

平成21年度

筑波大学第三学群情報学類

卒業研究論文

題目

インタラクティブなスポットライトを介した
遠隔コミュニケーションシステム

主専攻 情報科学主専攻

著者 奥村 典明

指導教員 高橋伸 志築文太郎 三末和男 田中二郎

要 旨

相手の気配や行動を察知すること（アウェアネス）は互いにコミュニケーションを起こすきっかけとなるが、遠隔者同士の場合は、同じ空間を共有していないためにこのようなアウェアネスの共有が難しく、コミュニケーションを取りづらくなる問題がある。本研究では、ユーザの傍らに相手の存在を示唆するスポットライトによる光の投影を行い、そのライトに手をかざすことによりコミュニケーションをとることのできるシステムを提案する。ユーザはそのスポットライトの様子から相手の存在のアウェアネスを得ることによって同じ空間を共有している感覚を得ることができ、自然にコミュニケーションをとることが可能となる。

目次

第1章 序論	1
1.1 遠隔コミュニケーション	1
1.2 アウェアネスの重要性	2
1.3 遠隔コミュニケーションにおける問題点	3
1.3.1 アウェアネスが共有されない問題	4
1.3.2 プライバシーの問題	4
1.3.3 言葉への依存	4
1.4 本研究の目的	4
1.5 本論文の構成	5
第2章 関連研究	6
2.1 遠隔地間におけるコミュニケーションの支援	6
2.1.1 アウェアネスの提供	6
2.1.2 コミュニケーション	6
2.2 プロジェクタによる投影画面の操作手法	6
第3章 提案システム	8
3.1 コンセプト	8
3.2 システム概要	9
3.2.1 スポットライトの表示	9
3.2.2 相手に対するコンタクト	9
3.2.3 コンタクトの一致	10
第4章 システムの構成と実装	12
4.1 開発環境	12
4.2 ハードウェア構成	12
4.3 ソフトウェア構成	12
4.4 サーバプログラム	15
4.5 処理の流れ	17
4.6 画像認識スレッド	17
4.6.1 座標の変換方法	17
4.6.2 人物の位置の特定	20

4.6.3	手の動作の追跡	21
4.7	受信スレッド	22
4.8	処理スレッド	22
第 5 章	議論	24
5.1	提案手法の考察	24
5.2	今後の課題と展望	24
第 6 章	結論	26
	謝辞	27
	参考文献	28

図目次

1.1	様々なコミュニケーションツール	1
1.2	協調の階層モデル	3
3.1	活動が類似する場の例	9
3.2	スポットライトの表示例	10
3.3	遠隔地で表示されるエフェクト	11
3.4	タイミングが重なった時の表示	11
4.1	ハードウェア構成	13
4.2	システムの設置例	14
4.3	ソフトウェアのモジュール構成	16
4.4	サーバプログラムの動作アルゴリズム	16
4.5	画像認識スレッドのフローチャット	17
4.6	座標系の違い	18
4.7	調整用投影画像	19
4.8	人物領域の抽出	20
4.9	HS 空間における肌色領域	21
4.10	処理スレッドの手順	23

第1章 序論

1.1 遠隔コミュニケーション

近年，コンピュータ技術の発達やネットワーク帯域幅の増加により，いつでも，どこでも簡単に遠隔地にいる人とコミュニケーションをとることができるようになってきている．そのなかで現在主流となっている遠隔コミュニケーション手段にはメールや電話，チャット，テレビ電話などがある (図 1.1).



(a) メール

(b) テレビ電話

図 1.1: 様々なコミュニケーションツール¹

これらのコミュニケーション手段は，図 1.1 に示すように非同期コミュニケーションと同期コミュニケーションの2つに分類することができ，それぞれ異なった性質を持っている [1]. 例えば，同じテキスト情報をやり取りする手段であるメールとチャットでも，メールは非同期的なコミュニケーション手段であるのに対し，チャットは同期的なコミュニケーション手段である．そのため，メールは受信者側の自由なタイミングでメールの送受信を行えるなどという利点があるが，リアルタイムな返答がないために，互いに意識がうまく伝わらないといったことが起こる．

¹図 1.1(b) は Wikipedia(<http://ja.wikipedia.org>) より転載

また、情報量による違いも存在する。テレビ電話によるコミュニケーションは、チャットや電話と比べると、相手の表情や景色などの情報が加わり、さらに多くの情報量を伝えることのできる手段といえる。

表 1.1: コミュニケーションの性質

	側面	メリット	デメリット
同期 コミュニケーション	情報処理的	・リアルタイムに情報を 処理できる ・処理が早い	・複数の情報を同時に処 理できない
	心理的	・一体感がある ・繋がり感がある	・きっかけを作るのが難 しい ・割り込み感がある ・時間の束縛がある
非同期 コミュニケーション	情報処理的	・タイミングを合わせる 必要がない ・受信者のペースで情報 処理ができる	・処理が遅くなる
	心理的	・発信者の望むタイミン グで発信できる	・意識のズレが生じる場 合がある ・寂しさを感じる

遠隔コミュニケーション支援が対象とする環境にはいくつかの種類がある。1つは、ビデオ会議などに代表とされる、会社における会議や学校の授業などで用いられるフォーマルコミュニケーションを対象とした支援である。フォーマルコミュニケーションの特徴は、コミュニケーションをとる場や時間があらかじめ決められており、さらに長時間のコミュニケーションを要する大きなトピックを持っていることが多い。

2つ目はインフォーマルコミュニケーションの支援である。インフォーマルコミュニケーションの特徴は、発生するタイミングが場所、時間ともに偶発的であり、大きな話題から数分で終わってしまうような話題、さらには挨拶程度のちょっとしたコミュニケーションなど、様々な内容がやり取りされることである。フォーマルコミュニケーションが議題の決定や、大きな話題を持つ話を行うことを目的としているのに対し、インフォーマルコミュニケーションは、会社内や友達同士などの様々なコミュニティ内における人間関係の維持や発展を目的としたものがほとんどである。

もう1つは、居住空間などのよりプライベートな空間におけるコミュニケーションの支援である。この特徴は、発生するタイミングや内容の規模等の多くがインフォーマルコミュニケーションと類似している。しかし、対象ユーザが家族や恋人、親しい友達といったより親密な関係を持っている人々である場合が多い。

1.2 アウェアネスの重要性

人と人との関わり合いのモデルとして図 1.2 に示すように協調の階層モデルがある [2]。「コプレゼンス」とは、個々の人同士が、同じ空間、または同じ情報を共有することをいう。つ

