

周辺とのアドホックなインタラクションを実現する 再構成可能な VR HMD

遠藤 勇^{1,a)} 高嶋 和毅¹ 井上 理哲人¹ 清川 清² 藤田 和之¹ 北村 喜文¹

概要：本研究では、手動で再構成可能なモジュラー機構を用いた新たなモバイルヘッドマウントディスプレイ（HMD）を提案する。この HMD では、市販の HMD のフェイスカバー部に 3 つの着脱可能なディスプレイモジュールを設置することで、没入感の高い VR 体験を可能にしつつも、必要に応じてモジュールの着脱により視界周辺部での実物体や近接者とのアドホックなインタラクションを可能にする。本デモでは、提案手法のプロトタイプ的设计と実装例を紹介し、ユーザが周囲の状況やタスクに応じて HMD の形態を即座に切り替えることを示す。

1. はじめに

近年、Oculus Quest のような閉塞型の VR HMD が手ごろな価格で入手できるようになり、エンタテインメント用途だけでなくモバイルワークへの活用も期待されている [3]。交通機関の中やオフィス [7,9] といったパブリックな空間で HMD を使う場合は、ユーザは、VR コンテンツだけでなく実世界の周囲の出来事にも対応するため、周辺環境に対するある程度のアウェアネスを確保しなければならない。しかし、現在の閉塞型 HMD は、フェイスカバーで装着者の外界への視線を断ち、ユーザを現実世界から完全に隔離するよう設計されている。このような HMD ユーザと現実世界との隔絶を本稿では HMD Boundary と呼称する。これはユーザの VE (Virtual Environment) への没入感を向上させるという利点もある一方で、次に示す二つの問題も引き起こしてしまう。一つ目は、ユーザが HMD を脱がずに現実の物（キーボードやスマートフォンなど）を認識したり操作したりすることが難しいこと [2,4,11] である。二つ目は、HMD ユーザが近接者の動向を把握できない [8] だけでなく近接者も HMD ユーザの表情や作業内容を把握できない [1,12] ために、HMD ユーザと近接者が共同で作業することが難しいことである。モバイルワークの場面においては、VR コンテンツ等を共有するための外部ディスプレイを確保できるとは限らないため、後者についてはより困難なものとなる。これらを解決するために、VE 内に現実の周辺物をビデオシースルー (VST) で可視

化したり [2]、近接者用のディスプレイを用意して VE や HMD ユーザの状態を提示したり [5,6] するなど、個別の解決策が議論されてきたが、これらの問題を根本的に解決する策は提案されていない。

そこで本研究では、HMD ユーザの没入感の高い VR 体験を確保できるようにしつつ、必要に応じて外界とのアドホックなインタラクションを実現するために、モジュラー機構を用いて再構成可能な新たな HMD の概念を提案する。基本となる考えは、HMD の周辺部に着脱可能なモジュール [10] を設置することで、ユーザの視界（眼球を動かして見える範囲）周辺部の眺めや機能を切り替えられるようにすることである。これにより、ユーザはモジュールを取り外して外界を認識でき、取り外したモジュールを即席の手持ちデバイスとして再利用することもできる。図 1 左の図は、通常の HMD の側面と底面に着脱可能な 3 つのディスプレイモジュールを設置したプロトタイプを示している。提案する HMD の基本形態では、側面と底面の内向きのディスプレイモジュールを介して、ユーザに通常より広い視野角を提供している（図 1(a)）。もし、ユーザが VR 体験中に外界に意識を向けたい時には、その対象の場所に応じて側面や底面のモジュールを取り外すことで、視界周辺部で外界を視認できる（図 1(b)）。提案手法では、さらに、取り外したモジュールをインタラクションデバイスとして HMD ユーザ自身が再利用したり、近接者に貸し出したりすることも可能である（図 1(c)）。このように、モジュールを取り外し、再利用し、返却するというサイクルを作ることによって、余分なデバイスを使うことなく、HMD Boundary を緩和できると考える。なお、本研究では、あくまで VR 空間での作業がユーザにとって主タスクである

