

カーテンとプロジェクタ投影を用いた空間拡張システム

澤田 直春^{1,a)} 杉浦 裕太^{1,b)}

概要: 本論文ではカーテンとプロジェクションを用いて疑似的な窓を提示するシステムを提案する。壁にスクリーンとカーテンを設置し、開閉に合わせて映像を投影する。日常的に利用されるカーテンを用いることで、生活環境に対して自然に映像投影を行い、本システムが生活における窓の役割を代替する。窓による開放感、コミュニケーションに着目した、自由な設計によるアプリケーションを提案し、応用可能性についても検討する。

キーワード: 空間演出, 日用品, コミュニケーション

1. はじめに

人間が快適な日常生活を送る上で、生活環境は重要な役割を果たす。より快適な生活を送るためには、空間の余裕や外界と接続した窓があり、閉塞感がない場所が望ましい。しかし近年では、生活するために十分な空間が確保できていない場所、窓を設けられない地下空間、やむを得ず狭い部屋で生活する状況が見られる。建物の密集により発生する設計上の問題、地価の上昇による金銭的な問題などを原因に、快適な生活を送れない空間が生じてしまっているのが現状である。

こうした問題に対するアプローチとして、実際よりも空間を広く演出するためにインテリアとして鏡を利用するものや、ディスプレイを用いて疑似的な窓を作成するものがある [1]。しかし、これらの空間演出は利用する際の柔軟性、容易性を欠く。鏡では実際に空間に存在するものを反射させるため、開放感のある空間演出を上手く行うのは技術が必要になる。ディスプレイを用いた疑似窓では一度設置したら大きさや場所を容易に変えることはできず、配線をする必要がある。そのため、いずれのアプローチも閉塞感がある空間に対して、限定的な手法になってしまう。

そこで、本研究ではカーテンとプロジェクタ投影を用いて疑似的な窓を作り出し、空間演出を行う手法を提案する。壁にスクリーンとカーテンを設置し、開閉に合わせて映像を投影する。日用品として利用されるカーテンを用いることで、生活環境に対して溶け込ませるように窓を提示する。さらに、カーテンが存在することで立体感のあるシ



図 1 窓を投影した様子

ステムとなり、プロジェクタ投影による平面的な描写に奥行きが与えられ、違和感のない疑似的な窓になる。この疑似窓が、窓本来の役割である、外界との接続と情報提示や奥にある空間との接続を代替することで空間演出を行う。プロジェクタを用いるため、窓の大きさの調節は容易である。また、システムに用いるカーテンとスクリーンの位置を決定すれば、投影に必要なプロジェクタ、PC、Web カメラを簡単な条件を満たせば任意の位置に設置できる。そのため、システムを利用する際の環境設計は容易である。

2. 関連研究

2.1 日用品を用いた情報提示

生活環境において、日用品を用いて情報提示をする手法が提案されている。本間ら [5] は、ブラインドと窓をスクリーンとして見立て、室内からの投影により、室内外の双方から視認可能なディスプレイとすることで情報提示手法を提案した。Projection BLIND [3] は、投影映像用スクリーンとして利用できるブラインドであり、それら二つの

¹ 慶應義塾大学

^{a)} naoharu.sawada@keio.jp

^{b)} sugiura@keio.jp

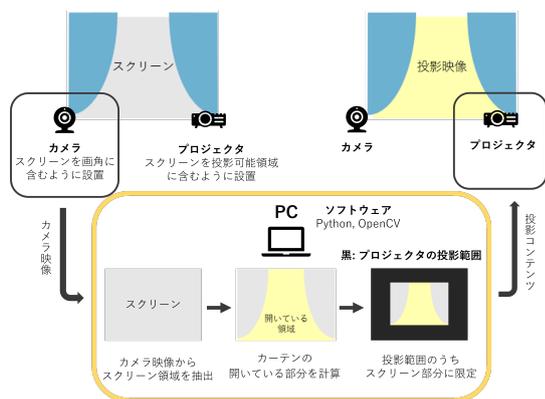


図 2 システム概要

役割を切り替えることで両立することができる市販品である。水野ら [6] は、歴史的住宅の障子にプロジェクタで映像を投影することで、鑑賞者の動きに反応するインタラクティブなシステムを提案している。本研究も日用品であるカーテンを利用し、ユーザが日常的な動作で操作できるようにした窓を提示するシステムである。

2.2 カーテンの役割に着目した手法

生活におけるカーテンの役割に着目した手法がある。なめらカーテン [7] は、カーテンの室内と室外の境界としての役割に着目し、カーテンの開閉動作によって、直接的なコミュニケーションとアンビエントなコミュニケーションを直観的な操作で柔軟に調節できる遠隔コミュニケーションである。Smart curtain [4] は、カーテンにプロジェクタ投影をすることで、生活空間におけるインタラクティブなディスプレイとなる。カーテンが担う室内外の境界としての役割を持ちながら、大きな領域で情報提示を行えるディスプレイであり、周囲の環境と布の開閉を感知して文脈に応じた動作をするといった特徴がある。本研究では窓も含めた役割を考慮したアプリケーション例を提案する。

