して素早く正確に振動呈示が行われる必要があるコンテンツに関して振動子の個数を増やすことでより効果的な呈示を行えると見込める.

4. おわりに

本稿ではプロジェクタの光を用いてユーザ動作のあるコンテンツに対して全身への低遅延振動呈示を行う手法を提案し, 低遅延振動ユニットを開発した. 駆動制御処理を振動ユニット内で完結することで, PCとの通信処理を排除し, 低遅延な振動子制御が可能となる. また, 立ち上がり遅延の小さい振動子を用いることで振動子駆動に起因した遅延を解消した. また, 本稿で行った実験より振動ユニットによる投影図形の判別は可能であり, リニア振動子を用いることで偏心モータを用いた場合より投影図形の判別に要する時間が短縮されるという結果が得られた. 立ち上がり時間に時間を要する偏心モータはユーザ動作のあるコンテンツに対する振動呈示には不向きであると考えられる. 現状でのひらみに振動子を配置した検証のみを行っているため, 今後は全身へ振動ユニットを装着した際の検証を行いコンテンツの開発を行っていく.

文 献

- [1] Cassinelli, A., Angeseleva, J., Watanabe, Y., Frasca, G. and Ishikawa, M.: Skin Games: Interactive Tabletops and Surfaces(ITS),2012
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] Lemmens, P., Crompvoets, F., Brokken, D., Eerenbeemd, J. and Vries, G.: A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing: EuroHaptics, 2009.
- [5] 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.
- [6] 栗原洋輔, 高下昌裕, 岡崎龍太, 梶本裕之.: 発泡ビーズの振動伝搬を用いた広範囲触覚ディスプレイ: エンタテインメントコンピューティングシンポジウム(EC), 2013.
- [7] 佐藤未知, 松尾佳菜子, 佐藤淑美, 佐藤圭二, 岡野祐, 福嶋政期, 梶本裕之.: 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.
- [8] KOR-FX - Immersive Gaming Vest <http://korfx.com/>
- [9] 植松遥也, 小川大地, 岡崎龍太, 蜂須拓, 梶本裕之.: 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: エンタテインメントコンピューティングシンポジウム(EC), 2014.
- [10] Sugimoto, M., Kojima, M., Nakamura, A., Kagotani, G., Nii, H. and Inami, M.: Augmented coliseum: display-based computing for augmented reality inspiration computing robot: Special Interest Group on Computer Graphics(SIGGRAPH), 2005.
- [11] Sugimoto, M., Kodama, K., Nakamura, A., Kojima, M. and Inami, M.: A Display-Based Tracking System: Display-Based Computing for Measurement Systems: International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT), 2007.
- [12] Hosoi, K., Dao, V., Mori, A., and Sugimoto, M.: VisiCon: A Robot Control Interface for Visualizing Manipulation Using a Handheld Projector Cooperative Robot Navigation Game via Projection: Advances in computer entertainment technology (ACE), 2007