

# リアルバーチャル・ブリッジ：現実空間のオブジェクトと仮想空間のオブジェクトの間を仲介するモジュール機構

高階知巳\*, 国米祐司\*

## Real-Virtual Bridge: A Modular Mechanism to Mediate Between Real and Virtual Objects

Tomomi TAKASHINA\* and Yuji KOKUMAI\*

バーチャル・リアリティ (VR) は、エンターテインメント分野での普及が進み、今後はより広い分野のアプリケーションへ展開されることが期待されている。そのようなトレンドにおいて、VR のアプリケーションはリアルとバーチャルの境界をまたがるという見通しから、我々は現実のオブジェクトと仮想オブジェクトを仲介するリアルバーチャル・ブリッジという概念的モデルを提案する。本論文では、その概念とアーキテクチャを説明し、次に、2つの具体的な応用例を紹介する。スマートフォンへの応用ではVR のアプリケーションを使用している最中に現実のスマートフォンを操作できる。顕微鏡への応用では仮想空間の実験室から遠隔操作で顕微鏡を用いた作業を行うことができる。リアルバーチャル・ブリッジと同様の概念はSF 作品にも見られるが、我々はそのアーキテクチャを明示的に定義した。我々はリアルバーチャル・ブリッジが、現実と仮想的なオブジェクトの統合により、新しいアプリケーションの創出を促進すると期待する。

The practical use of virtual reality (VR) is expected to be extended to a wide range of applications after its successful deployment in the entertainment sector. Currently, the domain of VR applications crosses the boundary between the real world and the virtual world. Therefore, we propose a real-virtual bridge, a conceptual model that can be used to mediate between real and virtual objects. We introduce the concept and architecture of a real-virtual bridge and describe two applications of the bridge to smartphones and microscopes. As for the application to smartphones, users can operate real smartphones during VR experiences. As for the application to microscopes, users can do experimental work using real microscope from the virtual laboratory. Although concepts similar to a real-virtual bridge exist in science fiction works, we explicitly define its architecture in this paper. We believe that a real-virtual bridge promotes emerging applications by integrating real and virtual objects.

**Key words** バーチャル・リアリティ, リアルバーチャル・ブリッジ, タッチスクリーン, 顕微鏡, スマートフォン  
virtual reality, real-virtual bridge, touchscreen, microscope, smartphone

### 1 はじめに

バーチャル・リアリティ (VR) は、エンターテインメント分野での普及が進み、今後はより広い分野のアプリケーションへ展開されることが期待されている。これまで VR 関連技術は、各種シミュレータ、デザインレビューシステムなど、仮想空間内に閉じたシステムに適用されてきたが、今後は VR のアプリケーションは現実世界と仮想世界の境界を越えていくのではないかと考えられる。

現実のオブジェクトと仮想的なオブジェクトの間のインタラクションについては、Harley 他が仮想世界のための入

力手段として物理的なオブジェクトとインタラクションすることを利用している<sup>2)</sup>。Ozaki 他は子どもが現実と仮想の両方の人形で遊ぶためのシームレスなインタラクション環境を提案している<sup>3)</sup>。我々は、現実のオブジェクトを単なる入力手段ではなく、仮想世界に統合するターゲットとして見ている。現実と仮想のオブジェクトを混合してシステム全体を構成するのは新しいシステム構成の方法論であると考えられる。

例えば、各種装置の遠隔操作を VR 環境の中から実行することは自然な流れだと考えられる。遠隔作業を PC やスマートフォンで GUI を操作しておこなうのではなく、操作

\* 研究開発本部 技術戦略部

対象の環境を再現し知覚できるようにすることで、よりの確な遠隔制御を行うことができるようになる。また、近い未来、ユーザーがVRアプリケーションの中で長時間過ごすようになると、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）やジェスチャー入力装置等のVR機器を外すことなく、現実世界に属するデバイスや、物体、他者へのアクセスが必要になるだろう。

これらの例のように現実と仮想のオブジェクトを混合してシステム全体を構成する方法論の1つとして、我々は、現実のオブジェクトと仮想的なオブジェクトを統合するリアルバーチャル・ブリッジを提案する。リアルバーチャル・ブリッジは現実のオブジェクトと仮想的なオブジェクトを仲介する概念的なモデルである。現実世界と繋がりのあるVRアプリケーションにリアルバーチャル・ブリッジを付加することで、現実のオブジェクトの状態を仮想空間から見ることができたり、現実のオブジェクトを仮想空間から操作したりすることができる。

本論文では、リアルバーチャル・ブリッジのコンセプトとアーキテクチャを紹介する。そして、このモデルを仮想空間におけるスマートフォン及び顕微鏡とのインタラクションに応用する。最後に結論を述べる。

