

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

ジェスチャ操作を用いた仮想環境による  
遠隔地との共同インタラクション支援

田 雨

(コンピュータサイエンス専攻)

指導教員 田中 二郎

2010年 3月

## 概要

近年、安価で高速なインターネット接続環境が普及するとともに、遠隔地の相手とビデオ・コミュニケーションを行う事が可能になった。また、グループウェア技術の進展と普及により、写真やファイルのようなデジタルデータを、遠隔地の相手と距離に関係なく共用・共同操作する事は容易である。しかし、従来の研究では、相手の映像のみを提示するため、遠隔地との距離感を縮めることに限界がある。

本研究では離れた場所にいる利用者が仮想世界で共同作業できるシステムを作成する。作業空間に対して、身体画像領域を個人作業領域として、身体画像領域以外の領域を共同作業領域として利用する。離れた場所にいる利用者同士はハンドジェスチャを用いることにより、直感的な共同インタラクションが可能になる。ハンドジェスチャには様々な分類があるが、本システムではポインティングや手の形、移動など、人間が日常生活で普段使うジェスチャを利用する。共同作業とは、写真データの選択、移動、交換、拡大、回転及び写真データ上に描画動作を行うことである。最後に、離れた場所にある2つの研究室の室内で、提案したシステムの試用を行うことにより、評価実験を行う。

# 目次

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>第1章 序論</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1 本研究の背景                   | 1         |
| 1.2 研究の目的                    | 2         |
| 1.3 論文の構成                    | 3         |
| <b>第2章 関連研究</b>              | <b>4</b>  |
| 2.1 実世界と仮想世界                 | 4         |
| 2.2 分散の環境におけるグループウェア         | 5         |
| <b>第3章 遠隔共同作業支援システムの設計</b>   | <b>7</b>  |
| 3.1 システムの利用シーン               | 7         |
| 3.2 システムの設計指針                | 7         |
| 3.3 CCoAction システムの概要        | 8         |
| 3.4 作業空間の構成                  | 8         |
| 3.5 共同作業                     | 9         |
| 3.5.1 写真データの選択、移動            | 9         |
| 3.5.2 写真データの交換               | 11        |
| 3.5.3 写真データの拡大縮小、回転          | 12        |
| 3.5.4 データ上の描画                | 13        |
| <b>第4章 CCoAction システムの実装</b> | <b>14</b> |
| 4.1 環境・言語                    | 14        |
| 4.2 CCoAction システムの構成        | 14        |
| 4.3 処理手順                     | 14        |
| 4.4 作業空間の作成                  | 16        |
| 4.4.1 背景差分                   | 16        |
| 4.4.2 画像合成                   | 17        |
| 4.5 手の検出                     | 18        |
| 4.5.1 肌色の検出                  | 18        |
| 4.5.2 手の形の判別                 | 19        |
| 4.5.3 手位置の検出                 | 20        |
| 4.6 指の検出                     | 20        |

|              |                         |           |
|--------------|-------------------------|-----------|
| 4.7          | 写真データの表示 . . . . .      | 21        |
| 4.7.1        | 頭の頂点座標の検出 . . . . .     | 22        |
| 4.7.2        | 表示方法 . . . . .          | 22        |
| 4.8          | システムの通信 . . . . .       | 23        |
| 4.9          | 共同データの操作 . . . . .      | 24        |
| 4.9.1        | 写真データの選択、移動 . . . . .   | 24        |
| 4.9.2        | 写真データの交換 . . . . .      | 25        |
| 4.9.3        | 写真データの拡大縮小、回転 . . . . . | 25        |
| 4.9.4        | 写真データ上の描画 . . . . .     | 26        |
| <b>第 5 章</b> | <b>提案手法の評価と考察</b>       | <b>28</b> |
| 5.1          | 実験目的 . . . . .          | 28        |
| 5.2          | 実験方法 . . . . .          | 28        |
| 5.3          | アンケート質問項目 . . . . .     | 29        |
| 5.4          | 結果 . . . . .            | 30        |
| 5.5          | 考察 . . . . .            | 31        |
| <b>第 6 章</b> | <b>まとめ</b>              | <b>32</b> |
|              | <b>謝辞</b>               | <b>33</b> |
|              | <b>参考文献</b>             | <b>34</b> |
|              | <b>付録</b>               | <b>36</b> |

# 図目次

|      |                              |    |
|------|------------------------------|----|
| 1.1  | ビデオ・コミュニケーション . . . . .      | 1  |
| 1.2  | ビデオ会議 . . . . .              | 2  |
| 2.1  | 柔らかいストレージ . . . . .          | 5  |
| 2.2  | ClearBoard . . . . .         | 6  |
| 3.1  | CCoAction システムの想定図 . . . . . | 8  |
| 3.2  | 選択ジェスチャ . . . . .            | 10 |
| 3.3  | 確認ジェスチャ . . . . .            | 10 |
| 3.4  | 移動ジェスチャ . . . . .            | 10 |
| 3.5  | 解放ジェスチャ . . . . .            | 10 |
| 3.6  | 選択しない状態データの表示 . . . . .      | 10 |
| 3.7  | 選択する状態データの表示 . . . . .       | 10 |
| 3.8  | データの移動 . . . . .             | 11 |
| 3.9  | データの解放 . . . . .             | 11 |
| 3.10 | 写真データの交換 . . . . .           | 11 |
| 3.11 | 拡大縮小ジェスチャ . . . . .          | 12 |
| 3.12 | 回転ジェスチャ . . . . .            | 12 |
| 3.13 | 写真データの拡大 . . . . .           | 12 |
| 3.14 | 写真データの回転 . . . . .           | 13 |
| 3.15 | 描画ジェスチャ . . . . .            | 13 |
| 4.1  | CCoAction システムの構成図 . . . . . | 15 |
| 4.2  | デバイスの設置 . . . . .            | 15 |
| 4.3  | マスク画像と取得した人物画像 . . . . .     | 16 |
| 4.4  | 改良したマスク画像と人物画像 . . . . .     | 17 |
| 4.5  | 共同作業空間の作成 . . . . .          | 17 |
| 4.6  | 背景差分の結果 . . . . .            | 19 |
| 4.7  | 肌色検出の結果 . . . . .            | 19 |
| 4.8  | 分離された顔領域と手領域 . . . . .       | 20 |
| 4.9  | 腕を剥き出しにする場合 . . . . .        | 20 |
| 4.10 | 手の重心座標に取得に失敗例 . . . . .      | 20 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.11 腕を剥き出さない場合 . . . . .       | 21 |
| 4.12 手の重心座標の取得 . . . . .        | 21 |
| 4.13 指先点の検出 . . . . .           | 21 |
| 4.14 検出された指の先と谷間 . . . . .      | 21 |
| 4.15 頭の頂点座標の取得 . . . . .        | 22 |
| 4.16 頭が傾く場合の頂点座標 . . . . .      | 22 |
| 4.17 身体領域外での写真表示 . . . . .      | 23 |
| 4.18 利用者身体の移動 . . . . .         | 23 |
| 4.19 写真データの選択 . . . . .         | 24 |
| 4.20 写真データの移動 . . . . .         | 24 |
| 4.21 写真データの解放 . . . . .         | 25 |
| 4.22 写真データの交換 . . . . .         | 25 |
| 4.23 写真データの拡大と回転動作 . . . . .    | 26 |
| 4.24 動作による距離の変化と角度の変化 . . . . . | 26 |
| 4.25 写真データ上での描画動作 . . . . .     | 27 |
| 4.26 修正された写真データの保存 . . . . .    | 27 |
| 5.1 研究室 A . . . . .             | 28 |
| 5.2 研究室 B . . . . .             | 28 |
| 5.3 実験環境の設計 . . . . .           | 29 |

# 表 目 次

|                        |    |
|------------------------|----|
| 5.1 アンケートの結果 . . . . . | 30 |
|------------------------|----|

# 第1章 序論

## 1.1 本研究の背景

近年、安価で高速なインターネット接続環境が普及するとともに、パソコンを利用し、いつでもどこでもビデオ・コミュニケーションを行える場合が多くなってきている。たとえば、遠隔地の相手と Windows live メッセンジャー、Skype などのコミュニケーション・ツールを利用してお互いの映像を見ながら、会話することが可能になった(図 1.1)。これらはコミュニケーション・ツールを利用して利用者同士の表情や身振りなどのノンバーバル情報を伝送することができる。しかし、従来のコミュニケーション・ツールはデータを転送する場合、マウス、キーボードのような物理的なデバイスを利用する必要があるため、コミュニケーションの場所が机の前に限られる。そのため、利用者同士が会話をするとき、データの交換でキーボードやマウスなどを頻繁に使用することにさえも面倒だと感じる人が多いため、距離感を縮めることに限界がある。

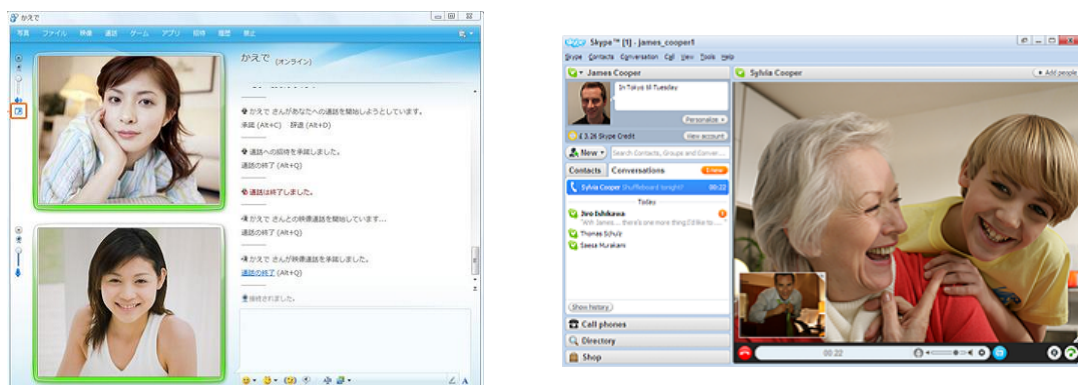


図 1.1: ビデオ・コミュニケーション

また、大画面ディスプレイ、高画質ビデオカメラなどの入出力デバイスが低廉化してきた。このような背景にはネットワークに繋がっている多拠点でビデオ映像を利用したテレビ会議システムが提案される [1]。先行研究では、離れた場所にいる利用者同士をネットワークで接続し、大画面ディスプレイにそれぞれの映像を映すことにより、あたかも離れた場合にいる利用者が目の前にいるような感覚を共用し、構築された仮想的な共同作業空間で円滑な共同作業を行うことを可能にする。同じ場所にいなくても作業が実行できるので、利用者同士の移動時間や労力の負担を軽減し、それによって遠く離れた場所にいる人の参加も促すことが

