

# Haptopus : HMD への吸引触覚提示機構の内蔵 —気圧変調による硬軟感提示—

## Haptopus: Built-in Suction Tactile Presentation Mechanism for HMD - Presentation of Softness by Pressure Modulation -

○学 亀岡 嵩幸 (電気通信大学) 梶本 裕之 (電気通信大学)

Takayuki KAMEOKA, University of Electro-Communications, kameoka@kaji-lab.jp  
Hiroyuki KAJIMOTO, University of Electro-Communications, kajimoto@kaji-lab.jp

Along with spread of low-cost HMD and high-quality VR experience, many proposals have been made to improve the VR experience by providing tactile information to the fingertips. However, attaching and detaching a device is difficult and the movement of the finger are limited. In order to solve these problems, we have proposed Haptopus that incorporates a suction tactile presentation mechanism in the HMD. Haptopus can transfer the fingertip tactile information to around the eyes without impairing the quality of the experience and improving the wearability. In this paper, we investigated that the hardness of VR object could be presented by the adjustment of dynamic air suction pressure in order to increase the types of haptic information.

**Key Words:** Haptopus, suction stimulus, haptics HMD, virtual reality

### 1. 緒言

近年、多種多様なヘッドマウントディスプレイ (HMD) が開発され、安価な HMD の普及やコンテンツの充実に伴いバーチャリアリティ (VR) 体験への需要も高まっている。合わせて VR 環境をより没入感を伴って感じられるよう視覚情報と触覚情報を組み合わせた提示を行う研究が数多く行われている。手掌部への触覚提示に関しては例えば Wang らによりレビューがある [1]。

しかしながらこれまでに提案された装着型のデバイスは装着が煩雑である、各指に装着した場合に装置同士が干渉して指の自由な動きを妨げるなどという問題を持っていた。このような問題を解決するために VR 空間で指や手に生じる触覚を直接指や手に提示するのではなく、体の他の部位に提示する提案が行われている [2]。こうした異部位への触覚提示は感覚義手の研究では一般的な方法であり、腕や肩に振動子を配置する試みは数多く存在する [3]。VR 環境への適用としては例えば、空気圧によりピンを押し出し、触覚提示を行う装置を用いて手が受けた触覚を足裏へ提示する研究などが行われており、これにより手にデバイスを装着する事無く触覚が提示できる可能性が示唆されている [4]。

我々はこうした手掌部以外への触覚提示として HMD への触覚提示装置の内蔵が有望であると考えた。HMD は多くの VR アプリケーションが装着を前提としているため、そこに触覚提示装置を組み込めば追加の装着が不要となる。

筆者らはこれまでの報告にて吸引触覚提示機構を内蔵した HMD である Haptopus を開発した [5]。本稿においては吸引気圧の調整により硬軟感の提示を試みた。

### 2. 関連研究

HMD 自体に触覚提示機構を内蔵する提案はすでに多数されており [6] [7] [8]、その中でも特に関連する研究に関して述べる。

Oliveira らは振動子を内蔵した HMD を開発し、VR 空間内での方向知覚に対する有効性を検証した。振動子を使った触覚提示は安価かつ高品質な体験を作ることができるが、振動触覚は何かに触れた際の重要な触覚情報である圧覚を振動に変換する必要があり記号的な情報提示となっている [9]。

Kon らはバルーンによる圧迫提示機構を備えた HMD を開

発し、受動的な触覚情報を提示するコンテンツの製作とその評価を行った。バルーン圧迫を用いることで顔面部への圧覚の提示に成功しているが、提示する際には HMD 自体を押し上げ、動いてしまうという問題が生じる [10]。

Chang らはサーボモータを用いて HMD のベルト部分を締め付けることで顔面に純粋な圧迫力を提示することに成功した。さらに VR コンテンツと組み合わせその評価を行った。純粋な圧迫力の提示に成功しているが、ベルトを巻き取るという構成上、提示する力の方向はベルトの本数と向きに依存し、細かな力制御は難しい [11]。

Peiris らはペルチェ素子による温度感覚提示機構を内蔵した HMD を製作し、方向知覚及び温度感覚の提示を用いたコンテンツの製作を行った。温度感覚は皮膚感覚提示において重要であり、触覚提示を高品質なものにできる。一方で局所的な提示が難しく、手掌部の触覚情報を HMD 接触部という限られたスペースで提示するには向いていない [12]。