まり、互いが会議室内にいたり、同じテーブルに座っていたりする時に成立する。「アウェアネス」とは、周りに誰がいるのか、その人が何をしているのか、話しかけてもいいのか、こういった状況なのか、などという一般的な周囲の人への気付きのことを言う。隣の席に、友達が座っていることに気付いたのであれば、その友達に対するアウェアネスを得たことになり、また彼が食事をしていることに気付いたのであれば、行動に対するアウェアネスを得たということになる。「コミュニケーション」とは、一般的に使われているように、お互いに情報交換を行うことである。やり取りされる情報の内容は特に限定されず、プライベートな話題や、挨拶など、あらゆるメッセージのやり取りがコミュニケーションの一部である。また「コラボレーション」とは、2人またはそれ以上の複数の人が協力して1つのタスクを遂行することである。サッカーやバレーといった集団スポーツや、企業における開発プロジェクトなどがそれにあたる。

自然な人との関わり合いでは、複数の人が集まり(コプレゼンス)、お互いに気付き(アウェアネス)、意識を共有して(コミュニケーション)、新しい価値を創造する(コラボレーション)というように、あるプロセスが機能するためには、その下にあるプロセスが支援されている必要がある。つまり、人同士が自然なコミュニケーションを行う際には、その下にあるプロセスであるアウェアネスの支援が重要であるということである。これは遠隔コミュニケーションにおいても非常に重要である。

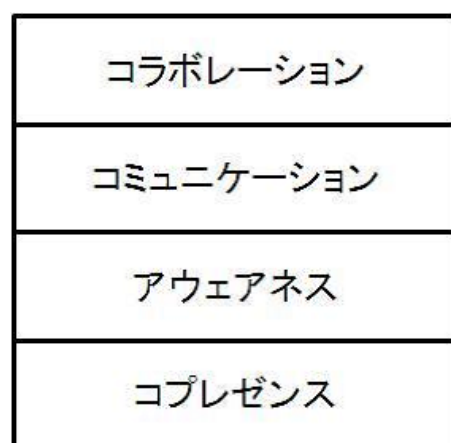


図 1.2: 協調の階層モデル

1.3 遠隔コミュニケーションにおける問題点

他人と空間を共有している対面環境など場合、歩いた時の音などの環境音や、本を読んでいる姿などの明示的に相手に提示しないような情報も常に受け取っている。つまり、1.2節で述べたコプレゼンスやアウェアネスのプロセスが常に機能している状態であるため、いつでも自然なコミュニケーションを行うことができる。これに対し、互いが離れた空間にいる分

散環境の場合には様々な問題が発生する。

1.3.1 アウェアネスが共有されない問題

互いが離れた空間にいる環境においては、物理的な制約から対面環境では機能していたコプレゼンスとアウェアネスが失われてしまう。現在は電話回線やインターネットが広く普及しているため、これらを介してネットワークで接続されることで互いのコプレゼンスはすぐに提供される。しかしアウェアネスは自動的に提供されず、またそれを提供するシステムも多くはない。このようなアウェアネスが得られない場合には様々な問題が生じる。電話をかけたい時に相手の状態を把握できないために、今電話をしても大丈夫だろうか、いつ連絡を取っていいのかということが分からず、相手へのコンタクトを躊躇してしまうということが起こる。また、相手の様子が分からないため、リアルタイムな話題が発生しにくい。

1.3.2 プライバシーの問題

インフォーマルな環境や、特に居住空間においては、対面環境で当たり前で共有していたすべての視覚情報や音声情報を常に映像等で共有することはあまり望ましくない。なぜなら、一般的に人はプライベートな空間にいる時ほど、プライバシーを気にするようになるため、自らが意識していない状態で生活音やその様子が外部に直接伝わってしまうのを嫌うからである。

1.3.3 言葉への依存

電話やメールなどの現在の遠隔コミュニケーションサービスは、文字などに明示的に表された言葉を用いたコミュニケーションのみを支援している。また、それらを用いてコミュニケーションを行う際は、ある話題をもってコンタクトをとることが多く、一定の情報量を必要とする。対面環境では、「おはよう」といった挨拶や、言葉を用いない会釈やアイコンタクトなど、ごくわずかな情報量でやり取りされるコミュニケーションも多く行われる。このようなコミュニケーションも互いの関係を良くする上で重要な要素である。しかし、このようなコミュニケーションを支援する一般的なサービスは存在しない。

1.4 本研究の目的

本研究では、ユーザに煩わしさを感じさせない手法で遠隔地のアウェアネスを提供し、コミュニケーションをとる上で、ユーザに対する敷居の低い非言語情報を用いたコミュニケーションを可能とするシステムを開発、検証することを目的とする。

1.5 本論文の構成

本論文は本章を含め 6 章で構成されている．第 2 章では関連研究について述べる．第 3 章では，本論文で提案するシステムについての概要を述べる．第 4 章では提案するシステムの構成，およびその実装方法を述べる．第 5 章では従来手法との比較，検討を行い，今後の課題等について議論を行う．そして，第 6 章では結論として本研究の総括を述べる．

第2章 関連研究

本章では、本研究の提案手法、技術に関連する研究について述べる。

2.1 遠隔地間におけるコミュニケーションの支援

2.1.1 アウェアネスの提供

離れて暮らす家族や恋人同士などを対象として、遠隔地のアウェアネスを共有させることで互いの存在を意識させ、コミュニケーションを支援する研究が行われている。そのアウェアネスの共有手段には様々な方法がある。

宮島らが提案するファミリープランター [3] は、プランター型のデバイスを利用し、モーションセンサにより近くの人動きを検知し、モータの回転や LED の発光により相手に存在を伝える。辻田らによる SyncDecor[4] は、遠隔地の相手の日常的な行動を、互いの家に置かれている日用品が同期することでさりげなく伝える。また、inPhase[5] は互いの行動の一致に着目し、「冷蔵庫を開ける」、「窓を開ける」、「テレビを見る」といった日常的行動が一致した場合に、ユーザに音による提示を行うシステムを提案している。藤田らによる Lovelet[6] は、相手がいる環境の気温や相手の体温を LED の発光によって伝える。群山らによる Limonect[7] は、互いの家におかれたマット型デバイスを利用する。マットに人が乗った場合に、相手のマット型デバイスに足跡の表示とその時の生活音を伝えることにより行動情報を伝える。

2.1.2 コミュニケーション

鈴木は、遠隔地の相手に「何かを伝える」という行為を、1bit のもっとも単純な情報のやり取りを繰り返すことによって行うコミュニケーションを提案しており、デバイスに備え付けられたボタンを押すことにより双方のデバイスの光の色を変化させコミュニケーションをとることができる [8]。Brave らによる inTouch[9] は、触覚情報を伝え合う。3 本のローラが平行に並べられたデバイスを介し、ユーザがローラを回すことにより相手側のツールに伝達されて同じように回転することでコミュニケーションをとることができる。

