

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

手を向ける動作を機器指定に用いた
家電機器操作手法

田中 舜一

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

2015年3月

概要

近年テレビやオーディオ機器など、ネットワークに接続可能な家電機器が普及しつつある。これらの機器はネットワークを介することによって様々な端末、センサからの情報を元に機器を制御することや、複数家電の連携制御などのサービスを提供することが出来る。

このような環境では1つの端末やインタフェースによって複数の機器が操作されるが、生活環境には多くの機器があるため、その中からユーザの動かしたい機器を指定する操作、ユーザの位置によらず機器を指定する操作は難しい。

さらに家電機器の高機能化、高性能化に伴い、多くの情報を元に機器の操作を行う場面も増えていくと予想される。そのため、十分な表示領域を提示し多くの情報を伝えることのできるインタフェースが求められる。

そこで、本研究では機器の指定が難しいという問題及び表示領域が狭く操作が難しいという問題を解決するインタラクション手法として、HMD と手のジェスチャを用いた機器操作システムを提案し、そのプロトタイプを実装した。

本手法はユーザがHMDを日常的に身に付けている未来環境を想定し、ユーザの機器操作にHMDに取り付けたRGBカメラを用いる。ユーザが操作したい機器に対して手を向ける動作を行うと、その動作をRGBカメラが捉え、機器の指定を行うことが出来る。また、機器の指定には環境中の機器の検出を行っている必要があるため、予め機器にはマーカを取り付ける。マーカをRGBカメラで認識することにより機器の位置を検出することが可能である。さらに、従来はリモコンであればリモコンを探す必要性があり、スマートフォンを用いて操作する際は画面内に表示された機器と現実の機器の対応付けを理解しなければならないという問題があったが、本手法ではユーザの見た物に対して手を向ける動作を用いることにより容易に機器指定を行うことができる。そして、機器の操作にはHMDを用いたUIの表示を行うことで十分な領域の操作インタフェースを用いることのできる操作手法である。

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 ホームネットワーク環境におけるインタラクション	1
1.3 未来環境における機器とのインタラクション	2
1.4 本研究の目的	2
1.5 本研究のアプローチ	3
1.6 本論文の構成	3
第2章 未来環境におけるデバイス操作と本研究の位置付け	4
2.1 未来環境におけるデバイス操作	4
2.2 未来環境におけるデバイス操作の問題点	6
2.3 本研究の位置づけ	8
第3章 手を向ける動作を用いた家電機器操作システム	9
3.1 インタラクションの概要	9
3.2 操作対象の指定	10
3.3 HMDを用いたUIの表示	11
3.4 指先のジェスチャを用いたUIの操作	11
3.5 UIの階層化	12
3.6 利用シナリオ	12
第4章 システムの実装	15
4.1 環境の構成	15
4.2 通信方式	16
4.3 システム処理の流れ	16
4.4 家電機器の認識及び相対位置の検出	16
4.4.1 機器の識別	16
4.4.2 環境に配慮したマーカの選定	16
4.4.3 機器との相対的な位置関係	19
4.5 手認識プログラムの実装	19
4.5.1 肌色抽出を用いたユーザの手の検出	19

4.5.2	ノイズの除去	20
	肌色領域の面積を用いたノイズ除去	20
4.5.3	手の先の検出	20
4.6	UI の表示及び操作	21
4.6.1	機器に応じた UI の表示	21
4.6.2	UI に対する操作	22
4.6.3	ピンチ操作の検出	22
4.6.4	選択箇所の検出	23
4.7	家電への出力	23
4.7.1	ハードウェア	23
	赤外線通信モジュール	23
4.7.2	赤外線信号の学習と出力	23
4.8	学習を行った機器と操作について	24
4.8.1	操作 UI と入力に対応	26
第 5 章	関連研究	28
5.1	ホームネットワーク環境でのインタラクションに関する研究	28
5.2	モバイルデバイスを用いたインタラクションに関する研究	28
第 6 章	結論	30
6.1	本研究の成果	30
6.2	今後の展望	30
	謝辞	31
	参考文献	32

