

平成26年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目
共有空間を作る感覚を
ユーザに提供するインタラクション手法

主専攻 ソフトウェアサイエンス主専攻

著者 松井要

指導教員 高橋伸 志築文太郎 三末和男 田中二郎

要 旨

遠く離れた場所にいる人同士のコミュニケーションについて、その手法は多く存在する。さらにコミュニケーションの活性化のために共有空間を意識できるコミュニケーションシステムもまた提案されている。しかし、現状存在する遠隔コミュニケーションのシステムでは、共有空間を構築する感覚をユーザに提供することは困難である。

本研究ではユーザ自身が遠隔コミュニケーションにおける共有空間を構築する感覚を得ることのできる手法を提案し、そのシステムのプロトタイプの開発を行った。システムは映像通信を用いて、ユーザの指定する領域について対話の相手の映像の投影を行い、コミュニケーションを可能にするものである。ユーザは映像の投影の位置を指定するためにフラフープを使用する。ユーザの動かすフラフープに向けて映像を投影することで、ユーザはあたかも壁を通過した共有空間を自分の手で作ったような感覚を得る事が出来る。

フラフープの位置について、ウェブカメラを用いてその位置を取得し、取得した位置に向けて、プロジェクタを用いて対話相手の部屋の映像を投影する。また、映像の投影をより広範囲にするために、投影方向の変更が可能なプロジェクタを用いた。

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的とアプローチ	1
1.3	構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	共有空間内における空間座標を決定する手法	3
2.2	現実物体を用いた遠隔のインタラクション手法	3
第3章	回転プロジェクタを用いた共有空間の構築手法	4
3.1	共有空間の構築	4
第4章	実装	7
4.1	プロトタイプシステム	7
4.2	開発環境	8
4.3	ハードウェア	8
4.3.1	回転プロジェクタの構築	8
4.4	ソフトウェア	9
4.4.1	動作の流れ	9
4.4.2	フラフープの検出	9
4.4.3	パンチルトヘッドユニットの制御	9
4.4.4	映像の加工及び投影	10
第5章	結論	13
	謝辞	14
	参考文献	15

図目次

3.1	共有空間の構築 1/3	4
3.2	共有空間の構築 2/3	5
3.3	共有空間の構築 3/3	6
4.1	プロトタイプシステム	7
4.2	回転プロジェクタ	8
4.3	フラフープの検出前の画像	10
4.4	フラフープの検出後の画像	10
4.5	映像の加工	11
4.6	映像の投影	12

第1章 序論

1.1 背景

離れた場所にいる人同士のコミュニケーションシステムについて、その手法は昔から多く存在する。電話による通話や電子メールといった、電話回線やインターネット回線を用いた遠隔コミュニケーションの手法は、携帯電話が日常的に普及する前より存在していた。しかし、これらはテキストや音声のみを通信し、映像通信を伴うコミュニケーションは存在していなかった。

そこでテレビ会議やビデオ通話といった、映像通信を伴うコミュニケーションシステムが登場した。これらはパソコンやタブレットについているカメラによってユーザを撮影し、それを映像として対話の相手のデバイスに送信、デバイスの画面にその映像を表示するものである。これらのシステムにより、場所を問わずお互いの姿を目視しながらコミュニケーションができるようになり、より活発なコミュニケーションが可能となった。さらに遠く離れた人同士の対話でありながら、同じ空間にて会話をしていることを疑似的に体験可能なコミュニケーションシステム [1][2] が提案された。これらはカメラによって取得した映像からユーザのみの画像を抽出し、それを対話相手の映像に貼り付けることで、ユーザと対話相手の両者が写る映像を表示するものである。ユーザはこのユーザ自身と対話相手と同じ空間にいるように見える映像を見ることで、対話相手と同じ空間にいる感覚を得られる。つまり、ユーザは対話相手との共有空間を得ることができる。共有空間を伴う遠隔コミュニケーションの提案により、遠隔地同士の対話といったコミュニケーションやファイルの送受信や編集といった共同作業や対話といったコミュニケーションはますます活発なものとなった。近年では、スマートフォンやタブレットデバイスといった映像通信の容易なデバイスの普及によって、映像通信を伴う遠隔コミュニケーションも日常的なものとなり、その需要は上がり続けている。