2.2 プロジェクタによる投影画面の操作手法

プロジェクタによって平面に投影されたオブジェクトに対する、タッチやポインティング等のジェスチャを認識するために、平面に静電式タッチセンサを取り付けることにより認識

する手法や、カメラで取得した画像から認識するといった手法がある。特にカメラの取得画像からの認識は、様々な方法により実現されている。その中でも、ユーザが特殊なデバイス等を手などに身につける必要がある手法と、ユーザが身につけるべきものを必要とせず、外部のセンサのみで認識する手法がある。

特殊なデバイス等をユーザが身につけて行う手法には、赤外線反射板を指先につけ、赤外線の照射を行ったものを赤外線カメラにより取得する方法や赤外線 LED が搭載されたスタイラスを利用する手法 [11]、カラーマーカをつけて通常のカメラで色による識別を行いやすくするといった手法 [12] がある。

一方、ユーザに身につけるものを必要としないものには、通常のカメラを用いて肌色認識などから手を認識する手法や、熱カメラを用いるといった手法 [10] がある。

第3章 提案システム

本章ではまず、本システムのコンセプトについて述べ、次に本システムその動作説明について述べる。

3.1 コンセプト

居住空間において日常行動をとる上で、ベッドならば「寝る」、キッチンならば「料理をつくる」、ソファならば「本を読む」、「テレビを見る」といったように、そこにいる人の活動を示唆するような一定の場が存在する。このような場は、間取りの異なる別々の居住空間においても共通して存在することが多い(図 3.1)。そこで互いが共通の場にいるときに、相手の存在の Awareness を与えることにより、相手が同じ空間にいることを感じさせる。活動を示唆する場であることで、はっきりとは分らないが、相手の活動を想像することができる。例えば、その場がキッチンであれば「料理を作っているのではないか」や、ベッドであれば「寝ているのではないか」といったことが想像できる。また、ソファであれば「テレビを見ているのではないか」や「本を読んでいるのではないか」などがある。このような Awareness が、互いに場が一致している場合にのみ得られることで、同じ場所で同じような行動をしている感覚が生まれ、相手とのつながりが感じられ、コミュニケーションのきっかけが得られるのである。

また、その際に言葉を用いない単純なコミュニケーションを可能にする。コミュニケーションの内容は相手から「何かのメッセージが送られてきた」という事実がわかるだけのものであり、どのような意味があったのかということは明示的に知らされない。しかし、共通の場にいることでお互いにその意味をなんとなく解釈し、解釈の違いはあるにせよコミュニケーションをとったという事実が繋がりを感じさせる。このように、言葉を必要とせず、またその発信方法も手を用いた単純なジェスチャにすることによって、コミュニケーションの際の敷居を下げ、より頻繁なコミュニケーションが可能となる。

もう一つの要素として、コミュニケーションを行う際、互いの発信するタイミングが重なった場合に、そのことがユーザに知らされる。普段会話をしている中で発する言葉が偶然一致してしまうといった、何かのタイミングが重なってしまったときに相手との一体感のようなものを感じる場面がある。このような感覚を遠隔地間のユーザに与えることを可能にする。

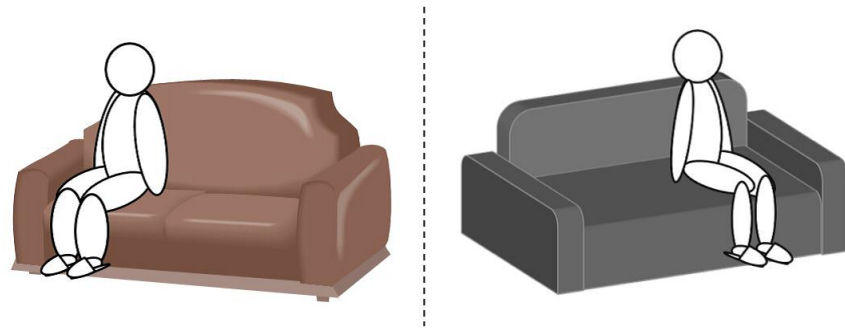


図 3.1: 活動が類似する場の例

3.2 システム概要

前節で述べたコンセプトに基づき、本研究で試作した遠隔コミュニケーション支援を行うシステムについて述べる。

まず、共通する場として居住空間での日常生活において多くの時間を過ごし、様々な行動を行うソファを利用する。存在の Awareness を与える手法として、相手の存在を暗示させるスポットライトを模した点滅する淡い光の投影を用いる。提示手法を視覚情報のみにし、激しくユーザの注意を引くような表現方法を用いないことによって、ユーザに対して煩わしさを与えないようにする。コミュニケーションを行う方法は、スポットライトの中に手をかざすことを行う。

3.2.1 スポットライトの表示

ユーザがソファに座ってる、または近くにいる場合に、遠隔地の相手がソファの近くに来ると、ユーザのソファに、その相手に光を当てたような淡く点滅するスポットライトが照らされる (図 3.2)。そのスポットライトは常にユーザの座るなどしている位置の傍らに照らしだされる。ユーザ自身がソファから離れているときには、相手が座っている状態でも表示されず、また逆に、ユーザが座っていても相手がソファの近くにはいない場合には表示されない。互いが同じ場所にいる場合のみに互いに表示される。このように、互いの場所が一致する場合のみに提示されることによって、ある種のつながりが得られる。また、光によってその場を照らしだすことで、ユーザへ何かを照らしているということを示唆し、その照らされたスポットライトの場所に遠隔地にいる相手がいるかのように感じることができる。

3.2.2 相手に対するコンタクト

ユーザは照らされたスポットライトの中に手をかざすことによって能動的に相手とコミュニケーションを行うことができる。この時、発信者側にはフィードバックとしてスポットラ

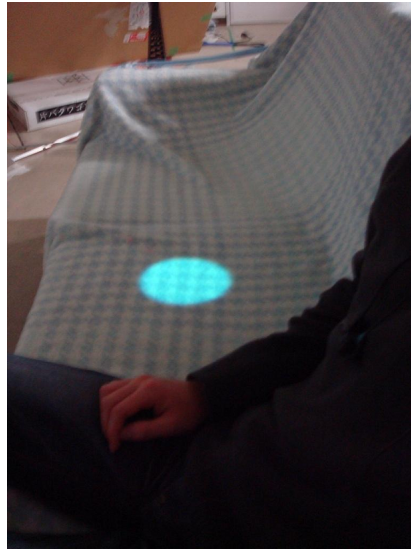


図 3.2: スポットライトの表示例

イトが激しく点滅する．相手には，図 3.3 のように波紋が表示され，メッセージを送ったことが伝えられる．

3.2.3 コンタクトの一致

ユーザが互いにメッセージを送ろうと思い，ほとんど同時にスポットライトに手をかざした場合，互いに図 3.4 のような表示が投影される．このようなエフェクトが互いに表示されることによって，コンタクトの一致による一体感がより増し，つながり感が得られる．さらに，このエフェクトを得るために互いがより積極的にコンタクトを取ろうとしてコミュニケーションを行う頻度が増えるといった効果も得られると考えられる．



図 3.3: 遠隔地で表示されるエフェクト



図 3.4: タイミングが重なった時の表示

第4章 システムの構成と実装

4.1 開発環境

開発言語は C#, 開発環境は, OS が WindowsVista, IDE は VisualStudio2008 で実装を行った. カメラ画像の取得および解析のために, OpenCV[13] の C #用のラッパークラスである OpenCVsharp[14] を用いる.

