



ドアを介して空間の接続を行う プロジェクションマッピングの検討(第二報)

A Study on Projection Mapping to Connect Spaces through a Door (2nd Report)

稲田優輝, 橋本直己
Yuki INADA and Naoki HASHIMOTO

電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, inada@hashimoto.lab.uec.ac.jp, hashimoto@uec.ac.jp)

概要: 遠隔地やそれを模した仮想環境をリアルに体験させるテレプレゼンスでは, 空間の幾何的な整合性や遅延を含む時間的整合性が重視されてきた. 一方で, 現実空間と仮想空間の接続前後の映像切り替えを不自然なものとして知覚されると, 没入感に悪影響を及ぼしてしまう. 本稿では, 現実での空間の境界がドアであることに着目し, 遠隔地空間との接続表現において, ドアの開閉による自然な接続の切り替えを行うプロジェクションマッピングを提案し, その実装について報告する.

キーワード: 拡張現実・複合現実, プロジェクションマッピング, テレプレゼンス, ドア

1. はじめに

没入型ディスプレイを通じて, 遠隔地の様子やそれを模した仮想環境をユーザに提示し, あたかもその場にいるかのように感じさせる技術はテレプレゼンスと呼ばれ, コミュニケーションや教育, エンターテインメントなどでの利用が期待されている. このような没入体験において, 映像として提示される仮想空間に対し, 現実空間と仮想空間の幾何的な整合性や, 遅延を含む時間的な整合性が没入感を向上させる上で重要視されてきた. 一方で, 特に没入体験の開始や終了において, ユーザが現実空間から仮想空間へ移行する際の映像の切り替えを, 現実に即さない不自然なものとして知覚してしまうと, 没入感に悪影響をおよぼす可能性が指摘され始めている. そのため, 仮想空間へのさらなる没入には, 現実空間と仮想空間との間の遷移もまた, 没入体験の一部として設計する必要がある.

そこで本研究では, HMD を用いず裸眼で映像中に没入可能な広域映像投影技術を利用し, 実物体ドアを介して空間を繋ぐような映像表現を提案する. これより, 自己の身体を視界に入れながら体性感覚を伴ったドアの開閉インタラクションを可能とし, 開閉による自然な映像切り替えによる没入感の向上, 及び娯楽性の向上を目指す.

我々は前報[1]において, ドア的设计について検討し, 試作システムの動作確認からドア枠内のみ映像を提示できることを確認した. 一方で, くぐれるサイズのドアの作成や, ドアの開閉機能の実装には至っていなかった. 本稿では, これらの実装について報告する.

2. 関連研究

現実空間と仮想空間を即座に切り替えるのではなく, 視覚的な効果やインタラクションを含むような遷移を介することで, 没入感が向上することが報告されてきた. このような遷移に関する方法として, 従来の映像作品における遷移を基にしたフェード(透明度を徐々に変化させる手法)やカット(シーンを横断するように切り替える手法), 没入型ディスプレイに端を発するポータル(侵入可能な枠)など, これまでに様々な手法が提案されてきた.

Pointecker ら[2]は過去の 18 つの研究をまとめ, フェードやポータルなどの各論文で提唱された遷移の方法を, 目に付きやすさ, 適応可能性などの特徴ごとに分類した.

この中には, ドアをメタファとした手法も提唱されている. Soret ら[3]は, HMD による VR 体験の終了時に現実へ戻る方法として, 仮想ドアによる遷移を提案した. フェードによる遷移や直接切り替えと比較して, 連続性やユーザビリティにおいて優れていることが示唆された. 一方で, ドアは実体を伴わず仮想に再現されたものであり, 体性感覚を伴う開閉はできず, 手に持つコントローラでドアの開閉操作を行う必要がある. また, 一度ドアをくぐってしまったらドアが消えてしまい, 元の空間に戻れない.

