

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

植松遥也^{†1} 小川大地^{†1} 岡崎龍太^{†1†2}
蜂須拓^{†1†2} 梶本裕之^{†1†3}

全身への触覚呈示を行うには、触覚呈示素子の配線によって身体動作が阻害される問題や、個人ごとに装着した触覚呈示素子の位置合わせの問題を解決する必要がある。本研究では触覚呈示素子の制御にプロジェクタの光を用いるという Projection-based Technology の触覚版で上記の問題を解決する。各ユニットは振動子と光センサによって構成され、投影された映像の明るさに基づいて各素子が動作することで世界座標系に固定された触覚呈示が実現される。さらに各素子は独立に駆動され、ケーブルによる通信を必要としないため配線の問題も解決する。

Projection-based Whole Body Tactile Display

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

To present tactile pattern to the whole body surface, there are some issues to be solved, such as hindering body movement by wiring and necessity of calibration for each person. In this study, we solved the issues by using projection-based technology. Vibration unit is composed of a vibrator and a light sensor, so that the vibrators are driven by projection pattern, so that the tactile pattern is always accurate in the world coordinate. Wiring issue is also solved, because the units work independently and no wire-based communication is required.

1. はじめに

映画やゲームへの没入感をより高めるために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。Tactile actuation blanket では個別操作可能な 176 個の振動モータをブランケットに配置し映画視聴中に身体へ振動刺激を加えることで映画の臨場感をより高めた[1]。Surround Haptics では椅子に取り付けた振動子をゲーム映像に合わせ動作させることでプレイヤーの没入感を向上させた[2]。また、Tactile Jacket はジャケットに振動子を内蔵することで胸、背中、腕に振動呈示を行い、映画のシーンに応じた振動パターンの呈示を行った[3]。

しかしこうした知見ではユーザの大きな運動は想定されていない、Microsoft 社の Kinect による全身キャプチャ等、現在のコンピュータゲーム環境では全身の身体運動を用いることが当たり前となっているが、こうした運動に伴って特定の振動パターンを全身に呈示させるためには、呈示したい場所へ正確に振動呈示を行うための方策が必要となる。

人体のサイズに関して、Tactile Jacket ではジャケットのサイズを 4 段階に分けることにより解決を図っているが、しかしユーザの高速な運動を前提としてリアルタイムに位置合わせされた触覚を呈示するための手法は現在のところ提案されておらず、また従来の多くの手法は多点への呈示に莫大な配線を必要とした。

そこで我々は、触覚呈示素子の制御にプロジェクタの光

を用いることで、ユーザ毎に振動呈示の位置合わせを行うことなく、世界座標系に固定された振動呈示パターンをユーザに与えるシステムを提案する。振動呈示素子に受光センサを接続したユニットを作成し、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、明るい光が当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出来る(図 1)。光源を赤外光とすればシステムを不可視にすることは容易である。プロジェクションを用いた素子の制御は Augmented Coliseum[4]で行われており、本研究はその流れをくむ Projection-based Technology を用いた一つの派生形であると言える。また、プロジェクタの光を入力として力覚呈示として出力を行う手法は Traxion[5]で用いられている。

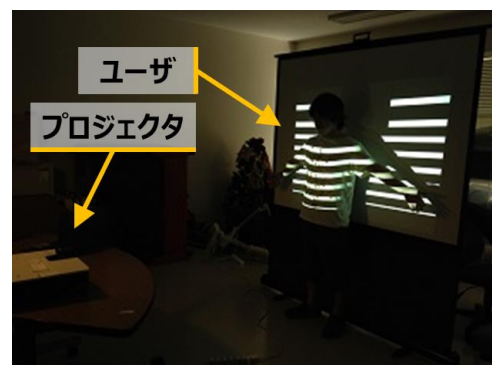


図 1 システムの全体像

^{†1} 電気通信大学
The University of Electro-Communications
^{†2} 日本学術振興会
JSPS Research Fellow

^{†3} 科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency(JST)

また、本システムでは個々のユニットの位置合わせをする必要がないため、単ユニットのみで動作できる。このため配線も最小限にすることが可能になり、触覚呈示素子の配線により身体動作が阻害される問題も解決出来ると期待される。さらに本システムでは個々ユニットの位置情報に基づいた刺激を生成する必要が無いため通信も不要であり、制御通信に起因した遅延も非常に小さくなると考えられる。

2. システム構成

振動子をフォトトランジスタで制御するプロトタイプを作成した(図 2)。振動ユニットは、リニア振動アクチュエータ(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。

リニア振動アクチュエータ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。実際、振動モータによる試作を行ったところ、数十ないし、数百 ms の時間遅れを生じるため、プロジェクタによって提示したパターンをほとんど知覚出来ないことが明らかとなった、今回使用したものは共振周波数が 150Hz であり、幅広い周波数帯域での駆動は難しいものの、今回の用途には十分な応答性を持つ、発振回路はリニア振動アクチュエータの共振周波数での ON/OFF 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 でおおよそ 18 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。この振動素子単体を全身に複数個無作為に設置し、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触覚呈示を与えることができると思われる。