できる (図 1.2)。

しかし、従来のビデオ映像を利用した多拠点でのテレビ会議は、相手が注目していることを感じにくく、さらに、窓越しに話をしている感覚を与え、利用者にとって不満が残るといわれている。ビデオ会議が日常生活に頻繁に利用されるようになると、「利用者同士があたかも同じ部屋にいる感覚」が重要だと考える。先行研究として共同作業空間に関する開発研究は多くなされている [2]。しかし、日常の共同作業では、共同作業空間だけではなく、共用できない利用者の個人作業空間も必要だと考えられる。作業空間は個人作業空間と共同作業空間に分けて使うことにより、作業プロセスに強い影響を与えることが予想される。利用者が共用したいデータを共同作業空間に置いておき、逆に共用したくないデータを個人作業空間に置いておくことにより、自分自身のみデータが処理できる。



図 1.2: ビデオ会議

## 1.2 研究の目的

本研究は人間が普段使う手を用いて仮想空間に遠隔利用者同士が共同インタラクション支援システムを開発することを目的とする。まず、実世界で遠く離れた利用者同士が仮想世界に共に存在できるを目指し、一緒にいるような作業空間を開発する。作業は共同作業空間と個人作業空間で行うことを可能にする。個人作業空間でのデータの利用は仮想ストレージに保存されるため、一度保存したデータを他の場所で続けて作業を行うことができる。また、個人作業空間で作業を行う場合、離れた場所にいる利用者が知られることはない。

本研究で開発されたシステムを用いて、利用者同士の充実した共同作業の手法を提案する。従来の操作方法としてはマウス、キーボードからの操作が多い。それらを利用すると、日常

的にコンピュータに慣れた利用者には抵抗が少ないが、接する機会が少ない利用者にとっては使いにくい。そこで、本研究では作業を行うとき、マウス、キーボードを用いず、利用者が日常的に使い慣れた手を用いて、手の移動や形の認識により、作業を行うことを可能にする。作業としては、写真データの移動や解放、交換、拡大縮小、回転、描画といった動作を提案し、実装する。評価実験により、共同作業に対して、本システムの有効性と精度、使用感を考察していく。

### 1.3 論文の構成

本論文は本章を含め6章構成であり、以下は各章の概要を示す。第2章では、関連研究として、実世界と仮想世界、分散の環境におけるグループウェアについて述べる。第3章では、本研究で提案した遠隔共同作業支援システムについて述べる。第4章では、システムの実装について説明する。第5章では、提案システムを評価する実験の内容と結果の考察について述べる。最後に第6章で、まとめを述べる。

## 第2章 関連研究

### 2.1 実世界と仮想世界

「ユビキタスコンピューティング」[3][4]とは1988年にXerox Palo Alto Research CenterのMark Weiserが提案したコンピュータの利用概念である。現在、ユビキタスという言葉は「いつでもどこでも欲しい情報を取得できる」との認識が強くなっている。しかし、本来にユーザに対してコンピュータの存在を意識させずに利用する手法である。ユビキタス社会ではどこでもネットワークに繋がる。人々の生活に対して、様々なサービスが提供され、より豊かな生活を実現する。例えば、離れた場所にいる利用者同士がWindows live メッセンジャー、Skype、Google トークなどのコミュニケーション・ツールを利用してビデオ・コミュニケーションを行うことができる。

また、Donald A. Normanの提案するインビジブルコンピュータ（The Invisible Computer）において、人がコンピュータの存在を意識せずにコンピュータを利用できるインタフェースの重要性を提唱している[5]。このようなコンピュータの存在を意識させずインタフェースについて主に実世界指向インタフェース[6][7]、TUI（Tangible User Interface）[8][9]がある。両者ともに、実世界とコンピュータが創造する仮想世界が繋がることで、デジタル情報を直感的に操作できることを設計の指針としている。

ユビキタス社会では、人間が知的活動を行う際に情報を取得する場合が増えている。そして、本研究ではコンピュータの存在を意識させず、利用者が直感的にデジタル情報を操作することを想定している。人間がデジタル情報を取得する場合、視覚をよく利用する、そのため、コンピュータからの情報を提示するための様々なディスプレイ技術が発展している。近年では、壁一面の大型フラットパネルやプラズマディスプレイなどの大画面ディスプレイが普及している。人間にとってディスプレイに表示された情報は、人間と共存在し、どのように処理されたかを人間に提示することを注意する必要はない[10]。岩淵は人間に対して体内に仮想的なストレージを存在する錯覚を与えるような情報の提示手法Natural Storageを提案した(図2.1)。そして、実世界と仮想世界を結びつけ、情報を常に近い存在として認識することが可能となった。

本研究では、入力インタフェースとして手の動作を利用することで、実世界での自然なハンドジェスチャを基に仮想世界のデジタル情報を操作することを目指し、大画面ディスプレイと共にデスクトップコンピュータが整い、ユーザにコンピュータの存在を意識させず、ユビキタスな環境を想定している。

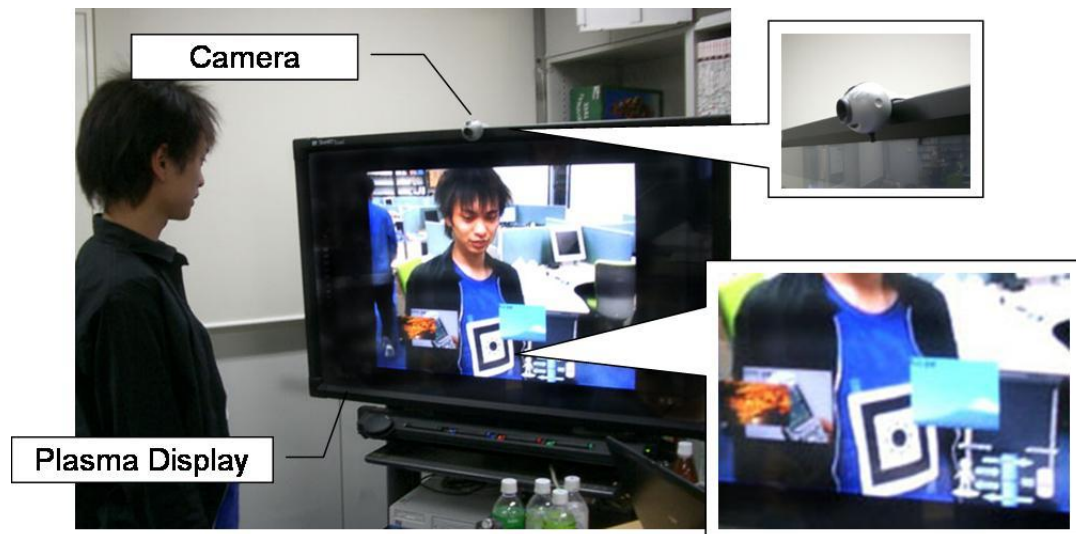


図 2.1: 柔軟いストレージ

## 2.2 分散の環境におけるグループウェア

グループウェアとは、共同の作業や共同の目的を持っている利用者同士を支援し、共同作業環境へのインタフェースを提供するコンピュータベースのシステム [11] である。グループウェア技術の発展と普及により、デジタル情報を、様々な場所で共用・共同作業することが当たり前になった。そのため、離れた場所にいる人々がコンピュータとネットワークを介して共同作業を支援する研究が盛んに行われてきている [12][13]。このような研究分野の中で最も重要なことは、共同作業を行う利用者同士のコミュニケーションを、コンピュータとネットワークを通してどう適切に行うかということである。このために、あたかも目の前に相手がいるように思わせるための仮想現実感などが CSCW (Computer Supported Cooperative Work) の分野で注目されている [14]。

グループウェアが共同作業を支援するシステムを目指すのに対して、共同作業はコミュニケーションの活性化・効率化、情報・知識共用、共同作業における生産性向上などの支援を対象とする。一般的に共同作業は多種多様な形態で実行される。例えば、パソコンによる文書、写真、ビデオなどのデジタルデータの編集や、電話などを用いた打ち合せや、ビデオ会議などの作業形態がある。石井は計算機を用いて支援することを想定し、これらの作業形態を、対面・リアルタイム型、遠隔分散・非同期型、遠隔分散・リアルタイム型の3つの型に分類している [15]。

**対面・リアルタイム型** 対面・リアルタイム型は主に計算機システムを利用しながら会議室内での会議支援が応用の中心である。一ヶ所に集まって作業を行なう場合の進行・分担の支援に応用できる [16][17]。

**遠隔分散・非同期型** 遠隔分散・非同期型は電子メールや電子掲示板をベースにした形態のシステムが中心で、グループ間の情報の蓄積・共有や空間的にも時間的にも分散した作業の調整支援を目的とする。単に電子メールや掲示板のようなメッセージ交換の機能を提供するだけではなく、その上で行なわれるグループワークの構造的特徴に即したシステム設計が重要となる [18][19][20]。

**遠隔分散・非同期型** 遠隔分散・リアルタイム型は物理的に離れた場所での共同作業を支援するものである。遠隔地間の作業同士の情報交換、あるいは作業グループの統括や適切なアドバイスの提供を遠隔地からでも行えるようにすることが考えられる [21]。

石井は遠隔分散・リアルタイム型の共同作業空間と会話空間をシームレスに融和する ClearBoard(図 2.2) を提案している。ClearBoard は、分散した 2 地点の物理空間を仮想の 2 次元共同描画空間を間にはさみ込む形で相互結合するシステムである。このプロジェクトを通して、建築空間の壁、床、天井、窓、机などのあらゆる表面を単なる空間のパーティションから、細胞膜のように仮想／現実空間の間を情報が自由に行き来するアクティブ・インタフェースに変えるという事を提案した。

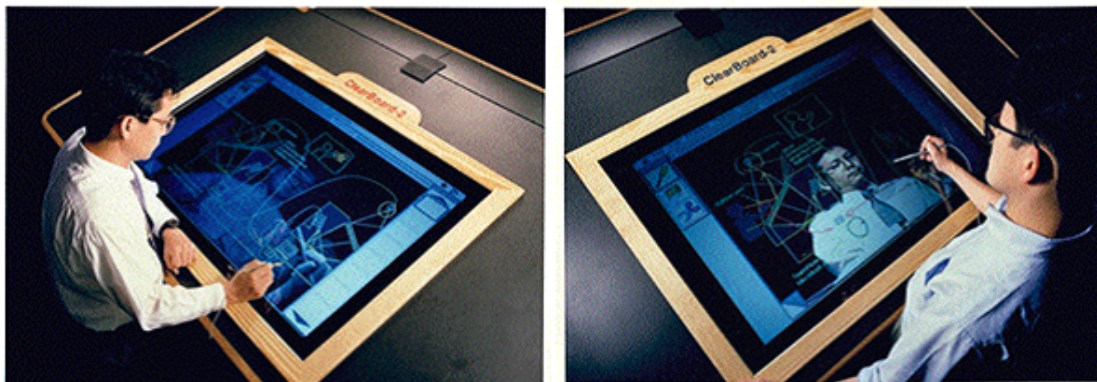


図 2.2: ClearBoard

遠隔分散・リアルタイム型では対面・リアルタイム型と遠隔分散・非同期型に比べ、映像などの大量の情報を遠隔地にリアルタイムに転送する必要がある。近年の高速インターネットおよび高性能計算機の普及により、遠隔分散・リアルタイム型システムの構築は容易に実現することが可能となってきている。本研究では、この遠隔分散・リアルタイム型のシステム構成に焦点を当て、遠隔共同作業での円滑なインタラクションについて考察する。