4.2 ハードウェア構成

図 4.1 に本研究で用いたハードウェアの構成を示す.

波紋等を表示するためのプロジェクタを 1 台用いる. ユーザの存在や, 動きを検知するための画像認識用の USB カメラを 1 台用いる. また, データ処理を行い, 遠隔地のシステムとの通信等を行う PC を 1 台使用する. また, 各地点の通信の中継を行うサーバ用 PC を 1 台使用する.

図 4.2 は実際に本システムを設置した場所の例である. 投影面が水平になるように, プロジェクタ, USB カメラはそれぞれ天井に下向きに設置した. プロジェクタの投影面の大きさは約 130cm × 100cm である. また, サーバは設置したシステムの方の PC にサーバプログラムも同時に稼働させることで代用した.

4.3 ソフトウェア構成

本システムのソフトウェアは, 図 4.3 に示すように, 画像認識モジュール, 通信モジュール, 処理モジュール, 表示モジュールの 4 つのモジュールにより構成される.

画像認識モジュール 画像認識モジュールは, USB カメラから取得した画像を解析して各データの更新などを行う入力モジュールである. このモジュールは, 主に以下の 3 つの機能を持つ.

- 手の位置認識: 取得した画像から, ユーザの手の位置を認識し, 手の位置データの更新を行う.
- 人物領域認識: 画像内における, 人物の存在の有無や, その人物の存在領域を判断し, データの更新を行う.
- 座標系調整: システムの初期化の際の, カメラ取得画像と表示領域の座標系調整を行う.

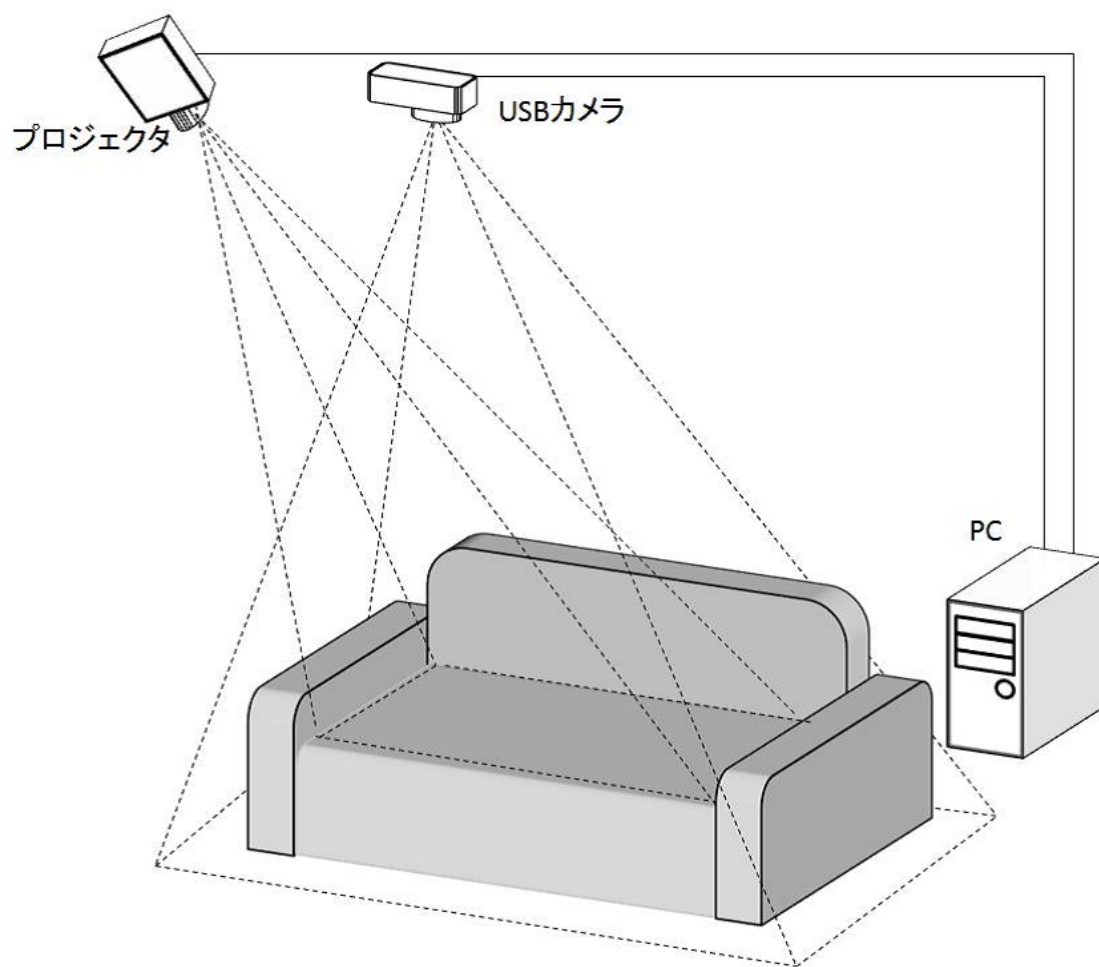


図 4.1: ハードウェア構成



図 4.2: システムの設置例

通信モジュール 通信モジュールは、遠隔地のシステムと通信するために、サーバとのメッセージの送受信を行うモジュールである。サーバとの通信方式はUDPを採用した。送信部と受信部で構成されており、受信部は独立したスレッドで常にサーバからのメッセージを受け取るために待機している。受信部で受信したメッセージは処理モジュールに送られる。システム間で主にやり取りするメッセージの種類は以下の5つである。

- add : ノードリストの追加リクエスト
- appear : 人物が出現したことを伝えるメッセージ
- hidden : 人物がいなくなったことを伝えるメッセージ
- touch : スポットライトに手をかざしたときに送られるメッセージ
- sync : touch をほぼ同時に行ったときに送られるメッセージ

