

# 投影バーチャルハンドインタフェースへの 疑似触覚の適用に関する一考察

佐藤 優志<sup>\*1</sup> 平木 剛史<sup>\*1</sup> 田辺 育暉<sup>\*1</sup>  
松倉 悠<sup>\*1</sup> 岩井 大輔<sup>\*1</sup> 佐藤 宏介<sup>\*1</sup>

**Abstract** — ユーザの手に連動して動く仮想の手をプロジェクタから投影する投影バーチャルハンドインタフェースは、日常生活でユーザの手の届く範囲を拡張することができる点で有用である。しかし、投影バーチャルハンドが実物体に重畳した時に、ユーザは物体に触れている感覚を得ることができない。本研究では、投影バーチャルハンドが実物体に触れる時に、その手指を揺らす等の視覚効果を付与することで、疑似触覚フィードバックによりユーザに物体の材質感を知覚させる手法を提案する。我々は特に凸凹さ、つるつるさ、柔らかさに着目し、それらを知覚させる3種類の視覚効果を設計した。被験者実験の結果、提案した全ての視覚効果が我々の意図する材質感をユーザに知覚させることが明らかになった。

**Keywords** : 投影バーチャルハンド, 疑似触覚, 材質感

## 1 はじめに

ユーザの手の動きをバーチャルな手 (Virtual Hand: VH) の動きに増幅して反映するインタフェースは、ユーザに遠くの対象に対して直感的な働きかけを実現させるため、Head-Mounted Display 環境などで用いられている [1]。この VH をプロジェクタから現実世界に投影する投影 VH インタフェースは、現実世界におけるユーザの手の届く範囲を拡張することができる点で有用であり、車椅子使用者の操作インタフェースなどへの応用が進んでいる [2, 3, 4]。しかし、投影 VH が実物体に重畳されている時に、ユーザはその物体に触れている感覚を得ることができない。この感覚をユーザにフィードバックすることができれば、投影 VH の実在感を向上できると考えられる。

投影 VH インタフェース使用時に、物体に触れている感覚を与える手法として、触覚提示装置を用意し、投影 VH が物体に触れた際に触覚刺激をフィードバックする手法がある。この手法を用いることで、VH の実在感を向上させられることが報告されている [5]。しかし、この手法ではユーザは専用の触覚提示装置を装着する必要があるため、インタフェースを使用できる環境や機会を制限する可能性がある。

そこで、本研究では、人間の視覚-触覚間の特性を利用して、視覚情報のみで疑似的な触覚情報を知覚させる疑似触覚フィードバックに着目する [6]。これまでに疑似触覚フィードバックを利用して、ユーザに様々な触覚を知覚させられることが報告されている [7]。投影 VH インタフェースにおいても、疑似触覚フィードバックを利用することで、視覚情報のみで投影 VH

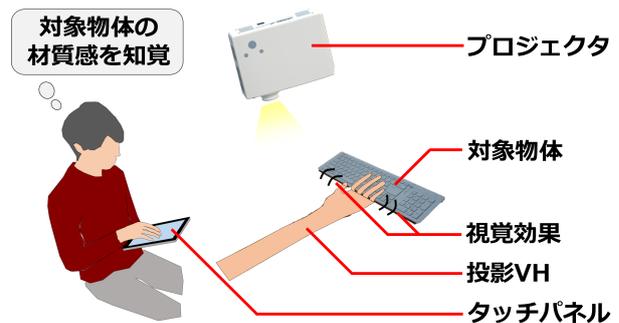


図1 提案手法の概要図

Fig. 1 Conception of our method

の触れている物体の材質感をユーザに知覚させられると考えられる。

本研究では、疑似触覚フィードバックを利用して、触覚提示装置を用いることなく、投影 VH が触れている物体の材質感をユーザに知覚させるシステムを実現することを目的とする。提案手法では、投影 VH が物体に触れた際に、投影 VH の手指を揺らす等の視覚効果を付与することで、その物体の凸凹さや柔らかさなどの材質感をユーザに知覚させることができる。図1に提案手法の概要図を示す。本稿では、投影 VH に付与する視覚効果のデザインおよび、その材質感提示能力を調査した被験者実験の結果について報告する。