図目次

2.1	従来のリモコンと関連研究の比較	7
3.1	システムの装着の様子	9
3.2	システムの全体図	10
3.3	UI の表示	11
3.4	手のピンチ操作を用いた UI の操作	12
3.5	UI の全体図	13
4.1	システム構成	15
4.2	本システムの処理の流れ	17
4.3	マーカの設置例	18
4.4	使用したマーカ画像	18
4.5	肌色領域の検出	19
4.6	ノイズを除去する前の画像	20
4.7	ノイズ処理を行った後の画像	21
4.8	手の先の検出	21
4.9	テレビの UI (左) とエアコンの UI (右)	22
4.10	ピンチ操作	22
4.11	赤外線送受信を行うモジュール	24
4.12	赤外線送受信モジュールの配線図	25
4.13	赤外線送受信モジュールの回路図	26
4.14	学習を行った扇風機とそのリモコン	27
4.15	学習を行ったテレビとそのリモコン	27

第1章 序論

1.1 研究の背景

現在、一般家庭においては様々な家電機器が存在している。テレビやビデオデッキ、CDプレーヤー、エアコンといった機器には遠くからそれらを操作できるリモートコントロール装置（以下リモコン）が付属している場合が多い。これらは主に赤外線を発信することで離れた場所から各々の機器を操作するよう設計されているが、当然ながら異なる機器のリモコンで他の機器を操作することは出来ない。また、リモコンは常に操作者の近くにあるとは限らないため、リモコンの位置まで移動し手にとって操作を行うことも多い。そのためリモコンがあったとしても操作者がその場から機器に対して入力を行うことが難しい場面は多く存在する。さらに、機器の数だけ複数のリモコンが環境に存在するため、どのリモコンがどの機器に対応しているかを全て理解していなければ自由に機器を操作することは難しい。

これらの問題を解決するシステムの1つに万能リモコンが挙げられる。万能リモコンとは複数のリモコンの機能を学習し、1つのリモコンで複数の機器の操作を可能にする装置である。このリモコンを使うことにより複数のリモコンを管理する問題は解決されるが、機器の操作を行う際は万能リモコンのどのボタンがどの機器に対応しているのかといった対応付けを理解しなければならない。

このように現在の家電機器の操作方法には多くの問題点が挙げられるが、近年家電機器の中にネットワーク接続を行うことのできる機器が登場してきており、家電機器の操作を取り巻く環境に変化が起きている。

1.2 ホームネットワーク環境におけるインタラクション

ホームネットワークシステムとは、宅内の家電やセンサをネットワークに接続し、それぞれの機能を利用する為のAPIを公開することにより、計算機による制御を可能にするシステムである。近年テレビやHDD/DVDレコーダ、オーディオ機器など、ネットワークに接続可能な家電機器が登場してきており、これらの機器はホームネットワーク環境にて操作することが可能である。ネットワークに接続することによって様々な端末から機器への操作を行うことが可能であり、従来の専用リモコンを探すという手順を踏むことなく操作することが出来る点が利点として挙げられる。複数の家電機器をネットワークを通して操作可能にする製品としてiRemocon¹が挙げられる。これは、スマートフォンに家電機器の操作を登録し、スマートフォ

¹<http://i-remocon.com/>

ンによって機器を一括で操作するものである。スマートフォンのように常に携帯しているデバイスに機器操作機能を集約することによって、ユーザがどこにいても機器の操作ができ、従来のようにリモコンを探す行為や機器に直接近づいて操作するといった、ユーザが移動しなければならない問題点を解消することができる。しかし、スマートフォンを用いた入力システムでは、操作する際にスマートフォンの画面に表示された機器と現実存在する機器との対応を素早く理解することは難しい。また、同じ用途の機器が複数存在する場合などは機器の対応付けはさらに難しくなる。さらに、スマートフォンはモバイル端末であるため表示できるインタフェースの範囲や操作領域は限定されてしまう。将来、より高機能な家電機器が接続される環境を考えると、十分な操作スペースを用いた使いやすいインタフェースが求められる。