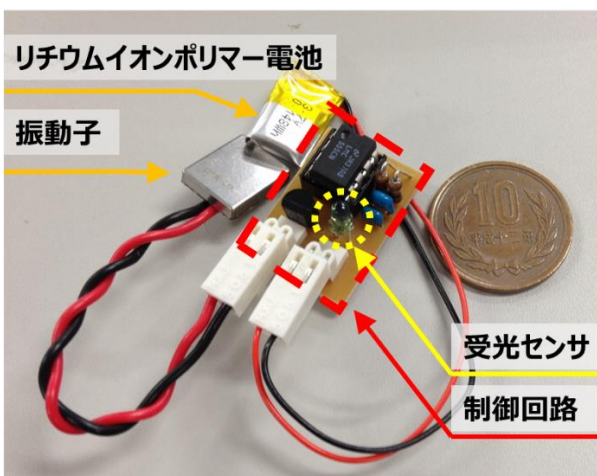


図 2 振動素子のプロトタイプ

3. 性能評価実験

開発した振動素子の性能を評価するため、プロジェクタの光の明るさの違いを認識し振動制御が可能か、また明るさの違いによって生じるエッジを人間が知覚可能かどうかの検証を、振動素子単体を用いて行った。実験は被験者 5 名(男性 5 名, 21-22 歳)に対して行った。



図 3 実験の様子

3.1 実験手順

振動呈示素子ひとつを用いてディスプレイに表示された図形を振動呈示のみで解答させる実験を行った。被験者の手のひらに振動呈示素子をひとつ装着し、図 3 のようにスクリーンの横に立たせた。実験中、被験者には閉眼状態で立ってもらい、その場を動かさず手を自由に動かすことにより投影された図形を回答させた。振動のみで図形のエッジを辿ることが可能であれば、この手法で投影された図形を認識できると考えられる。

投影した図形は「縦棒」「横棒」「円」「四角」の 4 つであり、被験者には予め投影される画像の種類を伝え 4 択で回答させた(図 4)。投影した図形のサイズはプロジェクタから 2m 離れたスクリーン上において、「縦棒」長辺 50cm, 短辺 10cm, 「横棒」長辺 60cm, 短辺 10cm, 「円」外側の一辺 40cm, 線の幅 5cm, 「四角」外側の一辺 40cm, 線の幅 5cm であった。これらは振動ユニットより十分大きいサイズであるため、手を動かした際にプロジェクタとの距離が変化し図形が歪んでしまう問題は重要とならない。回答の際に時間制限はなく、被験者が図形の形を認識できた時点で回答させた。4 種類の図形を各 5 回ずつランダムな順番で計 20 回試行を行った。

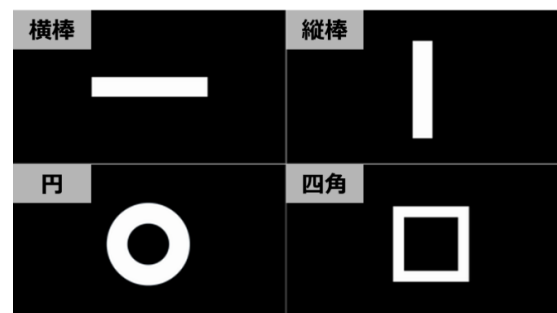


図 4 実験で投影した図形

3.2 実験結果, 考察

表 1 に実験の結果を示す. 全体での正答率は 83%であり, 最も正答率の低かった図形は円で, 四角の図形と誤認識することが多かった. 同様に四角を投影した場合も丸と誤認識することが多かった

表 1 図形ごとの正答率

解答	投影した図形			
	○	□		-
○	60%	12%	4%	0%
□	32%	76%	0%	0%
	8%	0%	96%	0%
-	0%	12%	0%	100%

振動呈示素子によりプロジェクタから投影された光は十分に認識可能であり, 図形の判別も行えていたため, 光の明るさの違いを認識できたと考えられる. 一方で丸と四角は四隅以外にエッジの違いがなく, 目を閉じた状態で四隅を探り当てるという作業が必要であったため図形の認識が難しくなっていたものと考えられる. 認識率を向上させるためには全身に振動素子を装着する必要がある, 呈示される面積が増えることによって四隅の知覚も容易になると考えられる.

4. アプリケーション

プロジェクタ光による振動呈示システムを用いたアプリケーションとしては以下の様なものが考えられる.

4.1 全身への任意パターンの触覚呈示

3 章の実験で行ったように図形パターンを身体へ投影することで, 身体上の任意の点に触覚呈示を行う. 同様に明度差の大きい動画を投影することで振動が移動していく感覚も呈示可能であり, 様々な触覚呈示が可能なディスプレイとして用いることができる.

例えば, 人間の身体を映像ディスプレイとして身体上でゲームをプレイする Skin Games [6]に本システムを組み合わせると, より没入感のある体験とすることができるのではないかと考えられる.

また, Kinect による全身キャプチャを用いることで特定の身体部位を狙って映像を投影することが可能となり, 一般的なゲームにも全身への触覚呈示を加える事が出来るようになる.