Wang らは 2 つのモーターにより 2 自由度の水平移動が可能なゲルパッドを 6 つ内蔵した HMD を開発し、皮膚せん断提示を用いて VR 空間での顔の触覚情報や慣性情報の提示を行った。皮膚せん断は力覚知覚にも影響しており個別に動作可能なゲルパッドにより複雑な触覚提示が可能であるが、提示可能な触覚の細かさはゲルパッドの大きさに依存するため細かな触覚提示には向かない [13]。

### 3. Haptopus

従来研究の問題点として、物に触れた際に最も重要と考えられる圧覚がほとんど提示されておらず、提示可能な場合も HMD の固定を阻害してしまう、局所的な提示が困難である、といった欠点が挙げられる。また指の触覚を HMD で顔付近に提示する試みも筆者らの知る限り存在していなかった。

こうした問題を解決するために我々は吸引刺激による触覚提示手法を提案した [5]。皮膚はひずみの大きさは分かるが、ひずみの方向は知覚することが難しいため、適切に皮膚を吸引することで圧迫と錯覚させることができる [14]。これによりバルーン圧迫 [10] の場合のように HMD が動いてしまうということなく皮膚に圧覚を提示できる。

我々の提案するシステム Haptopus は指先の触覚を顔面へ転移させており、HMD に内蔵可能な小型吸引機構を用いて知覚

錯覚によって圧覚を提示する。この装置は圧覚を中心とした指先触覚を目元に転移させ、かつ複数指に対応することが出来る。本デバイスにより、ユーザは指先デバイスを装着することなく、VR空間内での指先触覚情報を顔面にマッピングされた触覚情報として知覚することができる。これまでの報告では目元周辺への吸引刺激感覚の調査として吸引気圧、吸引径の変化による知覚変化や刺激知覚しきい値の調査を行ってきたが、吸引気圧の動的な制御は行っていなかった。

### 3.1 吸引機構

吸引は空気吸引ポンプ (SC3701PML, SHENZHEN SKOOCOM ELECTRONIC) で行い、電磁弁 (SC415GF, SC0526GF, SHENZHEN SKOOCOM ELECTRONIC) と気圧センサ (MIS-2503-015V) を用いて吸引気圧を制御する。電磁弁、気圧センサの制御はマイコン (ESP-WROOM-32) を用いて行う。

皮膚に痕を残さないために吸引径を小さくし、皮膚変形量を最小限に留める。また最大吸引気圧値は-600hPaを上限とする。吸引部の吸引径は予備実験より多数の試作から選定し、直径5mm、中心間距離6mmとした。

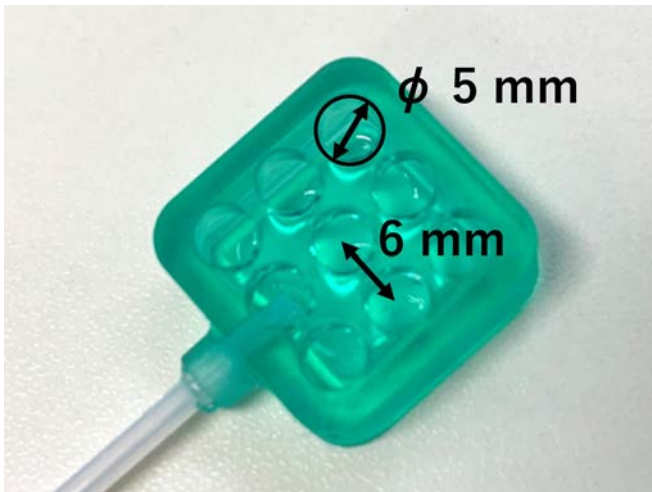


Fig. 1 Suction unit (made by UV resin).

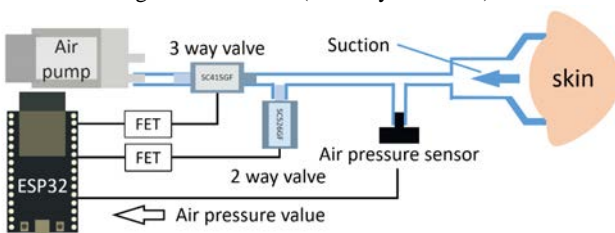


Fig. 2 Control air pressure system overview.

