

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

遠隔コミュニケーションシステムにおける
対面同席感の実現

鹿山 晃弘

修士（工学）

（コンピュータサイエンス専攻）

指導教員 田中 二郎

2014年3月

概要

遠隔コミュニケーションとは、遠隔地にいる相手の映像や音声などを相互に通信することで行うコミュニケーションのことである。そのような遠隔コミュニケーションにおいて、同室感という、相手と同じ空間にいるような感覚をもたらすことにより、実際に相手と空間を共有しているようなコミュニケーションを実現する研究が行われている。本研究では、同室感のある遠隔コミュニケーションの実現を目的とする。システムを設計するにあたり、情報通信環境の進歩・拡大に伴い、屋内のみならず屋外においても同様に利用できるシステムを目指した。また、ユーザにとって違和感のない、扱いやすいシステムであるべきだと考え、従来の遠隔コミュニケーションシステムの利用スタイルに乗っ取ったシステムを目指した。

そこで、本研究では机の対面に相手がいるように見え、机を挟んでコミュニケーションを行うことのできるシステムを提案・設計した。そして、机の対面に相手がいるように見えるシステムを実装した。

ユーザは机上にユーザの姿を撮影するためのカメラと、机の対面をシステムに認識させるためのマーカーを設置する。そして、深度情報を取得することのできるカメラが搭載されたヘッドマウントディスプレイを装着することで、机の対面に相手がいるように見ることが出来る。相手の姿は、ユーザと机の対面との距離に伴いスケールが変化し、また、ユーザの顔の回転動作に伴い、机の対面に固定されているように見える。そして、机上に置かれたディスプレイや本棚、ユーザの手や腕による相手の姿の見え隠れを実現する。このようにユーザの状況や環境に伴った見え方を実現することにより、机の対面に相手がいるように見せ、遠隔コミュニケーションに同室感をもたらすことを狙った。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	遠隔コミュニケーション	1
1.2	現在の情報通信環境	1
1.3	同室感	1
1.4	本研究の目的	2
1.5	本研究のアプローチ	2
1.6	本論文の構成	2
第2章	遠隔コミュニケーションにおける対面同席感	3
2.1	対面同席感とは	3
2.2	対面同席感のある見え方	3
2.3	対面同席感のあるやり取り	4
2.4	対面同席感の実現	4
第3章	対面同席感のある遠隔コミュニケーションシステムの実現	7
3.1	机の対面に相手がいるような映像提示方法	7
3.2	遮蔽関係の実現	8
3.3	ユーザの映像の提供とやり取りの実現	8
3.4	システムの構成	8
第4章	システムの実装	11
4.1	実装・動作環境	11
4.2	処理の流れ	11
4.3	実装	13
4.3.1	映像情報と深度情報のマッチング	13
4.3.2	ユーザの認識	16
4.3.3	机の対面の認識	16
4.3.4	深度平面の作成	16
	マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法	16
	マーカーの中心の周囲の深度情報を用いた作成方法	20
	マーカーのカメラに対する回転角度を用いた作成方法	21
	本システムで採用した作成方法について	22

4.3.5	ユーザのシステム利用状況に応じた見え方の変化	25
	ユーザが顔を回転させた際の見え方の変化	25
	ユーザと机の対面との距離に応じた見え方の変化	26
4.3.6	対面同席感のある見え方の実現	27
	机上にあるオブジェクトやユーザの手などによる遮蔽関係の認識 . . .	27
	遮蔽関係を実現した相手映像の提示	29
	相手のいる空間との対面同席感の実現	29
第 5 章	関連研究	33
5.1	設置物を用いた研究	33
5.2	装着物を用いた研究	34
5.3	本研究の位置づけ	35
第 6 章	今後の課題	36
6.1	遠隔地との通信	36
6.2	対面同席感のあるやり取りのシステム	36
6.3	評価実験	36
第 7 章	結論	37
	参考文献	39

図目次

2.1	対面同席感のある見え方	5
2.2	対面同席感のあるやり取り	6
3.1	システム構成	9
3.2	デバイスを設置・装着した様子	10
4.1	システムフローチャート	12
4.2	DepthSense の映像情報	13
4.3	DepthSense の深度情報	14
4.4	映像情報と深度情報のマッチング	15
4.5	Kinect の映像情報	17
4.6	Kinect の映像情報中のユーザ認識	17
4.7	机の対面を認識するために設置するマーカー	18
4.8	マーカーを机上に設置した様子	18
4.9	マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法	19
4.10	マーカーの中心の周囲の深度情報を用いた作成方法	20
4.11	マーカーの各座標軸と回転角度	21
4.12	Dx の計算式の捕捉図	23
4.13	Dy の計算式の捕捉図	23
4.14	近・遠距離に設置されたマーカーの深度情報	24
4.15	マーカーの各点の座標と回転角度	26
4.16	拡大・縮小のイメージ	27
4.17	ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトの認識	28
4.18	遮蔽関係を実現した相手映像の提示のための3つの判定とその流れ	30
4.19	座標変換の図解	31
4.20	対面同席感のある見え方のシステムの出力映像	32
4.21	相手のいる空間との対面同席感の実現	32

表 目 次

3.1 HMD の分類	8
-----------------------	---

第1章 はじめに

本章では遠隔コミュニケーションと現在の情報通信環境, 同室感について説明した後, 本研究の目的, アプローチ, そして本論文の構成について述べる.

1.1 遠隔コミュニケーション

遠隔コミュニケーションとは何らかの手段を用いて遠隔地とのコミュニケーションを行うことを意味する. この手段は狼煙やビーコン, 手旗信号などの原始的なものから, 携帯電話やパーソナルコンピュータを用いた映像や音声をやり取りする現代的な通信システムを含んでいる¹. 現在では複数の遠隔地を結び双方向の画像および音声を通信するビデオ会議システムが主に利用されている. ビデオ会議システムの例として Skype², V-CUBE³, Polycom⁴などが挙げられる. このようなビデオ会議システムの背景には, 映像や音声を遅延なく相互に通信することのできる, 現在の情報通信環境の進歩が挙げられる.

1.2 現在の情報通信環境

映像や音声などの高速通信が可能な光回線通信は 2000 年代以前は通信社などの限られた施設のみが利用可能だった. そして 2000 年代に入り, 企業や一般家庭においても高速通信が可能になり, それを皮切りに様々なビデオ会議システムがリリース・利用され始めた⁵. また, 公衆無線 LAN の台頭により屋内のみならず屋外においても高速通信が可能になった⁶. 以上のことから, 屋内外問わず遠隔コミュニケーションシステムを利用することが可能になった.

1.3 同室感

同室感とは, 相手と同じ空間にいるような感覚のことである [1]. この同室感を遠隔コミュニケーションにもたらすことにより, 実際に対面しているようなコミュニケーションを実現しよ

¹Wikipedia:Telecommunication, <http://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunication>, 2014/02/04

²Skype, <http://www.skype.com>, 2014/02/04

³V-CUBE, <http://jp.vcube.com>, 2014/02/04

⁴Polycom, <http://www.polycom.co.jp>, 2014/02/04

⁵Wikipedia:光通信, <http://ja.wikipedia.org/wiki/光通信>, 2014/02/04

⁶Wikipedia:公衆無線 LAN, [http://ja.wikipedia.org/wiki/公衆無線 LAN](http://ja.wikipedia.org/wiki/公衆無線_LAN), 2014/02/04

うとする研究が多々行われている。視覚や聴覚, 触覚などを用いることで, 遠隔コミュニケーションにおいて同室感をもたらす。

1.4 本研究の目的

本研究は同室感のある遠隔コミュニケーションシステムの実現 [18] を目的とする。また, 現在の情報通信環境を想定し, 屋内のみならず屋外においても同じ様に利用できる遠隔コミュニケーションシステムであるべきと考えた。そして, Skype のような現在の遠隔コミュニケーションシステムは, 机上にカメラとディスプレイを置き, ユーザはそれらに直面して利用している。本研究は現在の遠隔コミュニケーションシステムの利用スタイルの延長線上にあるシステムを目指すことで, ユーザにとって違和感のない, 扱いやすいシステムを目指した。

1.5 本研究のアプローチ

本研究では, 机の対面に遠隔地にいる相手が存在しているように見え, 机を挟んでコミュニケーションを行うことのできる, 遠隔コミュニケーションシステムを提案する。実際にコミュニケーションを行う際, 机を挟んで相手と向き合うという状況はありうる。そのような現実のコミュニケーションにありうる表現を遠隔コミュニケーションにおいて実現し, 遠隔地にいる相手と机を挟んで向かい合っているような感覚をもたらすことにより, 同室感のある遠隔コミュニケーションシステムを目指す。また, 机に向かうことは現在の遠隔コミュニケーションシステムの利用スタイルに乗っ取ったものであり, 屋内のみならず屋外においても可能なことから, 本研究の目的と合致している。本研究における, 相手と机を挟んで向かい合っているような感覚のことを, 本論文では対面同席感と表現する。

1.6 本論文の構成

本論文は, まず始めに第二章にて遠隔コミュニケーションにおける対面同席感について述べる。第三章では, 対面同席感を実現するシステムの設計について述べる。第四章ではそのシステムの実装について述べる。第五章にて関連研究について述べ, その後, 本研究の位置づけについて述べる。そして, 第六章では今後の課題について述べ, 最後に第七章では結論を述べる。

第2章 遠隔コミュニケーションにおける対面同席感

本章では対面同席感についての説明と、遠隔コミュニケーションにおいて対面同席感を実現するために必要な見え方とやり取りについて述べる。

2.1 対面同席感とは

対面同席感とは、机を挟んで相手と向き合っているような感覚のことである。現実にはコミュニケーションを行う際、机を挟んで相手と向き合うという状況は実際にありうる。そのような現実のコミュニケーションにありうる表現を遠隔コミュニケーションにおいて実現することで、遠隔地にいる相手と同じ空間にいるような感覚をもたらすことを狙う。本研究では机を挟んで相手と向き合っているような見え方とやり取りを実現することで、遠隔コミュニケーションにおいて対面同席感を実現する。

2.2 対面同席感のある見え方

対面同席感のある見え方を実現するにあたり必要な要素について述べる。必要な要素として、ユーザの状況による見え方と環境による見え方の2つに大別する。

まず、ユーザの状況による見え方について述べる。遠隔地にいる相手と机を挟んで向き合っているように見せるためには、相手の姿をユーザが面している机の対面に見せる必要がある。また、ユーザの振る舞いによって相手の見え方が変化する必要がある。現実には相手と机を挟んで対面した場合、ユーザが机から離れた場合は相手の姿は小さく見え、逆に机に近づいた場合は相手の姿は大きく見える。また、首をかしげるといった顔を回転させる動作をした場合、相手の姿は回転動作と同じ方向に回転はせず、机の対面に固定されているように見える。このようなユーザの机に対する遠近による相手の姿のスケール変化と回転動作との連動を実現する必要がある。

次に、ユーザの環境による見え方について述べる。実際に相手と机を挟んで対面した際に、机上にディスプレイや本棚などのオブジェクトが存在し、その後ろに相手がいた場合、相手の姿はオブジェクトによって隠れて見える。また、ユーザが指を指したり、手を差し出したり翳した際に、相手が手や腕によって隠れた場合、ユーザの指や手による隠れて見える。そのような机上に置かれたオブジェクトやユーザの手による相手の見え隠れを実現する必要がある。

以上のような見え方を実現することで、遠隔コミュニケーションにおいて対面同席感を実現する。

2.3 対面同席感のあるやり取り

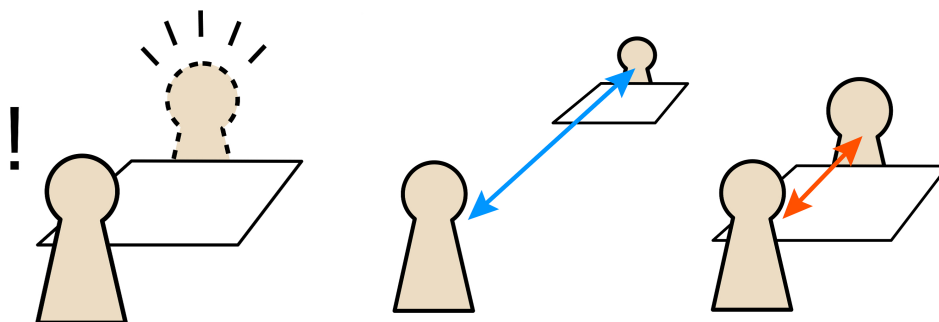
対面同席感のあるやり取りを実現するにあたり、実際に相手と机を挟んで向き合った際に行うようなやり取りを実現する。