## 2 視覚効果

本研究では、物体に触れた際にユーザに提示する感覚として、凸凹さ、つるつるさ、柔らかさに着目し、これらの材質感を知覚させる3種の視覚効果を提案する。以下、これら3種の視覚効果について説明する。

<sup>\*1</sup>大阪大学 大学院基礎工学研究科

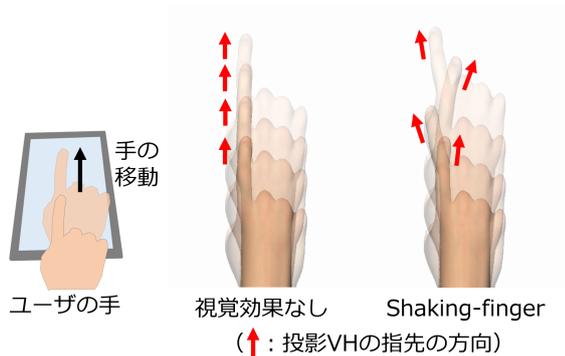


図 2 Shaking-finger の概要図  
Fig. 2 Conception of the Shaking-finger effect

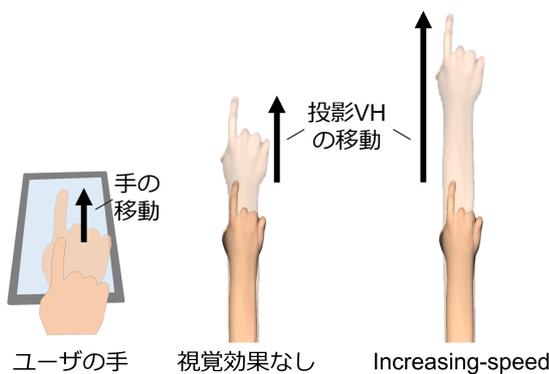


図 3 Increasing-speed の概要図  
Fig. 3 Conception of the Increasing-speed effect

## 2.1 Shaking-finger

凸凹した感覚をユーザに知覚させる視覚効果として、本研究では振動に着目する。Antoine ら [7] の研究では、手のメタファーとなる白いカーソルを振動させることでユーザに凸凹感を知覚させることが明らかとなっている。これをもとに、本研究では投影 VH の移動に応じて、投影 VH の指先を振動させる Shaking-finger を提案する。図 2 に投影 VH を紙面上方向に移動した時の Shaking-finger の様子を示す。

## 2.2 Increasing-speed

つるつるした感覚を知覚させる視覚効果として、疑似触覚分野の研究で頻繁に利用される C/D の変更に着目する [6]。一般に、物体表面を同じ力をかけて撫でる場合、つるつるした物体の方がそうでない物体と比べて、手指の移動距離が増加する。この事実をもとに、本研究では、投影 VH が物体に触れている間、投影 VH の移動速度を上昇させる Increasing-Speed を提案する。図 3 に Increasing-speed の概要図を示す。

## 2.3 Deforming-object

柔らかさを知覚させる視覚効果として、物体表面の見た目や形状の変形に着目する。Punpongsanon ら

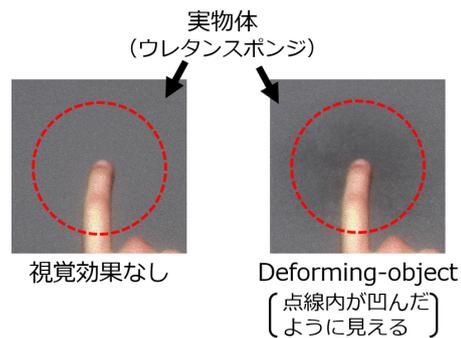


図 4 Deforming-object  
Fig. 4 Deforming-object effect

[8] や Argelaguet ら [9] は、物体表面の見た目や形状を変形することによって、ユーザの柔らかさ知覚を変化させられると報告している。これらの研究をもとに、本研究では投影 VH が触れている物体を凹んで見えるように変形させる Deforming-object を提案する。本研究では、変幻灯 [10] の技術を用いることにより Deforming-object を実現した。また、物体に触れている圧力ではなく、触れている時間に比例して凹み量が大きくなるモデルを使用している。Deform-Object を付与した投影 VH でウレタンスポンジに触れた時の様子を図 4 に示す。