## 第3章 遠隔共同作業支援システムの設計

### 3.1 システムの利用シーン

普段、友達と一緒に旅行に行く、あるいは研究室やサークルの合宿に参加するとき、みんながカメラを利用してすばらしい瞬間を撮る気持ちが強い。そして、みんながそれぞれのデジタルカメラを持っている場合が多い。もし A さんが写真を撮りたいとき、他の人に頼む必要がある。しかし、たまに頼んだら平気だったが、頻繁に頼んだら少し面倒だと感じられる。そのため、写真を撮るとき、まず他の人のデジタルカメラを使って写真を撮る。戻った後、デジタルカメラからコンピュータに転送してから、友達の間で写真の交換を行う場合が多い。そのとき、本システムを利用することで、離れた場所にいる 2 人が一緒にディスプレイの前に立って手を用いて写真の交換、閲覧することができる。一般のカメラが縦で撮った写真が横で保存される場合が多い。そのため、2 人は写真を見ながら、写真の回転をすることができる。また、写真を小さくて大きくて見たい場合、拡大縮小することもできる。

### 3.2 システムの設計指針

本研究では、共存在的な感覚の創出、直感的な共同インタラクションの構築を目指す。共同作業には情報、作業、意識の共用が不可欠である。本研究において、これらの観点から遠隔共同作業支援することで、より良い共同作業を実現する。本研究ではマウス、キーボードのような入力デバイスを使わず、人間が普段に使っている手を入力デバイスとして利用する。手を入力デバイスとして使用することで、利用者がコンピュータ操作を意識させないことができる。また、デバイスを装着する必要がないため、身体負担を軽減できるなど利点がある。この利点を受け継ぐために、ハンドジェスチャを用いてデータを操作する手法を提案する。また、遠隔共同作業を行うため、利用者同士は必ず一緒にいる制限はない、離れた場所においても、共同作業を行うことも可能である。

また、先行研究から得た知見と複数の利用者による共同作業の分析に基づいて、本研究は自然に作業できる共同作業支援環境を構築するための要件を以下のように明示化した。

- 複数の利用者によって、共用された作業空間と自分のデータが保存された個人作業空間を作ることができる。
- 相手は個人作業空間にあるデータを閲覧することはできない。
- 共同作業空間について、利用者の動作は他の利用者に知られる。

- 作業空間で行われる身体動作は時間遅れなく行える。
- システムを利用している利用者同士が自由に作業を行え、その作業内容が相互に観察可能である。

以上の要件が満たされる場合、離れた場所にいる利用者同士が距離感を縮めて共存在を実現するとともに、共同作業をリアルタイムで行う事ができる。

### 3.3 CCoAction システムの概要

本研究では、共同作業空間を用いて離れた場所にいる利用者同士が共同作業を行う CCoAction システムを提案する。CCoAction システムでは離れた2つの場所に共同作業状態を表示するため、それぞれにプラズマディスプレイ、ウェブカメラ、デスクトップコンピュータを設置する。プラズマディスプレイ前の領域を撮影するため、ウェブカメラをプラズマディスプレイの真ん中に設置する。ウェブカメラから利用者の映像を取得し、デスクトップコンピュータより離れた2つの場所の間の通信を行う。プラズマディスプレイには離れた場所にいる利用者同士が一緒にいるような映像を表示する。図3.1には離れた2つの場所にシステムの表示イメージを示す。作業空間は個人作業空間と共同作業空間を分ける。個人作業空間は利用者自分だけ利用できる。利用者同士は手を用いて個人データ、または共用データを操作することができる。共同作業空間は利用者同士が共用して利用する。本研究での操作するデータは写真データを例として使用する。以下は作業空間の構築と操作手法で用いられる各機能に関して詳しく説明していく。

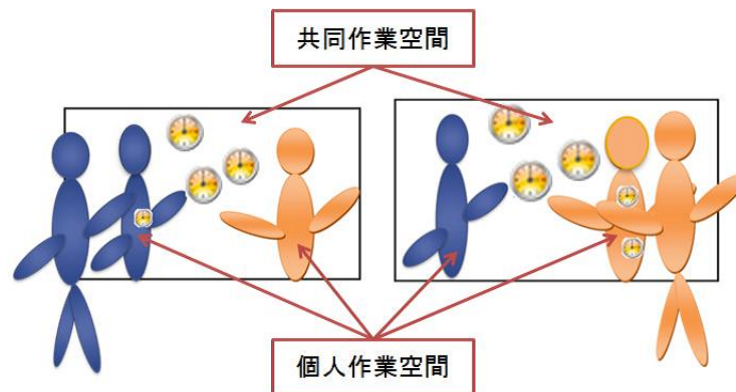


図 3.1: CCoAction システムの想定図

### 3.4 作業空間の構成

本システムは画像処理を用いて、利用者の画像データを取得する。そして、画像データを離れた場所のデスクトップコンピュータの送信、合成することで利用者同士は、一緒にいる

ような作業空間を作成する。作成された作業空間については、個人作業空間と共同作業空間に分ける。

個人作業空間というのはプラズマディスプレイに投影された利用者自分の身体範囲である。個人作業空間は仮想ストレージとして個人写真データの保存を行える。利用者に個人写真データが身体に存在している錯覚を与える。個人作業空間に含まれる個人写真データについて、利用者のみは写真データを閲覧できるように設計する。したがって、ウェブカメラを用いて自分の個人写真データの閲覧ができるが、遠隔地利用者が分からないようにする。ウェブカメラで利用者の身体を撮影することで、利用者の身体範囲に写真データを表示される。写真データを操作しない場合、写真データを利用者が見える大きさに縮小して表示されるようにする。逆に写真データを選択、移動など操作を行う場合、写真データを拡大して表示されるようにする。また、個人作業空間における写真データの表示位置を固定せず、利用者が写真データの表示位置を変更できる。

共同作業空間は個人作業空間以外の領域である。共同作業空間で個人写真データの共用化、および利用者一人あるは共同で共用写真データを操作する。共同作業空間の領域が固定されていない。利用者が移動する場合、個人作業領域の変更とともに、共同作業空間も変更される。共同作業空間に存在している写真データを相手にはっきり見えるために、操作しなくても、写真データが拡大して表示する。

## 3.5 共同作業

共同作業に対して、本研究はハンドジェスチャ表現を利用する。ハンドジェスチャには様々な分類があるが、本研究でポインティングやパー、グーのような手の形及び手の移動など、日常生活に使われるジェスチャに基づいて、リアルタイムで共同作業を行う。共同作業とは写真データの選択、移動、交換、拡大縮小、回転及び写真データ上に描画動作を行うことである。以下にはそれぞれの操作を具体的に述べる。

### 3.5.1 写真データの選択、移動

遠隔共同作業を行う際に、まず利用者が個人の写真データを遠隔利用者と共用したい場合がある。例えば、旅行の時、撮った写真を遠い実家の両親と一緒に見たい。また、日常の写真を修正するとき、他の人の意見を聞きながら一緒にやりたい気持ちがある。一人で作業することより、写真データを複数人で共同作業を行うと、効率は高くなる。そして、共同作業の質を高めるために利用できると考えられる。この場合には利用者が共用したい写真データに対して、様々な作業が行えるよう、データの選択や移動作業を行えるべきである。

従来の選択、移動手法は、マウス、キーボード、ペンなどを利用している。本研究では従来の操作デバイスに代わって、手で写真データの選択、移動操作を行う。現実世界では我々はものを選択、移動するとき、手を用いて行う場合が多い。そのため、利用者が直感的に写真データを選択、移動操作を行うために、ハンドジェスチャを使用する。本研究でハンドジェス

チャのグーとパーを用いて、選択 (図 3.2)、確認 (図 3.3)、移動 (図 3.4)、解放 (図 3.5) のジェスチャを定義し、それぞれに選択、確認、移動、解放のコマンドを対応する。

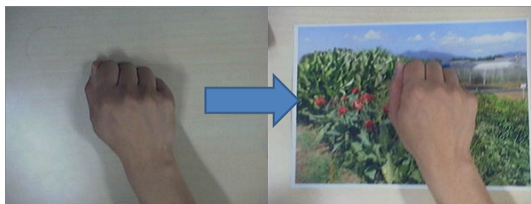


図 3.2: 選択ジェスチャ



図 3.3: 確認ジェスチャ



図 3.4: 移動ジェスチャ



図 3.5: 解放ジェスチャ

図 3.6 は最初に写真を選択しない状態を示す。本システムでは利用者が手グーの状態の写真データの上に置くと、利用者が選択動作を行う待機になる。利用者が手をそのまま一定時間滞留させる事により写真データの選択動作を確認し、選択動作を行う。写真データが選択されたら、写真データは元のサイズから拡大される (図 3.7)。

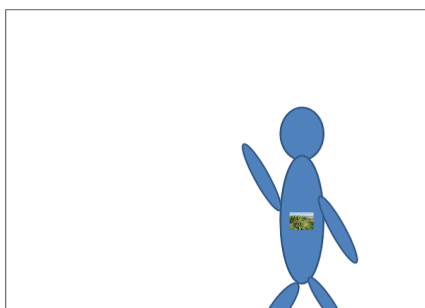


図 3.6: 選択しない状態データの表示

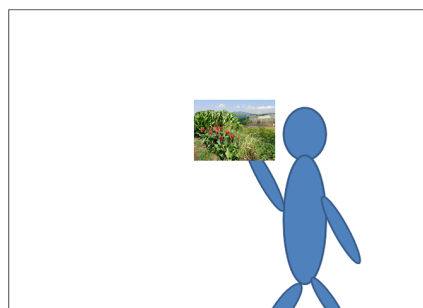


図 3.7: 選択する状態データの表示

利用者は写真データを自分の個人作業領域に位置の移動、あるいは共同作業空間に移動したい場合、手を選択状態でそのまま移動すると、選択されていた写真データを移動させることができる (図 3.8)。選択されていた写真データを目的となる場所でグーからパーに変更すると、写真データが目的地で解放される (図 3.9)。したがって、写真の移動作業は完了する。写