相手と机を挟んで対面している状況で行うコミュニケーションとして、ユーザの机の上に置かれた資料などを相手の机の上にスライドさせることで相手に渡すというやり取りが考えられる。これを実現することにより、遠隔地にいる相手との資料の共有を、まるで実際に相手と机を向い合せているかのように行うことができる。また、相手の机に手を伸ばし、机の上に置かれた資料を指さすといったやり取りが考えられる。これを実現することにより、声だけでは難しいような作業指示を直感的に行うことができる。

以上のようなやり取りを実現することで、遠隔コミュニケーションにおいて対面同席感を実現する。

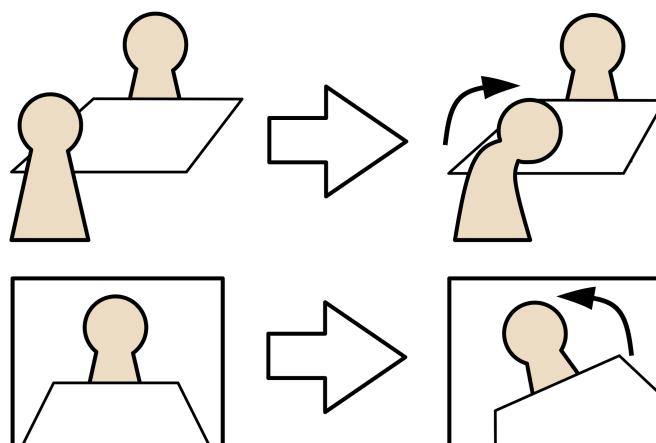
2.4 対面同席感の実現

上記に記した、遠隔コミュニケーションにおいて対面同席感を実現するための見え方とやり取りについてまとめたものを図 2.1, 2.2 に示す。

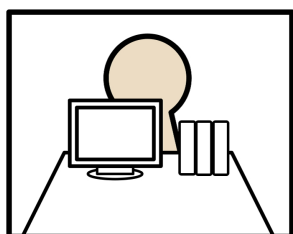


(a) 机の対面に相手がいるように見える

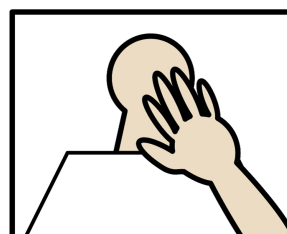
(b) 距離に応じたスケール変化



(c) 回転動作との連動

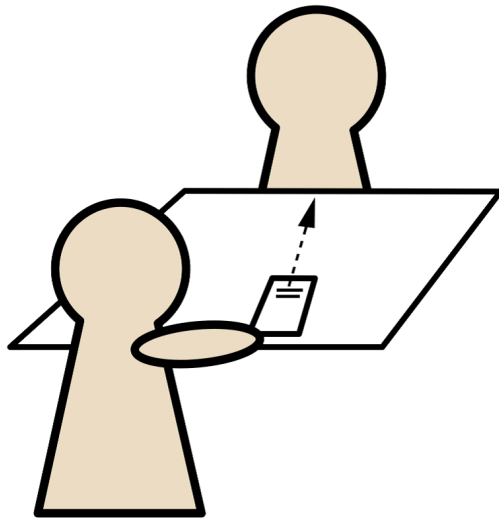


(d) 机上のオブジェクトによる見え隠れ

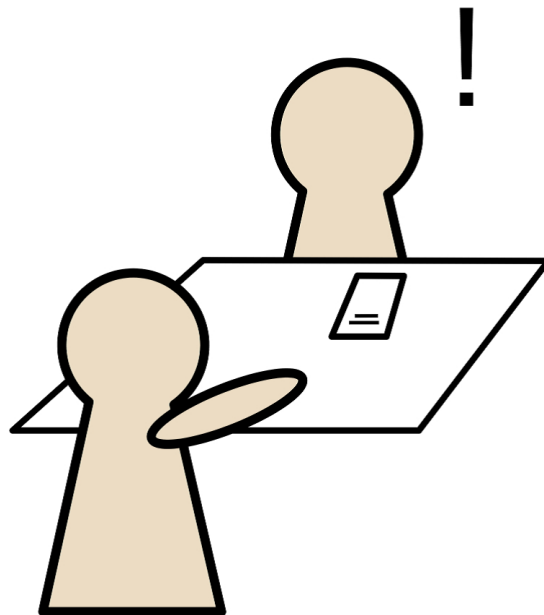


(e) 手や腕による見え隠れ

図 2.1: 対面同席感のある見え方



(a) 机上の書類などの受け渡し



(b) 相手の机に手を伸ばして指示をする

図 2.2: 対面同席感のあるやり取り

第3章 対面同席感のある遠隔コミュニケーションシステムの実現

対面同席感のある遠隔コミュニケーションシステムを実現するためには、まずユーザに自身の机の対面に相手がいるように見せる必要がある。また、ユーザの机の対面に相手がいるように見せるにあたり、机上にあるオブジェクトやユーザが差し出した手による相手の見え隠れ（以降、遮蔽関係）が実現される必要がある。さらに、遠隔地にいる相手に対して、机に対面しているユーザの映像を提供する必要がある。以下、それらの設計について述べる。

3.1 机の対面に相手がいるような映像提示方法

ユーザの机の対面に相手がいるように見せる方法として、ヘッドマウントディスプレイ（頭部装着ディスプレイ, Head Mounted Display, 以降 HMD）を用いる。

HMD 以外の映像提示デバイスとして、パソコンなどに用いられているディスプレイや空間に映像を投影するプロジェクターを用いることも考えられる。ディスプレイの場合、ユーザの机の対面に相手がいるような映像提示を行うとなると、等身大の相手を表示するためには、十分な大きさのディスプレイを用いる必要があり、ディスプレイの大きさに伴い重量も増してくる。本システムは現在の情報環境に基づき、室内だけでなく屋外での利用も想定しており、ディスプレイの持ち運びはユーザの大きな負担になる。また、プロジェクターの場合、映像を投影するためのスクリーンが必要であり、スクリーンも先に述べたディスプレイと同様に、持ち運びに大きな負担が生じる。また、プロジェクターは屋内などの環境光の影響が少ない環境での利用が主であり、屋外では投影された映像が見づらいといった問題が生じる可能性がある。

以上のことから本研究では、本研究の目的に乗り取り、可搬性に優れた HMD を採用する。

HMD は大きく透過型と非透過型に分類される。透過型 HMD のディスプレイ装置はハーフミラーで出来ているため、ユーザは HMD に出力された映像と外の様子を共に見ることができる。だが、ハーフミラーに対して映像を投影しているため、出力された映像は薄く見える。また、環境光の影響など状況によっては映像がまったく見えなくなってしまうこともありうる。非透過型 HMD のディスプレイ装置はパソコンに用いられるディスプレイと変わりなく、ユーザは出力された映像をそのまま見ることができる。そのため HMD の外側の様子を見ることはそのままでは出来ず、例えば机に対面していてもユーザは机上やその対面の様子を見ることはできない。対処法として HMD にカメラを装着し、カメラの映像を HMD に出力することでユーザは外の様子を見ることができる。以上の内容をまとめたものを表 3.1 に示す。

表 3.1: HMD の分類

	HMD に出力された映像	外の様子
透過型 HMD	△ (利用状況によっては×)	○
非透過型 HMD	○	× (カメラを装着することで○)

現在の情報通信環境に基づき, 屋内のみならず屋外といった様々な場所・状況において本システムを利用することを想定しているため, 本研究では非透過型 HMD を用いる. そして, 非透過型 HMD にカメラを装着し, ユーザが対面している机の上やその対面の様子を取得することで, ユーザの机の対面に相手がいるように見せることを実現する.

3.2 遮蔽関係の実現

遮蔽関係の実現は, 現に机を挟んで相手と対面した際, 机上にディスプレイや本棚などがあり, その後ろ側に相手がいた場合は, 机上のオブジェクトによって相手が見え隠れするという実際の現象から来ている. 本システムでは遮蔽関係を非透過型 HMD に装着するカメラに深度カメラを用いることで実現する. 深度カメラとは通常のカメラと同様にカラーの映像を撮影すると共に, 撮影した風景におけるカメラからの深度を測定するものである. 深度カメラによってユーザの正面の映像と深度情報を取得し, 深度情報から机の対面よりも手前にあるオブジェクトを認識することで, 遮蔽関係を実現する.

3.3 ユーザの映像の提供とやり取りの実現

本システムは互いのユーザの映像を互いにやり取りすることで, 互いの遠隔地に様子を確認し合い, それにより遠隔コミュニケーションを行う. 本システムではシステムを利用するユーザは机上にカメラを設置・対面し, システムはカメラが撮影した映像を相手に送信する. そして, 机上に設置されたカメラの映像からユーザの動作をシステムが認識することでやり取りを実現する.

3.4 システムの構成

設計をもとに, 対面同席感を実現するためのシステムを構成した. システム構成を図 3.1 に示す.

HMD には非透過型 HMD である HMZ-T2¹ を, 深度カメラには DepthSense 325 (以降, DepthSense)² を, ユーザを撮影するカメラには Kinect for xbox 360 (以降, Kinect)³ を採用した. そ

¹HMZ-T2, <https://www.sony.jp/hmd/products/HMZ-T2/>, 2014/02/04

²SoftKinetic, <http://www.softkinetic.com/>, 2014/02/04

³Kinect, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>, 2014/02/04

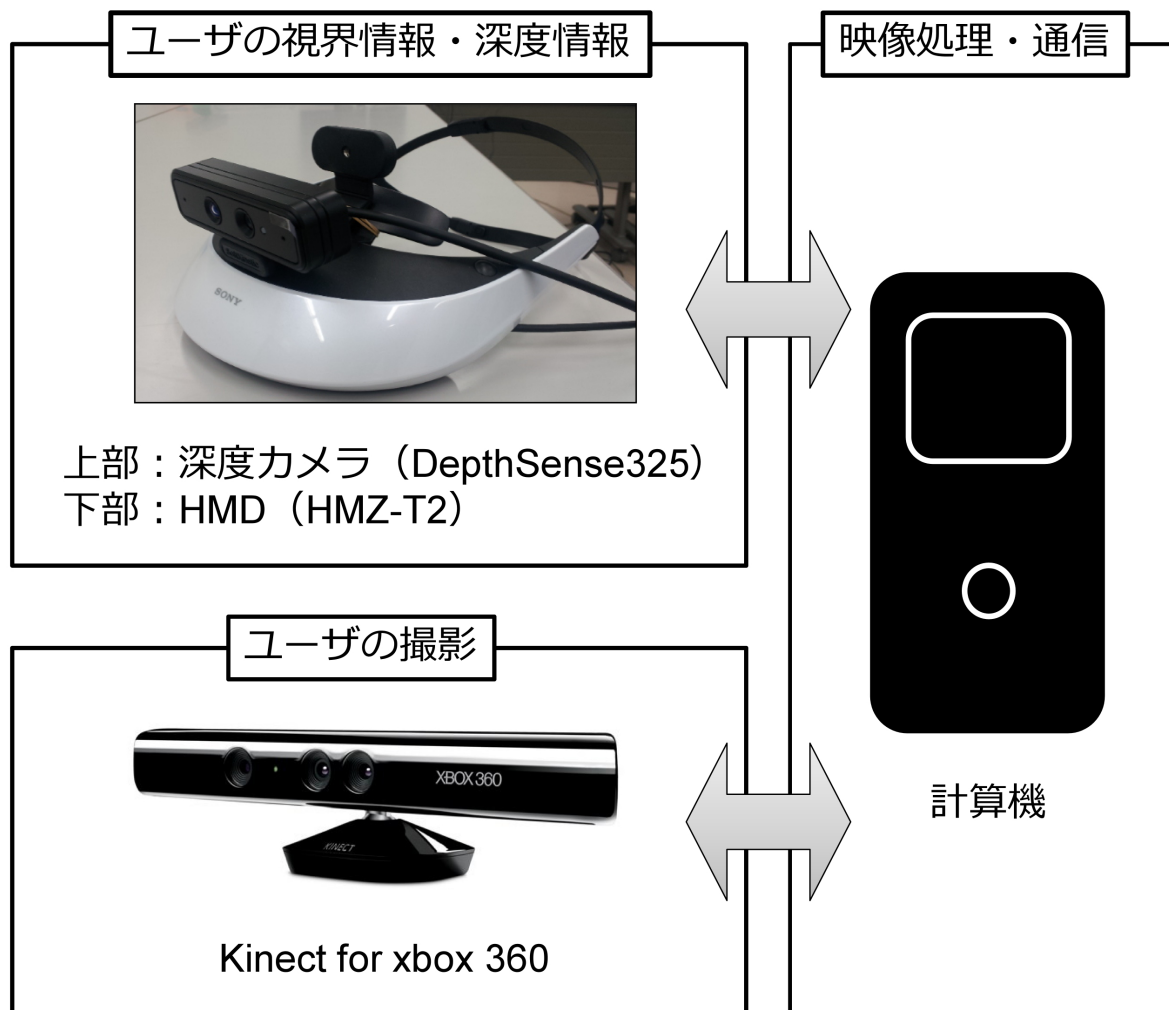


図 3.1: システム構成

れらを計算機に接続し, 映像処理を行い, ネットワークを介して遠隔地にいる相手と映像情報などをやり取りする. HMD に搭載された DepthSense により, HMD を装着したユーザの正面の様子を撮影し, その映像に遠隔地にいる相手の机の上に置かれた Kinect によって撮影された映像情報を重畳表示する. そして, 重畳表示された映像情報を HMD に表示することによって, 遠隔コミュニケーションにおける対面同席感を実現する.