3. 提案手法

本研究では、何もない壁に対してスクリーンとカーテンを設置し、カーテンの開いている領域にプロジェクタで映像を投影することで、システム全体を窓として提示する。カーテンの開閉に応じて投影される領域も変化する。

3.1 システム構成

本システムはスクリーン、カーテン、Webカメラ、PC、プロジェクタで構成する。

図 2 にシステムの概要を示す。スクリーンに重ねて設置したカーテンを、PC に接続したカメラで撮影し、映像が PC に転送される。まずは PC でスクリーン領域のみを抽出する。次に、抽出したスクリーンの映像からカーテンの開いている部分を算出する。PC の最後の処理として、スクリーン領域のみに投影するために映像を作成する。得ら

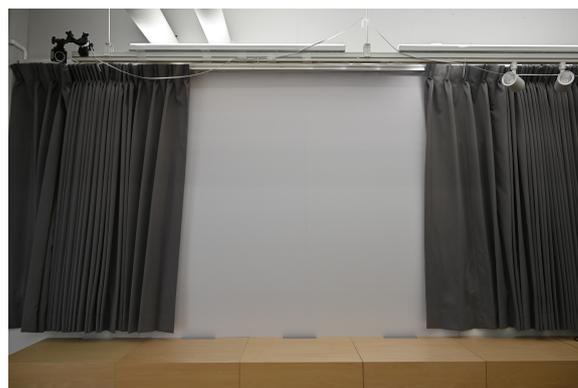


図 3 スクリーンとカーテン

れた映像をプロジェクタへ転送し、投影することで常時、カーテンの間だけに投影する。

景色と窓を写した動画と画像のいずれも本システムで投影することができる。さらに、Webカメラを2つ用いてリアルタイムで他の地点の映像を投影できるように実装した。

PC で画像処理をするためのソフトウェアには Python を用いた。OpenCV を中心に実装した。Webカメラは Logicool の C920HD ウェブカメラを用いた。プロジェクタは EPSON EB-1795F を用いた。PC は ASUS の ExpertBook B9 B9450FA(B9450FA-BM0295TS) を用いた。

3.2 ソフトウェア

3.2.1 カーテンの開いている領域を計算

カメラ映像から取得したスクリーン領域の映像から、カーテンが開いている領域を計算するために、背景差分法を用いた。背景画像はカーテンが存在しないスクリーンのみの画像とし、入力画像はスクリーン上のカーテン状態を写した画像である。これらの画像の輝度差を比較し、カーテンの開いている領域を計算する。最終的に得られた二値画像をマスク画像として、投影したい窓の画像と合成することで、投影映像を作成する。本研究では、図 3 のような灰色のカーテンと、白のスクリーンを利用している。2つの輝度差が小さい場合は正確にカーテンの開いている領域を計算することが難しくなる。こうした制約については後の議論で述べる。

3.2.2 カメラ映像の処理

Webカメラの画角にスクリーン領域全体が含まれていれば、システムが利用できるように実装した。画角を広くするために十分な距離をカメラとスクリーンの間で確保すれば、任意の位置にカメラを設置することができる。カメラ映像から投影するスクリーン領域のみを抽出する。抽出したスクリーン領域の画像は射影変換し、正面から撮影した画像のように扱う。得られた画像は、背景差分法でカーテンの開いている領域を計算するための背景画像や入力画像として用いる。

スクリーン領域のみを抽出するための UI を実装した。

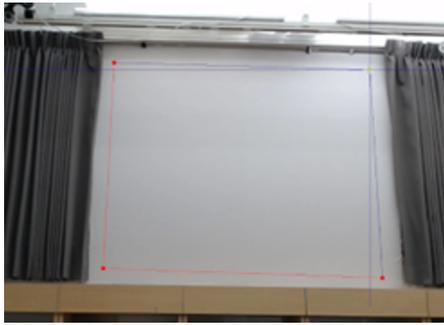


図 4 カメラ映像からスクリーン領域を抽出

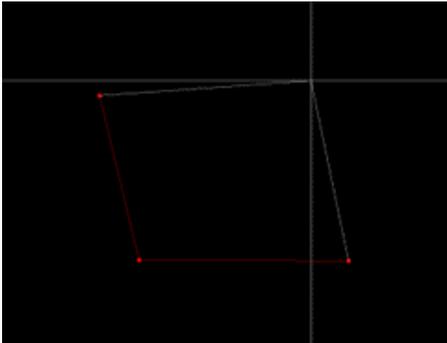


図 5 投影位置を決定

図 4 のように、PC 上に映るカメラ映像から 4 点をクリックすると、四角形の内でクロップを行い、射影変換して正面から撮影したような画像を取得できる。投影するスクリーン領域の 4 つの角を指定することで、投影するスクリーン領域のみを抽出し、カーテンの状態を確認するために利用する。