真データを移動する際に写真データを身体範囲から移動した後、写真データのプロパティが個人から共用に変更するので、遠隔利用者同士は写真データを見えるようになる。

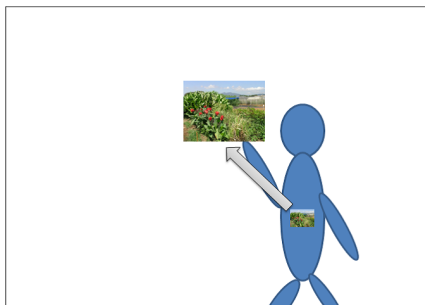


図 3.8: データの移動

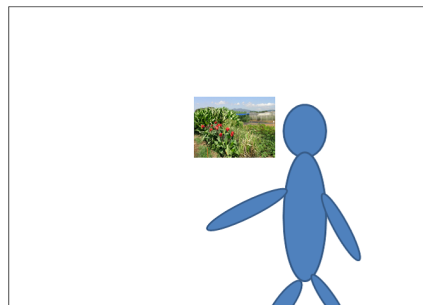


図 3.9: データの解放

### 3.5.2 写真データの交換

写真データの交換は上記の選択、移動動作を交替で実行することにより行うことができる。まず利用者同士が交換したい写真データを選択、移動、解放の流れを通じて、利用者の個人写真データを共同作業空間に移動する。写真データを利用者の身体範囲の外に解放した後、遠隔利用者がこの写真データを選択させることができる。遠隔利用者が写真データを選択し、自分の仮想ストレージとして身体範囲の中へ移動して解放すると、写真データが縮小して表示する。したがって、写真データを遠隔利用者の個人写真データになり、写真データの交換作業が完了する。交換作業を行った後、利用者が手を用いて、他の写真データを選択できる状態になる。図 3.10 は写真データの交換を示す。説明するため身体に写真データが表示された。しかし、実際のシステムには利用者が相手の個人データを見えないように設定される。

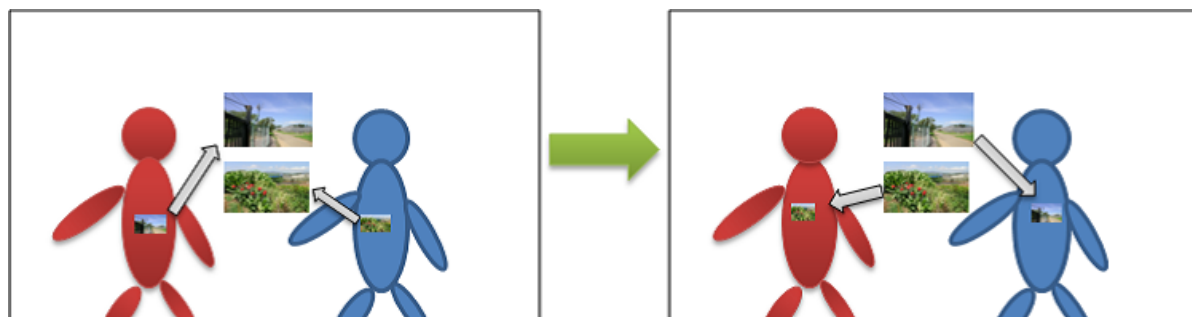


図 3.10: 写真データの交換

### 3.5.3 写真データの拡大縮小、回転

拡大(図 3.11)、回転(図 3.12)動作は共同作業空間の写真データを対応する。利用者同士は写真のサイズに満足しない場合がある。その際、利用者同士が満足サイズに変更できるため、写真サイズの変更に対して利用者が共同で行えば良いと考えた。そこで、利用者同士が手をグーの状態にし、同時に共同作業空間の写真データの範囲に置くと、写真データを拡大縮小、回転することができる。拡大縮小作業は利用者同士の両手の距離に基づいて実行する。したがって、距離を縮めた場合、写真データの縮小作業を行う。逆に、距離を離す場合、写真データの拡大作業を行う(図 3.13)。

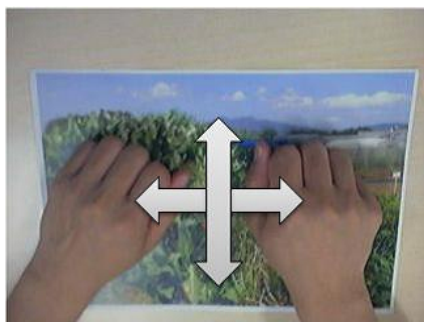


図 3.11: 拡大縮小ジェスチャ

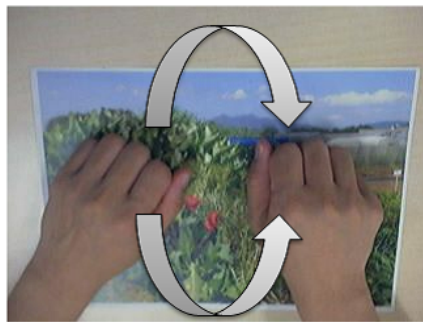


図 3.12: 回転ジェスチャ

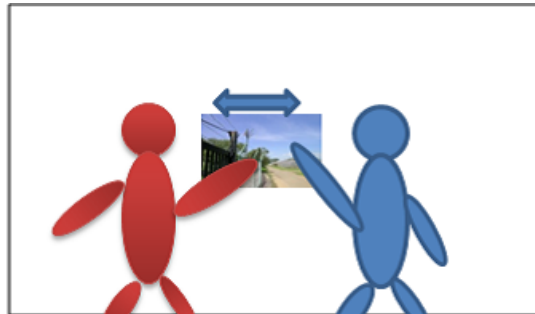
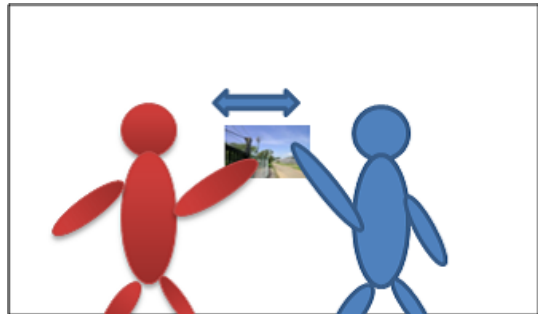


図 3.13: 写真データの拡大

利用者が写真データを違う視覚から見えるように、写真データをただ拡大縮小だけではなく、共同作業のもとに、写真データを回転することもできる。本システムでは、写真データの回転作業は写真データの拡大縮小作業と同時に行う。利用者同士は拡大縮小動作を行っているとき、利用者同士の両手間角度の変更を用いて回転動作を行う(図 3.14)。片方の利用者は手をグーからパーに変更する、あるいは写真データの範囲から出ると、拡大縮小、回転作業が完了する。

拡大縮小、回転のような一連の作業を行った写真は移動作業と違って、写真データの位置が変更されていない。同じ写真データに対して、拡大縮小、回転の作業を繰り返しても、他

の作業が実行できる。

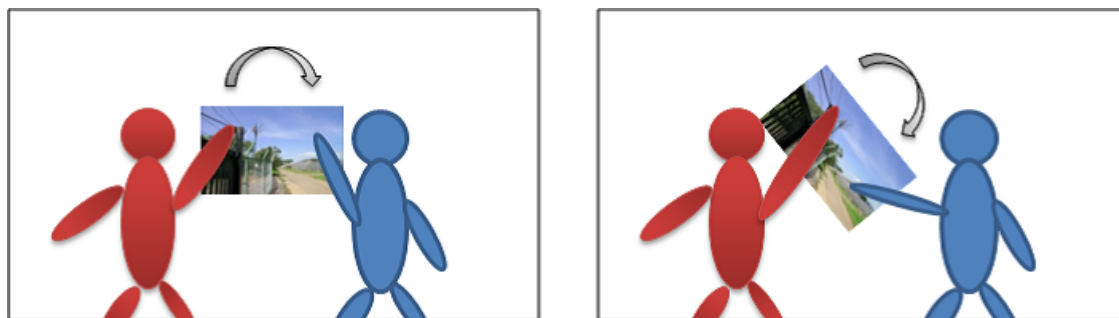


図 3.14: 写真データの回転

### 3.5.4 データ上の描画

実世界にホワイトボードを使用したビデオ会議を行う場合、図や線などを書き込む場合は、そのボードに直接書き込むことが多い。しかし、遠隔会議システムでは会話空間と共用空間が別々なので、会話をしながら、図や線を書き込むことができない。つまり、一度会話空間から視線を外して、マウスなどにより共同描画エリアに書き込むということになる。本システムは会話空間と共同描画エリアを合成して利用者がマウスなどを用いず、人差し指を用いて自然な動きで描画作業を行うことができる。利用者同士はそれぞれの写真データ上に描画でき、同じの写真で共同描画もできる。描画点は利用者がポインティングしているところ (図 3.15) を利用する。



図 3.15: 描画ジェスチャ

## 第4章 CCoAction システムの実装

### 4.1 環境・言語

開発言語は C++ で、開発環境として Visual Studio 2008 を使用した。画像処理には OpenCV 1.1 [22] が用いた。OpenCV は Intel が無償で公開しているライブラリである。ウェブカメラには Logicool の QcamPro4000 を利用した。カメラにより撮影される画像の解像度は  $320 \times 240$  ピクセルである。表示用機器は二台のプラズマディスプレイを使用した。

### 4.2 CCoAction システムの構成

システム全体の構成を図 4.1 のように示す。本システムは、離れた場合に作業空間により構成され、それぞれの作業空間の間は送受信により接続されている。一つ場所にいる利用者の作業を他の場所にいる利用者に反映できるようになる。

作業空間にはウェブカメラとプラズマディスプレイを接続したデスクトップパソコンを設置する。ウェブカメラから画像の入力を行い、プラズマディスプレイは作成された離れた場所にいる利用者が共同作業空間に表示する。デスクトップパソコンは共同作業空間の作成、利用者の画像や遠隔の操作など情報の通信を行う。作業空間に設置された、実際のウェブカメラとプラズマディスプレイ、デスクトップパソコンの様子を図 4.2 に示す。