本システムでは机上のオブジェクトやユーザが目の前に差し出した手などを検出する必要がある. そのためには近距離の深度測定ができる必要がある. そこで, 本システムでは近距離 (15 ~ 100[cm]) の深度測定できる DepthSense 325 を採用した. また, ユーザを撮影するカメラに Kinect を採用した理由は, 映像情報中のユーザ認識や, ジェスチャ操作によるインタラクションの実現を狙ったためである.

図 3.2 にそれぞれのデバイスを設置・装着した様子を示す. ユーザは机に向かい, 机の対面に Kinect を設置する. そして, ユーザは DepthSense が搭載された HMD を装着する.

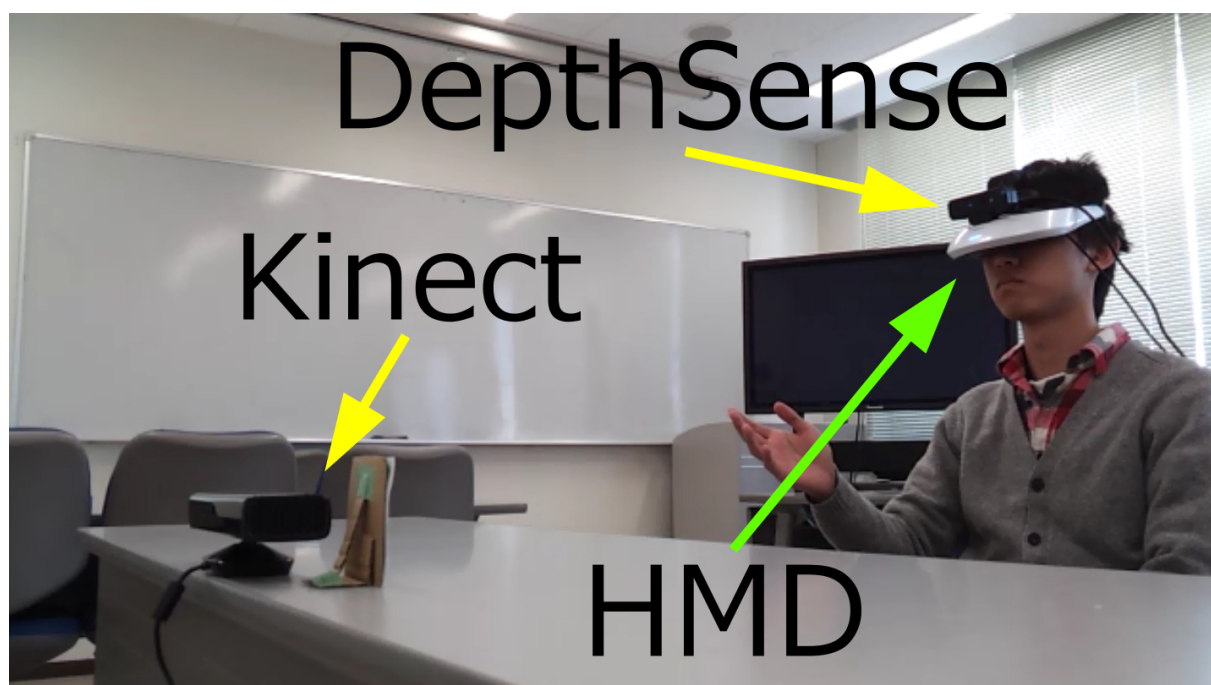


図 3.2: デバイスを設置・装着した様子

第4章 システムの実装

机の対面に相手がいるように見える, 対面同席感のある見え方を実現するシステムを実装した. その際, 対面同席感のある見え方のシステムを実装するにあたり, 3.4 に挙げたシステム構成から通信要素を省いた.

4.1 実装・動作環境

本システムの実装・動作環境は以下の通りである.

- プロセッサ : Intel Core i5, 3.20GHz
- 実装メモリ : 4.00GB
- システム : 64bit オペレーティングシステム
- 開発環境 : Microsoft Visual Studio 2012
- 開発言語 : C++
- ライブラリ : DepthSenseSDK¹, OpenNI², OpenCV³, ARToolKit⁴

4.2 処理の流れ

本システムの処理の流れを図 4.1 に示す. 本システムは図 4.1 の流れで処理を繰り返すことで, 対面同席感のある見え方を実現している. システムフローチャートのそれぞれの処理については 4.3 にて述べる.

¹SoftKinetic, <http://www.softkinetic.com/>, 2014/02/04

²OpenNI, <http://www.openni.org/>, 2014/02/04

³OpenCV, <http://opencv.org/>, 2014/02/04

⁴ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>, 2014/02/04

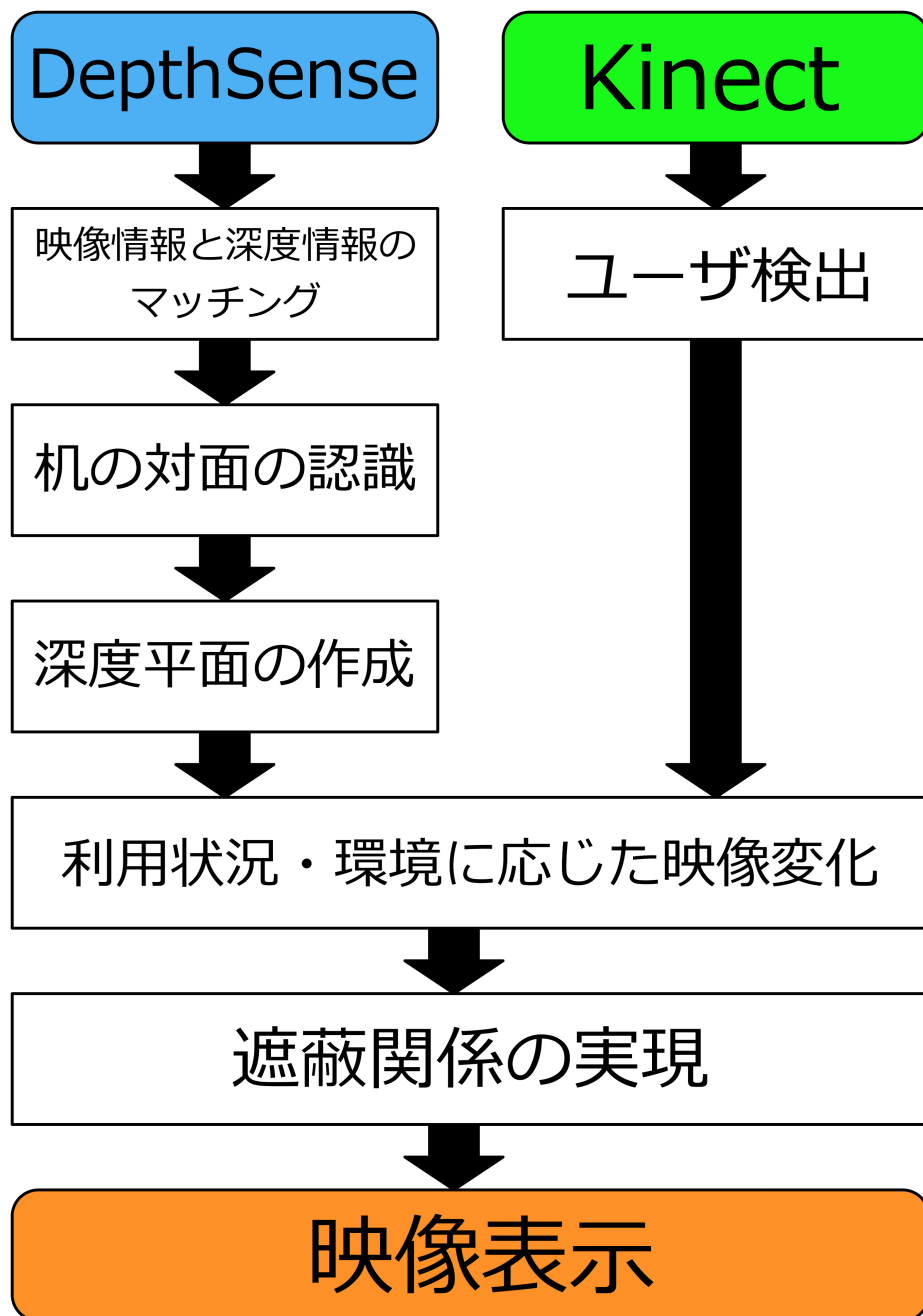


図 4.1: システムフローチャート

4.3 実装

4.3.1 映像情報と深度情報のマッチング

DepthSense から取得した映像情報を図 4.2 に, 深度情報を図 4.3 に示す. これは DepthSense-Viewer という公式ビューアのスクリーンショットを取ったものである.

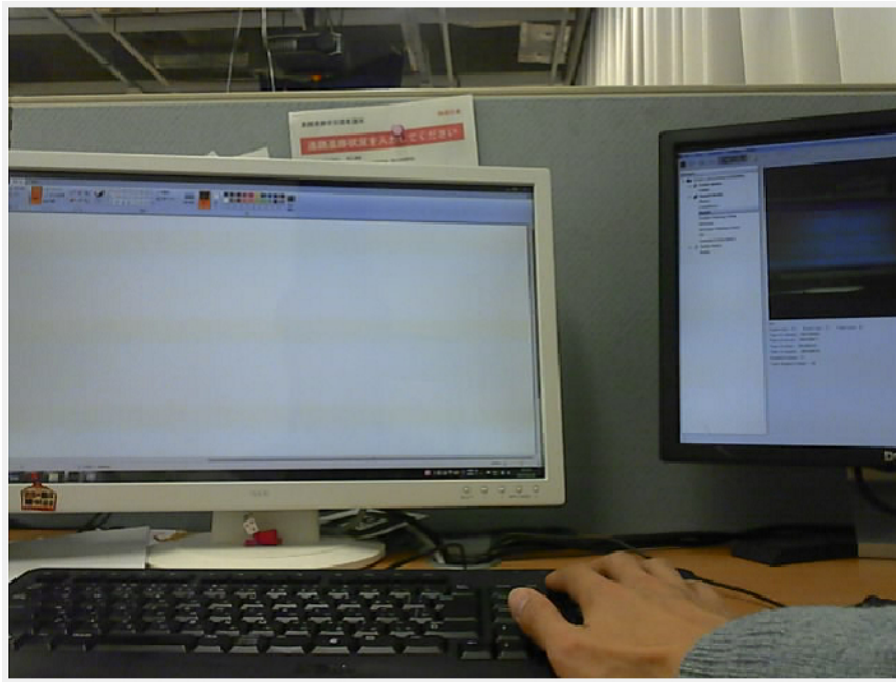


図 4.2: DepthSense の映像情報

図 4.2 と図 4.3 を見比べると, 図 4.2 では映っていないディスプレイの端やキーボードの下部などが図 4.3 では映っていることがわかる. つまり, DepthSense は映像情報よりも深度情報の方がより広範囲の情報を取得していることがわかる. 一方, 解像度では映像情報の方は 640×480 であり, 深度情報は 320×240 である. 本システムでは, DepthSense の映像情報と深度情報を合わせて扱う必要がある. そのため, 両者の情報取得範囲の違いと解像度の違いを吸収するために, 映像情報と深度情報のマッチングを行った.