1.3 未来環境における機器とのインタラクション

ホームネットワークシステムの操作には現在日常的に携帯しているモバイル端末で操作されることが多いが、機器の操作環境だけでなく、入力を行うモバイルデバイスの進歩も現在進んでいる。モバイルデバイスには腕時計型や指輪型など様々な形態のものが開発されているが、その1つにHMDが挙げられる。HMDとはHead Mounted Displayの略称であり、頭部に装着するモバイルデバイスである。ユーザの視界の広い範囲に対して映像を表示できる点が特徴として挙げられる。

従来は機器の小型化が進んでおらず日常的に装着しながら生活を行うことは難しかったが、現在Google社が開発したGoogleGlass²やEpson社のMoverio³など小型化、軽量化が進んだ機器が次々と発表されている。本研究では今後もこのような流れが続き、HMDの持つ問題点が解決されていくことによって一般に普及していくと予想している。これらの機器は画面の表示領域が広いため、現在ホームネットワークにおける機器操作として用いられているスマートフォンの問題点である操作領域が限られるという問題を解決することができると考えられる。また、身に付けるタイプのデバイスであるためユーザの位置によらず常に操作することができる。そのためリモコンを用いた機器操作において操作場所が限定される問題点についても解決することができる。このことから、HMDを用いることにより従来の機器インタフェースの問題点、ホームネットワーク環境における問題点の両方を解決する新たな機器操作インタフェースが考えられる。

1.4 本研究の目的

本研究の目的は、ホームネットワークが普及した環境において多くの機器の中からユーザの動かしたい機器を容易に指定し、十分な表示領域の操作インタフェースを用いて操作を行うことの出来るシステムの実現である。

²<http://www.google.com/glass/start/>

³<http://www.epson.jp/products/moverio/>

1.5 本研究のアプローチ

本研究の目的を達成するためのアプローチとして、HMD を装着したユーザが環境中の動かしたい機器に対して手を向ける動作を行い、それを HMD に取り付けられたカメラが検出することによって機器の指定操作の検出を行う。その後、HMD を用いてユーザへ操作機器のインタフェースを提示することでスマートフォンやリモコンのように操作スペースが限られる問題点を解決する操作手法を実現する。

1.6 本論文の構成

第2章では、未来環境における機器操作環境について説明し、本研究の位置づけと取り組む課題について述べる。第3章では、本研究のアプローチである、手を向ける動作を用いた家電機器操作手法について述べる。第4章は、第3章で述べた本研究のプロトタイプの実装方法について述べる。第5章では、本研究との関連研究について述べる。第6章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第2章 未来環境におけるデバイス操作と本研究の位置付け

本章では、ホームネットワーク中の機器の操作についての研究と本研究の位置づけについて述べる。2.1 節では未来環境における周辺機器の操作方法・インタフェースに関連する研究の特徴をまとめ、比較する。その後 2.2 節にて未来環境において生じる機器操作の問題点を挙げ、2.3 節において本研究の位置づけと方針について述べる。

2.1 未来環境におけるデバイス操作

家電操作インタフェースを取り巻く環境は日々進歩を続けており、ホームネットワークシステムと呼ばれる家電と情報機器が一体化した環境を想定した研究がある。

ホームネットワークシステムとスマートフォンを利用した機器操作の研究では [1][2]、従来のリモコンを用いた操作における様々な問題点を解決している。例えば清川ら [3] は、スマートフォンの端末上に現実の環境を模した 3D 空間を表示し、3D 空間中の機器に対して操作を行うことで実際の機器に対して入力を行うことのできるシステムを構築している。この機能によってスマートフォンの画面に表示されている機器と実際の機器の対応付けを容易にしている。しかし、スマートフォンを用いた操作には 1 章で述べたように操作インタフェースが狭く、複雑な操作が難しいという問題点が存在する。

そのため以下では、ホームネットワークにおける家電操作インタフェースとしてスマートフォンを用いることのない、視線入力・音声入力・ジェスチャ入力・タッチテーブル入力を用いた研究について述べる。