1.2 目的とアプローチ

遠く離れた人同士の映像通信による顔を合わせた対話によるコミュニケーションについて、その活性化のためには、会話する人同士の心理的な距離ができるだけ近い事が望ましい。そのためにはお互いが同じ空間にいる感覚を得ること、つまり共有空間を提供することが効果的と考えられる。人同士の対話において、心理的な距離が近くなることでより親密なコミュニケーションを行う事ができる。しかし、リモコンやボタンといった方法で遠隔コミュニケーションシステムを始動する手法では、ユーザは自分の任意の位置に共有空間を構築できない。

そこで本研究では、ユーザが指定する位置に共有空間を構築することで、共有空間の存在をより強くユーザに意識させ、コミュニケーションの活性化を行う事を目的とする。本研究ではそのための手法として二つの部屋の間通信を想定した共有空間の構築の手法を提案する。その手法として、投影の向きの変更が可能なプロジェクタ（以下回転プロジェクタ）をユーザの部屋に設置し、ユーザが指定する壁の位置に他の部屋の対話の相手の部屋の映像を投影する。ユーザが自らの手で動かすフラフープに向けて映像を投影することでユーザはあたかも壁を通過した共有空間を自分の手で構築したような感覚を得る事が出来る。

1.3 構成

第1章では、本論文の背景および目的とアプローチを述べた、第2章では関連研究と本研究の位置付けを述べ、第3章では、回転プロジェクタを用いた遠隔の部屋に対するインタラクション手法について述べる。第4章では提案手法のシステムのプロトタイプの実装について述べ、最後に第5章で結論を述べる。

第2章 関連研究

2.1 共有空間内における空間座標を決定する手法

共有空間における投影やオブジェクトの操作のための位置座標の指定の手法は様々なものがある。Andre らはリモコン型のデバイスを用いたシステムを開発した [3]。このシステムでは AR 空間にて仮想物体の座標をコントロールするだけでなく、仮想空間内の自分の位置を変更しながら遠隔の人とコミュニケーションすることができる。また、Dieter らは PIP と呼ばれるタブレット状のデバイスとペンを用いたシステムを開発した [4]。この PIP とは HMD や大きなスクリーンによって映る共同作業内において、仮想物体をデバイスを用いた共同作業を行う事が出来るものである。他にもユーザの腕を伸ばす動作や指さし動作によって、仮想空間内のインタラクションの座標を指定する手法も存在する [5][6]。これらの研究では HMD や大きなディスプレイといった専用の機器が必要であり、コストが大きい、あるいは広い場所を必要とするものであった。そこで本研究では回転プロジェクタとフラフープを用いることで、投影位置の範囲を広めつつ、より手軽にインタラクションの座標を正確に指摘しながらコミュニケーションを行う。

2.2 現実物体を用いた遠隔のインタラクション手法

インタラクションにおいて触覚的フィードバックが存在することはインタラクションの向上に繋がると考えられる。仮想物体ではなく現実物体をインタラクションの対象として用いた手法は多く存在する。坂内らは現実物体のレプリカと HMD による MR 空間を扱うことで触覚的フィードバックを得られるシステムを開発した [7]。これは同じ現実物体のレプリカを遠隔の人同士で扱うことで表面のデザインの編集を共同で行えるものである。また、宮狭らはシールを用いたシステムを開発した [8]。これはマーカーとなるシールと拡張現実である MR 技術を用いることでコミュニケーションの相手側にも同じ現実物体が存在しなくても共同作業が行えるものである。他にも付箋を用いた遠隔会議システムが存在する [9]。これは、電子ボード上に付箋を貼り付け、付箋の画像情報をカメラによって取得し、遠隔の電子ボードにも同じ情報を表示し共同作業を可能にするものである。これらの研究では現実物体を使うインタラクションとして、共同作業の作業領域のために利用し、共有空間の構築のためには使用しなかった。そこで本研究ではフラフープという現実物体を用いたインタラクションを遠隔コミュニケーションにおける共有空間の構築のに利用することで、コミュニケーションの向上を図る。