まず, 映像情報よりも深度情報の方が広い範囲の情報を取得していることから, 深度情報中の映像情報の対応点を探索した. 深度情報中における映像情報の四隅の頂点座標をそれぞれ時計回りに $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$, $(X3, Y3)$, $(X4, Y4)$ とし, 座標を測定した. そして, 映像情報の 1 ピクセルにおける深度情報のピクセル数 $Px, Py[pixel/pixel]$ を計算した. 映像情報の解像度を (Iw, Ih) とすると, 計算式は以下の通りである.

$$Px = (X2 - X1) \div Iw \quad (4.1)$$

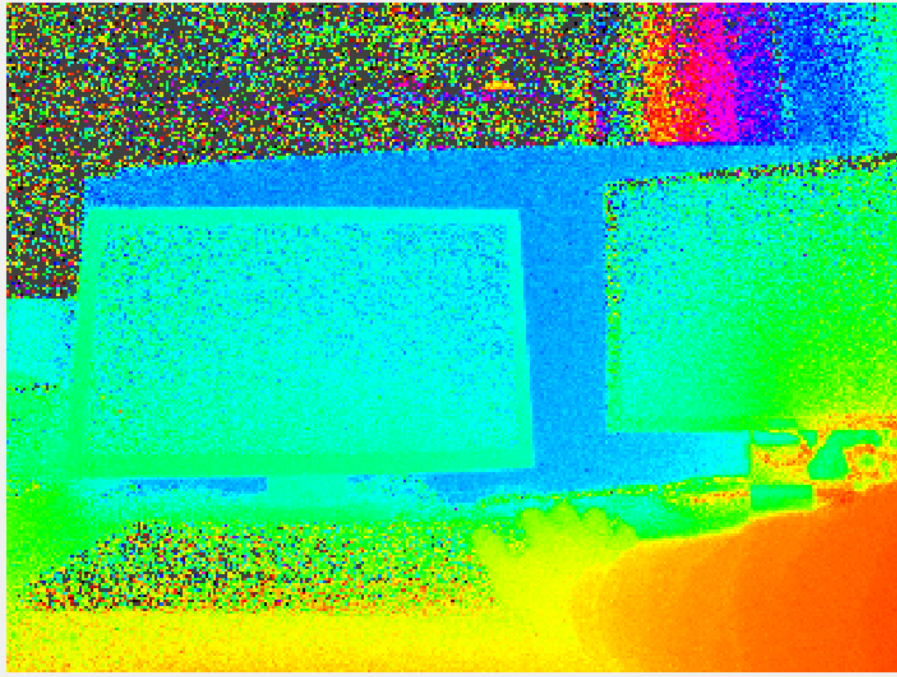


図 4.3: DepthSense の深度情報

$$Py = (Y3 - Y1) \div Ih \quad (4.2)$$

映像情報における座標を (Ix, Iy) , 深度情報における座標を (Dx, Dy) とすると, 映像情報と深度情報のマッチングを行う計算式は以下のとおりである.

$$Dx = Ix \times Px + X1 \quad (4.3)$$

$$Dy = Iy \times Py + Y1 \quad (4.4)$$

$$Ix = (Dx - X1) \div Px \quad (4.5)$$

$$Iy = (Dy - Y1) \div Py \quad (4.6)$$

映像情報と深度情報の関係図を, 図 4.4 に示す. 本システムでは映像情報中の特定の点の深度情報を取得する際, 上記の計算式を用いて, 映像情報と深度情報のマッチングを行った.

深度情報 (Dx, Dy)

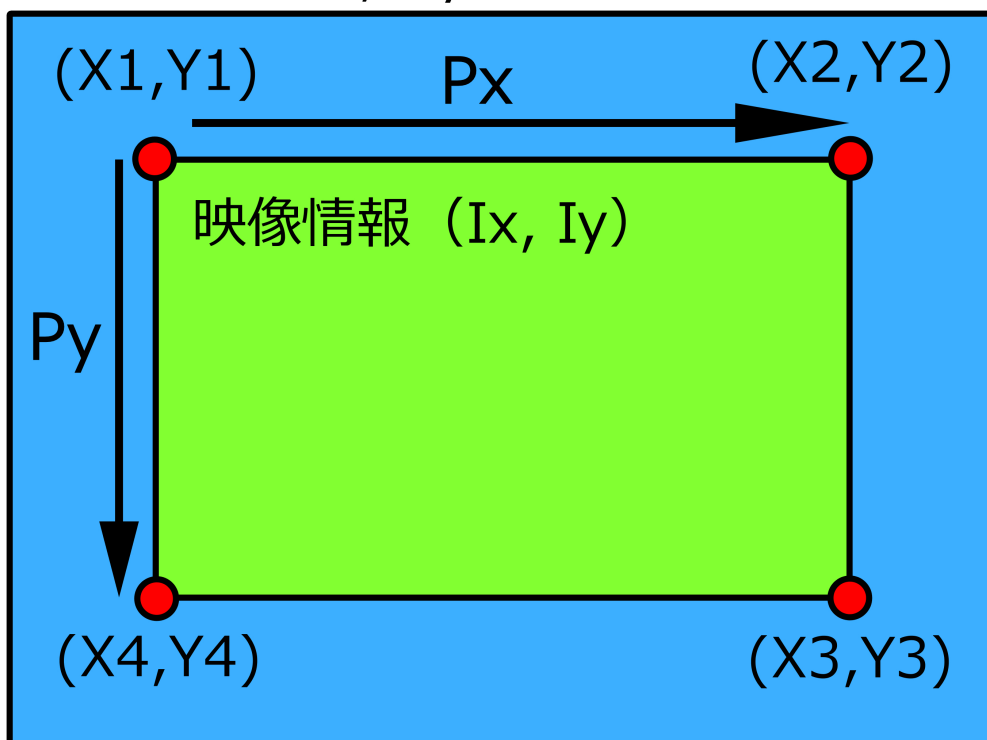


図 4.4: 映像情報と深度情報のマッチング

4.3.2 ユーザの認識

本システムでは机の上に置かれたカメラの映像中のユーザを認識し、映像情報中のユーザのみを机の対面に表示することで、対面同席感を実現する。映像情報中のユーザ認識には OpenNI の UserGenerator を用いた。UserGenerator を用いることで、Kinect が撮影した映像情報中のユーザが存在する場所を認識・取得することができる。Kinect の映像情報を図 4.5 に、UserGenerator によって映像情報中のユーザを認識した結果を図 4.6 に示す。2 つの図を見ると、映像情報中のユーザを認識できていることがわかる。

4.3.3 机の対面の認識

本システムにおいて、机の対面に相手がいるように映像を提示するためには、システム側で机の対面はどこにあるのかを認識する必要がある。そこで机の対面にマーカーを設置し、DepthSense の映像情報中からマーカーを探索することによって、システム側から机の対面を認識できるようにした。本システムにて用いたマーカーを図 4.7 に示す。また、机の対面にマーカーを設置した様子を図 4.8 に示す。映像情報中のマーカーの認識には、ARToolKit の arDetectMarker というメソッドを用いた。arDetectMarker を用いることで、映像中のマーカーの中心や四隅の座標、マーカーの向き、マーカーのカメラから距離などがわかる。

4.3.4 深度平面の作成

机の対面に相手がいるように見せるためには、ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトを認識し、それによる遮蔽関係を実現する必要がある。その際、机の対面の様子を知らなければならないが、机の対面は一樣ではなく、ユーザの向きに伴って変形する。つまり、机の対面に正対した場合は一樣だが、斜めに向かった際には机の対面もまたその向きに応じて変形する。そのような可変する机の対面と、ユーザとの間にあるオブジェクトの遮蔽関係を実現する必要がある。そこで、本システムでは、机の対面に対するユーザの向きに応じて変形する深度平面を机の対面に作成する。これにより、ユーザの向きに応じて可変する机の対面の様子を知らることができ、また、点ではなく平面を作成することによって、オブジェクトによって隠れてしまう机の対面の様子も知ることができる。深度平面の利用については 4.3.6 にて述べる。

深度平面の作成方法は 3 通りある。以下、それぞれの作成方法について述べる。

マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法

DepthSense の映像情報中のマーカーの四隅の深度情報を元に深度平面を作成する。マーカーの中心の座標を (CX, CY) 、深度情報を $CD[mm]$ とする。マーカーの四隅の点の座標を左上から時計回りに $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$, $(X3, Y3)$, $(X4, Y4)$ とする。また、マーカーの四隅の点の深度情報を同様に左上から時計回りに $D1, D2, D3, D4[mm]$ とする。



図 4.5: Kinect の映像情報



図 4.6: Kinect の映像情報中のユーザ認識

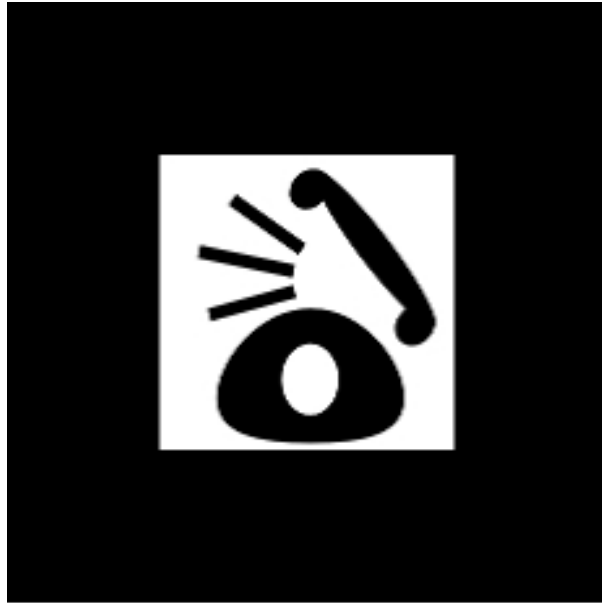


図 4.7: 机の対面を認識するために設置するマーカー



図 4.8: マーカーを机上に設置した様子

まず,1 ピクセルあたりの深度変化を算出する. X 座標方向の深度変化を $dpx[mm/pixel]$,Y 座標方向の深度変化を $dpy[mm/pixel]$ とする. マーカーの各点の座標と深度情報, 深度変化の関係図を図 4.9 に示す. dpx, dpy の算出には以下の式を用いる.

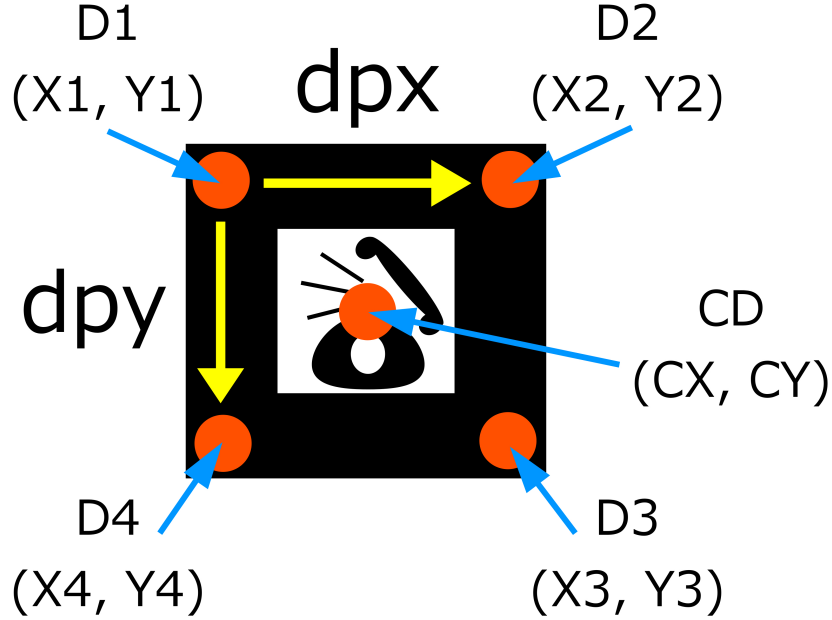


図 4.9: マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法

$$dpx = (D2 - D1) \div (X2 - X1) \quad (4.7)$$

$$dpy = (D4 - D1) \div (Y4 - Y1) \quad (4.8)$$

dpx, dpy はマーカーの四隅の深度情報の差分から算出される. マーカーに正対すると四隅の深度情報に大きな差は現れないため深度変化は 0 に近くなる. 対して, マーカーに対して斜めに向かうと, 四隅の深度情報の差分は大きくなるため, 深度変化もそれに伴って大きくなる.