- 視線入力

カメラや EOG (Electro oculogram) センサなどの装置を用いて人物の目の動きを捉えることによって視線方向の推定を行い、コンピュータへコマンドを入力する視線入力の研究が盛んに行われている [4][5][6][7]。視線入力を用いた家電操作インタフェースの研究では、テレビ付近に設置したカメラを用いて視線方向を推定し、テレビ画面に提示されたアイコンをユーザが数秒注視することでテレビ機能の操作を行うシステムを提案している。これらの視線入力を利用した家電操作インタフェースの特徴としては、眼球や瞼以外の運動を必要としないためユーザに与える肉体的な負担は軽く、また運動機能に障害を持つユーザも利用可能である。しかし眼球運動を認識する上で、瞬間的な眼球運動を操作コマンドとして誤認識しないように数秒程度の判定時間を設ける必要があり、

家電操作インタフェースとしての即応性に欠ける。また、視線入力では手のジェスチャや音声認識と比べて入力の種類が少ないため、多くの種類の入力を行うデバイスへの操作には適していない。

- 音声入力

音声入力では、音声認識エンジンを利用して人物の発話内容を認識し、その結果に応じてシステムの入力を行う。音声入力を用いた家電操作インタフェースの研究として、内田ら [8] らは自然な発話による対話型の家電操作システムを提案している。音声入力は、音声認識エンジンの精度やユーザの発話環境の影響により、従来のリモコン操作と比べると操作コマンドを正しく認識する確率が低い。実生活環境では家電機器の振る舞いがユーザの日常生活と密に関係するため、このような誤認識によって家電機器がユーザの意図しない動作を行うことが、ユーザの危険やストレスを招く要因となる。また音声入力を用いた家電操作インタフェースは認識精度の問題に加えて、ユーザが操作コマンド一覧を眺めながら操作することができないため、操作コマンドを事前に把握しておく必要がある。家電機器の種類や機能の数が多くなった場合、操作コマンドも多くなることでユーザに混乱を与える可能性がある。

- ジェスチャ入力

ジェスチャ入力では、人物の身体の動きを操作コマンドとしてカメラやセンサで認識し、システムの入力を行う。ジェスチャ入力を家電操作インタフェースとして利用した研究として、ジェスチャーリモコンシステム [9] では、ユーザは距離センサが内蔵されたテレビの前に立ち、手を動かすことでテレビのチャンネルやボリュームの変更などの操作を実現している。このシステムでは、ユーザが家電機器を直感的に操作できる利点があるが、距離センサで計測できる位置までユーザが移動する必要がある。ユーザがセンサの計測可能位置まで移動せずに利用できるジェスチャ操作インタフェースとして、若村らが提案するインテリジェントルーム [10] がある。このシステムでは室内に複数台設置されたパン・チルト・ズーム駆動可能なカメラを用いることで部屋の中に存在するユーザの特定と指差し動作を行うことによって家電機器の操作を実現している。ジェスチャ操作インタフェースの特徴として、身振り手振りといった、人間が日常的に行う動作を操作コマンドとして用いる場合が多く、ユーザにとって操作内容から操作コマンドを連想しやすいという利点がある。しかし、問題点としてユーザは事前に全てのコマンドを覚えておく必要があることが挙げられる。家電機器の種類や機能の数が多くなると、覚えるべきジェスチャが増えるため、ユーザの負担が大きくなってしまう。また、操作を意図しないユーザの動きを操作コマンドとして誤認識しないようにするため、大きな動きを操作コマンドとして登録するシステムが多いが、その場合だと操作コマンドの使用が複数回に渡るとユーザに大きな肉体的な疲労を与えてしまう。

- タッチテーブル入力

近年、従来のテーブルに映像提示機能とタッチ入力機能を搭載したタッチテーブルの登

場により、家庭やオフィスなどの空間で利用できるインタラクティブな情報システムに注目が集まっている。タッチテーブルを用いた家電操作インタフェースの研究として、Seifried らが提案するシステム CRISTAL[20] では、部屋の天井に設置した広角カメラからの映像をユーザに提示する。そしてユーザは操作したい家電機器の映像部分をタッチすることによって操作パネルが映像中に現れ、それをさらにタッチすることで家電機器を操作することができる。ユーザは一目で操作したい家電機器とその操作内容を理解することができ、またタッチという従来のリモコンに近い操作方法での入力が可能である。タッチテーブルを用いた家電操作インタフェースの利点として、映像に触れるだけで操作できるという単純な操作性と、大画面での映像提示により、操作時におけるユーザの混乱を招きにくい操作インタフェースが実現できる。ただし問題点として、ユーザが操作したいときは必ずタッチテーブルまで移動する必要があることや、従来のテーブルと比較して「耐久性が低い」「テーブル面に傷を付けると誤作動を引き起こす」「熱い物を置けない」などの制約が存在するため、テーブルとしての機能性が低いことが挙げられる。