第3章 回転プロジェクタを用いた共有空間の構築手法

遠隔コミュニケーションにおいて共有空間を得ることによって、対話相手を近くに感じることがコミュニケーションの活性化につながる。本研究では他の部屋の人と対話を行うユーザの指定する位置に他の部屋との共有空間を構築することで、ユーザに共有空間を構築する感覚を提供する手法を提案する。本章では、提案手法についてユーザが自分の部屋に対話相手との共有空間を構築する手法について説明する。

3.1 共有空間の構築

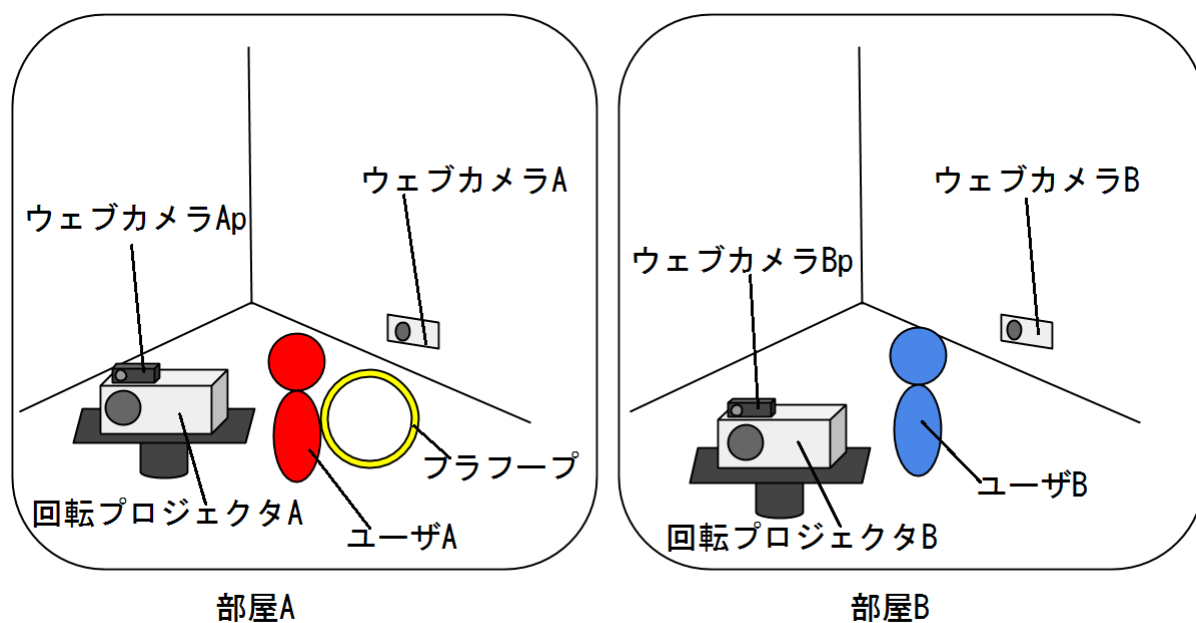


図 3.1: 共有空間の構築 1/3

初めに提案する手法について、想定する状況について説明する。図 3.1 において、部屋 A にいるユーザ A はこの手法を用いて部屋 B にいるユーザ B との共有空間を構築を行う。部屋

A には部屋 B の映像を投影するための回転プロジェクタ A、ユーザ A が使用するフラフープを検出するためのウェブカメラ A_p、部屋 A の映像を撮影するためのウェブカメラ A があり、ユーザ A はウェブカメラ A の前に立ち、フラフープを持つ。部屋 B には部屋 A の映像を投影するための回転プロジェクタ B、部屋 B の映像を撮影するためのウェブカメラ B があり、ユーザ B はウェブカメラ B の前に立つ。