## 2 リアルバーチャル・ブリッジ

リアルバーチャル・ブリッジは現実のオブジェクトとそれに対応する仮想オブジェクトの間を仲介するモデルである。リアルバーチャル・ブリッジの機構は、仮想世界で作業をしながら現実のオブジェクトを容易に統合することを可能にする。そのために、我々は代理オブジェクトを用いる。これは、現実のオブジェクトの仮想世界における代替表現である。代理オブジェクトは仮想世界において、物理的な制約に苦しむことなく、便利で都合の良い場所に配置することができる。

例えば、ユーザーは仮想空間において、現実の実験室における機器に対応する代理オブジェクトを、都合の良い場所にレイアウトできる。また、この仕組みは、教育コンテンツを構成するときにも有用であろう。例えば、高校の生徒がプロフェッショナルクラスの顕微鏡を仮想実験室から使うこともできる。

### (1) 要求

リアルバーチャル・ブリッジが満たすべき条件は、加法性 (additivity) と相互性 (mutuality) である。加法性は、リアルバーチャル・ブリッジがオブジェクトそのものに対して修正が不要なことを意味している。相互性は、状態の変化が現実世界と仮想世界両方で起こることを求めている。対称相互性は、変化の発生元は現実世界と仮想世界両方ありえる場合で、一方、非対称相互性は、変化の発

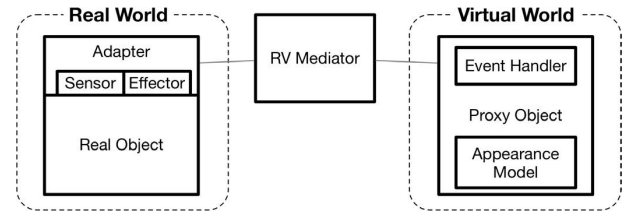


Fig. 1 リアルバーチャル・ブリッジの基本アーキテクチャ

生元は現実世界と仮想世界のどちらかで一方で良い場合を言う。

### (2) アーキテクチャ

Fig. 1 はリアルバーチャル・ブリッジのアーキテクチャを示している。図中のリアルバーチャル・メディエーター (RV Mediator) は、状態とアクションを現実世界 (Real World) と仮想世界 (Virtual World) の間で同期させる。我々は、現実のオブジェクト (Real Object) に対応する仮想世界におけるオブジェクトを代理オブジェクト (Proxy Object) と呼ぶ。

現実のオブジェクト (Real Object) にはアダプター (Adapter) が付加される。このアダプターは現実世界の状態を取得するセンサー (Sensor) と現実世界に必要な変化を起こすエフェクター (Effector) から成る。

リアルバーチャル・メディエーターは、代理オブジェクトが理解できるように、センサーで取得された情報をイベントに翻訳したり、仮想空間におけるアクションを現実世界に反映させたりできる。アダプターはソフトウェア、ハードウェアどちらの形も取りうる。

代理オブジェクトは、リアルバーチャル・メディエーターからのメッセージを仮想空間内のイベントに変換するイベントハンドラー (Event Handler) や、仮想空間での視覚的な表現モデルであるアピランス・モデル (Appearance Model) を持っている。

## 3 実装例

### (1) スマートフォンのためのリアルバーチャル・ブリッジ

ユーザーはVRを体験している最中に現実のスマートフォンを使いたくなるかもしれない。それゆえに、仮想世界から代理オブジェクトを通して現実のスマートフォンの操作が可能になれば有用であると言える。

我々は、仮想空間から現実のスマートフォンを操作するプロトタイプを、Unity を用いて構築した<sup>4)</sup>。そのプロトタイプでは、ユーザーはヘッドマウントディスプレイとしてOculus Rift を頭に装着し、手の操作を入力する装置として2つのOculus Touch をそれぞれ両手に持ち、仮想空間を体験できる。仮想空間においてユーザーに見えるのは、代理スマートフォン (Proxy Smartphone) とアバターの手である (Fig. 2右)。

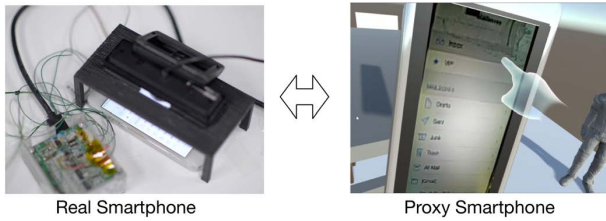


Fig. 2 スマートフォンのためのリアルバーチャル・ブリッジ

アバターの手はOculus Touchにより得られる現実のユーザーの手の位置と状態（握っている、特定の指を伸ばしているなど）を反映している。そして、仮想空間のスマートフォンのタッチパネルをアバターの指で操作すると、その操作が現実のスマートフォンに反映され、その反応もリアルタイムで仮想空間のスマートフォンに反映される。