深度平面の座標を (x, y) とすると, 座標 (x, y) における深度情報 $DS(x, y)[mm]$ は以下の式を用いて求められる.

$$DS(x, y) = CD + (x - CX) \times dpx + (y - CY) \times dpy \quad (4.9)$$

深度平面はマーカーの中心の深度を基準にし, 中心から離れるほど深度変化の影響が表れるように作成される. これにより, ユーザの向きに対応した深度平面を作成する.

マーカーの中心の周囲の深度情報を用いた作成方法

DepthSense の映像情報中のマーカーの中心とその周囲の深度情報を元に深度平面を作成する。マーカーの中心の座標を (CX, CY) 、深度情報を $CD[mm]$ とする。マーカーの中心の周囲の点の座標を上側から時計回りに $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$, $(X3, Y3)$, $(X4, Y4)$ とする。また、マーカーの中心の周囲の点の深度情報を同様に上側から時計回りに $D1, D2, D3, D4[mm]$ とする。

先と同様にまず、1ピクセルあたりの深度変化を算出する。X座標方向の深度変化を $dpx[mm/pixel]$ 、Y座標方向の深度変化を $dpy[mm/pixel]$ とする。マーカーの各点の座標と深度情報、深度変化の関係図を図 4.10 に示す。 dpx, dpy の算出には以下の式を用いる。

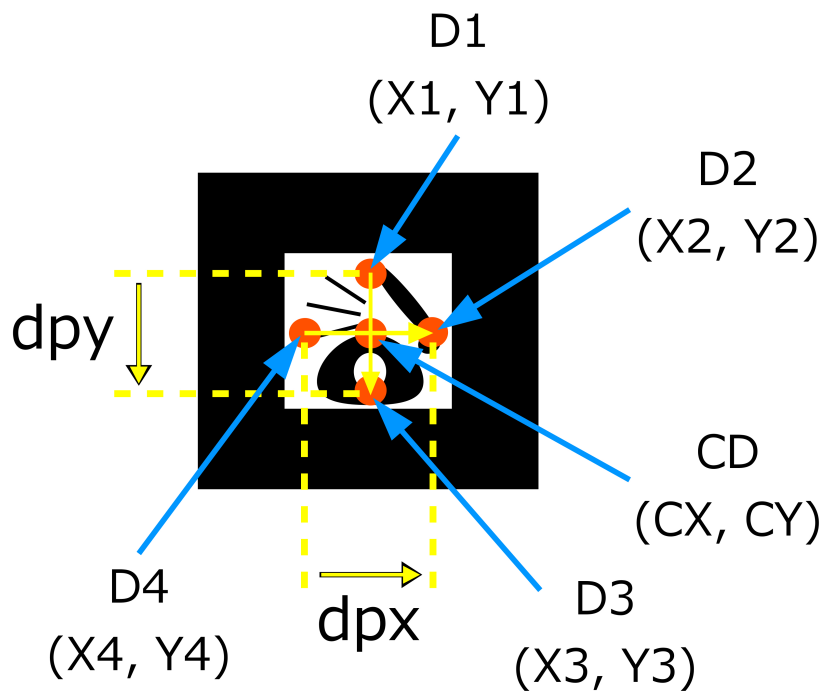


図 4.10: マーカーの中心の周囲の深度情報を用いた作成方法

$$dpx = (D2 - D4) \div (X2 - X4) \quad (4.10)$$

$$dpy = (D3 - D1) \div (Y3 - Y1) \quad (4.11)$$

マーカーに正対するとそれぞれの点の深度情報に大きな差は現れないため深度変化は 0 に近くなる。対して、マーカーに対して斜めに向かうと深度情報の差は大きくなるため、深度変化もそれに伴って大きくなる。

深度平面の座標を (x, y) とすると, 座標 (x, y) における深度情報 $DS(x, y)[mm]$ は式 4.9 を用いて求められる. これにより, ユーザの向きに対応した深度平面を作成する.

マーカースのカメラに対する回転角度を用いた作成方法

ARToolKit を用いてマーカースを探索した後, `arGetTransMat` を用いることでマーカースの回転行列を取得することができる. 回転行列とは 3 次元空間での X 軸, Y 軸, Z 軸周りの回転を表す行列である. ユーザの向きに対応した深度平面を作成するにあたり, マーカースの X 軸と Y 軸における回転角度 α, β [rad] を用いた. マーカースの各座標軸と回転角度を図示したものを図 4.11 に示す.

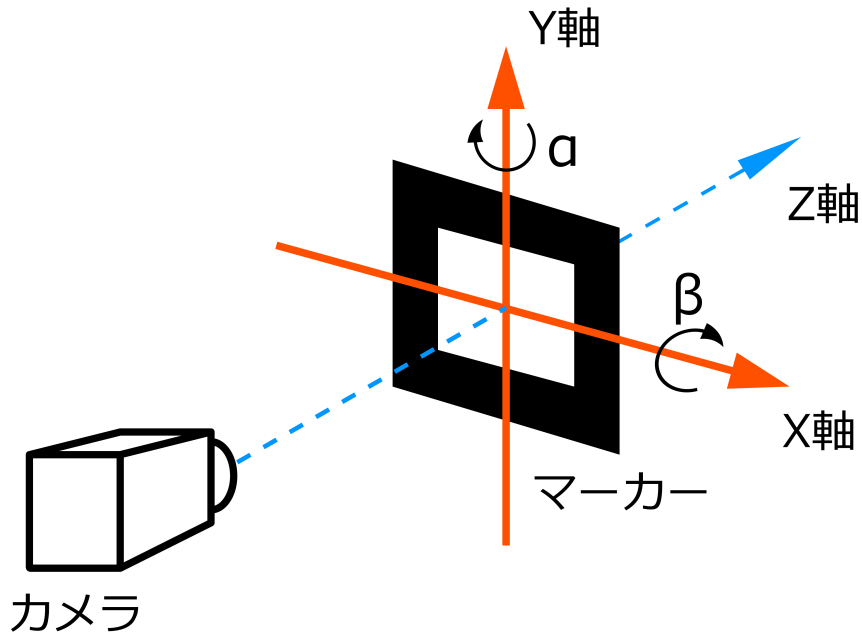


図 4.11: マーカースの各座標軸と回転角度

回転行列 R を,

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

とすると, X 軸と Y 軸の回転角度 α, β [rad] は,

$$\alpha = \sin^{-1}(r_{22}) \quad (4.13)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{-r_{21}}{r_{23}}\right) \quad (4.14)$$

で求まる. マーカーに正対した場合は α, β は共に 0 に近くなる. 対して, マーカーに対して斜めに向かった場合は α, β は向きに応じて大きくなる. マーカーを横から見た場合は Y 軸が回転するため α が大きくなり, 上下から見た場合は X 軸が回転するため β が大きくなる.

また, 探索したマーカーの横幅から 1 ピクセルあたりの長さを算出する. マーカーの横幅の長さ $MW[mm]$ は探索時に既知である. 映像中におけるマーカーの横幅と縦幅をそれぞれ $Mx, My[pixel]$ とすると, 1 ピクセルあたりの長さ $mPpx, mPpy[mm/pixel]$ は,

$$mPpx = MW \div Mx \quad (4.15)$$

$$mPpy = MW \div My \quad (4.16)$$

で求まる.

マーカーの中心の座標を (CX, CY) , 深度情報を $CD[mm]$ とし, 深度平面の座標を (x, y) とすると, マーカーの座標軸が角度 $\alpha, \beta [rad]$ だけ傾いた際の座標 (x, y) における深度変化 $Dx(x, y), Dy(x, y)[mm]$ と, 深度平面の深度情報 $DS(x, y)[mm]$ は以下の式で求められる.

$$Dx(x, y) = (x - CX) \times mPpx \times \tan(\alpha) \quad (4.17)$$

$$Dy(x, y) = (y - CY) \times mPpy \times \tan(\beta) \quad (4.18)$$

$$DS(x, y) = CD + Dx + Dy \quad (4.19)$$

Dx, Dy の計算式を捕捉する図を図 4.12, 図 4.13 に示す.

図中の角度 α, β に着目すると, 深度変化 Dx, Dy の計算式は,

$$\tan(\alpha) = \frac{Dx[mm]}{(x - Dx)[pixel] \times mPpx[mm/pixel]} \quad (4.20)$$

$$\tan(\beta) = \frac{Dy[mm]}{(y - Dy)[pixel] \times mPpy[mm/pixel]} \quad (4.21)$$

という三角関数から来ていることがわかる.

このようにして, ユーザの向きに応じた深度平面を作成する.

本システムで採用した作成方法について

遮蔽関係の実現には深度平面が必要不可欠である. 遮蔽関係の実現を安定させるためには, 深度平面が安定して作成されなければならない. 実装初期には「マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法」を採用していたが, 机の対面, つまりマーカーとユーザとの距離が遠くなると深度平面が安定して作成されないという問題が生じた. これは遠距離における深度情報の測

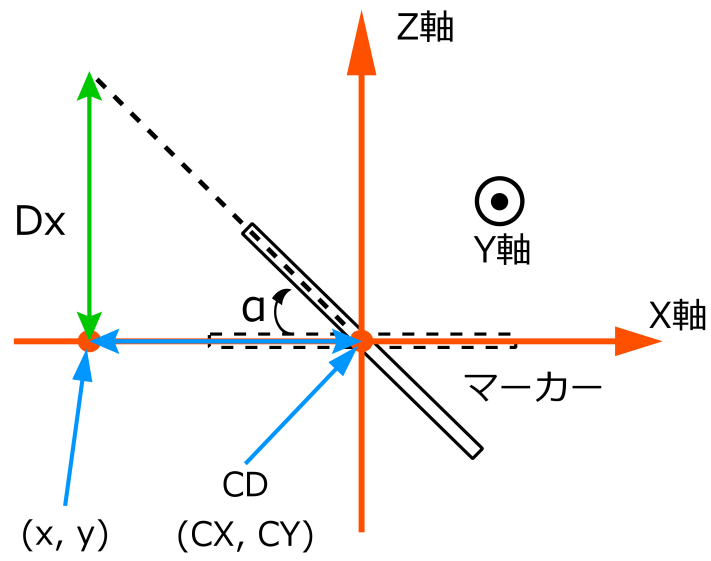


図 4.12: Dx の計算式の捕捉図

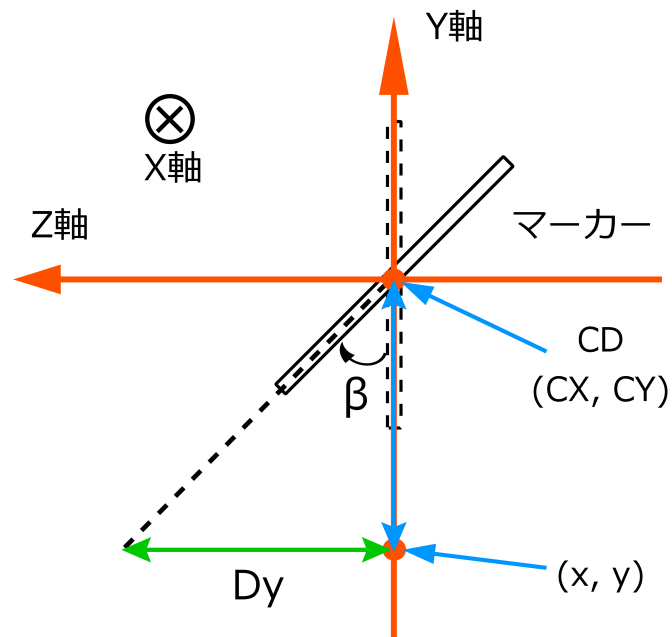


図 4.13: Dy の計算式の捕捉図

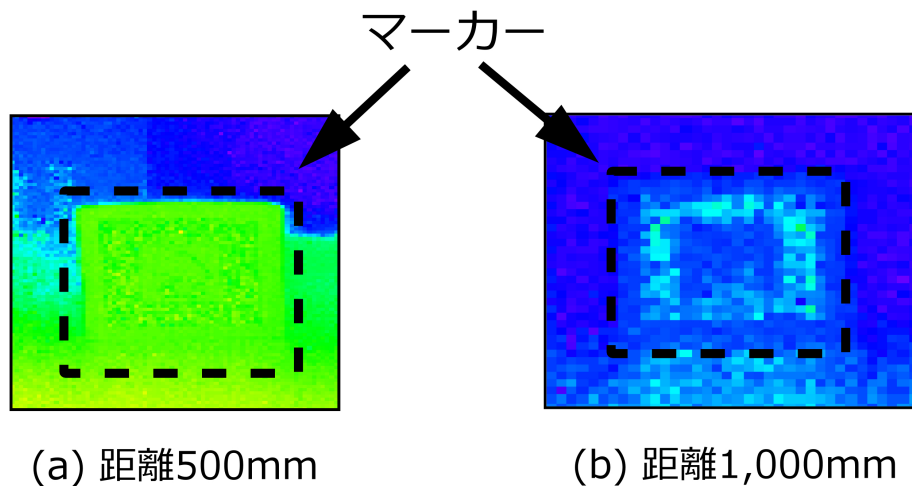


図 4.14: 近・遠距離に設置されたマーカーの深度情報

定誤差が原因だと考えた. 近距離と遠距離にマーカーを設置し, DepthSense で深度情報を測定した結果を図 4.14 に示す.

