



# 手指装着型デバイスを用いた遭遇型触力覚提示

増田壮馬<sup>1)</sup>, 入山太嗣<sup>1)</sup>, 小室孝<sup>1)</sup>, 中村健二<sup>2)</sup>, 高橋雅人<sup>2)</sup>

Soma MASUDA, Taishi IRIYAMA, Takashi KOMURO, Kenji NAKAMURA and Masato TAKAHASHI

1) 埼玉大学 理工学研究科 (〒 338-0825 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

2) DIC 株式会社 総合研究所 (〒 285-8668 千葉県佐倉市坂戸 631)

**概要:** 本研究では AR によって視覚提示された物体の形状と材質感を再現するための触力覚提示手法を提案する。本手法では触感が再現されたサンプルを指の腹に正対させるデバイスを装着した上で有形物体にサンプル越しに触れ、正確な物体形状と触感を低コストで得ることができる。評価では実装したシステムがバーチャル物体の形状と材質感を意図した通りに提示できていることを確認した。

**キーワード:** 触感, 受動触覚, AR

## 1. はじめに

工業製品を開発する際のプロトタイプとして、AR 技術を取り入れたデジタルモックアップ (DMU) の導入が進んでいる。AR を用いて DMU を実空間上に配置することで、安価で手軽な見た目やサイズ感の検討を可能にしている。

従来 AR では主に視覚情報の提示のみが行われていたが、同時に触覚フィードバックを与えることでバーチャル物体の存在感を高めることができる。例えば CG 映像を重畳表示する位置に実物体を配置することで、受動的なフィードバックを与える研究が存在する [1]。ユーザーが実物体に触れることで皮膚や筋肉にかかる反力から触覚の一種である力覚が提示され、物体形状を知覚させることができる。特に近年の 3D プリンターの普及に伴い任意の形状の物体が手間をかけずに作れるようになったため、力覚フィードバックは容易に提示できるようになったといえる [2]。

一方で、物体表面の滑らかさやざらつきなどの材質感をもたらす触感も触覚のフィードバックに含まれる。実空間上に物体を用意するだけの方法では、材質と形状のパターンを変えた多数の実物体を製作する必要がありコストが高くなる問題がある。指に対して振動や静電刺激などの人工的な刺激を能動的に与えることで触覚フィードバックを与える方法も提案されている [3, 4] が、物体形状の知覚と同時に実際の素材の触感を正確に提示することは困難である。

そこで力覚と触感を同時に再現できる可能性のある手法として遭遇型に着目した。遭遇型はユーザーの身体がバーチャルオブジェクトに触れると予測される位置に待機させたデバイスと遭遇することで触覚フィードバックを提示する手法を指し [5]、既にいくつかの研究で活用されている [6, 7]。この手法を応用することで、触感の再現する範囲を物体表面全体からユーザーが接触する位置のみに大幅に縮小することができると考えられる。これまでに遭遇型を壁面の触感の再現に取り入れた研究が存在する [8] が、平面での提示に限定されており異なる形状の再現には適していない。

本稿では、手指に装着するデバイスと有形物体を用いることで材質感と物体形状を遭遇型で提示する手法を提案し、それを用いたシステムを実装する。

## 2. 遭遇型触力覚提示手法

本手法の外観を図 1 に示す。ユーザーは人差し指に触感サンプルホルダーを装着し、映像重畳された有形物体に触感サンプル越しに触れることでバーチャル物体の材質感と形状を同時に知覚することができる。有形物体のどの位置に触れても触感サンプルからのフィードバックが提示されることで、コストを削減しつつ実際の素材を用いた正確な触感再現を可能にする。

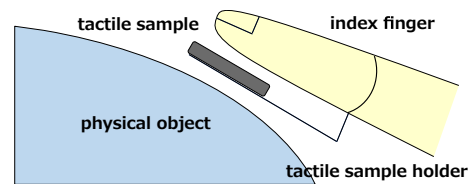


図 1: 本手法の外観

図 2 に示す通り、ユーザーが指を物体の表面の位置に動かしたときの触感サンプルが指と接触するように設計する。

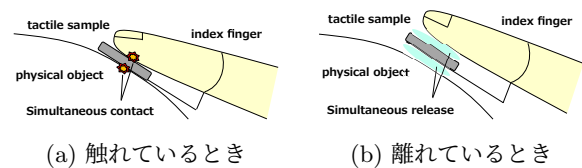


図 2: 触感提示の原理

図3に示す通り、実際の素材を指の腹の大きさにカットした触感サンプルを用いることで正確な触感再現を行う。ユーザーはスロットから触感サンプルを付け替えるだけで簡単に別の触感に変更することができる。また、触感から素材感を得るには5 mm程度の滑りによる摩擦感が重要であるというKhamisらの研究[9]に基づき、ホルダーの拘束力には指が触感サンプル上をかすかに動く程度の余裕を持たせるようにする。