これらのインタラクション手法の特徴を図 2.1 にまとめる。ここでは比較する為の判断材料として、「操作可能位置」「操作時間」、「複雑な操作が出来るか」を挙げ、それぞれの項目に対してユーザに与える負担が小さい (○)、大きい (×)、場合によっては大きい (△) の三段階で評価した。またこれらの項目に当てはまらないがユーザの負担に関連する特徴については備考に記述した。

2.2 未来環境におけるデバイス操作の問題点

視線入力や音声入力インタフェース等は操作する場所に依存せず尚且つ短い時間で操作指示を行うことが出来ることが分かる。しかし、これらの入力方法では機器に対して複雑な操作を行うことが難しい。例えばテレビなど、「チャンネルの変更」、「音量の変更」、「録画操作」等操作に多くの選択肢がある機器が存在する。そのような機器を操作するためには多くの入力動作を用意しなければならない。しかし、視線入力では多くの入力動作を用意することは難しく、音声入力を行うとなると多くの入力を予め覚えておかなければならないといった問題が生じる。一方タッチテーブル入力に関しては操作場所が固定されてしまう欠点がある一方で、十分に広いインタフェースの領域を使い、視覚的なフィードバックを得ながら操作を行うことが出来る。操作領域が広いため多くの情報や操作の選択肢を一度に見ることができ、その中から適切なインタラクションを選んで実行することが出来る。

このように、場所に拘束されることのない入力手法は複雑な操作を行う際に問題が発生し、十分なスペースのインタフェースを備えた入力手法はその大きさのために操作場所を限定してしまう傾向にあることが分かる。

	操作可能位置	操作時間	複雑な操作が可能か	備考
専用リモコン	○ 赤外線が届く範囲	○ 短時間で操作可能	△	・視認性が低い ・紛失しやすい
視線入力	× カメラで眼球を計測可能な位置	× 注視判定に時間が必要	×	・操作中に頭を動かせない
音声入力	○ 音声が収録可能な範囲	△ 認識の失敗時にやりとりが必要	△	・操作コマンドを把握する必要がある
ジェスチャ入力	○ カメラやセンサで計測可能な範囲	○ 短時間で操作可能	△	・操作コマンドを把握する必要あり
タッチテーブル入力	× タッチテーブルの設置位置	○ 短時間で操作可能	○	・大画面で表示可能 ・テーブルとしての機能性が低い

図 2.1: 従来のリモコンと関連研究の比較

2.3 本研究の位置づけ

本研究では、ホームネットワーク環境において、「室内の任意の場所から操作が可能」「十分な広さのユーザ・インタフェース」の2要素を満たす機器操作インタフェースの実現を目的とする。そのアプローチとして、ウェアラブルデバイスであるHMDを用いた機器操作インタフェースを提案、実装した。HMDを用いることによりユーザの視界に十分な広さのインタフェースを提示することができる。また、HMDは携帯することを想定した機器であるため、ユーザの位置によらず操作することが可能である。本システムにより、ユーザは自分の位置によらず、ユーザの視界にある機器を自由に操作することができる。

第3章 手を向ける動作を用いた家電機器操作システム

3.1 インタラクションの概要

本システムでは家電機器へのインタラクションの手順として、「動作させる機器の指定」「機器に対する操作」の2つがある。まず、「動作させる機器の指定」では手を動作させたい機器に対して向ける動作をすることで指定を行う。手に向ける動作とは、具体的にはユーザの視界にある家電機器に対してユーザ自身の手を近づける行為である。

機器を指定する動作が完了すると、HMDに指定した機器に応じたユーザインタフェースが表示される。表示されたインタフェースに対する入力操作にはユーザの手の動きをHMDに取り付けられたカメラより取得し操作する。