図 4.14 は DepthSenseViewer という公式ビューラーを用いて深度情報を測定し, そのスクリーンショットを撮ったものである. DepthSenseViewer では色によって深度情報を表しており, 深度情報が近いほど色も近いことになる. 図 4.14(a) はカメラに対して 500[mm] だけ離れた位置からマーカーの深度情報を測定したものである. マーカー全体において大きな色の違いは見られないことから, 近距離においては深度情報の測定が安定していることがわかる. 対して, 図 4.14(b) はカメラに対して 1000[mm] だけ離れた位置からマーカーの深度情報を測定したものである. これを見ると, マーカー中に青色の箇所と白色の箇所があることがわかる. これは色の違いから, それぞれの箇所において測定された深度情報が違うということを表している. 本システムで用いたマーカー (図 4.7) と見比べると, マーカーの中心の絵が描かれている場所は青色の箇所, マーカーの黒枠が白色の箇所であることがわかる. また, マーカーの黒枠の箇所の深度情報には白色のみならず青色の箇所もあったりすることから, マーカーの黒枠の箇所においては深度情報の測定が安定していないことがわかる. 「マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法」は四隅の深度情報を用いて深度平面を作成しており, 遠距離においては四隅の深度情報が安定しないという観測結果から, 「マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法」では遠距離では深度平面が安定して作成されないということがわかる.

図 4.14 から遠距離において四隅の深度情報は安定しないが, 色を見ると, 中心とその周辺の深度情報は安定していることがわかる. このことからマーカーの中心とその周囲の深度情報を用いる「マーカーの中心の周囲の深度情報を用いた作成方法」を考案し, 実装した. マーカーの四隅の深度情報を用いた作成方法と比べて深度平面の作成は安定するかに思えたが, こちらも同様に時折安定しない状況が見られた. その原因もまた同様にマーカーと中心とその周囲の

深度情報の誤差だと考えた。図 4.14 を見ると近・遠距離ともに、マーカールの中心とその周囲において、色からは大きな違いは見られないが、深度情報ではわずかな誤差が測定された。このわずかな誤差が原因となり、深度平面の作成が安定しないことがわかった。

マーカールの深度情報から机の対面に対するユーザの向きを測定し、ユーザの向きに応じた深度平面を作成することは安定しないことがわかった。そこで、映像情報中のマーカールからユーザの向きを計測する「マーカールのカメラに対する回転角度を用いた作成方法」を考案し、実装した。これは、映像情報中にあるマーカールを探索することができれば、近距離・遠距離問わずマーカールの向きを計測することができるからである。これにより、ユーザの向きに応じた深度平面をいかなる距離においても安定して作成することが可能になった。

以上のことから本システムでは、安定した深度平面の作成のために「マーカールのカメラに対する回転角度を用いた作成方法」を採用した。だが、この方法は ARToolKit を用いてマーカールを探索しているから可能であることである。マーカールではなく、フラッグやボールなどの模様や形状が特徴的なオブジェクトを用いる場合は、「マーカールの四隅や中心の周囲の深度情報を用いた作成方法」を用いることになる。その際には深度情報の誤差への対処が必要だと考える。

4.3.5 ユーザのシステム利用状況に応じた見え方の変化

実際に机の対面に相手がいる状況で、ユーザが首をかしげるといった顔を回転させる動作を行った際、相手の姿は回転動作に追従せず、机の対面に固定されたままである。また、ユーザが対面に近づいた際にはそれに伴って相手の姿も大きくなり、逆に遠ざかった際には相手の姿は小さくなる。本システムでは対面同席感のある見え方を実現するにあたり、上記のような「ユーザが顔を回転させた際の見え方の変化」と「ユーザと机の対面との距離に応じた見え方の変化」を実現する。以下、「ユーザが顔を回転させた際の見え方の変化」と「ユーザと机の対面との距離に応じた見え方の変化」について述べる。

ユーザが顔を回転させた際の見え方の変化

ユーザが顔を回転させた際、映像情報中のマーカールもまた同様に回転する。そこで、ユーザの顔の回転角度を、映像情報中のマーカールから算出する。マーカールの左上の点の座標を $(X1, Y1)$ 、右上の点の座標を $(X2, Y2)$ とし、点間の座標の差を dx, dy とすると、回転角度 θ [rad] は以下の式で求まる。

$$dx = X2 - X1 \quad (4.22)$$

$$dy = Y2 - Y1 \quad (4.23)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad (4.24)$$

マーカールの各点の座標と回転角度の関係図を図 4.15 に示す。

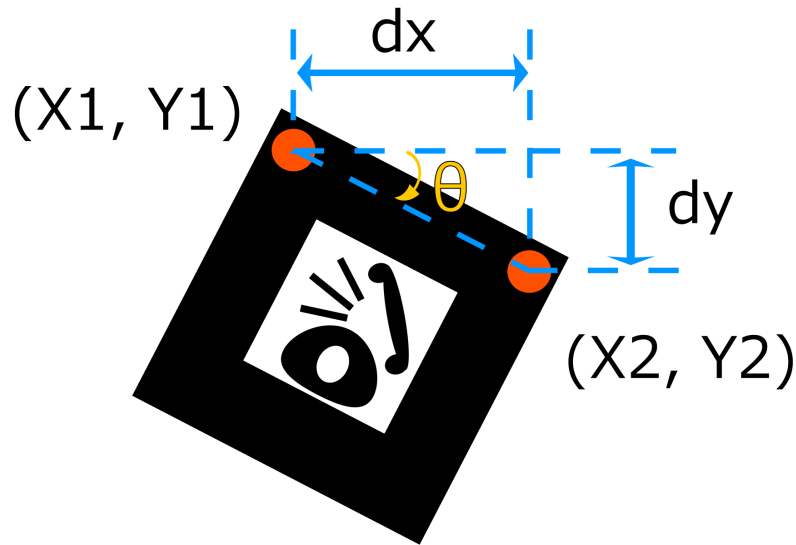


図 4.15: マーカーの各点の座標と回転角度

その後, 求められた回転角度 θ の分だけ, Kinect から取得された相手の映像情報とユーザ認識の結果を回転させる. dy が正の場合, 顔は右回転しているため, 映像情報とユーザ認識結果は左回転させる. dy が負の場合, 顔は左回転しているため, 映像情報とユーザ認識結果は右回転させる. これにより, ユーザが顔を回転させた際の見え方の変化を実現する.

ユーザと机の対面との距離に応じた見え方の変化

ユーザと机の対面との距離に応じて, Kinect から取得された相手の映像情報とユーザ認識の結果を拡大・縮小する. 基準となる距離を定義し, 基準となる距離よりもユーザと机の対面との距離が近い場合は元の映像情報の一部を拡大し, 遠い場合は映像情報全体を縮小する. 拡大・縮小のイメージを図 4.16 に示す. 拡大・縮小の比率は基準となる距離と現在のユーザと机の対面との距離から算出される. 基準となる距離を $ND[mm]$ とし, 現在のユーザと机の対面との距離を $MD[mm]$ とすると, 比率 Amp は以下の式を用いて算出される.

$$Amp = ND \div MD \quad (4.25)$$

基準となる距離を調整することによって, ユーザと机の対面との距離に応じた見え方の変化を実現する.

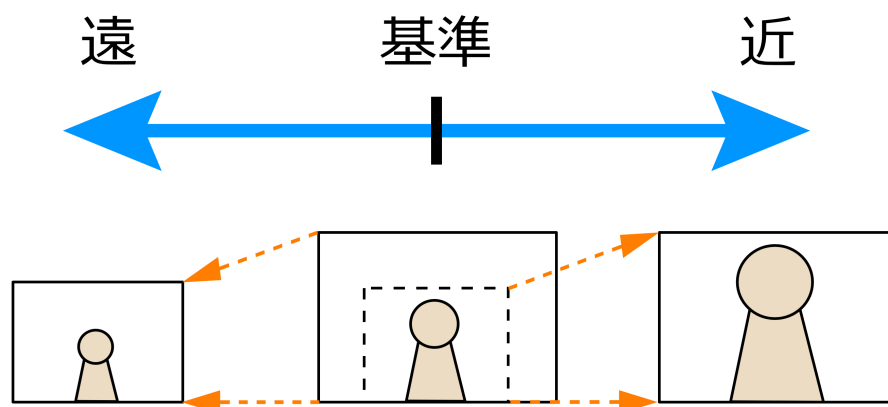


図 4.16: 拡大・縮小のイメージ

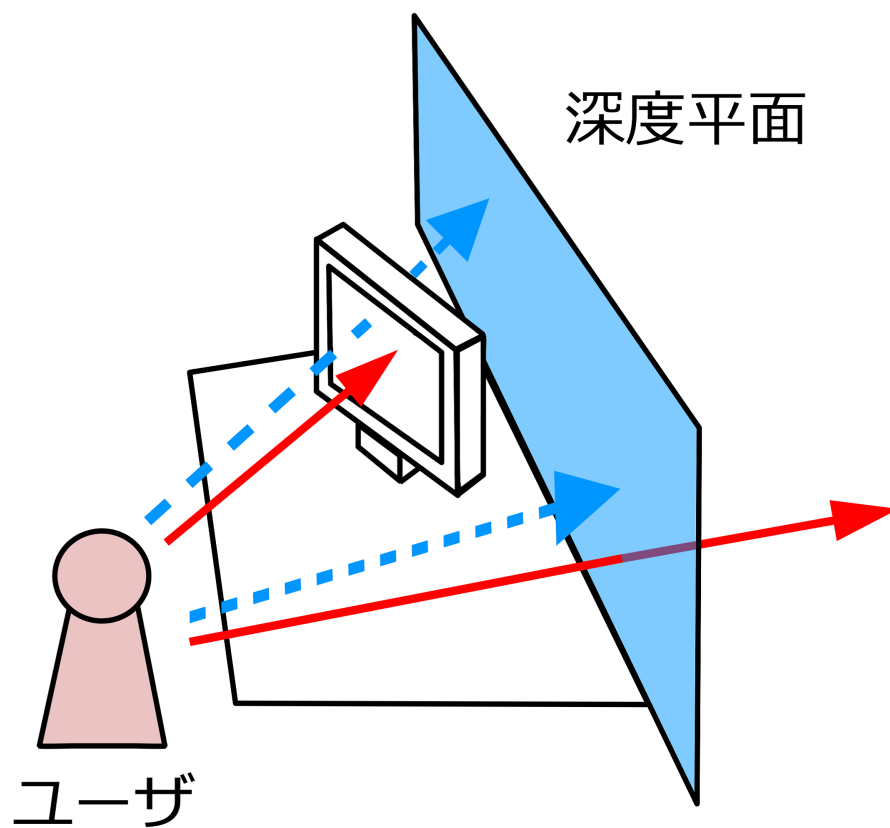
4.3.6 対面同席感のある見え方の実現

実際に机の対面に相手がいる状況で、ユーザと相手の間にディスプレイや本棚などのオブジェクトが机上にある場合、オブジェクトによって相手の姿は隠れて見えなくなる。また、目の前にユーザの手が差し出された場合、ユーザの手によって相手の姿は隠れて見えなくなる。本システムではそのような遮蔽関係を深度平面を用いて認識し、実現する。