Fan ら[4]は, Head-Mounted Display (HMD) により提示する遠隔地空間へのさらなる没入を目指し, 物理的なドアの開閉により, 現実空間から代替現実への移行をシームレスに行う“Dokodemo Door”を開発した. HMD で提示する遠隔地空間をパノラマカメラで事前に撮影し, 撮影された

パノラマ画像と、現実のドアと開閉角度が同期している仮想のドアを組み合わせることで、ドア以外の周囲の環境を代替している。しかし、ドアを開けると周囲の環境全体が変化してしまい、二つの空間が共存して、空間的に接続されているような表現は実現できていない。

これらの研究では、HMDをはじめとした映像提示デバイスが必要であり、ユーザにとって負担となってしまう。また、実体を伴うドアを開閉でき、くぐることができるような遷移は実現されていない。

3. 提案手法

本研究では、HMDの装着を必要とせず、実体を伴うドアの開閉によって空間が接続されるような映像表現を行うシステムを提案する。周囲の壁面から独立して実物体のドアを設置し、このドアに対してドア枠を通して見える領域にのみプロジェクションマッピングで映像を提示する。これにより、ドアの向こう側のみ異なる空間があるかのような表現を実現するとともに、ドアの開閉による接続の切り替えや、ドアをくぐることによる仮想環境への遷移を可能にし、没入感の向上と娯楽性の向上を実現する(図1)。



図 1: コンセプト図

(独立して設置したドアの向こうに別空間が繋がる)

3.1 ドア枠内への動的なプロジェクションマッピング

本稿で提案するシステムでは、ドアを介して空間の接続を行う。そのためユーザには、ドア枠内のみ別空間の映像が提示されているように見せる必要がある。一方、ドアの位置とプロジェクタ投影がされるスクリーンの位置との間に距離があるため、ユーザから見てドア枠内のみ映像が提示されているように見せるには、スクリーンの位置、実物体ドアの位置を取得したうえで、ユーザの視点からドアを通して見えるスクリーン領域を特定し、その領域にのみ投影を行う必要がある(図2)。

そこで本研究では、視点映像を生成するレンダリング内において、ドア枠内のみ映像が提示されるような処理を組み込むことで実現する。まず、トラッカ(VIVE Tracker3.0)を使用し、投影を行うスクリーン位置・角度とドア枠の位

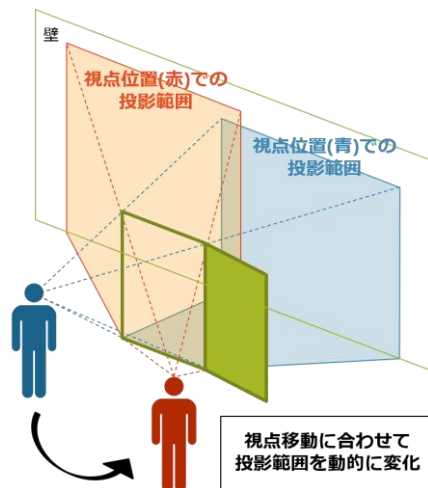


図 2: ドア枠内にのみ視点映像を投影

置・角度を事前に取得する。ここで、スクリーン形状は既知であるとする。また、ドアの開閉角度を角度センサで随時取得する。これより、仮想空間上に仮想スクリーンと仮想ドアを置くことができる。これに加え、ユーザの視点位置をトラッカにより随時取得することで、ユーザ視点から見たときのドア枠内部にあたる領域を仮想スクリーン表面に投射することができる。この、仮想スクリーンに投射された領域にのみ視点映像を投影テクスチャマッピングすることで、現実投影する映像を取得する。これより、視点位置から見て、ドア枠内のみ映像が提示されるようなプロジェクションマッピングを実現する。

3.2 投影範囲に矛盾を生じないためのドアの設計

視点位置に対してドア枠内のみ映像を提示する手法を述べたが、ここで考慮しているのは単眼視点であり、両眼について考慮はしていない。そのため、右目に対して適切な映像を提示できたとしても、左目を見たときに、映像がドア枠外部にはみ出る、もしくはドア枠内部で映像と枠の間に隙間があるように見えてしまう可能性がある。