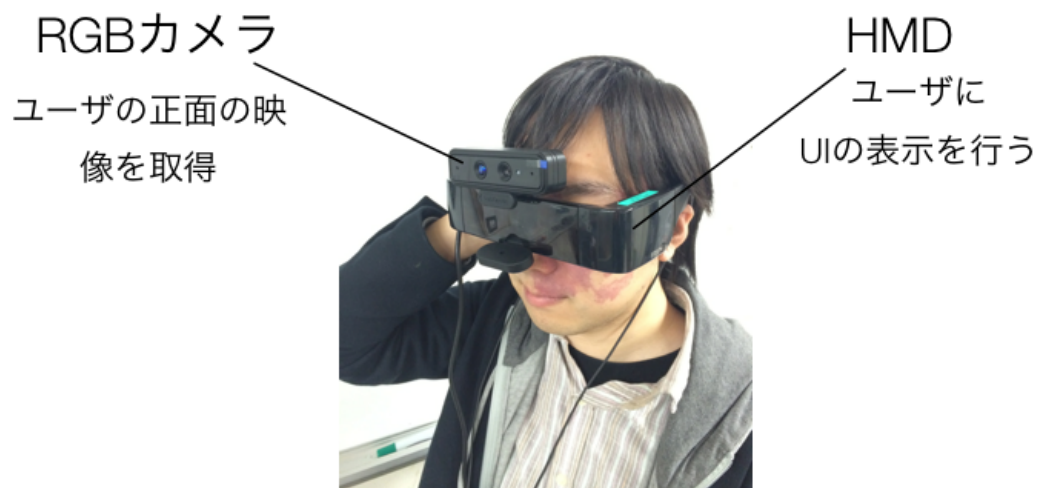


図 3.1: システムの装着の様子

3.2 操作対象の指定

提案システムでは、ユーザが場所に依存せず機器に操作を行うという要件を満たすために、ユーザのシステム起動動作を認識する必要がある。音声入力を用いた手法であれば単語を発話することをシステム起動のトリガーとしている。またカメラによって眼球運動を認識し、家電機器が注視されることでシステムが起動するものや、 など、様々な方法がシステムの指定方法として考えられる。

構築したプロトタイプシステムでは、室内にいるユーザが手軽に行うことのできる操作として、機器に対して手を向ける動作を用いて機器を指定する。具体的な処理としては、操作したい機器が同じ室内にある際に、ユーザの HMD に取り付けられたカメラよりユーザの手の方向を検出し、操作を行う機器を指定する。ここでは手の向きを環境中のマーカから相対的に判断し、向いている方向にある機器を特定する。

