

身体動作選択的なエフェクト提示のための高速プロジェクタの投影パターンの検討

姜 皓翔* 太田 雅啓* 吉田 貴寿†

概要. 音楽ライブやダンスなどのエンターテインメント分野における照明演出では、特定の身体動作に対して選択的に視覚的エフェクトを出すことが望まれている。既存技術では、高速な動作計測と高速な映像提示の両方が必要とされるが、セットアップの複雑さや演者への身体的負担などの課題がある。本研究では、知覚特性を取り入れた投影光のパターン生成と、人間の身体動作の特性に合わせたエフェクト設計により、センサを用いずに高速プロジェクタのみで狙った場所にだけエフェクトを提示するシステムを提案する。特に、静止時には見えないエフェクトが動いて初めて見えるようなインタラクティブな表現を実現する。デモンストレーションとして、ギターの速弾きに合わせて手の動作に選択的にエフェクトが現れる演出を行った。

1 はじめに

舞台演出において照明は重要であり、演者を照らすだけでなく観客に対して視覚的効果を与える役割も担う。特に近年ではプロジェクションマッピングの技術を応用した高度な手法が用いられている [1]。

基本的なプロジェクションマッピングでは、壁などの静的なものに映像やテクスチャを与えることができるが、動いている物体に対してはビデオレートの限界があるため、追従が難しい。しかし、高速プロジェクターを用いることで、動く物体に対して遅延なく映像を投影することが可能である。 [2, 6]。

一方身体は形状が複雑で動きが不規則であるため、動く身体上に投影する際には、高速カメラやマーカー [7, 10]、近赤外線光 [3, 4] などを用いたセンシングによりシステム上でプロジェクションと同期させる手法が主流であるが、これらの手法にはセットアップの複雑さや演者への身体的負担といった制限がある。

そこで本研究では、人間の視覚特性に合わせたパターンの埋め込みと人間の身体的特性に合わせたエフェクト設計をすることで、動いている時のみ可視化される視覚エフェクトの提示手法を提案する (図 1)。本手法では、センシングを用いることなく動作選択的なエフェクトを身体の動いた軌跡上に投影する。この手法は楽器演奏時やダンスなど、対象となる身体部分が速く動き、投影したくないものが静止しているようなシーンで有用である。本稿ではパターン生成手法の提案に加えて、高速プロジェクターを用いて実装を行い、ギター演奏者の手の動きにエフェクトを投影するデモンストレーションを行った。



図 1. 身体動作選択的なエフェクト提示: (a) 身体静止時には白色照明として振る舞うが、(b) 身体動作時には選択的にエフェクトが提示される。

2 提案手法

この章では、高速プロジェクターを用いてセンサを使用せずに身体動作に応じたエフェクト提示を実現する手法について述べる。身体は複雑な形状を持ち、その動作を高精度で予測することが困難であるため、動作そのものに反応してエフェクトが表示される投影パターンの設計が求められる。また、静止時には時間的な加法混色 [8] により投影が白色に見えることが望ましい。

図 2 に提案システムの概要を示す。本手法では投影パターンと背景を交互に RGB 順で投影し、投影パターンを周期 τ_1 、相補パターンを周期 τ_2 で表示する。 τ_1 と τ_2 の関係は、RGB の繰り返し回数 n によって決まり、次式が成り立つ：

$$\tau_1 = 3n \cdot \tau_2$$

これにより、通常時はパターンが白色に見えるが (図 2 上)、動作する物体がパターンの前を横切ると、時間的に照射される色が変化し、残像として動作の軌跡上に模様を知覚される [9] (図 2 下)。高フレームレートの投影に起因するちらつきを抑制するためには、パターンの投影周期 τ_1 が臨界融合周波数 (CFF) に対応する周期 $\frac{1}{f_{CFF}}$ よりも小さい必要がある。また、投影パターンのサイズを a とすると、

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 東京大学

† 慶應義塾大学

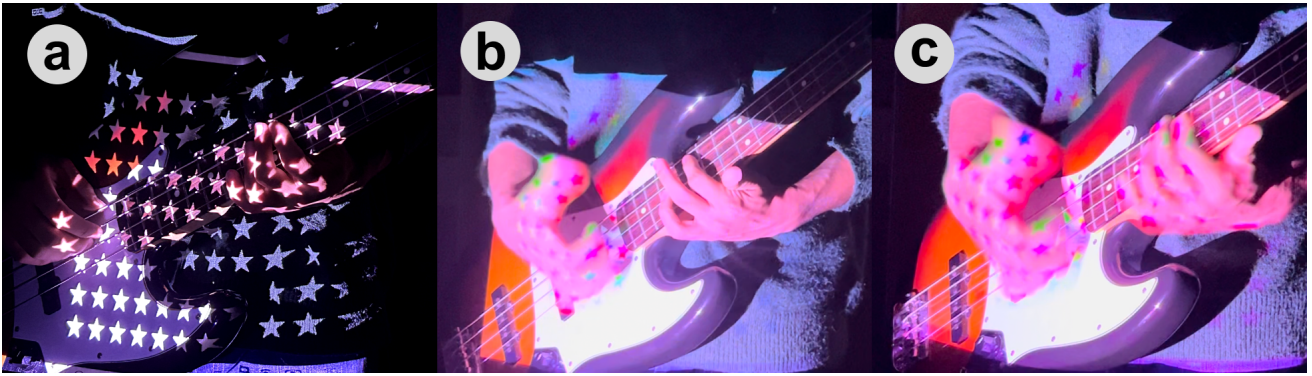


図 4. ギター演奏者への投影: (a) 投影パターン, (b) 右手のみ動かしたとき, (c) 両手共に動かしたとき

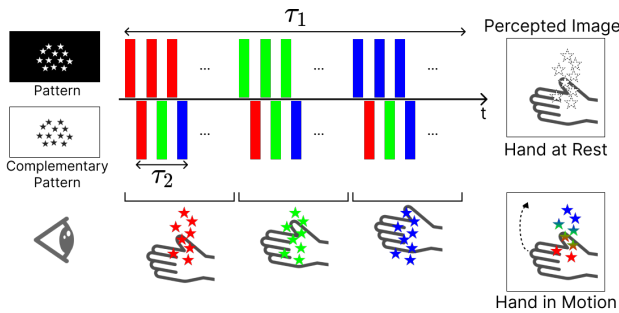


図 2. システム概要: (上) 身体静止時には時間積分による白色一様照明が, (下) 身体動作時には特定のエフェクトパターンが知覚される.