### 4.3 処理手順

本システムは、

1. 背景の初期化
2. 作業空間の作成
3. 個人データの表示
4. 手と指の検出
5. 個人または共用データの操作

をリアルタイムで行うことにより実現する。以下では、それぞれの処理について詳しく記述する。

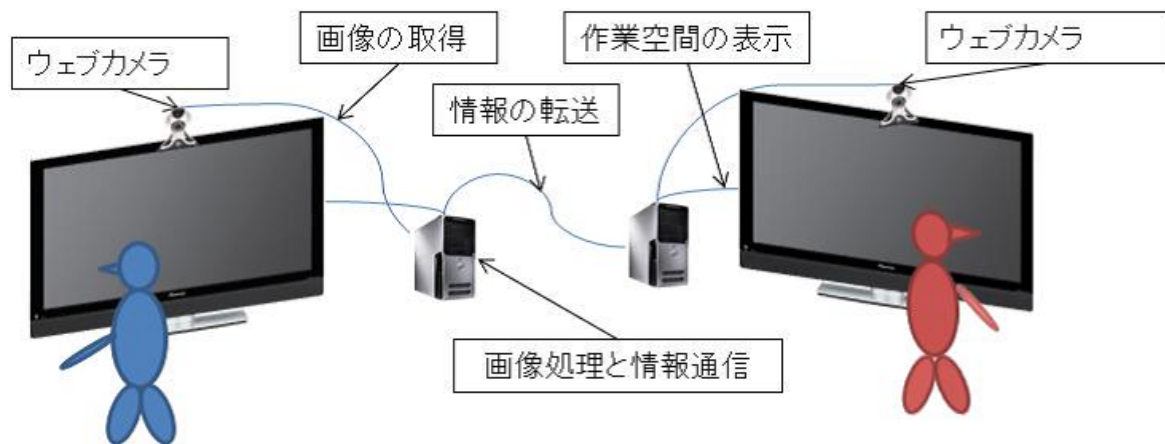


図 4.1: CCoAction システムの構成図

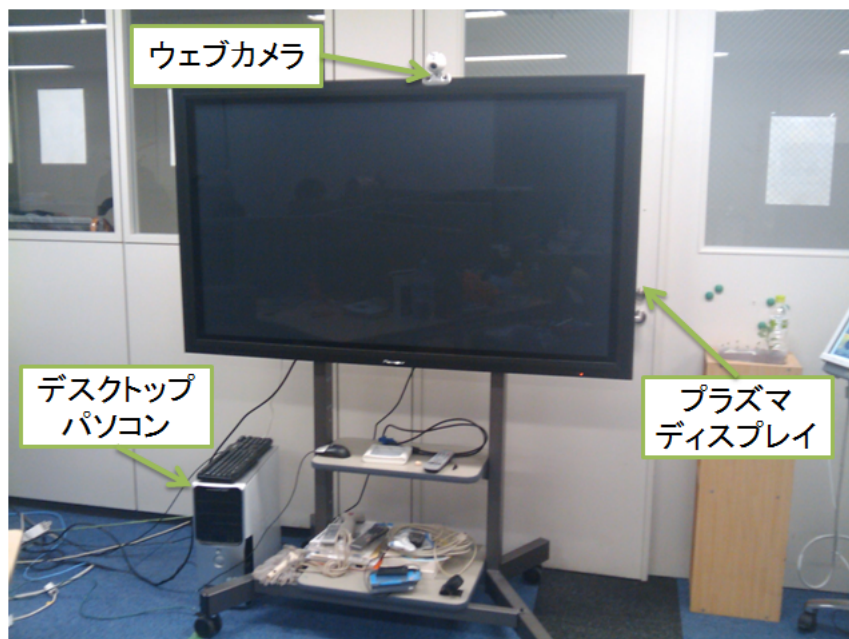


図 4.2: デバイスの設置

## 4.4 作業空間の作成

複数の利用者が一緒にいるような画像の表示は 60 インチのプラズマディスプレイを利用した。作業空間は個人作業空間と共同作業空間に分ける。個人作業空間以外の領域は共同作業空間として認識する。まず個人作業空間の作成について述べる。個人作業空間の作成は背景差分、画像合成を通して作成される。

### 4.4.1 背景差分

背景差分とはカメラが固定されていて視界の移動がない場合に、画像から注目すべき物体を抽出する手法である。背景差分には色々な方法がある。本研究では入力画像から人物領域を抽出するために、人物の姿勢や大きさに影響されない単一の正規分布手法を利用した。

まず、背景の初期化を行う。背景の初期化は利用者が映っていない背景画像を 100 フレーム分撮影する。次に、100 フレーム分の輝度の平均値とその輝度振幅を求める事で背景の初期化が完了する。

初期化が完了した後、利用者がプラズマディスプレイの前に立つと、利用者の身体は最初に求めた輝度と輝度振幅の範囲内ないと認識され、背景差分アルゴリズムを利用し、ウェブカメラから撮影した画像に対して二値化を行う。そして、入力画像から人物領域のみを抽出するため白色と黒色で構成されマスク画像を作成される。入力画像にマスク画像を適用してコピーを行うことで、人物領域のみの画像を取得することが可能になる (図 4.3)。



図 4.3: マスク画像と取得した人物画像

しかし、取得したマスク画像がノイズが付いている可能性がある。この場合、合成された人物画像にノイズが混ざってしまう。この問題を解決するために、本研究ではまず人物画像から身体輪郭領域を検出することを行う。検出された身体の輪郭領域を検出することより、身体輪郭内に白を塗り、外に黒を塗る。この画像を改良したマスク画像として、入力画像と再合成を行う。そうすると背景にノイズが混じらない、背景から分離された人物画像を改良できる (図 4.4)。



図 4.4: 改良したマスク画像と人物画像

#### 4.4.2 画像合成

利用者同士が一緒にいるような作業空間を作成する際、一枚写真を背景画像として使用した。背景画像は抽出された利用者同士の人物画像と合成を行うと、利用者同士が一緒にいるような画像を作成することができる。

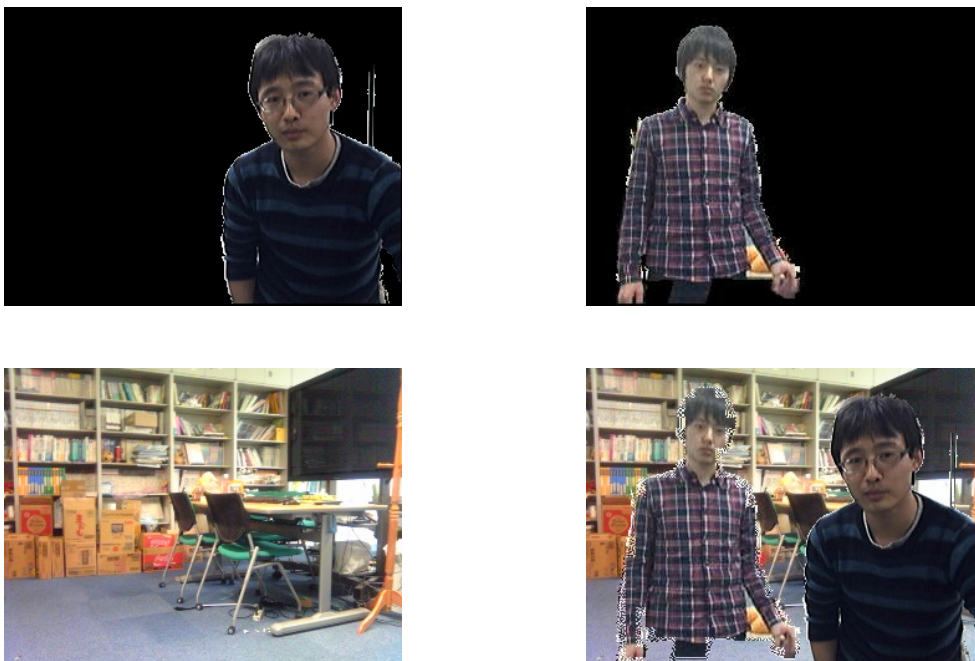


図 4.5: 共同作業空間の作成

本システムに画像合成が以下の流れで行う。

1. 人物領域のマスク画像を反転させる。

2. 背景画像に反転させたマスク画像を適用し、合成後の背景となる画像を作成する。
3. 背景画像と利用者の人物領域画像を足し合わせる。
4. 受信された利用者の画像データに対して 1,2,3 の処理を繰り返す。

これにより、利用者画像との遠隔地利用者画像を用いて背景画像と合成を行うことで、共同作業空間を作成することができる (図 4.5)。利用者の画像は本システムでは自分自身の姿を鏡像としてプラズマディスプレイに表示するので、左右反転したものにした。

## 4.5 手の検出

本システムではすべての作業を手を用いて行った。そのため、手を正しく認識する必要がある。手の検出のプロセスは以下の通りである。

肌色の検出 → 手形の判別 → 手位置の検出

### 4.5.1 肌色の検出

手の位置を検出するために、背景から肌色領域を分離する必要がある。しかし、背景に肌色によく似ている物体があったら、物体も肌色として認識する場合がある。この問題を防止するために、本研究では背景差分を行った画像から肌色検出を行う。

入力画像が背景差分を行って、図 4.6 に示す人物画像を取得する。次に、人物画像を RGB 空間から HSV 空間へ変換して、肌色抽出を行う。HSV 空間とは H:色相 (Hue)–色の種類 (赤、青、黄色のような)、S: 彩度 (Saturation・Chroma)–色の鮮やかさ、V:明度 (Brightness・Lightness・Value)–色の明るさ。RGB 空間から HSV 空間への変換は次のように行われる。

R,G,B の三つの値の内、最大のものを MAX、最小のものを MIN をとすると、この式は次のように書ける。

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0 & \text{if } MAX = R \\ 60 \times \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120 & \text{if } MAX = G \\ 60 \times \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240 & \text{if } MAX = B \end{cases} \quad (4.1)$$

さらに  $H += 360, \text{ if } H < 0$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX} \quad (4.2)$$

$$V = MAX \quad (4.3)$$

色空間として RGB 空間、HSV 空間、YUV 空間などがある。HSV 空間を使用する原因は肌色領域を検出しやすいである。HSV 空間へ変換された画像を H、S、V の値を調べるとき、以下の閾値により肌色を検出する。

$$\begin{cases} 0 < H < 20 \\ 51 < S < 255 \\ 0 < V < 255 \end{cases} \quad (4.4)$$

肌色らしい色の範囲内にあれば、そのピクセルには白色を入力し、逆に肌色らしい範囲内になければ、そのピクセルには黒色を入力する。肌色らしい範囲として一定の領域を設定し、それより小さい部分をノイズとして消去する。この処理を各ピクセルに行うことにより、肌色だけを抽出した白色と黒色で構成されたマスク画像(図 4.7)を作成する。