¹ 東北大学 電気通信研究所

² 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

^{a)} iced-office@riec.tohoku.ac.jp

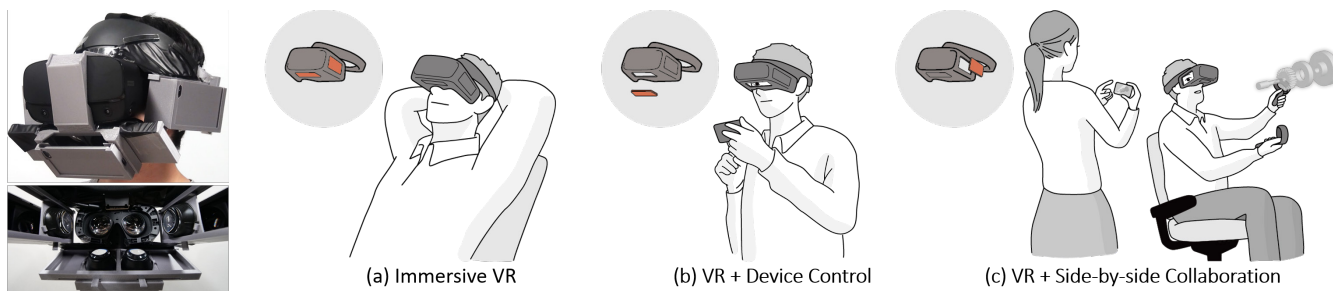


図 1: 提案手法のプロトタイプと主な使用例: (a) ユーザが3つのディスプレイモジュールでVRの視界を拡張し、臨場感の高いVR体験をしている。(b) ユーザが底面モジュールを取り外し、VRコンテンツとインタラクションするための入力デバイスとして再利用している。(c) ユーザが側面モジュールを取り外し、VR体験は継続しながら視界周辺部で近接者へのアウェアネスを確保している。近接者もHMDユーザとアイコンタクトを取ることができ、取り外したモジュールを借りることで迅速に共同作業用のインタラクションデバイスを確保できている。

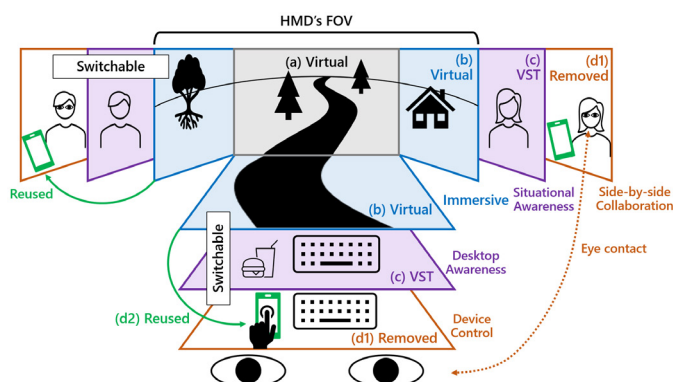


図 2: 提案 HMD の周辺 3 モジュールの状態と形態カテゴリ

ことを前提として、HMD の周辺部分をどのように再構成するかを考える。

2. 提案手法

本研究では、手動で再構成するモジュラー機構を HMD に導入することで、外界とのアドホックなインタラクションを可能にする新たな HMD コンセプトを提案し、HMD Boundary 問題の解決を図る。これにあたり、三つの方針を設けた。一つ目は、あくまで没入型の VR 体験を最優先すること。二つ目は、視界周辺部を活用することで、各モジュールが外界とのアドホックなインタラクションを手助けすること。そして三つ目は、HMD のモビリティを保ち、すべての機能が HMD 単体で自己完結していることである。

2.1 HMD の形態

提案する HMD は、図 2 に示すように、正面 1 台のメインディスプレイ、側面 2 台と底面 1 台の着脱可能なディスプレイモジュールで構成される。この図は HMD の主要な形態カテゴリも示している。図 2 (a) に示す中央の灰色長方形の領域は、質の高い VR 体験を可能にするための (市販の) HMD 画面を表しており、主とする VE 内でのタスクに活用

される。本手法では、その左右と下に計 3 つのモジュールを追加し、それぞれが「no display content」「VR extension view (図 2(b))」「VST view (図 2(c))」「removed/reused (図 2(d1)(d2))」の 4 つの状態を手動で切り替えられるようにした。側面と底面にモジュールを設置したのは、ユーザが望んだ際に空間や手元へのアウェアネスを確保できるようにするためである。

2.2 プロトタイピング

ベースとなる HMD 筐体として Oculus Rift S を選択し、そこに 3 つのディスプレイモジュール、3D プリントしたモジュールホルダーとアタッチメント、そしてレンズ (Oculus Rift DK1 と DK2 のものを流用) を追加してプロトタイプを実装した (図 3(a))。このとき、ディスプレイモジュールやレンズを取り付けるスペースを確保するために、Oculus Rift S に元々付いていたフェイスカバーは取り除いた。各ディスプレイモジュールには、軽量でありながら十分な機能 (高解像度ディスプレイ、背面カメラ、長時間駆動可能なバッテリー、無線通信機能) を備えた第 7 世代の iPod touch を使用した。プロトタイプの総重量は、基礎となる Oculus Rift S (約 500 g) を含めて 1.3 kg 程度であり、現在の設計では HMD の前方に 3 つのモジュールを取り付けているため、その重心も前に偏っている。