## 4. 実験

吸引気圧を動的に変化させることでVR空間における硬軟感の提示が可能か調査する実験を行った。まず被験者ごとに痛みを伴わない範囲での最大吸引気圧を計測し、その気圧範囲内でVRオブジェクトとの接触時の押し込み量に応じた吸引を提示した。この際に押し込み量と吸引気圧の比例定数を変化させた場合に知覚に変化が起こるかを調査した。

### 4.1 実験手順

実験の手続きはすべてVR空間内で行われた。VR空間の映像はHMD (OculusQuest, Oculus) により提示され、指のトラ

ッキングは光学式のセンサ (Leapmotion, Ultraleap) を用いた。VRオブジェクトとの接触は右人差し指が用いられ顔面への吸引刺激は右目の下に提示された。

まず被験者ごとに最大吸引気圧の計測を行った。その際に吸引刺激として不快でない範囲で最大の吸引となるように被験者に調整するように指示し、気圧の調整は被験者自身の手で行った。

最大吸引気圧を決定した後、VR空間内に固定された球に指先でふれ、その押し込み量に応じて吸引を行った。球の半径は10cmであった。押し込み量と吸引気圧の関係は最大吸引気圧に到達するまでの押し込み量が球の半径に対し4/4倍、3/4倍、2/4倍、1/4倍、接触時に最大吸引気圧になる条件という5条件を用意した。被験者は各条件にて自由に球に触れ、知覚した硬軟感をリッカートスケール7段階で回答した (-3: 柔らかい, 3: 硬い)。各条件を5試行行い、計25試行行った。



Fig. 3 Suction unit attached to the HMD. In this experiment, only the part surrounded by a red circle was used.

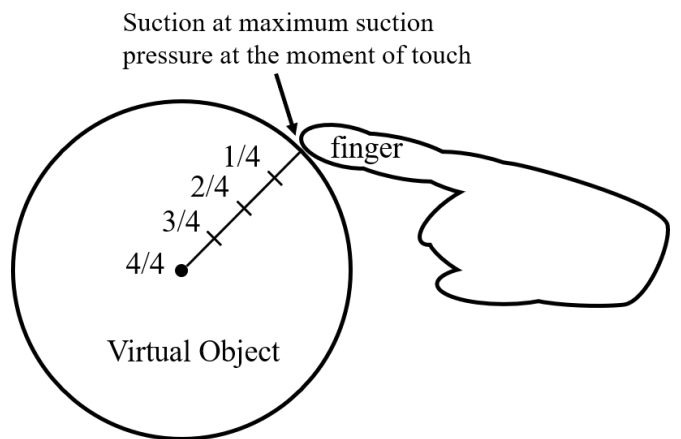


Fig. 4 The relationship between suction pressure and the amount of finger pressure. The amount of pushing of the finger to reach the maximum suction pressure varies depending on the condition.

### 4.2 実験結果

研究室所属の23~25歳の6名(うち女性1人)に対し実験を行った。彼らはHMDの使用経験があり、VR空間におけるインタラクションに慣れていて、実験結果を図5に示す。図中のmax条件はVRのオブジェクトに接触した瞬間に最大吸引気圧に変更することを意味している。

Kruskal-Wallis検定法による多重比較の結果、max条件は2/4倍 (p=0.000), 3/4倍 (p=0.000), 4/4倍 (p=0.000) と有意差があった。1/4倍条件は3/4倍 (p=0.003), 4/4倍 (p=0.000)

と有意差があった。

実験結果より最大吸引気圧に至るまでの押し込み量が多いほど柔らかさを知覚しやすく、逆に指と VR オブジェクトが接触した瞬間に強く吸引を行うと硬さを知覚しやすい傾向にあることがわかった。

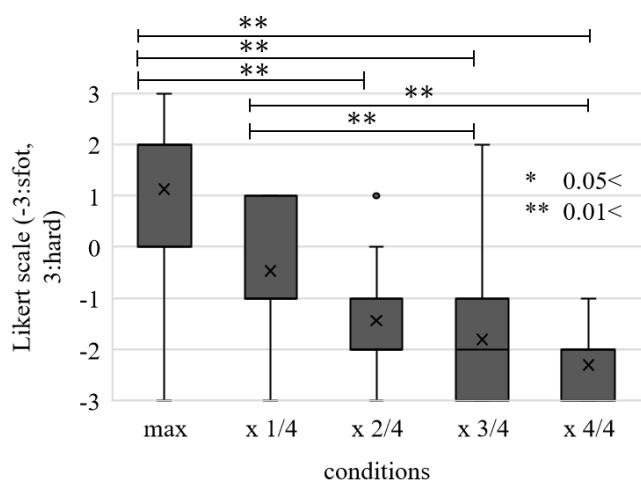


Fig. 5 Experiment result. "max" mean change the air pressure to maximum air pressure the moment when touch the VR object.