図 4.6: 背景差分の結果

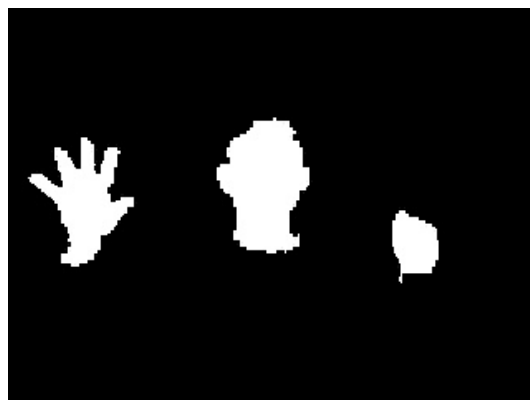


図 4.7: 肌色検出の結果

#### 4.5.2 手の形の判別

手の形を判別する場合、様々な方法があると考えられるが、ここでは検出された肌色画像から判別を行う。それはまずそれぞれの肌色領域の面積を調べる。面積が最も大きい領域を顔領域であると判別し、残りの2つの領域は手領域として判別することができる(図 4.8)。検出された手領域からグーとパーの手の形を分けるために、手の面積とその手の凸包の面積の比の閾値を計算する。閾値は以下のように設定する。

$$\begin{cases} 0.84 < \text{グー} < 1.0 \\ 0.5 < \text{パー} < 0.84 \end{cases} \quad (4.5)$$

認識精度は手とウェブカメラ間の距離と関連がある。カメラから遠く離れる場合、パーとグーの判別は困難になる場合がある。本システムではウェブカメラの解像度が 320 \* 240 の場合、ウェブカメラから 200cm 程度を離れたら判別ができることを検証する。



図 4.8: 分離された顔領域と手領域

### 4.5.3 手位置の検出

本システムでは手画像の重心座標を手の位置として検出する。しかし、肌色領域に元で手がどの位置にあるかを探する場合、手のどの座標を検出することが問題ある。肌色領域から重心座標を計算するとき、手のみが検出されている場合、問題はないが、(図 4.9) のように肌色に似た服を着く、腕を剥き出す場合には、手の重心座標 (図 4.10) を正しく取得できなくなる。この問題を防止するため、作業する場合に肌色に似た服を着かず、腕を剥き出さない制限がある。(図 4.11) のように作業すると、重心座標を正しく取得することができる (図 4.12)。



図 4.9: 腕を剥き出しにする場合

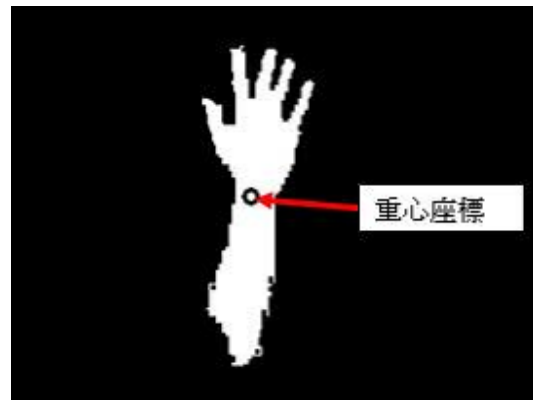


図 4.10: 手の重心座標に取得に失敗例

## 4.6 指の検出

本システムでは先の処理で取得された手の画像を元に指先検出を行う。指先の検出には検出された手の輪郭線の曲率を利用して、指先を求めることにする。

具体的には、まず検出された手の画像に対して、反時計回り方向に輪郭線の追跡を行う。(図 4.13) に表示された O 点は追跡過程に発見された注目点である。O から一定距離を離れた輪郭線上の A、B 点を結ぶ線分 OA, OB がなす角度  $\theta$  が設定された閾値  $\lambda$  より大きくなる場合、O



図 4.11: 腕を剥き出さない場合



図 4.12: 手の重心座標の取得

点が指先点候補とする。このようにして取得された指先候補点群  $\alpha$  から  $\beta$  までの中心を指先点として検出できる。しかし、このままでは指先候補点には指の谷間が含まれてしまうため、指の先と谷間を区別する処理を行う必要がある。指の先と谷間を認識する為に、角度  $\theta$  は反時計回りを正と定義した。こうすることで、角度  $\theta$  は指先で正、指の谷間では負となり、指の先と谷間を区別することができる (図 4.14)。認識精度については谷間より指先を認識しやすい状態である。現在の実装に対して影響を受けないので、今後精度向上を目指し、ウェブカメラの解像度を上げて実装する予定である。

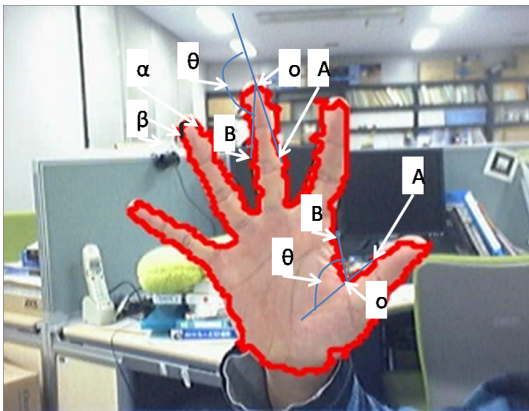


図 4.13: 指先点の検出

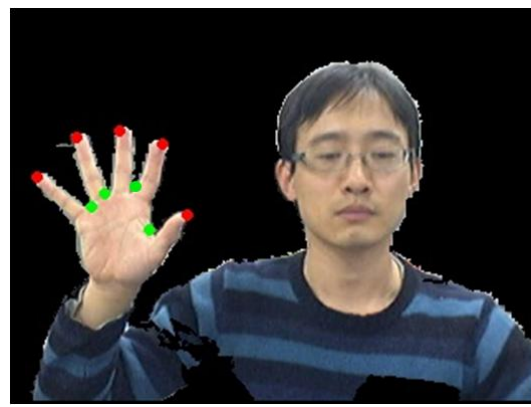


図 4.14: 検出された指の先と谷間

## 4.7 写真データの表示

本システムでは写真データを身体範囲に任意位置で表示することができる。利用者が移動する場合、写真データが身体上に表示された相対位置を変えないために、身体範囲内の任

意の位置座標を求める必要である。本研究では頭の頂点座標が基準点としての座標系を作成する。そうすると、身体範囲に位置座標を取得することができる。

#### 4.7.1 頭の頂点座標の検出

本システムでは先の処理で取得された顔画像に基づいて頭の頂点を検出する。そのために、取得された顔画像の重心座標を求める。本研究で顔画像の重心座標を顔画像の外接円の中心座標として利用して、中心座標から半径が  $R$  である外接円を作成する。頭の頂点を探す際、外接円上の座標を調べる必要がある。Y 座標が一番小さい座標を頂点として取得する (図 4.15)。認識精度のため、頭を傾けない制限がある。(図 4.16) に頂点座標を誤認識されたことを示す。頭が傾く場合、頭の傾きにより頂点が変わることに対応していない。

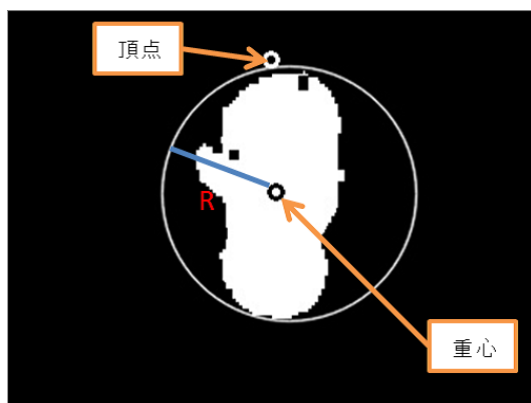


図 4.15: 頭の頂点座標の取得

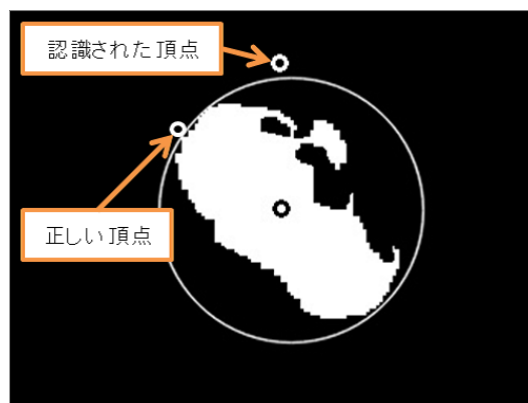


図 4.16: 頭が傾く場合の頂点座標

#### 4.7.2 表示方法

利用者がウェブカメラの前に立つと、利用者の身体領域に写真データが見える程度の大きさで表示される。写真データは頭の頂点を基準点としたピクセル単位での座標系で表示される。頭の頂点座標を検出すると、座標系を作成することができる。身体領域というのは肩部分以下の部分である。そして、頭部分は身体領域外と認め、座標系から除外する。以上によりウェブカメラから撮った人物画像内における利用者の身体範囲に任意座標を作成する。そして、写真データを身体領域に任意位置で表示することができる。このとき、写真データは  $20 \times 15$  のサイズで表示する。これより小さい場合、利用者は写真データの位置を見づらい状況になってしまう。写真を選択する場合、写真のサイズは最小  $80 \times 60$  で表示する (図 4.17)。作業を行った写真データを身体領域で解放すると、サイズを  $20 \times 15$  に戻って、写真データの位置座標を頭の頂点を基準点とした座標系で再設定する。また、利用者移動する場合、身体範囲内の座標も変わるが、写真データが利用者に従って表示される。図 4.18 のような利用者

が画面の左にいる。利用者が左から右に移動するが、写真データは身体の同じ場所に表示され続ける。

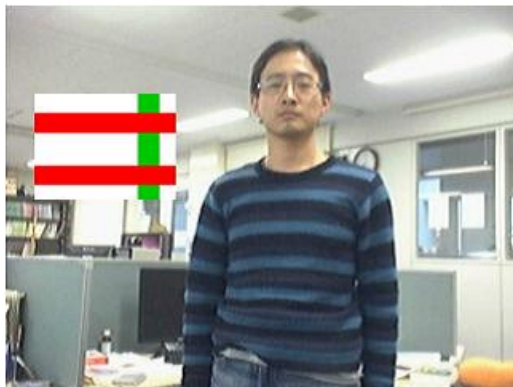


図 4.17: 身体領域外での写真表示



図 4.18: 利用者身体の移動

## 4.8 システムの通信

離れた場所の間にサーバ・クライアントモデルで通信を行う。本システムではそれぞれの2つ場所にはサーバとクライアントを構成する。まず、クライアントで検出された人物画像データを OpenCV 専用の IplImage ファイルから jpeg ファイルへ変更する。その後、手の位置座標や頭の頂点位置座標や指位置座標と集めて、サーバに送信する。サーバの方に受信したデータから人物画像と座標情報を分ける。人物画像は画像合成で使用し、頭頂点座標を使って遠隔地利用者の身体領域を分かる。また、手の位置座標と指の位置座標を使って、遠隔利用者の作業はローカルで反応することができる。