簡易的なユーザー評価では、被験者に仮想空間からスマートフォンのメールのチェックや、モグラたたき風のゲームをプレイしてもらったところ、あたかも現実のスマートフォンのタッチパネルを操作しているようだという被験者のコメントが得られている。

このプロトタイプの実現にあたっては、Fig. 1の構成を展開し、Fig. 3の様になった。現実のスマートフォンにはFig. 2の左側のようにアダプターが付加されている。エフェクターに相当する部分には、指のタッチの代わりに騙し信号を出力することでタッチパネルを操作する手法<sup>6)</sup>を実現する信号発生器（Deception Signal Emitter）を用いている。また、センサーについては、スマートフォンの画面をキャプチャするためのWebカメラを用い、その画像はカメラサーバー（Web Camera Server）により仮想世界に送られる。タッチ変換コントローラー（Fake Touch Controller）がタッチイベントとタッチ位置を変換し、信号発生機に制御信号を送る。カメラサーバーとタッチ変換コントローラーが、リアルバーチャル・メディエーターに相当する。

この実装例では、スマートフォンのソフトウェアおよびハードウェアの改造が不要なので、リアルバーチャル・ブリッジの加法性の条件を満たしているし、変化が双方で起こるので相互性の条件も満たしている。

なお、代理スマートフォンはUnityにおけるオブジェクトとして記述されているので、ユーザーは代理スマートフォンをユーザー自身のVRアプリケーションに単純にUnityオブジェクトとして取り込むことで統合することができる。

## (2) 顕微鏡のためのリアルバーチャル・ブリッジ

我々は現実の顕微鏡と接続するVRアプリケーションのプロトタイプをUnityを用いて構築した<sup>5)</sup>。3(1)と同様にユーザーはOculus RiftとOculus Touchにより、仮想空間を体験できる。そのモジュールアーキテクチャにより、仮

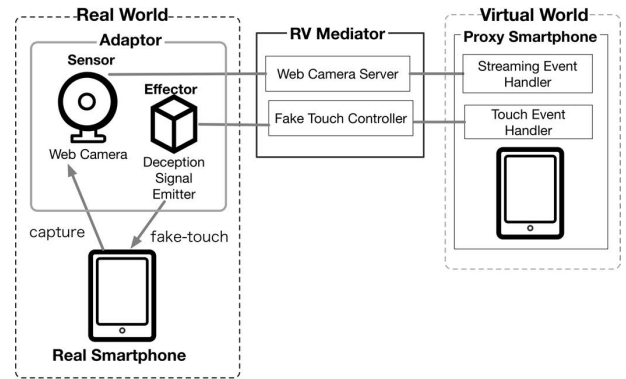


Fig. 3 スマートフォンのためのリアルバーチャル・ブリッジの構成

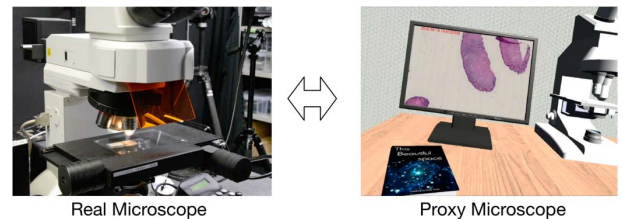


Fig. 4 顕微鏡のためのリアルバーチャル・ブリッジ

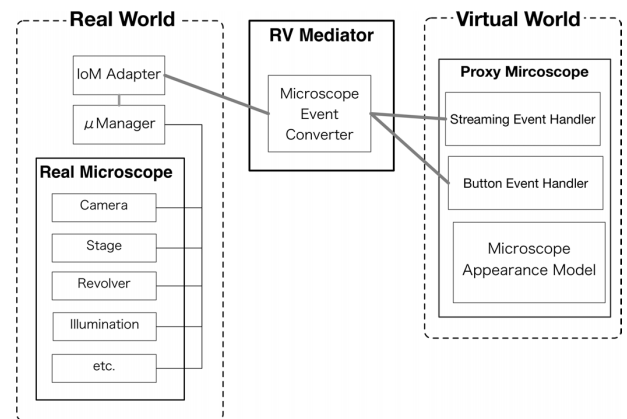


Fig. 5 顕微鏡のためのリアルバーチャル・ブリッジの構成

想空間において、現実のオブジェクトの機能を何の変更もなしに使うことができ、かつ、ユーザーは代理オブジェクトを任意の場所に配置すること可能である。

このプロトタイプでは、ユーザーは仮想空間において、顕微鏡のステージを動かしたり、対物レンズの切換えをしたりして、画像を観察することができる（Fig. 4）。仮想空間は、首を動かすことで360度の表示空間となるので、観察中の画像をすぐに視野いっぱいに拡大して仮想空間の中に表示するといった使い方ができる。さらに、仮想空間であるので、遠隔操作や物理的に離れた場所にいる他のユーザーとの共同作業も可能である。