処理モジュール 画像認識モジュールにおいて求められた、手の位置情報、人物の存在の有無とその領域情報、通信モジュールの受信部から受け取ったメッセージから、表示内容の決定などの処理を行う。

- スポットライトの表示位置計算
- タッチの判定
- メッセージの送信

表示モジュール 表示モジュールは、プロジェクタから映像を投影するためのモジュールである。スポットライトや波紋エフェクトなどを処理モジュールにおいて求めた適切な位置に表示する。

4.4 サーバプログラム

複数の地点の計算機間のメッセージを中継するためのサーバプログラムは図 4.4 に示すロジックで動作している。サーバは、接続されている各システムの IP アドレスのリストであるノードリストを保持している。主な処理は、ノードリストの追加、削除、システム間のメッセージの中継である。

メッセージを受信すると、始めに送信元の IP アドレスがノードリストに存在するか調べ、対応表にない場合には追加作業を行う。追加作業では、サーバのノードリストに追加するほか、ノードリストに書かれているすべてのノードに対し、新しく追加されたノード情報を各クライアントが持つノードリストへ追加させるためのメッセージを送信する。

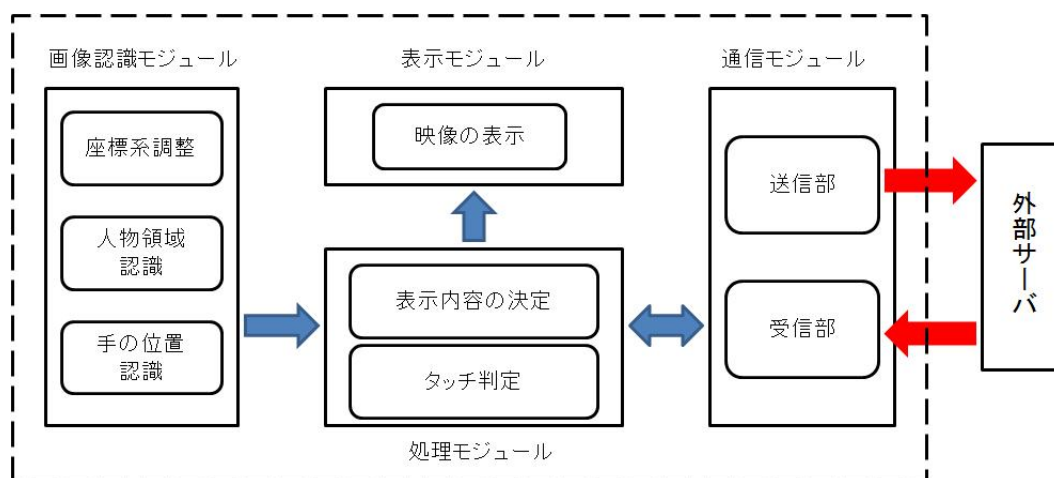


図 4.3: ソフトウェアのモジュール構成

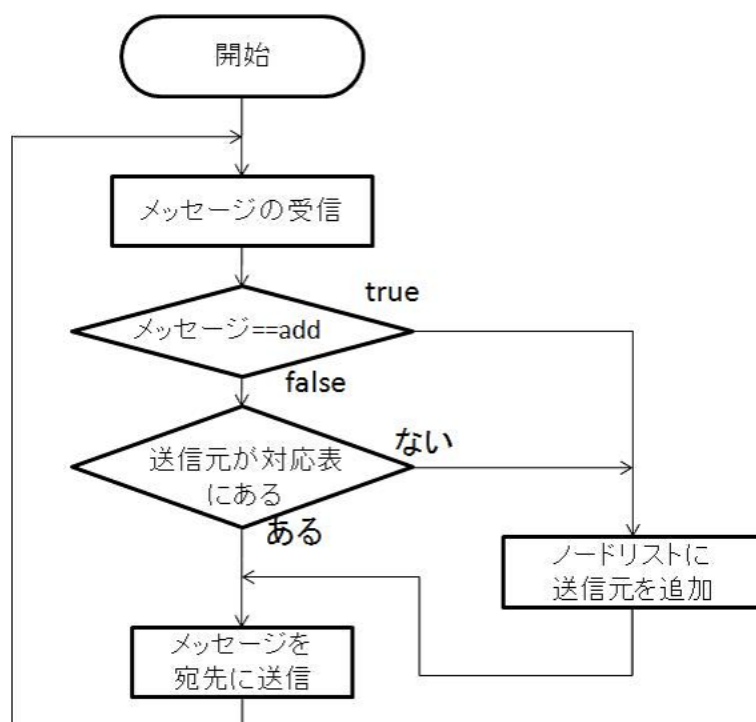


図 4.4: サーバプログラムの動作アルゴリズム

4.5 処理の流れ

プログラムは大きく分けて3つのスレッドに分けて処理を行っている。1つ目は常にカメラから取得した画像を解析して、ユーザの移動やジェスチャ等の動きを認識する画像認識スレッドである。2つ目は遠隔地のシステムから送信される情報を受信する受信スレッドである。3つ目はタッチの判定や、エフェクトの表示、遠隔地のシステムへメッセージの送信等を行う処理スレッドである。

まず、初期化作業として各スレッドを立ち上げ、サーバに対しaddメッセージを送信し、ノードリストへ追加のリクエストを行う。そして各スレッドにおいて初期化処理を行った後、各スレッドのルーチン処理を行う。各スレッド内の詳細な処理について次節以降にて述べる。

4.6 画像認識スレッド

画像認識スレッドは図 4.5 に示す処理を行っている。

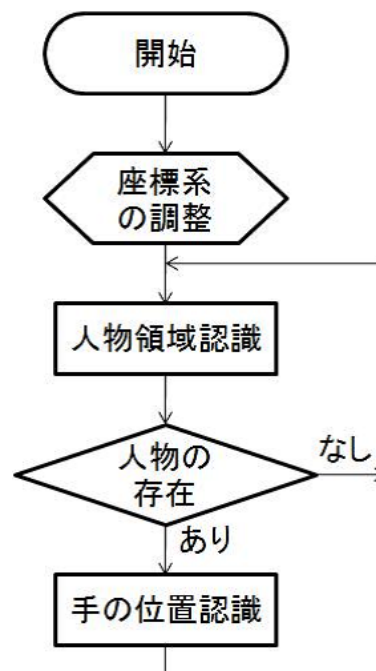


図 4.5: 画像認識スレッドのフローチャット

4.6.1 座標の変換方法

本システムでは、プロジェクタによる投影とカメラによる画像の取得を行っている。カメラによって取得した画像は、傾きや解像度がプロジェクタで表示する映像と異なっているた

め(図 4.6), カメラ画像内で認識した手などの座標をそのまま表示画像の座標に適応することができない. そのため, 始めに表示画像の座標系と, カメラから取得される画像の座標系とをマッピングする必要がある. カメラによる取得画像上の座標 (x, y) と, 投影する画像の座標 (u, v) には以下のような関係がある.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

本システムでは, 始めにこの変換に用いられるパラメータを導き出す.