## 3 被験者実験

### 3.1 実験目的

本実験では、提案した 3 種の視覚効果のそれぞれが、我々の意図する材質感をユーザに知覚させるか確認する。加えて、視覚効果の強度変化によりユーザの材質感知覚が変化するかについても確認する。

### 3.2 視覚効果

被験者に提示する視覚効果として、Shaking-finger, Increasing-speed, Deforming-object のそれぞれについて、変化が小さい Low レベルと変化が大きい High レベルの 2 種の強度レベルを用意した。Low レベルと High レベルは、それぞれの違いが明らかにわかる値を設定した。さらに、提案したどの視覚効果も付与しない「視覚効果なし」条件も一つの視覚効果として加えた。すなわち、実験に用いた視覚効果は計 7 種類である。

### 3.3 実験手順

実験はシェッフェの一対比較法に基づき行った。被験者は 3 分間投影 VH の操作練習を行った後、以下のタスクを繰り返した。

1) 被験者はタッチパネルを介して投影 VH を操作し、机の上に置かれた物体 A, B にそれぞれ触れる (図 5)。なお、物体 A, B は白い紙の板を用いた。

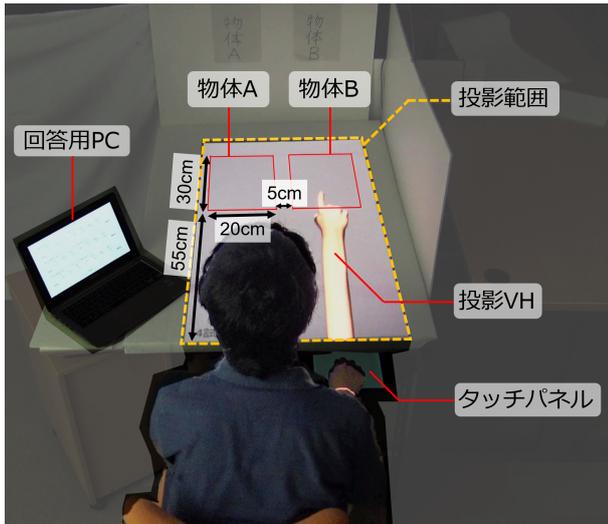


図5 実験環境  
Fig. 5 Experimental setup

2) 被験者は下記に示す三つのアンケート項目に7段階(-3: 物体Aをととても思う-+3: 物体Bをととても思う)で回答する。

- 物体AとBを比較して、どちらがより凸凹した物体に感じますか？
- 物体AとBを比較して、どちらがよりつるつるした物体に感じますか？
- 物体AとBを比較して、どちらがより柔らかい物体に感じますか？

用意した視覚効果の全ての組み合わせのそれぞれに対して1), 2)を3回繰り返した。すなわち、各被験者は合計  $7C_2 \times 3 = 63$  試行このタスクを行った。順序効果を抑えるために、視覚効果の組み合わせの提示順を調整した。実験に参加した被験者は右利きの10-20代の14名(男性12名, 女性2名)であった。

### 3.4 結果

検証方法として、アンケート項目ごとにシェッフェの対比較法(浦の変法)を使用した。各材質感の知覚強度を図6に示す。このグラフにおいて、正の値が大きいほど、被験者は対応する材質感を強く知覚していたことを示している。