## 4.9 共同データの操作

### 4.9.1 写真データの選択、移動

最初、写真データを利用者の身体領域内に表示する。手をグーの状態を選択したい写真データの上に滞留させると、写真データの選択動作を行うことができる。手をグーの状態に変わる際、本システムが手の位置座標を監視する。手を写真データ範囲に入ると、写真データは静止状態から選択する待機状態に変わる。手を一定時間に写真データ範囲に入ると、選択コマンドを確認し、写真データが選択される(図 4.19)。選択状態になると、写真データのサイズを元から拡大して表示する。写真データのサイズから写真データの中心位置を取得する。写真データの中心位置座標を手画像の重心座標に変更する。手をどの位置に移動しても、写真データが手の重心位置で表示する(図 4.20)。



図 4.19: 写真データの選択



図 4.20: 写真データの移動

手をグーの状態からパーに変更する場合、写真データを解放する。手が身体領域に解放する場合、写真データを  $20 \times 15$  のサイズに再設定する。写真データの位置座標が頭の頂点を基準点として再計算し、写真データの位置座標を頭の頂点を基準点としての座標系へ変更する。身体移動する場合、写真データの位置座標が頭の頂点に対する相対位置を変わず。逆に、写真データを共同作業空間に解放すると、写真データの位置座標を固定になり、静止状

態へ移行する (図 4.21)。手は肌色検出により検出するので、写真データを選択した後、移動する場合、顔の前から通過できない制限がある。顔の前から通過する場合には手を認識できなくなる。



図 4.21: 写真データの解放

#### 4.9.2 写真データの交換

利用者同士は選択、移動、解放一連の動作により、共同作業空間で静止状態における写真データが交換作業を行うことができる。交換作業を行う際、一人が写真データを選択すると、その人が解放するまで、相手が同じ写真を選択できない制限がある (図 4.22)。



図 4.22: 写真データの交換

#### 4.9.3 写真データの拡大縮小、回転

写真データの拡大縮小、回転は同時に実行する (図 4.23)。拡大縮小、回転を作業する対象は共同作業空間における共用された写真データである。選択動作と区別して作業を行うため、選択動作は一定的な待機時間を設定する。利用者同士のそれぞれの手がクーの状態で共用さ

れた写真データ上に滞留させると、すぐ拡大縮小、回転動作を実行する。動作をはじめて実行する時、両手の位置座標  $p_1$ 、 $p_2$  と両手間の距離を保存する。両手を移動する場合、新しい位置座標  $p'_1$ 、 $p'_2$  を用いて両手間の距離と保存した距離の差を計算し、この差を用いて拡大縮小を実行する。また新旧位置座標を用いて変化角度  $\gamma$  を求めて、写真の回転動作を行う (図 4.24)。拡大縮小、回転動作の完了コマンドについて、利用者同士が一人ゲーからパーへ変更する及び一人が手を写真データの領域から出る場合、拡大縮小、回転動作を完了する。



図 4.23: 写真データの拡大と回転動作

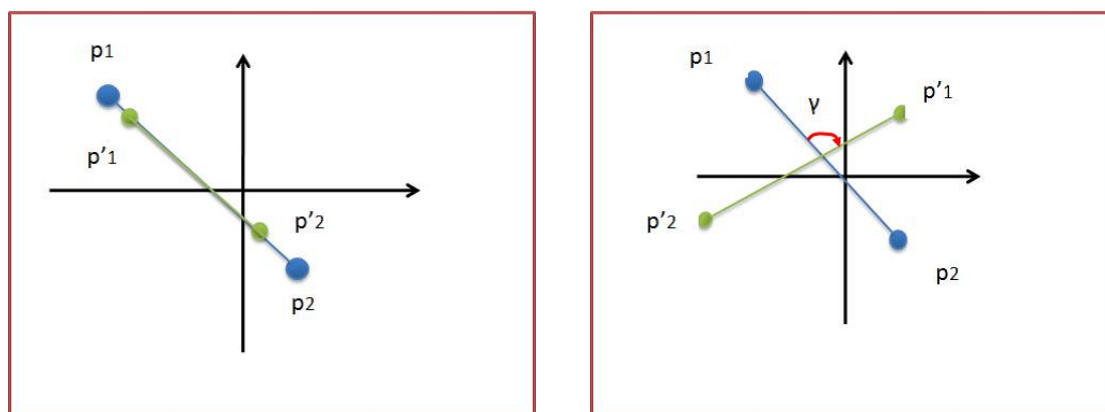


図 4.24: 動作による距離の変化と角度の変化

#### 4.9.4 写真データ上の描画

描画動作は一人でも二人でも作業を行うことができる。利用者が人差し指の状態で共用された写真データを指すと、指の移動に対して追跡を行う。人差し指を動かすと写真データ上

で移動跡で描画を行える。手がポインティングからパーへ変更する場合、描画動作を中止することができる。パーの状態では他の描画したい場所へ移動して、続けて描画を行うことができる (図 4.25)。



図 4.25: 写真データ上での描画動作

共用された写真データが拡大縮小及び描画を行った後、写真データの修正情報を持って利用者の個人作業領域に保存することができる (図 4.26)。

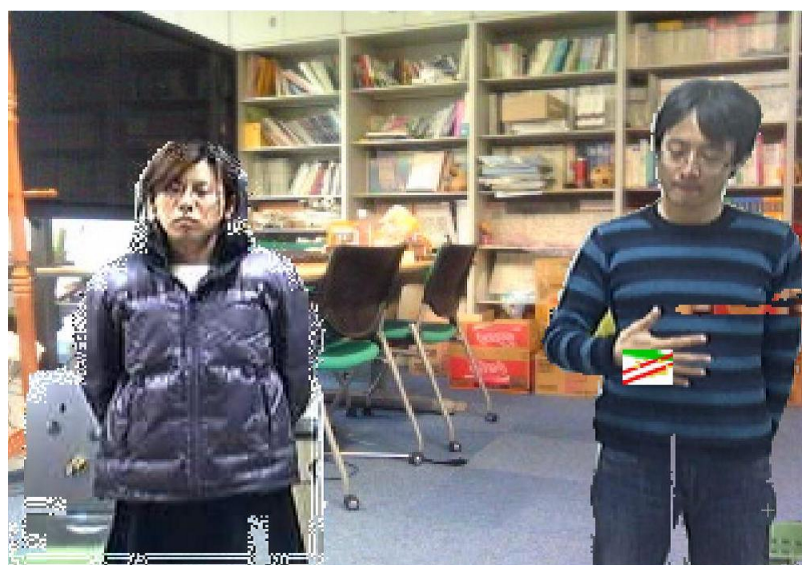


図 4.26: 修正された写真データの保存

## 第5章 提案手法の評価と考察

本章では、3章で提案した遠隔共同作業支援システムの操作手法を評価するために、実験を行い、実験の結果から問題などを考察する。

### 5.1 実験目的

実際の環境で、一般利用者の試用から、提案した遠隔共同作業支援システムが良いかどうかを検討した。遠隔共同作業におけるハンドジェスチャを用いてデジタルファイルの操作手法について検討することで、利用者の動作を認識することの有効性、精度、使用感に基づいて評価を行った。具体的には以下の実験を実施した。

### 5.2 実験方法

実世界に離れた二つの研究室 A(図 5.1) と研究室 B(図 5.2) にプラズマディスプレイ、デスクトップパソコン、ウェブカメラを設置し、実際に複数の利用者同士で遠隔共同作業を行う。



図 5.1: 研究室 A



図 5.2: 研究室 B

被験者は20歳から30歳の学生8人で、4セッションの実験を行った。1つのセッションあたり2人が参加した。また、被験者は本研究のような共同作業システムの使用経験はない。

被験者はプラズマディスプレイから2m離れた場所で正面に立って本実験を行う。図 5.3 に実験環境の設計を示す。

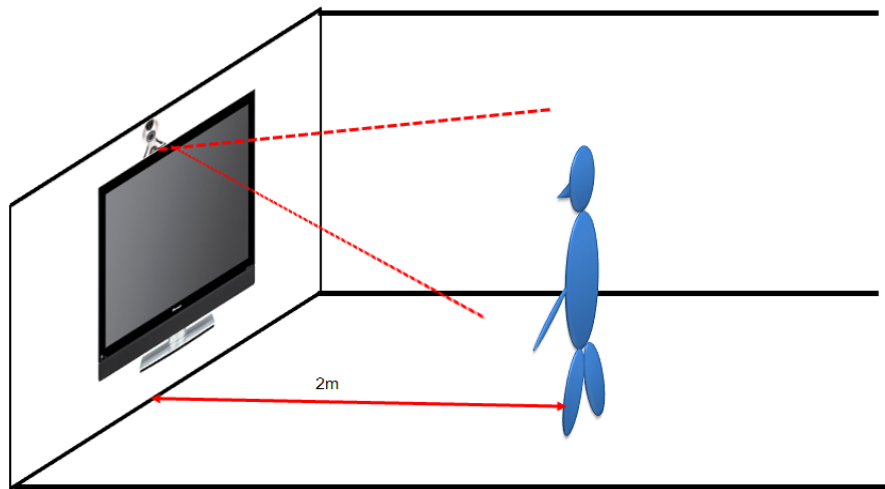


図 5.3: 実験環境の設計

本実験においては、以下の三つの共同作業を用いて、いかに効率良くタスクを行えるか評価した。

まず、提案システムを用いて被験者がプラズマディスプレイの前に立って、身体の前に私用データを表示する。共同作業空間を通じて被験者同士がハンドジェスチャを用いて、写真データの交換を行う。写真データの交換するために、自分の私用の写真データに対して選択、移動や共同作業空間にデータの開放を行い、相手が共同作業空間に移動した写真データに対して選択、移動、個人作業空間にデータの解放を行う。

この後、被験者が共同作業空間にある複数の共用された写真データを個人あるいは共同で描画動作を行う。描画動作は被験者の人差し指を利用して、描画動作を行う。被験者が人差し指を写真データに指すと、本システムは被験者が描画したいことを確認した後、被験者が人差し指を移動しながら、写真データの上に描画を実現する。

また、共同作業空間にある共用写真データに対して、被験者同士が手の形を利用して拡大縮小と回転動作を行う。被験者が共同写真データ上に手をグーの状態に置くと、本システムは被験者が拡大縮小と回転動作を行いたいことを確認した後、被験者同士が写真の上に手を移動しながら動作を実行する。

以上の実験の画像を TCP ソケットを設け LAN を介して通信し、プラズマディスプレイに出力した。

### 5.3 アンケート質問項目

システムの試用を行った後に被験者がアンケートを記入してもらった。アンケートの質問項目は、以下の通りである。まず、Q1 と Q2 は簡単な個人情報を記入する。次に、Q3 から Q10 までの各質問が 5 段階評価を行った。質問の項目についてであれば、「そう思う」、「やや