3.2.3 プロジェクタによる投影

プロジェクタの投影範囲にスクリーン領域全体が含まれていれば、システムが利用できるように実装した。十分な投射距離を確保すれば、任意の位置にプロジェクタを設置することができる。背景差分法によるマスク画像と全体の窓の画像によって作成された、カーテンの間だけの窓の画像をスクリーン領域に合わせて投影する。

スクリーン領域に合わせて映像をするための UI を実装した。初めに、プロジェクタで投影範囲の全面に黒色のウィンドウを投影する。図 5 のように、投影されたウィンドウを確認しながら、スクリーン領域の角に合わせて 4 点をクリックすると、作成された窓の映像が四角形の内に合わせて投影される。作成された窓の映像は射影変換によって四角形の内部に表示される。プロジェクタで出力する映像は指定した四角形内部のみコンテンツが存在するため、スクリーン領域のみに投影することができる。

4. アプリケーション例

本システムを用いたアプリケーション例とその実装について述べる。実際に投影した様子を図 1 に示す。

実装は図 6 のような環境で行った。提案手法で述べたデ



図 6 実装環境

バイスに加え、SwitchBot カーテン [2] を設置した。カーテンの遠隔操作、指定した時間に自動操作ができるようになる。

初めに、本システムの基本的な特徴について説明する。本システムはリアルタイムで窓の開いている領域を計算して投影するため、常にカーテンの間だけに窓が作成される。人によるカーテンの開閉動作、生活の中で起こる揺れにも応じて窓を提示する。

また、本システムはプロジェクタ投影で窓を提示するため、窓の大きさを容易に変化させることができる。カーテンの種類、窓を投影する場所、デザインに応じて適切な窓を提示すればよい。図 7 はカーテンに合わせたサイズの窓を提示している。

4.1 対外的な窓

室内と室外の境界として存在する対外的な窓として利用する。室外に向かう壁にスクリーンとカーテンを設置し、自由な景色を時間や場所に依存することなく投影する。窓の投影素材となる画像、動画は変更できるため、ユーザーに合わせた素材を用いて投影することができる。室内空間が存在する場所、現地時間を超えて外の景色を提示することは本システムの特徴を利用したアプリケーションである。



図 7 大きさを変化させた窓



図 8 徐々に景色が変化

また、室外の環境に合わせて変化する景色を投影する方法も考えられる。図 8 のように、現在時刻を反映させて投影映像を変えることで、自然に室内の人に時間帯を提示することができる。同様に、室外の天気を反映させて投影映像を変えることで、自然に室内の人に天気を提示する。いずれも本来の窓で得られる情報であるが、窓のない空間に向けて生活の一部として情報を提示することができる。

また、SwitchBot カーテンで起床時間に合わせてカーテンを開き、朝の景色を提示する。生活に合わせた情報を提示することで、室外の情報が得られない場合と比較して生活リズムが整うと考える。

4.2 室内窓

空間内における室内窓を設置する。Web カメラを 2 つ用いて、他の地点をリアルタイムで投影する機能を利用する。

室内に向かう壁にスクリーンとカーテンを設置し、奥にある部屋の映像をリアルタイムで投影する (図 9)。本来は壁の奥にあるため見えない空間も、本システムを利用することで、壁の存在を意識すること無く確認することができる。壁の奥にいる人、部屋の状態などを本来いる方向において情報提示を行うため、位置的な整合性が得られる。例えば、親が作業をしていて子供が別室に居る時でも、本来居る方向を見ることで常に子供の状態を見守ることができる。

さらに、隣り合う空間を仕切る壁に本システムを 2 つ設置して利用するアプリケーションも考えられる。双方向で



図 9 壁の奥にある空間をリアルタイムで投影

利用することで、いずれの空間からも隣接空間の状態が確認できる。壁で遮られた空間にも関わらず、相手の状況や動きが視覚情報として提示される。お互いの空間からコミュニケーションを取ることができ、同室感を演出する。

4.3 遠隔コミュニケーションツール

カーテンの役割に着目して遠隔コミュニケーションツールとして利用される手法が提案されている。なめらカーテン [7] ではカーテンの室内と室外の境界としての役割に着目し、開閉動作を利用した。本システムでもなめらカーテンを参考に遠隔コミュニケーションツールを提案する。