## 5. 結言

本稿では触覚情報を加えた VR 体験を簡便に実現することを目的とした吸引触覚提示機構内蔵 HMD を開発し、提示可能な感覚の幅を広げるべく動的な吸引気圧調整の実現とその検証を行った。その結果ユーザの指の動きに合わせて吸引気圧を変化させることで VR 空間における物体の硬軟感を提示できることを確認した。

今後の課題として触覚提示装置の小型化と各指に対応した吸引刺激点のマッピング調査、Haptopus を用いたコンテンツの製作などが挙げられる。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP18K19806 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] D. Wang, M. Song, A. Naqash, Y. Zheng, W. Xu and Y. Zhang, "Toward Whole-Hand Kinesthetic Feedback: A Survey of Force Feedback Gloves," *IEEE ToH*, vol. 12, no. 2, pp. 189-204, 2019.
- [2] T. K. Moriyama, A. Takahashi, H. Asazu and H. Kajimoto, "Simple is Vest: High-Density Tactile Vest that Realizes Tactile Transfer of Fingers," in *SIGGRAPH Asia*, 2019.
- [3] C. Antfolk, M. D'Alonzo, B. Rosen, G. Lundborg, F. Sebelius and C. Cipriani, "Sensory feedback in upper limb prosthetics," *Expert Review of Medical Device*, vol. 10, no. 1, pp. 45-54, 2013.
- [4] T. Okano, K. Hiki, K. Hirota, T. Nojima, M. Kitazaki and Y. Ikei, "Development of a Sole Pressure Display," in *AsiaHaptics*, 2016.
- [5] T. Kameoka, Y. Kon and H. Kajimoto, "Haptopus: haptic VR experience using suction mechanism embedded in head-mounted display," in *SIGGRAPH Asia 2018 Virtual & Augmented Reality*, 2018.
- [6] N. Ranasinghe, P. Jain, N. T. N. Tram, K. C. R. Koh, D. Tolley, S. Karwita, L. Lien-Ya, Y. Liangkun, K. Shamaiah, C. E. W. Tung, C. C. Yen and E. Y.-L. Do, "Season Traveller: Multisensory Narration for Enhancing the Virtual Reality Experience," in *CHI*, 2018.
- [7] J. Gugenheimer, D. Wolf, E. R. Eiriksson, P. Maes and E. Rukzio, "GyroVR: Simulating Inertia in Virtual Reality using Head Worn Flywheels," in *UIST*, 2016.
- [8] S. Kato and T. Nakamoto, "Demo of olfactory display with less residual odor," in *SIGGRAPH Asia Emerging Technologies*, 2018.
- [9] V. A. d. J. Oliveira, L. Brayda and L. Nedei, "Designing a Vibrotactile Head-mounted Display for Spatial Awareness in 3D Spaces," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2017.
- [10] Y. Kon, T. Nakamura and H. Kajimoto, "HangerOVER:HMD-Embedded Haptics Display With Hanger Reflex," in *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies*, 2017.
- [11] H.-Y. Chang, W.-j. Tseng, C.-E. Tsai, H.-Y. Chen, R. L. Peiris and L. Chan, "FacePush: Introducing Normal Force on Face with Head-Mounted Displays," in *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2018.
- [12] R. L. Peiris, W. Peng, Z. Chen, L. Chan and K. Minamizawa, "ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays," in *CHI*, 2017.
- [13] C. Wang, D.-Y. Huang, S.-w. Hsu, C.-E. Hou, Y.-L. Chiu, R.-C. Chang, J.-Y. Lo and B.-Y. Chen, "Masque: Exploring Lateral Skin Stretch Feedback on the Face with Head-Mounted Displays," in *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2019.
- [14] Y. Makino, N. Asamura and H. Shinoda, "Multi Primitive Tactile Display Based on Suction Pressure Control," *International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 90-96, 2004.