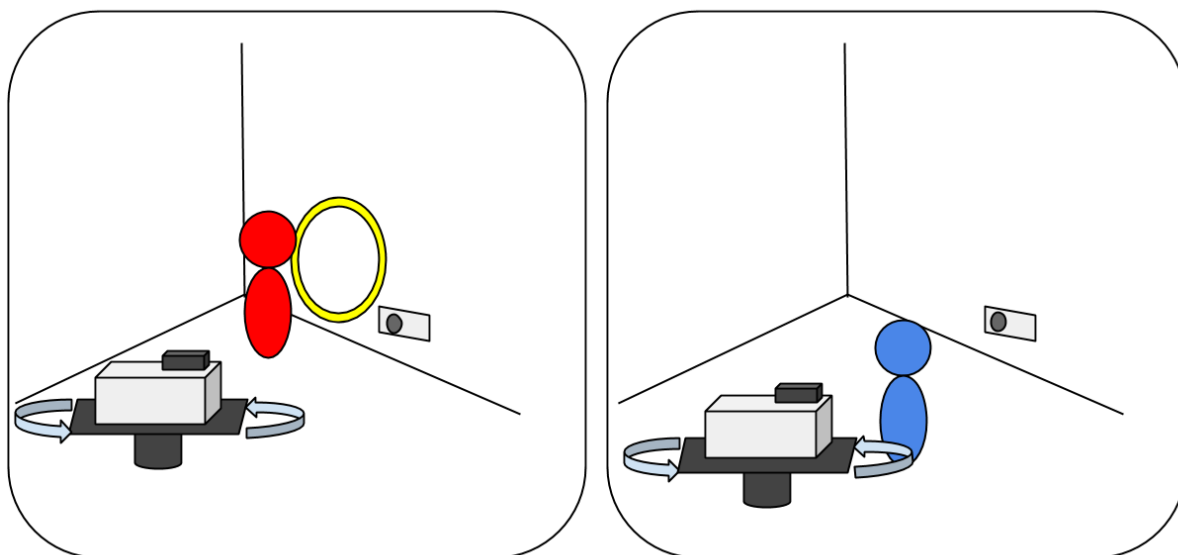


図 3.2: 共有空間の構築 2/3

次にユーザ A が投影の位置を指定する時の様子を図 3.2 に示す。ユーザ A は手に持ったフラフープを部屋 A の任意の壁に近付ける。この時、ウェブカメラ A_p によってフラフープの位置を検出し、回転プロジェクタ A の向きをフラフープに合わせる。また、部屋 B にある回転プロジェクタ B を部屋 A の回転プロジェクタ A と同じ向きになるように動かす。