従来の全身触覚呈示法と比べ振動パターンの生成が容易である点も特徴である. 本システムによる振動呈示は PC による制御を介さず, 光量の高低のみで行われるため, 一般的な投光装置でも振動素子を駆動させることができる.

4.2 光によるナビゲーション

本システムは身体に当たっている光を擬似的に知覚できるようにするシステムであるとも言える. 例えば廊下や広間などの入り口から目的地まで光量の高い道を作る. この

光の誘導により装着者は振動を感じる方向へ歩いて行くことが可能となり光による進行方向のナビゲーションを行うことができる (図 5).

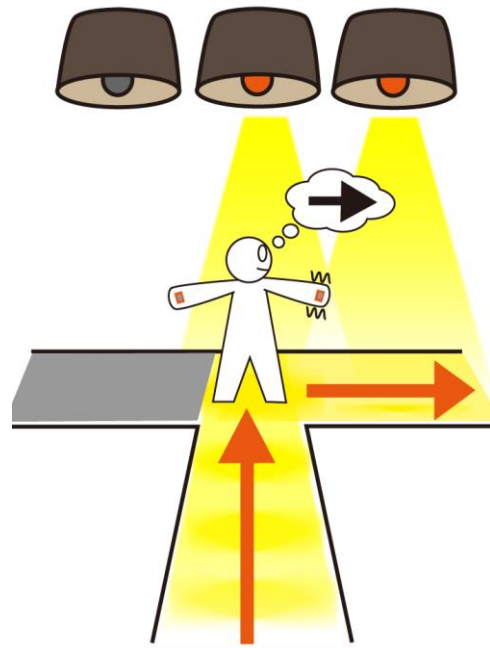


図 5 光によるナビゲーションのイメージ

触覚刺激によるナビゲーションを行う試みは Active belt[7], Haptic Radar[8], ぶるなび[9] などでも行われているが, 目的地の座標や方角などの計算を行うことなく環境側で誘導の制御を行える点が従来手法と異なっている.

また, 指先で画像のエッジを知覚する研究としては SmartFinger[10] が存在する. このシステムと同様に本研究の振動ユニットを各指先に装着し, ディスプレイ上に表示したエッジ抽出画像をなぞることで画像の認識を行う視覚障害者向けインタフェースとしての応用も考えている. 例えばタブレット端末等で写真を取り, エッジ抽出した画像を指先でなぞることで周囲の様子を触覚知覚することが可能となる.

5. おわりに

本稿ではプロジェクタの光を用いて任意パターンの触覚呈示を全身に行う触覚ディスプレイを提案した. 全身に装着する振動素子を開発し, 明るさの変化による駆動制御および呈示パターンの認識が行えるかの検証を行った. 性能評価実験の結果, 呈示された図形を触覚呈示のみで認識可能であることが示唆できた.

今後は素子の身体への固定法の確立, 素子の小型化を行う予定である. さらに 4 章で述べたような全身への触覚呈示や光によるナビゲーションを行うアプリケーションの開発を目指す.

参考文献

- [1] E.Dijk, A.Weffers-Albu, T.Zeeuw: A tactile actuation blanket to intensify movie experiences with personalised tactile effects.Proceedings of the Demonstration papers proc. 3rd International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (INTETAIN), Amsterdam, 2009
- [2] A. Israr, I. Poupyrev, C. Ioffreda, J. Cox, N. Gouveia, H. Bowles, A. Brakis, B. Knight, K. Mitchell, T. Williams: Surround Haptics: sending shivers down your spine. Proceedings of the ACM SIGGRAPH Emerging Technologies, Vancouver, Canada, 2011.
- [3] P. Lemmens, F. Crompvoets, D. Brokken, J. van den Eerenbeemd, G.-J. de Vries: A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing. Proceedings of the EuroHaptics conference, Salt Lake City, UT, USA, 2009.
- [4] M.Sugimoto, et al: Augmented coliseum: display-based computing for augmented reality inspiration computing robot. ACM SIGGRAPH 2005 Emerging technologies. ACM, 2005.
- [5] J.Rekimoto: Traxion: a tactile interaction device with virtual force sensation. Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology. ACM, 2013.
- [6] A.Cassinelli, J.Angesleva, W.Yoshihiro, G.Frasca, M.Ishikawa: Skin Games. Proceedings of the ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces, NY, USA, 2012
- [7] K.Tsukada, M.Yasumura: ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation. Proceeding of the Ubiquitous Computing, Nottingham, UK
- [8] C.Alvaro, C.Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Augmenting spatial awareness with haptic radar. Proceeding of Wearable Computers, 10th IEEE International Symposium on. IEEE, 2006.
- [9] T.Amemiya, H.Sugiyama: Navigation in eight cardinal directions with pseudo-attraction force for the visually impaired. Systems, Man and Cybernetics. SMC 2009. IEEE International Conference on. IEEE, 2009.
- [10] H.Ando, et al: SmartFinger: nail-mounted tactile display. ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications. ACM, 2002.