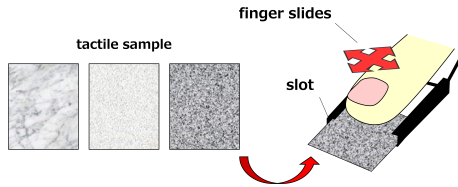


図3: デバイスの設計

有形物体を触ることで得られる反力から力覚フィードバックを得る。平面の触感サンプル越しに触れるため微細な形状の再現には適さないが、有形物体の様々な位置に触れることでバーチャル物体の大まかな形状を得ることができる。

### 3. 本手法を用いたシステムの実装

触感サンプルは図4aに示す通り「フラット」、「さらさら」、「ざらざら」の3種類の薄いサンプルを用い、裏に軟質塩化ビニル製のシートを貼り付けた。サイズを幅25 mm、奥行30 mmと指の腹より一回り大きなサイズとすることで十分な指の動きを可能にしている。3Dプリンターを用いて作成した触感サンプルホルダーの全体像を図4bに示す。人差し指の付け根にリングをはめて装着する設計にすることで物理物体を触る際に指の関節が自然に曲がることを利用している。ホルダー底面に薄いゴムシートを取り付けることで有形物体とデバイスとの間で滑りにくくするようにした。

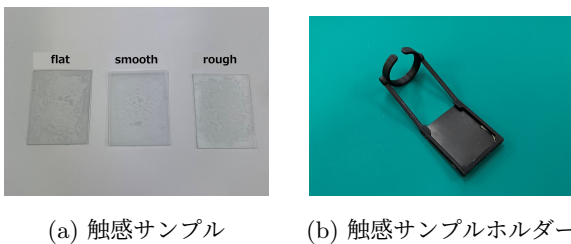


図4: 手指装着型デバイスの実装

有形物体は図5に示す通り実物のジュース缶に映像重畳に使用するためのARマーカーを円筒の上下に1周ずつ貼り付けたものを使用した。有形物体が持つ円筒の半径や長さといった情報は事前に映像重畳を行うPC側に入力している。そのため、映り込んだマーカーの3次元位置姿勢情報を取得しそれらを統合することで正しく映像を重畳することができる。実装にはOpenCVに搭載されているマーカーARモジュールであるArUcoを使用した。



図5: マーカーを付けた有形物体

システムが動作する様子を図6に示す。ユーザーはAR映像重畳された有形物体の様々な位置に触れることで形状を把握することができ、選んだ触感サンプルの触覚フィードバックを体験することができた。

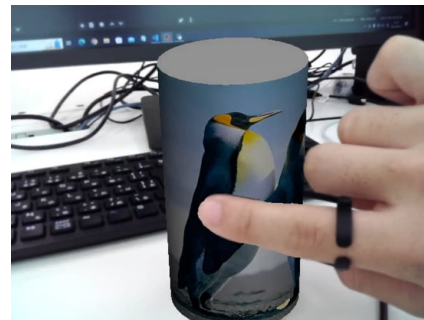


図6: 映像重畳されたジュース缶に触れる様子

### 4. 評価

実装したシステムの有効性と限界を調査するための評価を行った。

まず、指が物体に触れようとしたときにちょうど指が触感サンプルに触れているか、また離れたときについても同様に調査した。その結果、実装したシステムでは図7のように違和感がなく体験できることを確認した。

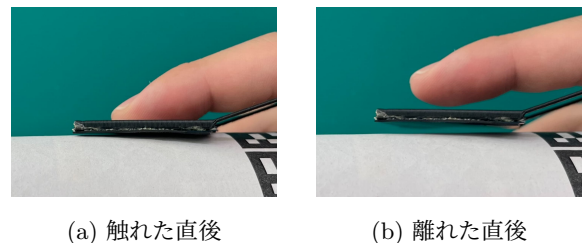
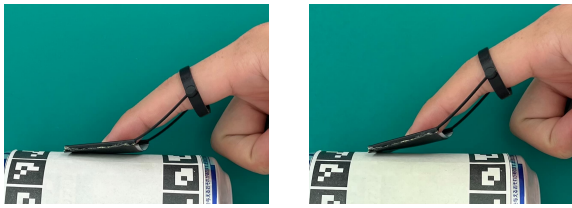