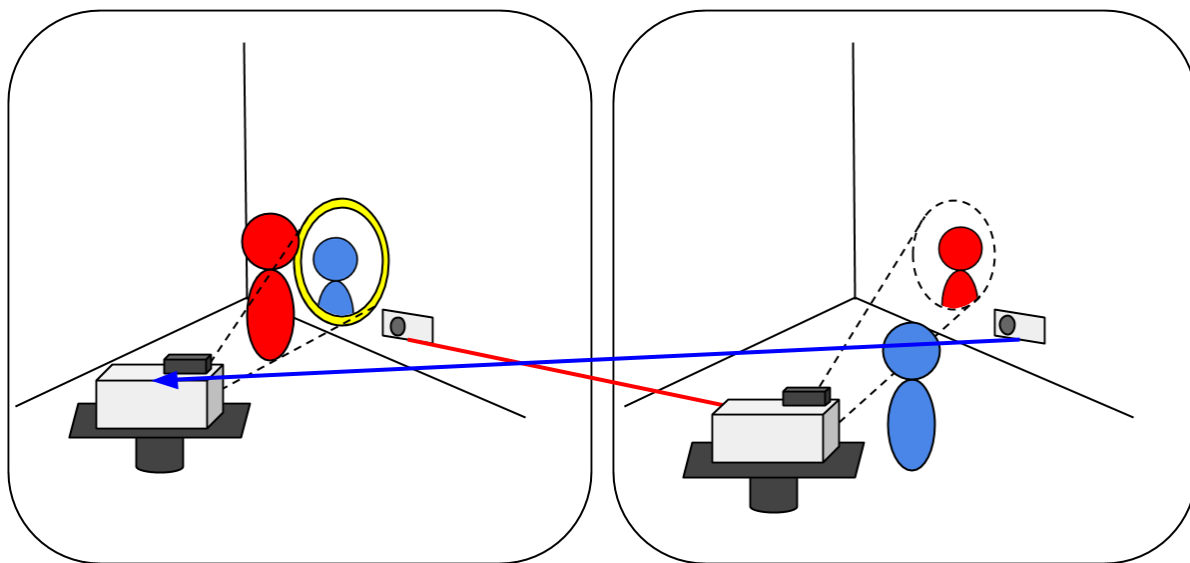


図 3.3: 共有空間の構築 3/3

最後にユーザ A とユーザ B はフラフープの形に加工された映像による対面が可能となる。この時の様子を図 3.3 に示す。ウェブカメラ B によって取得した部屋 B の映像を部屋 A の回転プロジェクタ A に送信し、フラフープの形に合うようにトリミングを行った映像の投影を行うことでユーザ A はフラフープの中にユーザ B の姿を見る事ができる。また、ウェブカメラ A によって取得した部屋 A の映像を部屋 B の回転プロジェクタ B に送信し、部屋 B の映像に行ったトリミングと同様のトリミングを行った映像の投影を行うことでユーザ B はユーザ A の姿を見る事ができる。

第4章 実装

本稿では実装したシステムについて説明する。本システムは回転プロジェクタ本体のハードウェア部分と回転プロジェクタの向きを調整するためのパンチルトヘッドユニットを制御するシステム、ウェブカメラから取得した映像からフラフープを検出するシステム、プロジェクタからフラフープの形に合わせて投影を行うために映像をトリミングするシステムのソフトウェア部分に分かれる。

4.1 プロトタイプシステム

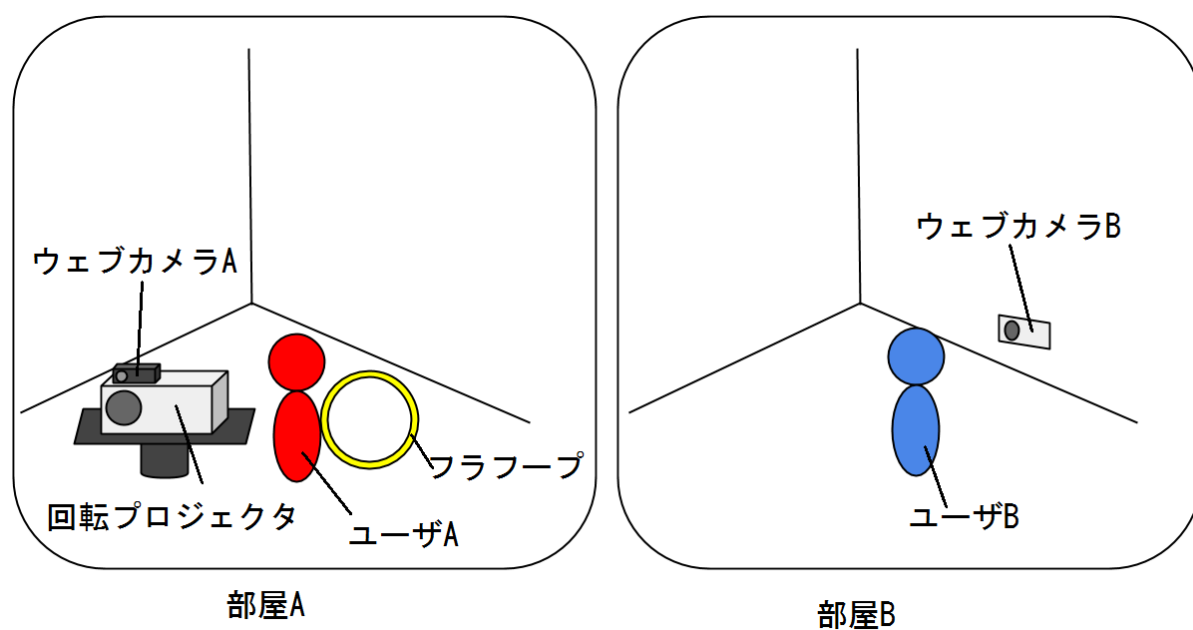


図 4.1: プロトタイプシステム

本研究で実装したプロトタイプシステムを図 4.1 に示す。部屋 A には部屋 B の映像を投影するための回転プロジェクタ、フラフープを検出するためのウェブカメラ A があり、回転プロジェクタの投影の位置を指定するためのフラフープがある。部屋 B には部屋 B の映像を撮影するためのウェブカメラ B がある。