本システムを設置し、窓を通して遠隔コミュニケーションを行う。カーテンの室内と室外の境界としての役割に着目し、開く動作によって遠隔コミュニケーションにおいて接続を要求し、閉じる動作によって切断する。プライバシー管理に密接な動作であるカーテンの開閉を利用しているため、PC やスマートフォンを用いたビデオ通話より生活への親和性が高いコミュニケーションになる。

また、双方の遠隔地で本システムを利用し、カーテンの開閉状況を連動させるアプリケーションも考えられる。片方がカーテンを操作すれば、遠隔地のカーテンも作動するため、ユーザ間で開閉状態が共有される。カーテンを通じて双方向的にコミュニケーションが可能である。さらに、カーテンを開ければ奥に接続先が投影されるため、相手との同室感を得られる。

5. 議論と制約

5.1 背景差分法の利用に伴う制約

本研究ではカーテンの開いている領域を計算するために背景差分法を利用した。背景画像と入力画像の輝度差を比較することでカーテンを検出している。しかし、カーテンとスクリーンの輝度差が異なることで検出が可能になっているため、両者の輝度が近づくと正確にカーテンの開いている領域を計算できないため、使用するカーテンが十分に暗いものに限られる。

5.2 システム評価

本システムは、カメラとプロジェクタの設置位置が限定的でないこと、投影によって窓の大きさを変えられることから、空間に対して柔軟性を有するシステムである。窓を自由にに取り付け、取り外しが可能である点も特徴である。

しかし、本研究で提案したアプリケーション例が行う空間演出の効果について、利用者の意見を調査していない。想定した効果が得られているのかはわからないため、システムを利用したユーザ調査をする必要がある。

5.3 機能拡張

いくつかのアプリケーション例を提案したが、システム利用をより容易で効果的なものにする機能拡張が今後の課題として考えられる。

本システムは日用品であるカーテンを設置して利用する。実際にユーザが触ることができ、親和性の高いシステムとなる。これに加えて、カーテンが風で揺れ動く機能、窓側から景色に応じた音が聞こえる機能のような、より本来の窓に近くなる拡張をすることで、自然に疑似的な窓で情報を提示することができると思う。

本研究では、投影する窓の素材として、あらかじめ窓枠と景色の両方が映る素材と、景色の映像に窓枠の画像を貼り付けて作成した素材を用いた。しかし、ユーザが投影したい景色の画像や動画を持ち込んでも、窓枠を手動で貼り付ける必要がある。そこで、好きな素材での投影を可能にするため、任意の映像に窓枠を自動で作成するツールの実装が考えられる。

また、本システムを応用したアプリケーション例として遠隔コミュニケーションツールを提案した。アプリケーションとしての利用が現実的になるように、ビデオ通話機能との連動、音声機能といった必要な機能の実装を引き続き行う必要がある。

6. おわりに

本研究では、壁にスクリーンとカーテンを設置し、プロジェクタ投影を用いて疑似的な窓を提示するシステムを提案した。本システムを利用した、対外的な窓、室内窓、遠隔コミュニケーションツールといったアプリケーション例を示し、空間演出の効果を検討した。今後はシステムの効果についてユーザ調査を行い、さらなる空間拡張システムとしての機能拡張を試みる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費（課題番号：JP21H03485）、および JST さきがけ（課題番号：JPMJPR2134）の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Panasonic: 天窓 Vision, , 入手先 (<https://www2.panasonic.biz/jp/lighting/shop/effect-projector/skylight-vision/>) (参照 2022/7/26).
- [2] SwitchBot: SwitchBot カーテン, , 入手先 (<https://www.switchbot.jp/products/switchbot-curtain>) (参照 2022/7/26).
- [3] SYSTEMS, P. S.: Projection BLIND,

, available from (<https://www.parco-space.co.jp/library/detail/projectionblind/>) (accessed 2022/7/26).

- [4] Takashina, T., Aoki, K., Maekawa, A., Tsukamoto, C., Kawai, H., Yamariku, Y., Tsuruta, K., Shimokawa, M., Kokumai, Y. and Koike, H.: Smart Curtain as Interactive Display in Living Space, *SIGGRAPH Asia 2015 Posters*, SA '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/2820926.2820971 (2015).
- [5] 本間貴士, 沖 真帆, 塚田浩二: ブラインドを拡張した新たな情報提示手法の研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 62, No. 2, pp. 713–726 (2021).
- [6] 水野慎士, 小栗真弥, 小栗宏次, 安田孝美: 歴史的住宅の障子を用いたインタラクティブプロジェクションマッピングの試み, 情報処理学会研究報告, Vol. DCC-17, No. 15, pp. 1–4 (2017).
- [7] 半田智子: なめらカーテン, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 論文集, pp. 117–120 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1572824500867515392>) (2009).