図7: 接触のタイミングの違和感の調査

次に、物体形状の再現における力覚フィードバックの必要性を調べたところ、視覚では得られない物体の厚みが見られるため力覚フィードバックが効果的であることが確認された。一方で図8に示す通り、有形物体の面と触感サンプルの間の角度に15度を超える極端な差がついた場合、ユー

ザーが触感サンプルに触れたときに間違っただけの角度が提示されてしまう課題が得られた。



(a) 15度ときの力覚提示 (b) 20度ときの力覚提示

図 8: 接触の角度の対応の限界

続いて、5 mm 程度の動きの余裕があり触感が知覚できるか調べた。その結果、5 mm 以上の指先の可動域が得られ、十分に触感を探ることが可能だった。

最後に、図9に示す通り曲率半径が15mm, 25mm, 50mmの3種類の円柱形状のサンプルを用意し凸状にカーブした表面の力覚提示の正確性を調べた。

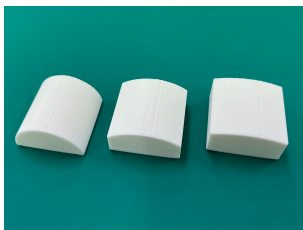


図 9: 円柱形状のサンプル

今回使用した触感サンプルは柔軟な素材であり曲面の形状に沿って変形させることが可能だったため、どの曲面をサンプル越しに触れても曲面の方向とカーブのきつさを知覚することができた。しかし半径15mmの最もシャープな曲面では本来よりも指に接触する面積が広くなることに伴う微細な形状の違和感を生じ、現状のシステムで正しく力覚提示できる曲面の鋭さの限界が示された。

## 5. むすび

有形物体と手指装着型デバイスを用いることで素材感を表現する触感と物体形状を表現する力覚のフィードバックを同時に提示する手法を提案し、システムの実装を行った。評価ではシステムが機能するための要点を概ね満たし本手法が有用である可能性を示したとともに、より広い接触角度への対応をはじめとするいくつかの課題が得られた。今後は接触部位を指先から手全体へと広げていくことで物体の把持や操作を実現したい。

**謝辞** 本研究の遂行にあたり触感サンプルホルダーを共に開発、製作してくださいました石野裕二博士、平原実留氏をはじめとする総合技術支援センター 3D-Design プロジェクトの皆様により感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Anuruddha Hettiarachchi and Daniel Wigdor. *Annexing reality: Enabling opportunistic use of everyday objects as tangible proxies in augmented reality*, In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1957-1967, 2016.
- [2] Woohun Lee and Jun Park. *Augmented foam: A tangible augmented reality for product design*, In Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 106-109, 2005.
- [3] Yuta Shiokawa, Atsushi Tazo, Masashi Konyo and Takashi Maeno. *Hybrid display of realistic tactile sense using ultrasonic vibrator and force display*, In Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3008-3013, 2008.
- [4] Kazuya Otake, Hikaru Hasegawa, Shogo Okamoto and Yoji Yamada. *Virtual roughness textures via a surface tactile texture display using vibrotactile and electrostatic friction stimuli: improved realism*, In Proceedings of the 2020 13th International Conference on Human System Interaction, pp. 147-152, 2020.
- [5] Yasuyoshi Yokokohji, Junji Kinoshita and Tsuneo Yoshikawa. *Path planning for encountered-type haptic devices that render multiple objects in 3D space*, In Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2001, pp. 271-278, 2001.
- [6] Ryo Suzuki, Eyal Ofek, Mike Sinclair, Daniel Leithinger and Mar Gonzalez-Franco. *HapticBots: Distributed encountered-type haptics for vr with multiple shape-changing mobile robots*, In Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 1269-1281, 2021.
- [7] Xavier de Tinguy, Thomas Howard, Claudio Pacchierotti, Maud Marchal and Anatole Lécuyer. *Weatavix: Wearable actuated tangibles for virtual reality experiences*, In Haptics: Science, Technology, Applications: 12th International Conference, EuroHaptics 2020, Leiden, The Netherlands, September 6-9, 2020, Proceedings, pp. 262-270, 2020.
- [8] Shun Yamaguchi, Hirotaka Shionoiri, Takuto Nakamura and Hiroyuki Kajimoto. *An encounter type VR system aimed at exhibiting wall material samples for show house*, In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, pp. 321-326, 2018.

[9] Heba Khamis, Hafiz Malik Naqash Afzal, Jennifer Sanchez, Richard Vickery, Michaël Wiertelwski, Stephen J. Redmond and Ingvars Birznieks. *Friction sensing mechanisms for perception and motor con-*

*trol: Passive touch without sliding may not provide perceivable frictional information*, Journal of Neurophysiology, Volume 125, Issue 3, pp. 809-823, 2021.