凸凹さについて、分散分析を実施した結果、主効果が有意であることを示した( $F = 743.62, p < 0.001$ )。Yardstick's Yを使用して各視覚効果間の差の信頼区間(CI)を計算した。その結果、Shaking-finger High/Lowとその他全ての視覚効果の間、Shaking-finger HighとShaking-finger Lowの間、Deforming-object HighとIncreasing-speed High/Lowの間、Deforming-object LowとIncreasing-speed Highの間に有意差があった(99.9%CI,  $\pm 0.1820$ )。

つるつるさについて、分散分析を実施した結果、主効果が有意であることを示した( $F = 634.82, p < 0.001$ )。Shaking-finger LowとShaking-finger High間を除く全ての視覚効果の組み合わせの間に有意差があった(99.9%CI,  $\pm 0.2522$ )。

柔らかさについて、分散分析を実施した結果、主効果が有意であることを示した( $F = 525.17, p < 0.001$ )。Deforming-object High/Lowとその他全ての視覚効果の間、Deforming-object HighとDeforming-object Lowの間に有意差があった(99.9%CI,  $\pm 0.2053$ )。

### 3.5 考察

検定結果は、提案した全ての視覚効果が、我々の意図した材質感を被験者に有意に知覚させたことを示している。すなわち、Shaking-fingerはその他の視覚効果と比較し、被験者により凸凹感を知覚させる。同様にIncreasing-speedはその他の視覚効果と比較し、被験者によりつるつる感を、Deforming-objectはその他の視覚効果と比較し、被験者により柔らかい感覚を知覚させる。さらに、全ての視覚効果について、変化を大きくすることで、被験者の材質感知の強さを有意に向上させることも確認した。以上より、視覚効果の付与のみで、ユーザに様々な材質感を知覚させられることを示した。

## 4 まとめ

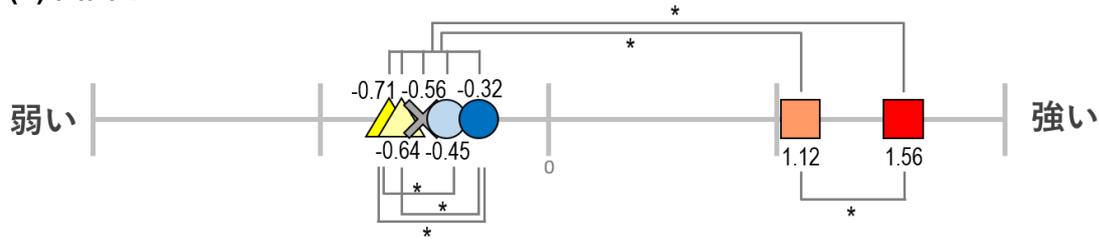
本稿では、視覚効果に基づく疑似触覚フィードバックを利用することで、投影VHインタフェースでユーザに物体の材質感を知覚させる手法を提案した。提案した視覚効果の有用性を確認した被験者実験では、Shaking-fingerが凸凹さを、Increasing-speedがつるつるさを、Deforming-objectが柔らかさを、ユーザに有意に知覚させることを確認した。また、視覚効果の強度を変化することで、被験者の材質感知に影響することも確認した。以上より、投影VHに視覚効果を付与することで、物体の材質感提示が可能であることを示した。

今後の展望として、物体の特徴に適した視覚効果強度の調査や、複数の視覚効果を組み合わせた視覚効果がユーザの材質感知に与える影響の調査があげられる。これらの調査を行い視覚効果のみで表現できる触覚範囲を明らかにすることで、実用システムへの組み込みを容易にしたい。