4.2 開発環境

開発言語は C#、IDE には Visual Studio2012 を使用した。OS は Windows 8、CPU は Intel Core i5 1.80GHz である。また、フラフープを検出するために映像を撮影するウェブカメラとして、Logicoool HD Pro Webcam C910 を使用し、部屋 B の映像を撮影するウェブカメラとして、Logicoool ウェブカメラ Pro 9000 を使用した。回転プロジェクタについて、パンチルトヘッドユニットとして PAN-TILT UNIT model PTU-46-17P70T と、部屋 B の映像の投影を行うプロジェクタとして NEC MODEL NP61, NEC MODEL NP63 を組み合わせて実装した。

4.3 ハードウェア

4.3.1 回転プロジェクタの構築

フラフープの位置取得と向きを調整しながら映像を投影するシステムとして実装した回転プロジェクタを図 4.2 に示す。パンチルトヘッドユニット上にプロジェクタ、そのプロジェクタの上にウェブカメラを固定する。パンチルトヘッドユニットが向きを変えることにより、上のプロジェクタとウェブカメラも同じ向きに動くようにした。また、動作時に安定するよう、三脚を使用した。またウェブカメラによってフラフープを検出する領域と、プロジェクタによって映像を投影する領域のずれをできるだけ抑えるためにプロジェクタとウェブカメラの向きを同じ方向にし、お互いのレンズの位置を可能な限り同じになるように設置した。



図 4.2: 回転プロジェクタ

4.4 ソフトウェア

4.4.1 動作の流れ

ユーザ A の部屋におけるシステムの流れとして、初めにユーザ A の部屋の回転プロジェクタに設置されているウェブカメラ A によって得られたフラフープの映像をユーザ A の部屋 A のコンピュータに送信し、HSV 変換を使用して取得した値を用いてフラフープの領域を検出する。次にフラフープの位置にパンチルトヘッドユニットを動かすためのシリアルコマンドを送信する。そしてユーザ B の部屋のウェブカメラから取得した部屋の映像を TCP 通信によって部屋 A のコンピュータに送信する。次に送信した映像をフラフープの形に合うようにトリミングを行い、投影の大きさに合うよう拡大をする。最後に処理した映像をプロジェクタに送信し、ユーザ A の部屋の壁に投影を行う。

4.4.2 フラフープの検出

映像の投影の目印となるフラフープの検出方法について説明する。初めに回転プロジェクタ上に設置されたウェブカメラによって映像を取得し、その映像について 1 ピクセルずつフラフープの色かどうかの判定を行う。この時、プロジェクタの投影による明るさの変化を原因としたフラフープの判別が失敗することを防止するために、デフォルトである RGB の画像情報についてフラフープの検出を行わず、HSV 変換を行った後に判定を行った。HSV 変換では映像を色相、彩度、明度の三つの成分の値について、閾値を用いてフラフープの色かどうかの判定を行う。閾値はその部屋の明るさ、フラフープの色といった環境に合わせて設定する。今回はフラフープが黄色であったので、色相を 25 から 35、彩度を 140 から 200、明度を 140 から 200 の範囲の時にフラフープであると判断するように設定した。実際のフラフープの検出のサンプルとして、検出を行う前の画像を図 4.3 に示し、フラフープと判定されたピクセルをそのまま出力し、フラフープと判定されなかったピクセルを黒く塗りつぶすことで、検出後のフラフープの領域を示した画像を図 4.4 に示す。

また、色の判定の際にフラフープの色と判定した場合、そのピクセルの x, y 座標を取得し、取得したすべてのピクセルの x の値、 y の値について最大値と最小値を求める。 x 座標の最大値と最小値の平均と y 座標の最大値と最小値の平均をそれぞれ算出し、その二つの値による x, y 座標をフラフープの中心とする。また、 x 座標の最大値と最小値の差と y 座標の最大値と最小値の差について二つの差の平均を算出し、それをフラフープの直径とした。