机上にあるオブジェクトやユーザの手などによる遮蔽関係の認識

本システムでは机上にあるオブジェクトやユーザの手などによる遮蔽関係の認識を深度平面を用いることで実現する。深度平面は深度情報から構成されており、ユーザの机の対面に対する向きに応じて作成される。また、HMD に搭載された DepthSense はユーザの視界の映像情報を取得すると共に、ユーザの視界の深度情報を取得している。この深度平面とユーザの視界の深度情報を用いて遮蔽関係を実現する。

ユーザの視界の空間の深度情報と深度平面を比較する。ユーザの視界の空間のある地点の深度情報が深度平面よりも手前の場合、その地点では机の対面よりも手前側にオブジェクトが存在していることがわかる。また、ある地点の深度情報が深度平面よりも奥の場合、その地点ではユーザと机の対面との間には遮蔽関係となるオブジェクトは何も存在していないことがわかる。ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトの認識についての図解を図 4.17 に示す。これにより、ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトによる遮蔽関係を認識する。



→ ユーザの視界の空間深度情報

→ 深度平面の深度情報

図 4.17: ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトの認識

遮蔽関係を実現した相手映像の提示

ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトの認識の結果を用いて、遮蔽関係を実現しつつ、相手の映像を提示する。相手映像の提示には3つの判定が存在する。判定の流れを図4.18に示す。以下、それぞれ判定について述べる。

DepthSenseの映像情報中に存在する机の上に置かれたマーカーの下端を基準点として、相手映像の下端を基準点に合わせて、DepthSenseの映像情報中に重畳表示する。その際、提示する相手映像がDepthSenseの映像情報の解像度の範囲内に存在するかどうかを判定する。DepthSenseの映像情報中のマーカーの中心座標を (CX, CY) 、マーカーの四隅の座標を左上から $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$, $(X3, Y3)$, $(X4, Y4)$ とする。重畳表示する相手映像の解像度を (Iw, Ih) とする。重畳表示する相手映像中における現在の座標を (x, y) とすると、座標 (x, y) のDepthSenseの映像情報中での座標 (X, Y) は以下の式で求められる。

$$X = CX - Ix \div 2 + x \quad (4.26)$$

$$Y = CY + (Y4 - Y3) \div 2 - Iy + y \quad (4.27)$$

図4.19に座標変換の図解を示す。座標 (X, Y) がDepthSenseの映像情報の解像度の範囲内に存在するならば相手映像を重畳表示し、存在しないのならば何も行わず、次の座標での判定を行う。次に、ユーザと机の対面との間にあるオブジェクトの認識結果から、相手映像の重畳表示の判定を行う。机の対面との間にオブジェクトが存在していない場合、ユーザと相手との間に障害となる物は存在しないため、相手映像を重畳表示する。机の対面よりも手前にオブジェクトが存在している場合、そのオブジェクトによる遮蔽関係を実現しなければならないため、何も行わない。そして、4.3.2にて行ったユーザ認識の結果を用いて、Kinectの映像情報中の相手ユーザの姿だけを重畳表示する。ユーザが存在する場所には相手映像を重畳表示し、存在しない場所は何もしない。

以上の3つの判定を行うことで、ユーザの机の対面に遠隔地にいる相手がいるように見える、対面同席感のある見え方を実現する。

図4.20に対面同席感のある見え方のシステムの出力映像を提示する。出力映像中に映っている相手映像は図4.5である。このように机の対面に相手がいるように見え、机にあるノートPCによって遮蔽関係が実現されていることが分かる。

相手のいる空間との対面同席感の実現

本システムでは遠隔地にいる相手と、相手のいる環境との対面同席感も実現することができる。先の「遮蔽関係を実現した相手映像の提示」にて行っていた3つの判定の中の「ユーザ認識の結果を用いた相手映像中のユーザの存在の判定」を行わないことでこれを実現する。図4.21に相手のいる空間との対面同席感の実現をした、システムの出力映像を提示する。このように机を挟んで相手と相手のいる空間と対面することができ、また机の上に置かれたオブジェクトによる遮蔽関係が実現されていることがわかる。

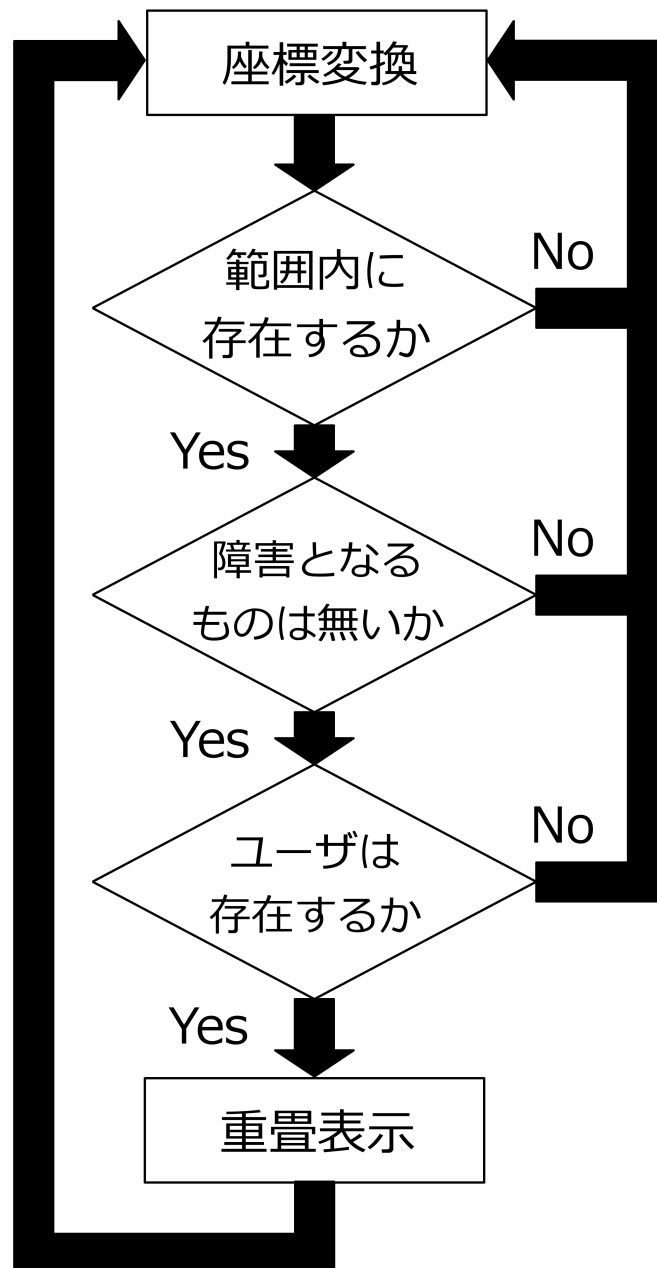


図 4.18: 遮蔽関係を実現した相手映像の提示のための3つの判定とその流れ

DepthSenseの映像情報

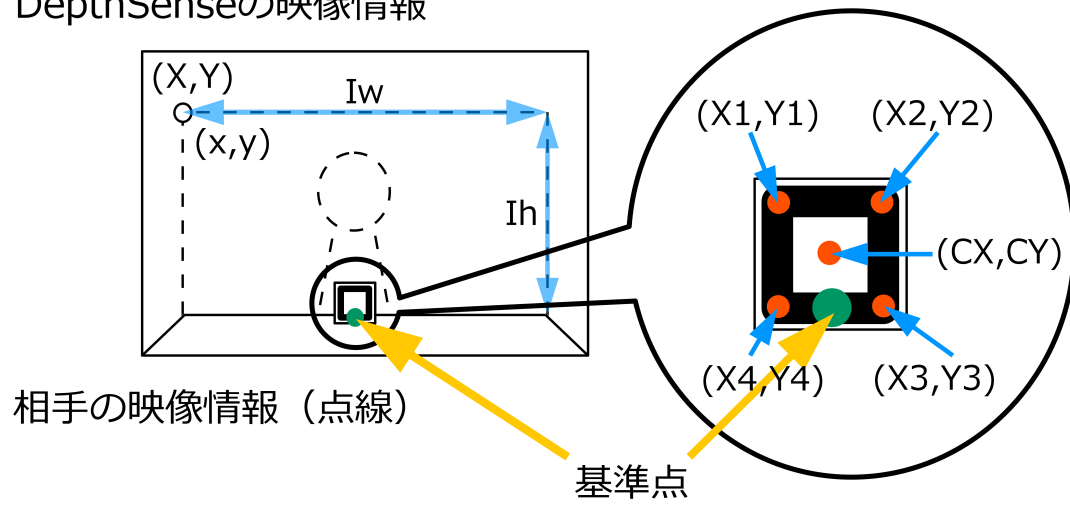


図 4.19: 座標変換の図解

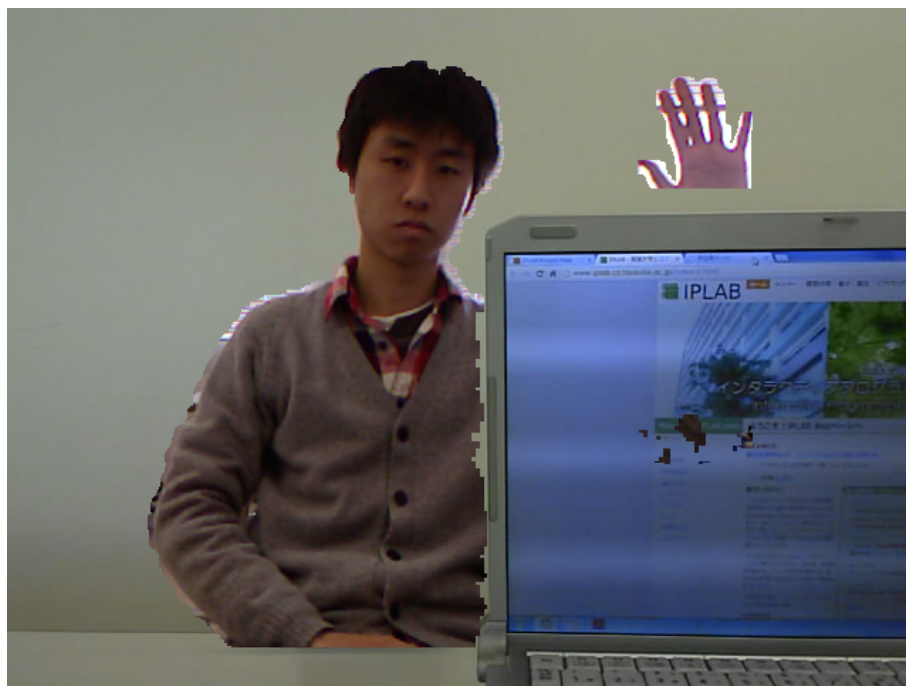


図 4.20: 対面同席感のある見え方のシステムの出力映像



図 4.21: 相手のいる空間との対面同席感の実現

第5章 関連研究

遠隔コミュニケーションシステムの研究について述べる。遠隔コミュニケーションシステムの研究を、設置物を用いた研究と、装着物を用いた研究の2つに大別し、それぞれについて述べる。また、本研究の位置づけを述べる。

5.1 設置物を用いた研究

スクリーンやディスプレイ装置を設置し、遠隔地にいる相手の姿や相手のいる環境をユーザのいる環境に投影・表示することで、遠隔地にいる相手との同室感をもたらす研究がある。