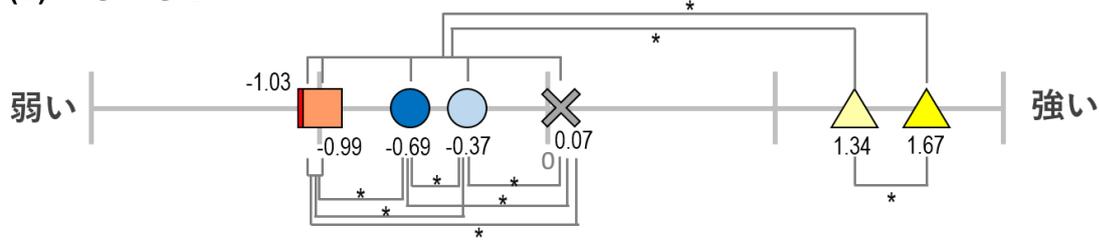
### 謝辞

本研究はJSPS科研費JP16H02859の助成を受けたものである。

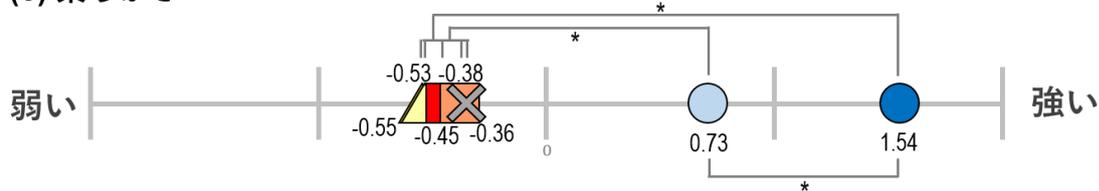
(a) 凸凹さ



(b) つるつるさ



(c) 柔らかさ



■ : Shaking-finger High    ▲ : Increasing-speed High    ● : Deforming-object High    ✕ : 視覚効果なし  
■ : Shaking-finger Low    ▲ : Increasing-speed Low    ● : Deforming-speed Low    \* : p<0.001

図6 各材質感の知覚強度  
Fig.6 Perceived strength of each tactile sensation

参考文献

- [1] Ivan Poupyrev, Shigeaki Maruyama, and Jun Rekimoto. Ambient touch: designing tactile interfaces for handheld devices. In *Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 51–60. ACM, 2002.
- [2] 岡原浩平, 小川修平, 新明拓也, 岩井大輔, 佐藤宏介. 身体拡張型インタフェースのための前腕の投影表現に関する基礎検討. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 19, No. 3, pp. 349–355, 2014.
- [3] Yuta Ueda, Yuki Asai, Ryuichi Enomoto, Kai Wang, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Body cyberization by spatial augmented reality for reaching unreachable world. In *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference*. ACM, 2017.
- [4] Yuki Asai, Yuta Ueda, Ryuichi Enomoto, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Extendedhand on wheelchair. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 147–148. ACM, 2016.
- [5] 田辺育暉, 浅井唯貴, 榎本龍一, 上田雄太, 岩井大輔, 佐藤宏介. 身体拡張インタフェースにおける非操作手への触覚呈示機構に関する研究. 第61回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 2017.
- [6] Anatole Lécuyer, Sabine Coquillart, Abderrahmane Kheddar, Paul Richard, and Philippe Coiffet. Pseudo-haptic feedback: Can isometric input devices simulate force feedback? In *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2000*, pp. 83–90. IEEE, 2000.
- [7] Antoine Costes, Ferran Argelaguet, Fabien Danieau, Philippe Guillotel, and Anatole Lécuyer. Touchy: A visual approach for simulating haptic effects on touchscreens. *Frontiers in ICT*, Vol. 6, , 2019.
- [8] Parinya Punpongsanon, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Softar: Visually manipulating haptic softness perception in spatial augmented reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 21, No. 11, pp. 1279–1288, 2015.
- [9] Ferran Argelaguet, David Antonio Gómez Jáuregui, Maud Marchal, and Anatole Lécuyer. Elastic images: Perceiving local elasticity of images through a novel pseudo-haptic deformation effect. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 10, No. 3, pp. 17:1–17:14, 2013.
- [10] Takahiro Kawabe, Taiki Fukiage, Masataka Sawayama, and Shin'ya Nishida. Deformation lamps: A projection technique to make static objects perceptually dynamic. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 13, No. 2, 2016.