ベースとなる HMD の視界周辺部をどのようなモジュラー機構にすべきかを試行錯誤的に検討し、最終的には「3D プリントによってレール構造を容易に作成できること」「レール機構によってモジュールの着脱や固定を安定させられること」「将来的に電動化することが容易であること」から、図 3(b)(c) のようなスライド式の着脱機構を採用した。

図 4 はプロトタイプの内側を撮影したものである。画像のように 4 枚のディスプレイによって広い視野角を確保できたものの、正面と他のレンズ間には溝があるために、連続した視界を提供することは叶わなかった。



図 3: プロトタイプの外観と各モジュールの着脱機構。((b)(c) の点線で囲まれた範囲は、実際には遮蔽されている)



図 4: プロトタイプの内部構造 (単眼カメラによる撮影の都合上、左目視点で撮影した画像を左右反転させて結合した絵)

2.3 デモアプリケーション

本デモンストレーションでは、図 2 の Immersive, Desktop Awareness, Situational Awareness, Device Control, Side-by-side Collaboration の 5 つの形態カテゴリに対応するアプリケーションを実演する。具体的には、「全モジュールで VE を映して高い臨場感を得る (図 1(a))」「底面モジュールを VST にして卓上の物とインタラクションする」「側面モジュールを VST にして近接者の動向を確認する」「底面モジュールを取り外してタッチキーボードとして再利用する (図 1(b))」「側面モジュールを取り外して、横並びの HMD ユーザと近接者がアイコンタクトを取りながら共同でモデリングする (図 1(c))」アプリケーションである。これらを通して、状況に応じた HMD 形態の切り替えという新たな考えを議論する。

謝辞 本研究の一部は東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究による。

参考文献

- [1] Armstrong, M., Tsuchiya, K., Liang, F., Kunze, K. and Pai, Y. S.: Multiplex Vision: Understanding Information Transfer and F-Formation With Extended 2-Way FOV, *Proceedings of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 33:1–33:9.
- [2] Budhiraja, P., Sodhi, R., Jones, B., Karsch, K., Bailey, B. and Forsyth, D.: Where's my drink? Enabling peripheral real world interactions while using HMDs, *arXiv preprint arXiv:1502.04744* (2015).
- [3] Grubert, J., Ofek, E., Pahud, M. and Kristensson, P. O.: The Office of the Future: Virtual, Portable, and Global, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 38, No. 6, pp. 125–133 (2018).
- [4] Grubert, J., Witzani, L., Ofek, E., Pahud, M., Kranz,

- M. and Kristensson, P. O.: Effects of Hand Representations for Typing in Virtual Reality, *Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, pp. 151–158 (2018).
- [5] Gugenheimer, J., Stemasov, E., Frommel, J. and Rukzio, E.: ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users, *Proceedings of CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 4021–4033 (2017).
- [6] Gugenheimer, J., Stemasov, E., Sareen, H. and Rukzio, E.: FaceDisplay: Towards Asymmetric Multi-User Interaction for Nomadic Virtual Reality, *Proceedings of CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1–13 (2018).
- [7] Guo, J., Weng, D., Zhang, Z., Jiang, H., Liu, Y., Wang, Y. and Duh, H. B.: Mixed Reality Office System Based on Maslow's Hierarchy of Needs: Towards the Long-Term Immersion in Virtual Environments, *Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 224–235 (2019).
- [8] McGill, M., Boland, D., Murray-Smith, R. and Brewster, S.: A Dose of Reality: Overcoming Usability Challenges in VR Head-Mounted Displays, *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 2143–2152 (2015).
- [9] Ruvimova, A., Kim, J., Fritz, T., Hancock, M. and Shepherd, D. C.: "Transport Me Away": Fostering Flow in Open Offices through Virtual Reality, *Proceedings of CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1–14 (2020).
- [10] Seyed, T., Yang, X.-D. and Vogel, D.: A Modular Smartphone for Lending, *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, p. 205–215 (2017).
- [11] Tran, K. T. P., Jung, S., Hoermann, S. and Lindeman, R. W.: MDI: A Multi-channel Dynamic Immersion Headset for Seamless Switching between Virtual and Real World Activities, *Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, pp. 350–358 (2019).
- [12] Wang, C.-H., Yong, S., Chen, H.-Y., Ye, Y.-S. and Chan, L.: HMD Light: Sharing In-VR Experience via Head-Mounted Projector for Asymmetric Interaction, *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, p. 472–486 (2020).