そこで本研究では、視点位置から見たドア枠の見かけの太さを一定以上の大きさにすることで、これらの映像のはみ出しや隙間を、ドア枠により隠れる領域に収める方法を提案している[1]。ドア枠周辺の映像はみ出しや隙間は、両眼の位置の違いと、ドア枠の太さ、ドアとスクリーンとの距離に起因する。例えば、図3において、両眼各位置からドア枠内外の境界に対し直線を引いたときに、両直線が交差する。このとき、図3における青色の領域は、「右目にとってドア枠外」かつ「左目にとってドア枠内」の領域となる。すなわち、この領域に映像を提示すると右目にとって映像がはみ出ししているように見え、映像を提示しなければ、左目にとって隙間になっているように見えてしまう。これより、こういった領域を発生させない方法が必要である。これを解決するため、ドア枠の見かけの太さを両眼間の距離以上にすることでこれを回避する。

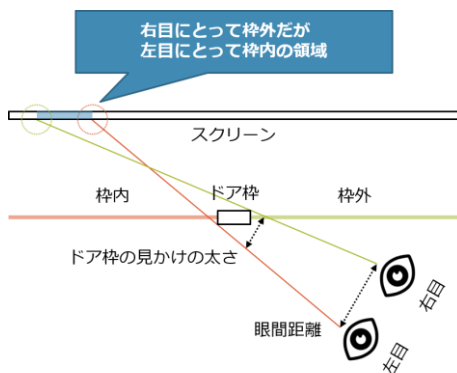


図 3: 両眼の位置とドア枠の見かけの太さの関係

4. システムの実装

4.1 ドアの実装

ドア枠は 40mm 角アルミフレームにて作成した(図 4)。ドアの大きさは、扉幅 70cm、扉高 180cm とした。また、ドア枠の太さについて、40mm 角アルミフレームでは眼間距離を確保できないため、スチレンボードでこれを補い、ドア枠太さを 70mm 四方とした。



図 4: 作成したドアの外観



図 5: ポテンショメータを蝶番に設置

ドアの開閉角度を取得するため、ドアの蝶番にポテンショメータを設置した(図 5)。ポテンショメータの選定においては、ドアの開閉を妨げない小型なものとして、Linkman RD925G を使用した。抵抗変化特性は、ポテンショメータ

から取得するアナログ値から角度値への変換が容易な B 特性とした。ポテンショメータで取得した値は Arduino UNO を介して PC に送信している。

4.2 投影環境の構築と投影結果

プロジェクタと GPU 搭載マイコン (NVIDIA 製 Jetson Nano) の対をひとつのユニットとする分散描画型マルチプロジェクション環境[1]を構築し、幅約 6.2m、高さ約 2.8m の壁 1 面に投影を行うシステムを実装した。投影環境は、天吊りで約 2.8m の高さに設置されたプロジェクタ 9 台 (BenQ TH685i, 解像度 1920x1080, リフレッシュレート 120fps) とそれぞれのプロジェクタに接続される Jetson Nano 計 9 台、VIVE トラッキングシステム (VIVE BaseStation2.0), ドアから構成されている(図 6)。これより、ユーザから見てドア枠内部にのみ映像が提示されるような投影を行った(図 7)。

結果として、ドア枠内へのみプロジェクションマッピングがされること、視点位置に応じて投影範囲が動的に変化すること、及びドアの開閉に応じて投影の有無が切り替わることを確認した。さらに、ドアを覗き込み、くぐることで仮想空間が視界全体に広がり、仮想空間に移動したかのような表現を確認した(図 8)。また、ドア枠を眼間距離以上確保する効果として、両目で投影を観察した際に、映像のはみ出しや隙間が生じないことも確認した(図 9)。

一方で、わずかなトラッキングのずれによってはみ出しや隙間が生じることもあり、トラッキング精度の向上、及びドアの枠の太さにより余裕を持たせるといった対策が必要である。