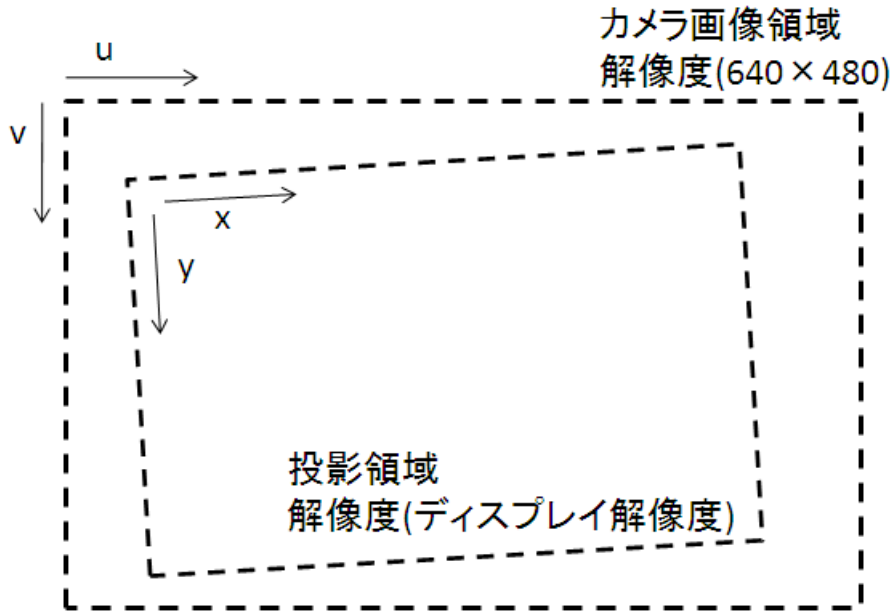


図 4.6: 座標系の違い

まずプロジェクタにより図 4.7 のような 4 つの丸い白い点 $(u_1, v_1), (u_2, v_2), (u_3, v_3), (u_4, v_4)$ を投影する. カメラにより取得した画像から閾値処理を用いて明るい画素だけを取り出し, 輪郭抽出を行うことで, 4 つの点の座標 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ を取得できる. このカメラ画像から得られた点の座標と, 元画像の座標を用いて式 4.1 に当てはめることで式 4.2 のような連立方程式が得られる. この式を解くことで変換パラメータを求めることができる.

$$\begin{cases} (u_1 & v_1)^{-1} = A(x_1 & y_1)^{-1} + C \\ (u_2 & v_2)^{-1} = A(x_2 & y_2)^{-1} + C \\ (u_3 & v_3)^{-1} = A(x_3 & y_3)^{-1} + C \\ (u_4 & v_4)^{-1} = A(x_4 & y_4)^{-1} + C \end{cases} \quad (4.2)$$

また, 初期値として与えられる 4 点 $(u_1, v_1), (u_2, v_2), (u_3, v_3), (u_4, v_4)$ には, 以下のような

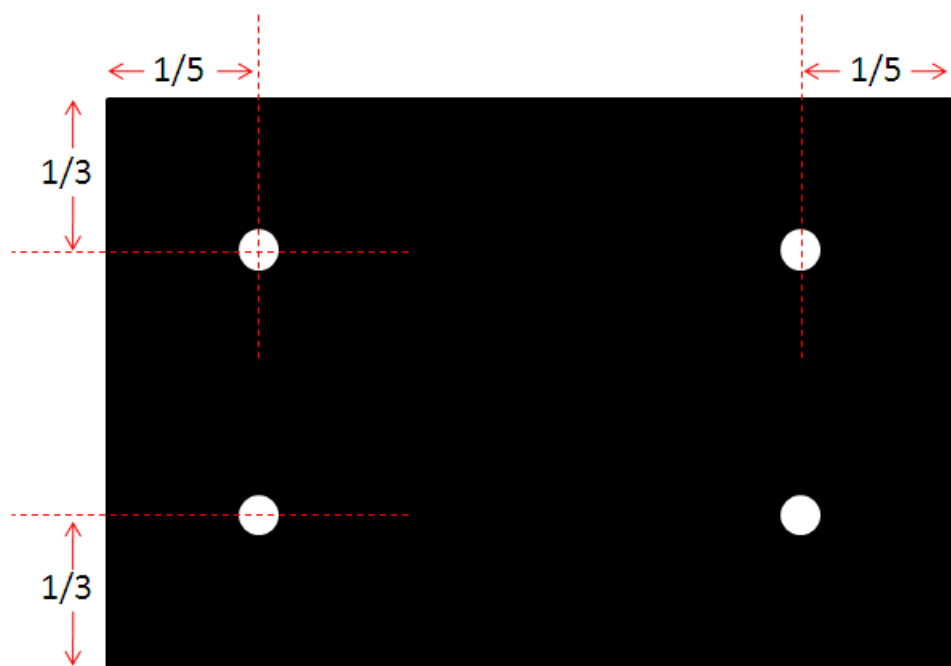


图 4.7: 調整用投影画像

関係が成り立つ．これを用いて式 4.2 を解くと，式 4.4 のような結果が得られる．

$$\begin{aligned} u_1 &= u_3, u_2 = u_4 \\ v_1 &= v_2, v_3 = v_4 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{cases} a_{11} = \frac{(y_3 - y_1)(u_2 - u_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)} \\ a_{12} = -\frac{(x_3 - x_1)(u_2 - u_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)} \\ a_{21} = -\frac{(y_2 - y_1)(v_3 - v_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)} \\ a_{22} = \frac{(x_2 - x_1)(v_3 - v_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)} \\ c_1 = u_1 - a_{11}x_1 - a_{12}y_1 \\ c_2 = v_1 - a_{21}x_1 - a_{22}y_1 \end{cases} \quad (4.4)$$

4.6.2 人物の位置の特定

投影面周辺における人物の位置の特定方法として，主に背景差分法を用いて認識する．カメラで取得する画像の範囲内では，プロジェクタによる投影画像も映るために，背景差分法を用いた場合には，投影画像も差分として認識されてしまう．しかし，背景差分法を用いて認識された人物の領域は，ほとんどの場合，それら投影画像よりも大きくなる．そのため，背景差分法を適応した後，ラベリングを行い，閾値処理をしてある程度以上の大きさの領域のみを人物領域として認識する．その後，その領域の重心をその人物の位置として認識する (図 4.8).