図 3. ちらつきのない模様提示のためのサイズ要件の検討

身体がパターンを横切る際に模様を知覚されるためには, 次の条件を満たす必要がある:

$$a < \frac{v}{f_{CFF}}$$

さらに, 投影速度 v が小さすぎると十分な明るさが得られないため, パターンを明確に視認するためには v を適切な範囲内に設定する必要がある. これにより, 空間的・速度的に狙った動作に対して, エフェクトパターンを投影することが可能となる (図 2).

3 実装

本システムは, 高速プロジェクタ (DLPLCR4500, Texas Instruments) を用いて実装した. 先行研究によれば一般的な成人の CFF は 35-40Hz であるた

め [5], 投影周期 τ_1 は $\frac{1}{45}$ 秒とした. また, 高速プロジェクタの最大フレームレート (1bit, 4225 fps) を考慮し, 繰り返し回数 $n = 5$ とした. デモンストレーションとして, ベースギター (JJB6R, FGN) の演奏者にライブ演出としてパターンを投影し, ちらつきが見えないことと意図されたパターンが視認されることを予備実験参加者 (20~32 歳, 4 名) により確認した (図 4).

4 おわりに

本稿では視覚特性を活かしたパターン埋め込みと高速プロジェクタによって動作選択的なエフェクトを投影手法を提案した. 大規模化や実用のためには見えやすさが不十分であり, その原因としてプロジェクタの明るさなどが考えられるが, これはプロジェクタの性能 (光源・メモリ) に依存する. 動かしている場所によってエフェクトのパターンを変化させられるという設計上の柔軟さや, 動かす速度によって明るさが変化するという現象は, エンタメ分野以外にも速度計測などの分野で, 実用的な応用先があると考えられる. 今後は本手法に対して解析的評価を行うとともに, はっきりとみられるような方法, 楽器演奏以外の動きに使えるように拡張された方法に取り組む.

謝辞

本研究は, JST ACT-X (JPMJAX23KK) の支援を受けたものである.

参考文献

- [1] Perfume World Tour 2nd "Spending All My Time". <https://perfume-global.com/live/2013/07/perfume-world-tour-2nd-spendin-all-my-time/>.
- [2] S. Fukushima and T. Naemura. Wobble Strings: Spatially divided stroboscopic effect for augmenting wobbly motion of string instruments. *Entertainment Computing*, 19:101–111, 2017.

- [3] S. Hisaichi, K. Sumino, K. Ueda, H. Kasebe, T. Yamashita, T. Yuasa, U. Lippmann, P. Aswendt, R. Höfling, and Y. Watanabe. Depth-aware dynamic projection mapping using high-speed rgb and ir projectors. In *SIG-GRAPH Asia 2021 Emerging Technologies*, pp. 1–2. 2021.
- [4] L. Miyashita, Y. Watanabe, and M. Ishikawa. Midas projection: Markerless and modelless dynamic projection mapping for material representation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 37(6):1–12, 2018.
- [5] T. Muth, J. D. Schipke, A.-K. Brebeck, and S. Dreyer. Assessing Critical Flicker Fusion Frequency: Which Confounders? A Narrative Review. *Medicina*, 59(4):800, 2023.
- [6] K. Okumura, H. Oku, and M. Ishikawa. Lumipen: Projection-based mixed reality for dynamic objects. In *2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 699–704. IEEE, 2012.
- [7] H.-L. Peng and Y. Watanabe. High-speed dynamic projection mapping onto human arm with realistic skin deformation. *Applied Sciences*, 11(9):3753, 2021.
- [8] I. Suzuki and Y. Ochiai. Demonstration of the unphotogenic light: Protection from secret photography by small cameras. In *SIG-GRAPH Asia 2017 Emerging Technologies*, pp. 1–1. 2017.
- [9] 安井 雅彦, カシネリ アルバロ, 奥村 光平, 奥 寛雅, 石川 正俊. 残像による動体軌跡上情報投影手法の提案とその実現にむけた残像特性の基礎的研究. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 20(1):55–64, 2015.
- [10] 瞿佳, 渡辺義浩. 高速カラープロジェクタを用いたダイナミックフェイシャルプロジェクションマッピングの試作. *研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)*, 2020(24):1–4, 2020.

未来ビジョン

本稿では、運動物体と視覚特性に着目した動作選択的なエフェクト投影手法を提案する。本手法は、身体そのものではなく動きに対してエフェクトを投影し、動きのビジュアライズという点で新しい表現を提供する。そもそも、高速プロジェクタは人間の認知限界を超えることで、人間の直感と異なる現象を発生させる可能性を秘めており、近年その可能性に関する

研究が増えている。また、VRとは異なり、空間に簡単に投影できるという公共性の高さも利点の一つである。

さらに、本システムは人が動いていないときには白色の照明として存在し、他の照明演出と親和性が高い。このシステムをより実用性の高い技術領域まで引き上げることで、エンターテインメント分野における応用が期待される。