この事例におけるリアルバーチャル・ブリッジの構成をFig. 5に示す。3(1)と同様にFig. 1の構成を展開したもので、センサーとエフェクターは、顕微鏡を制御するソフトウェアレイヤーが該当する。具体的には、顕微鏡の制

御そのものはオープンソースの  $\mu$ Manager<sup>1)</sup> を用い、その上にソケット通信機能を実現する IoM Adapter を開発した。

また、顕微鏡そのもののソフトウェアおよびハードウェアの改造が不要なので、これはリアルバーチャル・ブリッジの加法的条件を満たしているし、変化が双方で起こるので相互性の条件も満たしている。

## 4 考察

リアルバーチャル・ブリッジは仮想化された現実のオブジェクトとの仮想的なインタラクションを通して現実のオブジェクトを仮想世界で利用できるメカニズムである。前節では、Fig. 1 の基本アーキテクチャを基に展開することにより、スマートフォンと顕微鏡に対して、リアルバーチャル・ブリッジを構成することができることを示した。

なお、その2つの実装例では、主たる情報が画像で表現されるために、あまり複雑ではなかった。つまり、代理オブジェクトのアピランス・モデルとして複雑なアニメーションを実装する必要がないという点で実装しやすい対象であったが、アニメーションモデルも実装する必要がある対象も多いだろう。

現実のオブジェクトと仮想オブジェクトの関係に関しては、お互いの役割は交換可能である。上の例では、現実のオブジェクトが主体であって、仮想世界からどうやって現実のオブジェクトにアクセスするかに関心があった。しかしながら、仮想世界のオブジェクトが主体で、ユーザーは現実世界における代理オブジェクトを通して、仮想世界のオブジェクトにアクセスしたいという場合もあるだろう。

また、現実と仮想を混合させてシステムを構成するというアプローチとしては、オーグメンテッド・リアリティ (AR) もあるが、AR ではあくまでも現実世界をベースにしているために、現実世界の制約にどうしても縛られてしまう。本研究のように仮想世界をベースにすることにより現実の制約にとらわれないダイナミックなシステム構成が可能になる。

## 5 まとめ

本論文では、リアルバーチャル・ブリッジの研究課題について述べ、2つの実装例を示した。同様のコンセプトは SF 作品にも見られるが、我々はそのアーキテクチャを明示的に定義したことに意義がある。

将来の研究においては、リアルバーチャル・ブリッジの実装を単純化するソフトウェア・ツールキットが開発されるべきである。

最後に、リアルバーチャル・ブリッジの展開は、現実と仮想のオブジェクトを統合する新しいアプリケーションの出現を促進すると期待される。

## 参考文献

- 1) Arthur D Edelstein, Mark A Tsuchida, Nenad Amodaj, Henry Pinkard, Ronald D Vale, and Nico Stuurman: "Advanced methods of microscope control using  $\mu$ Manager software", *Journal of Biological Methods*, 1 (2014)
- 2) Daniel Harley, Aneesh P. Tarun, Daniel Germinario, and Ali Mazalek: "Tangible VR: Diegetic tangible objects for virtual reality narratives", *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems, DIS '17*, pp. 1253-1263
- 3) Honoka Ozaki, Yasushi Matoba, and Itiro Sio: "Can I gettoyin?: A box interface connecting real and virtual worlds", *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '18*, pp. D410:1-D410:4
- 4) Tomomi Takashina, Mika Ikeya, Tsutomu Tamura, Makoto Nakazumi, Tatsushi Nomura, and Yuji Kokumai: "Real-virtual bridge: Operating real smartphones from the virtual world", *Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ISS '18*, pp. 449-452
- 5) Tomomi Takashina and Yuji Kokumai: "Virtual reality environment to support activity in the real world: A case of working environment using microscope", *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '18*, pp. 60:1-60:2
- 6) Tomomi Takashina, Tsutomu Tamura, Makoto Nakazumi, Tatsushi Nomura, and Yuji Kokumai: "Toward a compact device to interact with a capacitive touch screen", *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '16 Adjunct*, pp. 173-174