人物が検出されなくなると，サーバに“hidden”メッセージを送信し，また人物が出現した場合には“appear”メッセージを送信する．



(a) 背景差分処理後

(b) 面積による閾値処理後

図 4.8: 人物領域の抽出

4.6.3 手の動作の追跡

本システムでは手の認識手法として、カメラの取得した画像に対し肌色抽出を行い手を認識する。まずカメラより取得した画像を、RGB 色空間から HSV 色空間に変換する (式 4.5)。これは、人間の肌の色の成分が、HS 空間において特徴的な範囲に分布しており (図 4.9)[15]、また RGB 色空間に比べ明度の影響を受けにくいという特徴があるためである。次に、ヒストグラム化を行い、各成分ごとに設定した閾値により閾値処理を行って肌色成分のみを取り出すことで手の領域の候補領域を抽出する。その後、抽出を行った 2 値画像に対し膨張縮小作業を行いノイズを取り除く。最後に、ラベリングを行い各手領域の重心を求めることで、1 つまたは複数の手の位置を求めることができる。

$$\begin{aligned}
 MAX &= \max(R, G, B) \\
 MIN &= \min(R, G, B) \\
 H &= \begin{cases} 60 \times \frac{G-B}{MAX-MIN} + 0, & \text{if } MAX = R \\ 60 \times \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120, & \text{if } MAX = G \\ 60 \times \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240, & \text{if } MAX = B \end{cases} \\
 S &= \frac{MAX-MIN}{MAX} \\
 V &= MAX \\
 H+ &= 360, \text{ if } H < 0
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

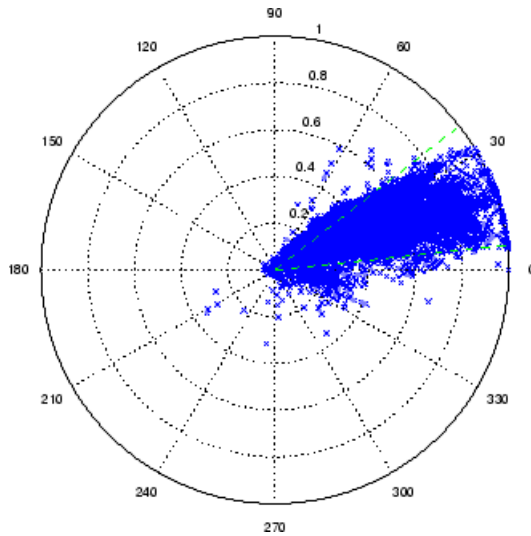


図 4.9: HS 空間における肌色領域

4.7 受信スレッド

受信スレッドでは、サーバより受信したメッセージを読み取り、以下のように各メッセージに対応した処理を行う。

- add : 対応表に送信元情報を追加する
- appear : 送信元のノードに関する人物の出現フラグを true にする
- hidden : 送信元のノードに関する人物の出現フラグを false にする
- touch : シンクロ判定用のタイマを起動する
- sync : シンクロ時のエフェクトを描画する

4.8 処理スレッド

処理スレッドでは、スポットライトに手をかざした時の判定や、相手とのタッチのシンクロ判定等を行い、送信部よりメッセージの送信を行う。その処理手順を図 4.10 に示す。

表示内容の決定 まず、画像処理スレッドで求められた人物領域から、スポットライトを表示すべき位置を決定する。また、自らと相手の出現フラグを確認し、互いのシステムで人物が検出されているのであれば実際に表示を有効にし、そうでないならば表示を行わないようにする。

タッチの判定 画像処理スレッドにおいて求められた人物領域から、傍らに表示されるよう、スポットライトを表示すべき位置を計算する。また、同じく画像処理スレッドにおいて求められた手の位置から、スポットライトの位置と包括判定を行い、重なっている場合にタッチとみなす。

シンクロ時の判定 受信スレッドにて、相手から“touch”メッセージが送られてきた場合にタイマが起動する。その後 500ms 以内に、処理スレッドにて、ユーザがスポットライトに手をかざしたと判断した場合には、タッチがシンクロしたとみなし、相手に“sync”メッセージを送信するとともに、シンクロ時のエフェクトを表示する。