4.4.3 パンチルトヘッドユニットの制御

パンチルトヘッドユニットの制御にはシリアルポート通信を使用して行う。ユーザによってフラフープの位置が動かされた際に正しくフラフープに投影するため、プロジェクタの向きをフラフープの方向に合わせるようにする。具体的にはフラフープの検出の際に求めたフラフープの中心位置がウェブカメラの中心に対してずれた時に、ずれた方向にパンチルトヘッド

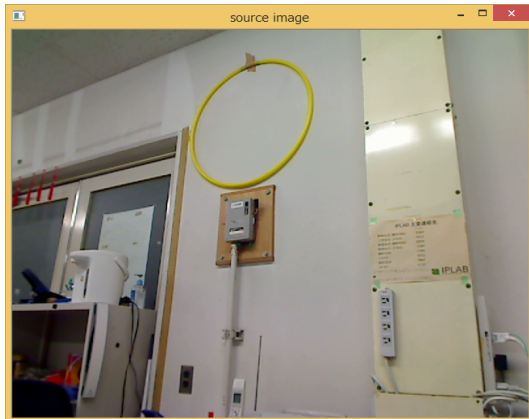


図 4.3: フラフープの検出前の画像



図 4.4: フラフープの検出後の画像

ユニットを動かす命令を実行する。そしてフラフープの位置がウェブカメラの中心となった時に動作を停止する命令を実行する。シリアルコマンドの送信についてはC#のシリアルポートクラスを用いて通信するポートの指定を行い、`SerialPort.Write` メソッドを使用して命令の書き込みを行った。

4.4.4 映像の加工及び投影

トリミングの領域の指定の方法として。初めにユーザ B の部屋のウェブカメラによって取得された映像を TCP 通信を用いて部屋 A のコンピュータに送信する。次に送信された映像をフラフープの検出によって得られたフラフープの中心座標についてトリミングを行う。今回プロジェクタの投影の領域とウェブカメラの撮影の領域のずれとして x 軸方向に-100、y 軸方向に-10 のずれが確認できたため、その分移動した座標をトリミングの中心とし、フラフープの半径をトリミングの半径として円形にトリミングを行った。トリミング領域内のピクセルは色をそのまま出力し、領域の外のピクセルは黒く塗りつぶした。実際に対話の相手の映像をフラフープの形に合わせて、加工したものを図 4.5 に示す。また、フラフープに投影する際に画像の拡大が必要となり、現状は手動入力によって調整を行っているが、画像上にて検出したフラフープの半径と実物のフラフープの半径の比率から投影する画像について調整すべき倍率が算出できるものと考えられる。加工した映像について実際に投影を行う様子を図 4.6 に示す。

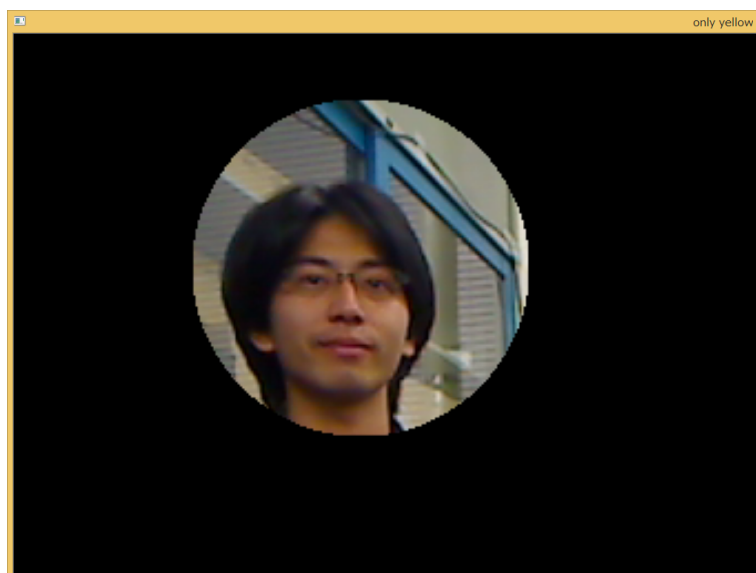


図 4.5: 映像の加工



図 4.6: 映像の投影

第5章 結論

本研究では遠く離れた人とのコミュニケーションの際に、お互いの共有空間より強くユーザに認識することでコミュニケーションを活性化させる事を目的とし、そのための手法としてユーザ自身が共有空間を構築する感覚を得る事を可能にするインタラク션을を提案した。