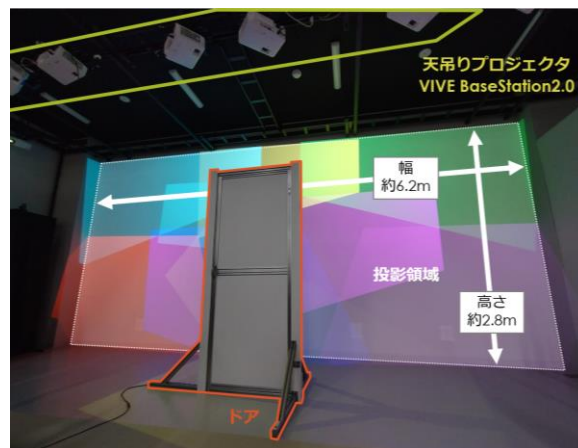
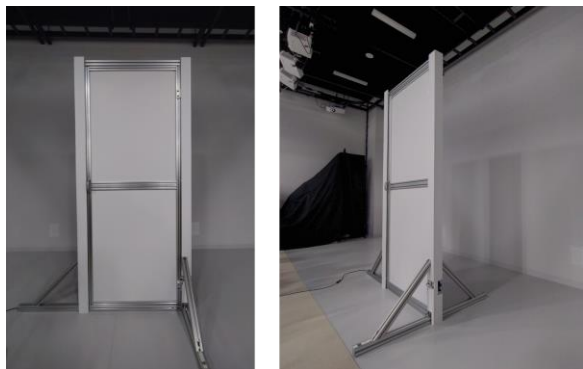


図 6: 投影環境

5. おわりに

本研究では、ドアの開閉に応じて、ドア枠内へのみプロジェクションマッピングによる映像提示をすることで、仮想空間と現実空間がドアを介して接続され、ドアの向こう側に現実とは異なる空間が広がっているかのような映像提示手法を提案した。

今後は、人を対象にした主観評価実験から他の遷移手法と比較し、本提案の有効性について検証を進めたい。



左列：カメラ視点映像，右列：視点位置外からの様子
 図 7：ドア枠内領域への投影結果

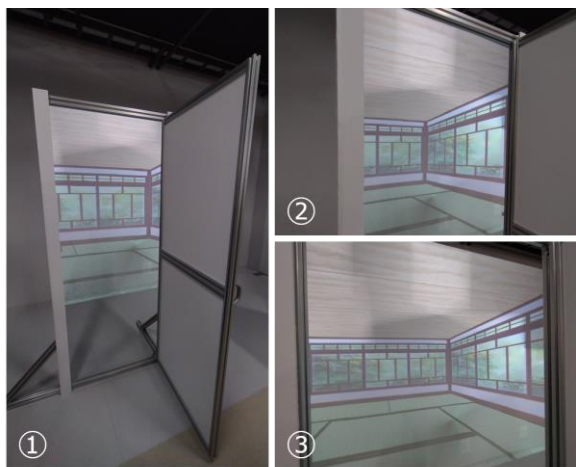


図 8：ドアを覗き込んだ様子 (①→②→③の順)



(a) 左目位置からの見え方



(b) 右目位置からの見え方

図 9：眼間距離を 6.5cm とした左右目からの見え方

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21K19789 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 稲田優輝, 橋本直己, “ドアを介して空間の接続を行うプロジェクションマッピングの検討,” 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 2D1-09, 2023.
- [2] F. Pointecker, J. Friedl, D. Schwajda, H. -C. Jetter and C. Anthes, “Bridging the Gap Across Realities: Visual Transitions Between Virtual and Augmented Reality,” 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp. 827-836, 2022.
- [3] R. Soret, A-M. Montes-Solano Msc, C. Manzini Msc, V. Peysakhovich, E. Fabre, “Pushing open the door to reality: On facilitating the transitions from virtual to real environments,” Applied Ergonomics. 97, 2021.
- [4] K. Fan, 杉浦裕太, 神山洋一, 南澤孝太, 稲見昌彦, “Dokodemo Door: a Doorway to Alternate Realities,” エンタテインメントコンピューティング 2014, pp.266-269, 2014.