そう思う」、「どちらでもない」、「あまりそう思わない」、「思わない」の5段階で評価してもらった。Q11とQ12はインタラクション設計に対して主観の感覚を評価した。最後、Q13は簡単なコメントを記入する。

- Q1. あなたご自身のことについて教えてください
- Q2. ビデオ・コミュニケーションの経験を教えてください
- Q3. 簡単な説明により作業画面を見ると、使い方が分かります
- Q4. カメラが存在する意識があります
- Q5. 遠隔地利用者と共存在の感覚があります
- Q6. 自分の意図を遠隔地利用者に与えます
- Q7. 共同作業を行うと不安であります
- Q8. 写真データを表示するサイズが良い
- Q9. 相手の写真データが自分に共用されるという感覚があります
- Q10. 個人写真データ、共用写真データ」という感覚があります
- Q11. 以下の作業の中でどちらが難しい
- Q12. 主観的な印象として、使った時の「楽しさ」は以下のどちらですか
- Q13. システムの改善、感想に関してご意見などを自由に記入してください

## 5.4 結果

表 5.1 について、Q3 から Q10 までの各項目に対する被験者 (A ~ H) の答えの平均値である。

| 質問項目 | A | B | C | D | E | F | G | H | 平均値   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| Q3   | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4.0   |
| Q4   | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4.25  |
| Q5   | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4.125 |
| Q6   | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4.25  |
| Q7   | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3.75  |
| Q8   | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3.625 |
| Q9   | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4.125 |
| Q10  | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4.25  |

表 5.1: アンケートの結果

Q11 の項目に対して、最も多い答えは拡大縮小、回転である。

Q12 の項目に対して、「どちらでもない」を答えた被験者が多い。

## 5.5 考察

考察は被験者が実験を行った様子と記入したアンケートから行った。

離れた場所にいる利用者同士が同時に作業空間に表示することができた。身体映像が重なる場合があるが、利用者同士がお互いに左右へ移動することで問題を解決された。利用者の身体領域に表示された写真データを利用者とともに移動することができた。現在利用者が左右に移動すると写真の相対位置を変わずことを対応したが、今後に向けて全領域の移動に対応する必要がある。簡単な説明により作業方法を理解できた。手の位置座標を用いて写真データの選択、移動を行うことが分かった。肌色検出をもとに手を認識するので、ただ手が顔の前に通過すると、写真が身体領域に止まった場合があった。そのとき、手を認識できなくなると思われる。拡大縮小、回転動作を行う場合、動作を行う臨界点は共同写真の領域に入ることがある。拡大縮小、回転動作を行うとき、代わりに一人の選択動作を実行した場合があった。利用者同士が同時に手を写真の領域に入るが一人の手をグーとして認識できなかったと考えられる。描画動作を行うとき、指を認識できないと描画線を切られた場合があった。

以上のことから現在の問題点を考えた。現在の問題点として、背景差分、肌色検出、指の位置検出、処理速度から改善する必要だと考えられる。背景差分と肌色検出の抽出精度を上げるため、照明条件の変動がある場合や背景に人間の肌とよく似た領域がある場合に正しい抽出を得ることが困難となる。そのため、距離情報による背景除去などを行うことで、より環境に背景差分と肌色検出を行えると思われる。本研究では輪郭線の曲率情報より指先検出を行ったが、指の本数とより正確な指先位置を求めることで、認識精度と位置精度を向上すると考えられる。本研究では、Opencvを用いたビデオキャプチャを行っているが、CPUの負担がかなり大きく、また、肌色領域抽出のための色空間変換の処理も計算時間を要するため、冗長な処理の削減やアルゴリズムの改善などによる処理速度向上が望まれる。

## 第6章 まとめ

本研究では、まず画像処理により物理空間で遠く離れた利用者同士が仮想空間上での作業空間を実現した。次に、作業空間において共同作業するためのハンドジェスチャを設計し、実装を行った。

本研究は操作方法として4つの動作を提案し、実装した。これにより、離れた場所にいる利用者同士が特別なデバイスを使わず、直感的に写真データの交換、拡大縮小、回転、描画を行うことができる。写真データの交換はパーとグーのような手の形を元に、手の形の切り替えにより実行を可能にした。前後二枚のフレームを比較して、利用者同士の手と手の間の移動距離の差と移動角度により写真データの拡大縮小と回転が可能になった。また、人差し指の動作により、写真データ上に描画動作を行うことを可能にした。最後に、動作の有効性、精度、システムの使用感を検証するために、離れた場所にある2つの研究室で、作成したシステムの試用をし、その結果から考察を行った。

現在のシステムを使用する場合、頭を傾けないとか、作業する場合に肌色に似た服を着かず、腕を剥き出さないとか、動作を行う場合、頭の前から通過できない制限がある。今後の展望として、これらを解決する方法を検討し、インタラクションの設計、認識の精度向上を目指す。利用者同士が共同で写真のフォント、形の修正をできるようになる。

## 謝辞

本論文を執筆するに当たり、指導教員である田中二郎先生をはじめ、高橋伸先生、志築文太郎先生、三末和男先生には、丁寧なご指導と適切な助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

また、インタラクティブプログラミング研究室の皆様方には様々な意見を頂き、特にユビキタスチームのメンバーの方々には、さらに、議論などを交わしていただき様々な意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 井上智雄, 岡田謙一, 松下温. テレビ会議における映像表現の利用とその影響, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, pp.3752-3761, 2000.
- [2] 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子, 加藤浩, 鈴木栄幸, 三樹弘之. コミュニケーションにおけるフィードバックを支援した実画像通信システムの開発. 情報処理学会学会論文誌, Vol. 45, No. 1, pp. 300-311, 2004.
- [3] Mark Weiser. The computer for the twenty-first century. In Scientific american, pp. 94-104, Scientific american, September 1991.
- [4] Mark Weiser. Ubiquitous computing. <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/>, 1996.
- [5] Donald A. Norman. The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution. The MIT Press, 1996.
- [6] Jun Rekimoto. Pick-and-drop: A direct manipulation technique for multiple computer environments. In Proceedings of the ACM symposium on User Interface Software and Technology, pp. 31-39. ACM Press, 1997.
- [7] Jun Rekimoto. Smartskin: An infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 113-120. ACM Press, 2002.
- [8] Hiroshi Ishii. Bottles: A transparent interface as a tribute to mark weiser. IEICE transaction on information and systems, Vol. E87-D, No. 6, pp. 1299-1311, 2004.
- [9] Kimiko Ryokai, Stefan Marti, and Hiroshi Ishii. I/O Brush: Drawing with everyday objects as ink. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM Press, 2004.
- [10] S.Iwabuchi, B.Shizuki, K.Misue and J.Tanaka. Natural Storage in Human Body. Proceedings of the 9th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES2005), Part IV, pp. 430-436, Melbourne, Australia, Sep. 14-16, 2005.
- [11] Ellis C., Gibbs S. J. and Rein G. L. Groupware Some Issues and Experiences. Comm. of ACM, Vol. 34, No. 1, pp. 38-58, 1991.

- [12] 平田圭二, 原田康德, 高田敏弘, 青柳滋己, 白井良成, 山下直美, 大和淳司, 梶克彦. 遠隔ビデオコミュニケーションシステムのための仮想共有面の実装方式. 情報処理学会, グループウェアとネットワークサービスワークショップ, 2007.
- [13] 森川治, 宗像恒次, 橋本佐由理, 奥中淳三. ハイパーミラーを用いた遠隔抱擁システム. インタラクション, pp. 29-30, 2006.2.
- [14] 神田陽治. 臨場感あるグループウェアの構築. グループウェア研究グループ研究会, 情報処理学会, 1992.
- [15] 石井裕. ヒューマンコミュニケーション工学シリーズCSCWとグループウェアー協創メディアとしてのコンピューター. pp. 128, オーム社, 1994 年.
- [16] Mark Stefik, Gregg Foster, Darel G. Bobrow, Kenneth Kahn, Stan Lanning, and Lucy Suchman. BEYOND THE CHALKBOARD: computer supported for collaboration and problem solving in meetings. Communications of the ACM, Vol. 30, No. 1, pp. 32-47, Jan. 1987.
- [17] Peter Cook, Clarence Ellis, Mike Graf, Gail Rein, and Tom Smith. Project Nick: Meetings Augmentation and Analysis. ACM Transaction on Office Information System, Vol. 5, No. 2, Apr. 1987.
- [18] Terry Winograd. A language perspective on the design of cooperative work. In CSCW '86 Proceedings, Dec. 1986.
- [19] Kum yew Lai, Thomas W. Malone, and Keh Chiang Yu. Object Lens: A Spreadsheet for Cooperative Work. ACM Transaction on Office Information System, Vol. 6, No. 4, pp. 332-353, Oct. 1988.
- [20] T.W. Malone, K.R. Grant, K.Y. Lai, R. Rao, and D. Rosenblitt. Semistructured messages are surprisingly useful for computer-supported coordination. ACM Transaction on Office Information System, Vol. 5, No. 2, pp. 115-131, Apr. 1987.
- [21] Ishii, H. et al. ClearBoard: A Seamless Media for Shared Drawing and Conversation with Eye-Contact. In Proc. of CHI '92, pp. 525-532, 1992.
- [22] Cary Bratski, Adrian Kaehler. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. pp. 44, O'REILLY, 2008.

# 付録

## アンケートの内容

実験に関するアンケート

＊アンケートに回答頂いた事項は研究目的以外で利用されることはありません

Q1. あなたご自身のことについて教えてください

年齢： （        ） 歳        性別： （ 男 / 女 ）

Q2. ビデオ・コミュニケーションの経験を教えてください

ある    なし

Q3. 簡単な説明により作業画面を見ると、使い方が分かります

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q4. カメラが存在する意識があります

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q5. 遠隔地利用者と共存在の感覚があります

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q6. 自分の意図を遠隔地利用者に与えます

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q7. 共同作業を行うと不安であります

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q8. 写真データを表示するサイズが良い

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q9. 相手の写真データが自分に共用されるという感覚があります

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q10. 「個人写真データ、共用写真データ」という感覚があります

そう思う    ややそう思う    どちらでもない    あまりそう思わない    思わない

Q11. 以下の作業の中でどちらが難しい

選択      移動      交換      拡大縮小      回転      描画

Q12. 主観的な印象として、使った時の「楽しさ」は以下のどちらですか

とても楽しい    楽しい    どちらでもない    楽しくない    全然楽しくない

Q13. システムの改善、感想に関してご意見などを自由に記入してください。

ご協力、ありがとうございました。