さらに本研究では提案した手法について、二つの部屋同士の共有空間の構築を想定したプロトタイプシステムを実装した。プロトタイプシステム実装の為にフラフープを検出するシステムやフラフープの位置に回転プロジェクタの向きを合わせるシステムについて実装を行い、実際にフラフープに合わせて他の部屋の映像の投影が行われるかどうかを確かめる実験を行った。

今後の課題として、片方の部屋だけでなく両方の部屋の壁に映像の投影を行うことで、両方の部屋のユーザ同士の対面を実現することがあげられる。また、映像を斜めに投影した際にもフラフープの形に映像が表示されるように投影する映像を楕円に加工するアルゴリズムの実装や、フラフープとプロジェクタの距離に合わせて投影する画像を自動で拡大、縮小するアルゴリズムの実装を行い投影をより正確なものにしたいと考えている。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、指導教員の高橋伸准教授、田中二郎教授をはじめ、三末和男准教授、志築文太郎准教授にはゼミやミーティングを通して大変貴重なご意見をいただきました。深く御礼申し上げます。また、インタラクティブプログラミング研究室の皆様に日常生活の中で様々なご意見をいただきました。特に、ユビキタスチームの皆様には、ゼミ以外にも研究生生活全体にわたって数多くのご意見、ご指摘をいただきました。心より感謝いたします。最後に大学生活を送る中、経済面や精神面わたり支えてくれた家族や、大学生活を共に過ごし様々な面でお世話になったすべての友人に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 細谷 英一, 北端 美紀, 佐藤 秀則, 原田 育生, 小野沢 晃. ミラーインタフェースを用いた双方向型インタラクティブコミュニケーションの実現. 電子情報通信学会総合大学講演論文集 2005 年_基礎・協会, Pages 296-296, 2005-03-07.
- [2] 森川 治, 前迫 考憲. 「超鏡」: 自己像を表示するビデオ対話方式. 情報処理学会研究報告. HI, ヒューマンインタフェース研究会報告 97, Pages 25-30, 1997-05-16.
- [3] Andre Kunert, Alexander Kulik, Stephan Beck, Bernd Froehlich. Photoportals: shared references in space and time. CSCW'14 proceedings of the 17th ACM conference on Computer supported, Pages 1388-1399, 2014-02-15.
- [4] Dieter Schmalstieg, Anton Fuhrmann, Gred Hesina. Bridging multiple user interface dimensions with augmented reality. Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality ISAR 2000, Pages 20-29, 2000-10-05.
- [5] 金次 保明, 長島 聖子, 山田 光穂, 清水 俊宏. 指さしポインターにおけるカーソル位置の特定法. 電子情報通信学会技術報告. IE, 画像工学 101, Pages 55-60, 2002-01-22.
- [6] Masaaki Fukumoto, Yasuhito Suenaga, Kenji Mase. “ Finger-Pointer ” : Pointing interface by image processing. Computers & Graphics Volume18, Pages 663-642, 1994-09.
- [7] 坂内 祐一, 玉木 秀和, 鈴木 雄士, 重野 寛, 岡田 謙一. 実物体を用いた MR 空間での遠隔協調作業. 情報処理学会論文誌 48, Pages 2465-2476, 2007-07-15.
- [8] MR 空間における仮想シールを介したシンタックスの異なる実物体の遠隔共有手法. 宮狭 和大, 坂内 祐一, 鈴木 雄士, 玉木秀和, 重野 寛, 岡田 謙一. 情報処理学会論文誌 48, Pages 134-147, 2007-01-15.
- [9] Katherine M. Everitt, Scott R. Klemmer, Robert Lee, James A. Landay. Two worlds apart: bridging the gap between physical and virtual media for distributed design collaboration. CHI '03 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Pages 553-560, 2003-04-05.