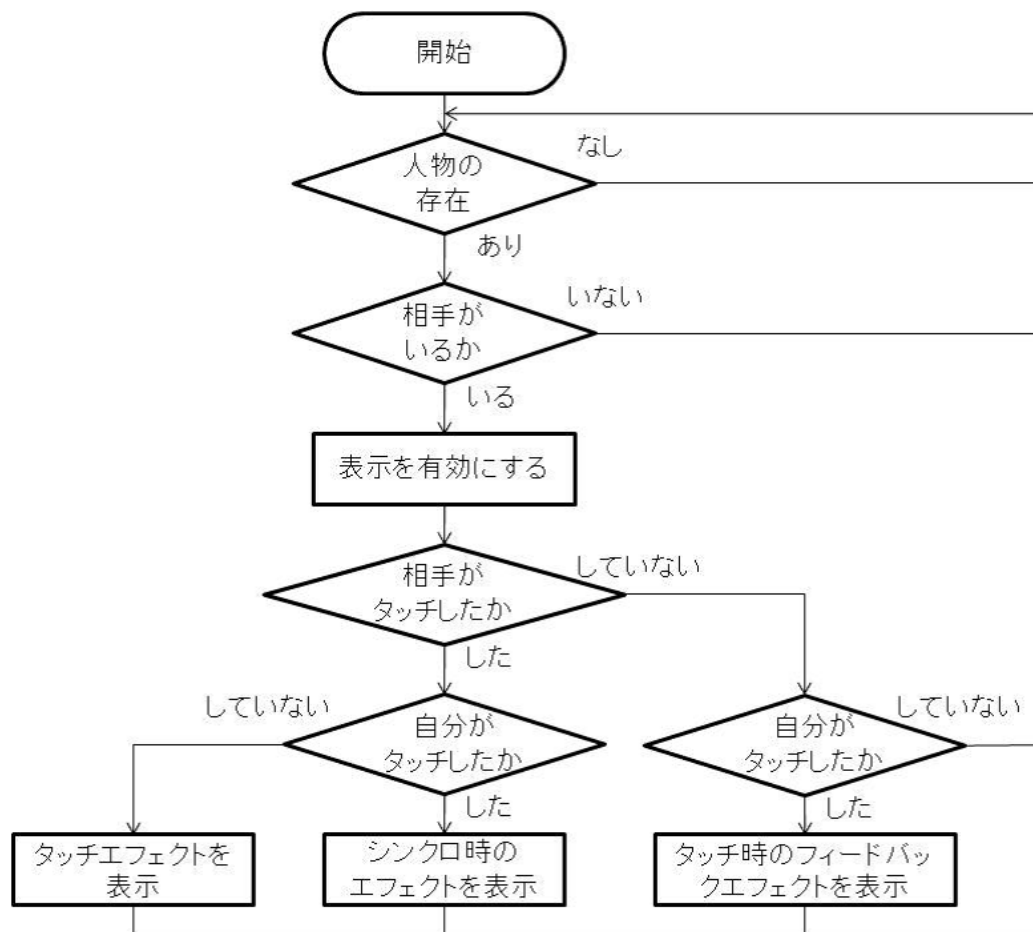


図 4.10: 処理スレッドの手順

第5章 議論

本章では、本研究で提案した手法の考察、また開発したシステムの今後の課題などの議論について述べる。

5.1 提案手法の考察

本研究で提案した手法では、遠隔地の相手と同じ場を共有している感覚を与え、非言語情報の単純なコミュニケーションを行うことができる。互いが同じ共通の場にいるときに限りスポットライトの提示を行うことで、同じ場を共有している感覚が得られるとともに、行動状況に関するアウェアネスも得ることができると考えられる。また、コミュニケーションの敷居を下げることにより、互いに気軽にコミュニケーションをとることができ、遠隔地の相手との繋がりが高まると考えられる。

しかし、本システムを利用した上でいくつかの問題点が挙げられた。現在、画像認識により手の認識を行っているが、プロジェクタにより投影される映像と手が重なった場合に、手の表面の色が変化して認識に誤りが生じてしまった。特にタッチ時の波紋効果は青い色であるために、その表示と重なった際に手として認識されなくなることがあった。また、人物領域を求める際の背景物体の誤認識の問題が生じた。本システムにおいて用いた背景差分法は、部屋の明るさの変化や背景物体の移動に弱く、正確に人物領域が抽出できない場合があった。

これらの問題は、羽山らによる通常のカメラを用いた混合ガウス分布等を利用する手法[16]や、熱カメラのような別のセンサを用いることにより、よりロバスト性を向上させることができると考えられる。特に熱カメラによる手法では、一般的な背景に対して人物領域は熱が高くなるために、人物領域を容易に抽出できる。

5.2 今後の課題と展望

評価実験 本提案システムに対する正確な評価等を行っていないため、被験者実験を実施し、提案システムの有用性等についての評価を行う予定である。

システムの拡張 本システムでは、離れた場所にいる1対1のユーザの利用を対象とした。しかし、システムの性質上、複数地点間の通信も可能である。そのため、複数地点を対象とした、多対多の、あるコミュニティにおけるコミュニケーション支援システムという発展性も

あると考えている。この場合、各ユーザを識別して、どのユーザのスポットライトであるのかということなどが、判別できるような工夫を行う必要があると考えられる。

第6章 結論

本稿では、家族等の親しい関係のある人々の中の遠隔コミュニケーションの問題を解決するために、ユーザに煩わしさを感じさせない方法によるウェアネスの共有と非言語情報によるコミュニケーションを行う手法を提案し、その手法を実現するシステムを試作した。本システムによって提示されたスポットライトを介することで、遠隔地にいる相手とコミュニケーションを行うことができた。本システムによって、遠隔地の相手とのコミュニケーションをとる際の敷居が下がり、容易に相手との繋がり感を得ることが可能となる。

今後はさらにシステムの改良を行っていきたいと考えている。また、客観的な評価も行う予定である。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である高橋伸講師，田中二郎教授をはじめ，三末和男准教授，志築文太郎講師にはゼミやミーティングを通して大変貴重なご意見，アドバイスを頂きました。深く御礼申し上げます。また，田中研究室の皆様にはゼミや日常生活の中で数々の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やご指摘をいただきました。心より感謝いたします。そして最後に，大学生活を送る中，経済面や精神面にわたっても支えてくれた両親や，大学生活を共に過ごし様々な面でお世話になった全ての友人に心より感謝いたします。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 高橋一成, 白樫和明, 横山重俊. ユビスタイルオフィスコラボレータ: Context Awareness を考慮したオフィス実験システムの紹介. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.104, No.714, pp.19-24, 2005.
- [2] 松下温, 岡田謙一. コラボレーションとコミュニケーション 共立出版 1995.
- [3] 宮島麻美, 伊藤良浩, 渡邊琢美. 社会実証実験によるつながり感通信の効果の検証と分析. インタラクシオン 2003 論文集, pp.271-278, 2003.
- [4] 辻田眸, 塚田浩二, 椎尾一郎. 遠距離恋愛者間のコミュニケーションを支援する日用品 "SyncDecor" の提案. コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会) Vol. 26, No. 1, pp. 25-37, 2009.
- [5] 辻田眸, 塚田浩二, 椎尾一郎. InPhase: 遠距離ハッピーアイスクリーム. WISS2008 論文集, No.58, pp.13-18, 2008.
- [6] 藤田英徳, 西本一志. Lovelet: 離れている親しい人同士のためのぬくもりコミュニケーションメディア. インタラクシオン 2004 論文集, pp.221-222, 2004.
- [7] 郡山和彦, 戸松綾, 小泉麻理子, 大澤公美子, 奥出直人. Limonect: 離れて暮らす家族のアンビエントコミュニケーション. インタラクシオン 2007 論文集, 2007.
- [8] 鈴木 健嗣. 1bit コミュニケーション. 電子情報通信学会技術研究報告. CQ, Vol.105, No.564, pp.49-50, 2006.
- [9] Brave, S., Dahley, A., Frei, P., Su, V., and Ishii, H.. inTouch in Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH '98, ACM Press, pp.115, 1998.
- [10] Hideki Koike, Yoshinori Kobayashi. Integrating paper and digital information on enhanced-desk: a method for realtime finger tracking on an augmented desk system. ACM Trans. Comput.-Hum. Interact., Vol.8, No.4, pp.307-322, 2001.
- [11] Johnny Lee, Scott Hudson, Pau Dietz. Hybrid Infrared and Visible Light Projection for Location Tracking. UIST '07, pp.57-60, 2007.
- [12] Pranav Mistry, Pattie Maes, Liyan Chang. WUW - wear Ur world: a wearable gestural interface CHI EA '09, pp.4111-4116, 2009.

- [13] OpenCV, <http://opencvlibrary.sourceforge.net/>
- [14] openCVSharp, <http://code.google.com/p/opencvsharp/>
- [15] Skin Colour Analysis, http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/GONG1/cvOnline-skinColourAnalysis.html
- [16] 羽山 典孝, 森武俊, 野口博史, 佐藤知正. アクティブな投影型情報提示システムにおける生活支援サービス選択. インタクション 2005 論文集, pp.231-232, 2005.