VideoWindow[2] は離れた場所にある2か所の部屋を常時接続し、お互いの部屋の様子を等身大で表示し、互いの部屋にいるユーザ同士があたかも同じ空間で会話を行っているような感覚をもたらすシステムである。Kenichi ら [3] は MAJIC スクリーンという前面は光を通さず、背面からは光を通す特殊なスクリーンを用いて、MAJIC スクリーンの前にワークスペースを構えるユーザの姿をスクリーンの背面からカメラで撮影し、遠隔地と映像や音声をやり取りすることで、互いに向かい合い、コミュニケーションを行うことのできるシステムを作成した。Agora[4] や AgoraG[5] は遠隔地にいる相手の姿を投影するスクリーンを前面に設置すると共に、共有作業領域を設置し、その領域を介して遠隔地にいる相手と共同作業を行うことのできるシステムである。共有作業領域に互いのユーザが置いた書類などのオブジェクトを見て、指示をするなどのコミュニケーションを行うことが可能である。MultiView[6] はユーザの前面に設置されたスクリーンの上部に複数のカメラを設置・撮影し、ユーザが正面から見た場合は中央に設置されたカメラの映像を、左右から見た場合は左右に設置されたカメラの映像を投影することで、ユーザの見る角度に応じて適切な見え方を提供するシステムである。

Abigail[7] はユーザのいる部屋にディスプレイとスピーカーが付いた装置を設置し、ディスプレイに遠隔地にいる相手の映像を表示し、スピーカーからは映像中の相手の音声を流すことで、遠隔地にいる相手とコミュニケーションを行うことのできるシステムを開発した。未来電話 t-Room[8] は巨大なディスプレイでユーザの周りを囲み、ディスプレイに遠隔地にいる相手の映像を表示することで、遠隔地のユーザとの物理的位置関係の再現と映像・音声情報の対称性を実現したシステムである。藤田ら [9][10] はドア型タンジブルインタフェースを覗くことで遠隔地にいる相手とコミュニケーションを行うシステムを開発し、それにより遠隔地にいる相手の存在感や立体感が増すことを評価実験によって検証した。LiveMask[11] は立体的な顔の形状をしたスクリーンに遠隔地にいる相手の顔の映像を投影し、相手の首の動きに応じて顔スクリーンもまた同様に動くことにより、臨場感や存在感のあるコミュニケーションを実現する

システムである。大塚ら [12] は枠なし透明スクリーンへ背景なし人物映像を投影し、投影されているユーザの首振りや頷きの動作をスクリーンを傾けることで再現することで、複数人物の対面会話場面を実世界に再構成するシステムを開発した。また、被験者実験により会話者が話しかけた相手がより正確に理解されることの妥当性を示唆した。

上記の研究と本研究において、ユーザがいる空間と相手のいる空間とが繋がっているように見せることで、遠隔地にいる相手と同じ空間にいるような感覚をもたらそうとしている点において共通している。だが、これらの研究は相手を等身大に見せるためのディスプレイ装置やスクリーンなどの設置が必要であるため、システムを利用することのできる場所は室内などに限られ、固定されてしまう。そのため、室外においても同様のシステムを利用することはディスプレイ装置の運搬や設置などの要因から困難であることがわかる。

5.2 装着物を用いた研究

HMD に遠隔地にいる相手の様子を表示することで、遠隔地にいる相手との同室感をもたらす研究がある。

Simon ら [13] は HMD に搭載されたカメラを介して、遠隔地にいる相手の 2D・3D 映像をマーカー上に表示するシステムを開発した。井上ら [14] は遠隔地で行われている会議に 3D モデルのアバターを介して参加することのできるシステムを開発した。HMD には磁気センサが付いており、それによりユーザの位置と向きを測定し、アバターの振る舞いに反映させることにより、ユーザの遠隔参加者に対する視線行動に影響を及ぼすことを実験にて示した。岡本ら [15] はテーブルや壁に複数のマーカーが配置された空間を構成し、空間内にて遠隔地にいる相手の三次元メッシュを表示するシステムを開発した。また、遠隔作業指示を想定し、目の前に仮想立体を提示し、遠隔地にいる相手が指を指した仮想立体を答えるタスクを行った。その結果、三次元的な作業空間共有において有効であることを検証した。また、仮想立体との隠蔽関係を再現することは、共有の作業空間を認識する上で有効であることを示した。Stephan ら [16] は複数のユーザの 3D モデルをリアルタイムで作成し、VR 空間に反映させることで、遠隔地にいるユーザと共に VR 空間内に作成されたミュージアムを散策するシステムを開発した。Anderw ら [17] はユーザが面している机の対面に遠隔地にいる相手が座っているように見せるシステムを開発した。また、遠隔地にいる相手と相手のいる空間とも対面することができ、さらにユーザ自らが相手のいる空間に没入することもできる。透過型 HMD に相手の映像を表示すると共に、相手ユーザが見える場所に黒色のシルエットが生じるように、それ以外の場所に白色のプロジェクトンを環境に対して行うことで、透過型 HMD を用いながらも、相手の姿を明瞭に見えることを実現している。また、ユーザのいる空間をリアルタイムで測定しているため、ユーザの目の前に本や手のひらが現れた際、それらによる隠蔽関係を実現している。

上記の研究と本研究において、ユーザと遠隔地にいる相手とが互いに対面しているように見せることにより、遠隔地にいる相手と同じ空間にいるような感覚をもたらそうとしている点において共通している。

5.3 本研究の位置づけ

本研究は HMD を用いる点から装着物を用いた研究に位置する。また, 上記の研究は室内環境でのみの利用を想定したシステムである。そのため, 室外で同様のシステムを利用をすると, 等身大の相手を表示するためのディスプレイ装置の運搬によるユーザの負担が考えられる。対して本研究は, 遠隔コミュニケーションシステムの利用可能環境の拡大の背景を見据え, 可搬性に優れた HMD を採用し, 室内のみならず室外での利用も想定した設計をしたシステムである点で異なる。

第6章 今後の課題

今回, 遠隔コミュニケーションにおける対面同席感のある見え方のシステムを実装した. ここでは, 本研究の今後の課題について以下に記す.

6.1 遠隔地との通信

今回実装したシステムは相手の映像がHMDにはどのように映るのか, を実現したものであり, 遠隔地との通信の実装は行ってはいない. そこで, 今後の課題として, 今回実装した対面同席感のある見え方のシステムに, 遠隔地との映像の通信を組み込むことが挙げられる. 遠隔地との映像の通信を行う際, 通信状況によってはHMDに表示される映像に遅延が生じる可能性がある. そのため, 映像の遅延を見据えた実装を行う必要がある.

6.2 対面同席感のあるやり取りのシステム

2.3 にて述べた, 対面同席感のあるやり取りのシステムを実装する. また, 実現するやり取りは予備実験の調査結果から再度見定める. 予備実験は実際に2名を机を挟んで対面させて共同作業を行わせる, といったものを想定している.

6.3 評価実験

従来の遠隔コミュニケーションシステムと比較を行い, 本システムにおいて対面同席感があるかどうかを評価するための実験を行う. 評価実験として, 遠隔地にいる相手と共同作業を行わせ, 見え方ややり取りに対面同席感があるかどうかを調査することを想定している.

第7章 結論

本研究では同室感のある遠隔コミュニケーションを目的とし、遠隔コミュニケーションにおける対面同席感の実現を目指した。対面同席感とは机を挟んで向かい合っているような感覚のことである。そこで、本研究では対面同席感のあるシステムを提案・設計し、対面同席感のある見え方のシステムを実装した。

ユーザは机上にユーザの姿を撮影するためのカメラと、机の対面をシステムに認識させるためのマーカーを設置する。そして、深度情報を取得することのできるカメラが搭載されたヘッドマウントディスプレイを装着することで、机の対面に相手がいるように見ることができる。相手の姿は、ユーザと机の対面との距離に伴いスケールが変化し、また、ユーザの顔の回転動作に伴い、机の対面に固定されているように見える。そして、机上に置かれたディスプレイや本棚、ユーザの手や腕による相手の姿の見え隠れを実現する。このようにユーザの状況や環境に伴った見え方を実現することにより、机の対面に相手がいるように見せ、遠隔コミュニケーションに同室感をもたらすことを狙った。

本システムは机上にカメラを設置し、それに向かって利用するシステムである。従来の遠隔コミュニケーションシステムの利用スタイルに乗っ取っていることから、ユーザにとって違和感のない、扱いやすいシステムである。また、HMDを装着して利用するため、屋内のみならず屋外においても同様にシステムを利用することができる。このように、屋内外問わず高速通信が可能な現在の情報通信環境を想定した設計をしたシステムであることが、既存の研究にはない、本研究の貢献である。

謝辞

本論文の執筆にあたり, ご指導頂きました田中二郎教授に心より感謝申し上げます. そして, 三末和男准教授, 高橋伸准教授, 志築文太郎准教授, 嵯峨智准教授, Simona Vasilache 助教には日々のゼミでの発表や研究室での日常生活の中で, 様々な貴重なご意見を頂きました. 本当にありがとうございました. 最後に, IPLAB の先輩方と同期の方々, 後輩達, 群馬工業高等専門学校で共に勉学に励んだ友人達, 群馬にいる両親, この2年間で関わった多くの方々に感謝申し上げます.

参考文献

- [1] 原田康德, “同室感通信”, WISS’98, pp.53-60, 1998.
- [2] Robert S. Fish, Robert E. Kraut, and Barbara L. Chalfonte, “The VideoWindow System in Informal Communications”, CSCW’90, pp.1-11, 1990.
- [3] Kenichi Okada, Fumihiko Maeda, Yusuke Ichikawaa, and Yutaka Matsushita, “Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design”, CSCW’94, pp.385-393, 1994.
- [4] Hideaki Kuzuoka, Jun Yamashita, Keiichi Yamazaki, and Akiko Yamazaki, “Agora:A Remote Collaboration System that Enables Mutual Monitoring”, CHI’99, pp.190-191, 1999.
- [5] 山下 淳, 葛岡英明, Paul Luff, 山崎敬一, 山崎晶子, “AgoraG:遠隔操作型レーザポイントと書画カメラを備えた遠隔共同作業支援システム”, HIS’01 論文集, pp.585-588, 2001.
- [6] David T. Nguyen, John Canny, “Multiview:improving trust in group video conferencing through spatial faithfulness”, CHI’97, pp.1465-1474, 2007.
- [7] Abigail J. Sellen, “Speech Patterns In Video-Mediated Conversations”, CHI’92, pp.49-59, 1992.
- [8] 平田圭二, 梶 克彦, “未来の電話 t-Room:対面環境の再現を目指すビデオコミュニケーションシステム”, 電子情報通信学会総合大会’09, SS-23 - SS-25, 2009.
- [9] 藤田真吾, 吉野 考, “ドアコム: タンジブルインタフェースを用いたビデオチャットシステム”, IPSJ Interaction 2011, pp.757-760, 2011.
- [10] 藤田真吾, 吉野 考, “重畳表示型ビデオチャットにおける枠の3次元的な移動と存在の効果”, IPSJ Interaction 2012, pp.813-818, 2012.
- [11] 三澤加奈, 石黒祥生, 歴本純一, “LiveMask:立体顔形状ディスプレイを用いたテレプレゼンスにおけるコミュニケーションの評価”, IPSJ Interaction 2012, pp.41-48, 2012.
- [12] 大塚和弘, 熊野史郎, 三上弾, 松田昌史, 大和淳司, “MM-Space:動的投影を用いた頭部運動の物理的補強表現に基づく会話場再構成”, IPSJ Interaction 2012, pp.33-40, 2012.
- [13] Simon Prince, Adrian David Cheok, Farzam Farbiz, Todd Williamson, Nik Johnson, Mark Billinghurst, and Hirokazu Kato, “3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality”, IWAR’98, pp.364-371, 2002.

- [14] 井上智雄, “実対人距離を調節可能な複合現実分散会議システム”, 情報処理学会論文誌 Vol.50 No.1, pp.246-253, 2009.
- [15] 岡本祐樹, 北原 格, 大田友一, “遠隔協調型複合現実感における作業空間のための立体人物提示”, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J94-D No.5, pp.830-838, 2011.
- [16] Stephan Beck, Andre Kunert, Alexander Kulik, and Bernd Froehlich, “Immersive Group-to-Group Telepresence”, IEEE Visualization and Computer Graphics '13, pp.616-625, 2013.
- [17] Andrew Maimone, Xubo Yang, Nate Dierk, Andrei State, Mingsong Dou, and Henry Fuchs, “General-Purpose Telepresence with Head-Worn Optical See-Through Displays and Projector-Based Lighting”, IEEE VR '13, pp.23-26, 2013.
- [18] 鹿山晃弘, 田中二郎, “対面同席感のある遠隔コミュニケーションシステム”, FIT2013, 第3分冊, K-006, pp.533-534, 2013.