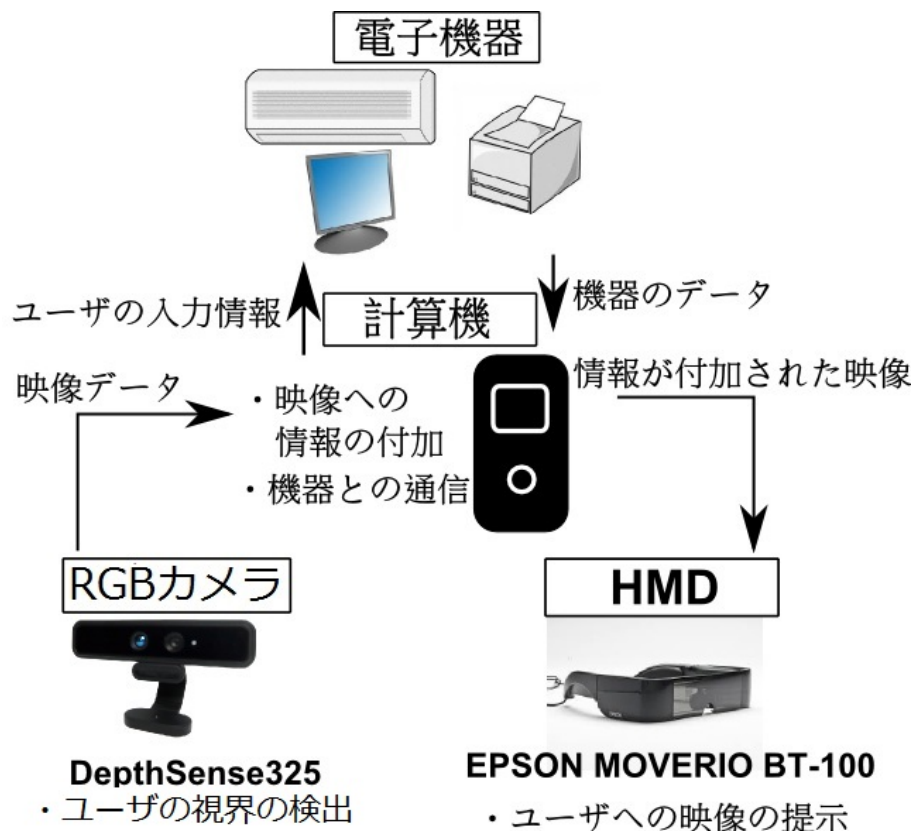


図 3.2: システムの全体図

3.3 HMD を用いた UI の表示

手に向ける動作によって操作する機器を指定すると、ユーザの装着している HMD に操作インタフェースが出現する. このインタフェースは指定した機器に対応したものとなっており、例えばテレビの UI であればチャンネルの変更や音量の調整等の項目が並ぶ. また、項目を手のジェスチャで選択することが可能であり、選択を行うとその項目を操作するためのインタフェースが表示される.

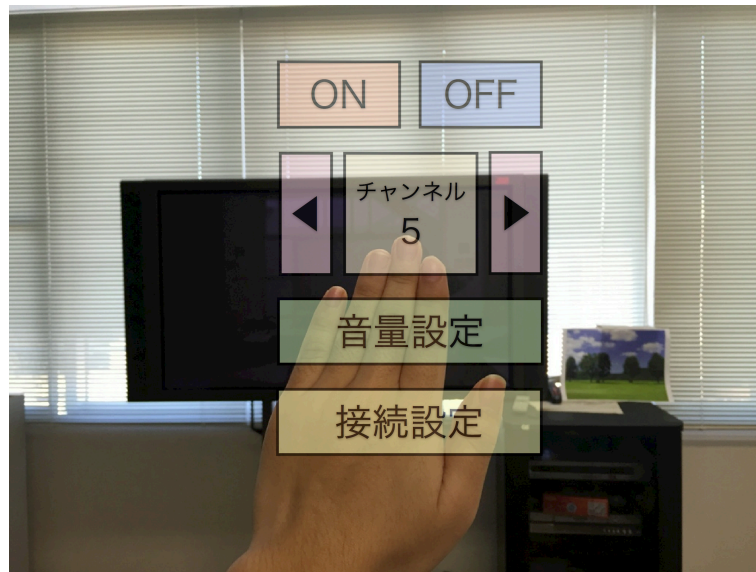


図 3.3: UI の表示

3.4 指先のジェスチャを用いた UI の操作

表示された UI に対して操作を行う際、本研究では指先のジェスチャを用いることで UI に対して入力を行う. 具体的には、選択を行いたい部分に対して手の人差し指と親指を使って摘むピンチ動作を行うことで UI の選択を行う. ピンチによる操作を採用した理由として、従来のタッチインタフェースにおける入力手法と近い方法で操作が可能である点、ポインティング動作を阻害しない点が挙げられる. HMD に表示されている UI はユーザの目に見えるだけで触ることは出来ない. そのため従来のように直接タッチして操作することはできない. しかし、接触による入力動作はユーザが入力を行ったことを触覚的に理解することができ、インタフェースとして優れている. ピンチ操作による入力手法は人差し指と親指の接触によって入力が認識されるため、ユーザが入力を行った事を理解し易い. また、画像処理を用いて入力動作を検出する際に動作の検出が比較的容易であることもピンチ操作を用いた理由である.

さらに、ピンチ動作を用いた入力手法は指のみを動かし手を大きく動かす必要が無いため、ポインティング動作を妨げずに操作することが出来る.

このように、操作方法をポインティングとピンチ動作のみにすることによってユーザは機器ごとに入力動作を覚えることなく UI に従って操作を行うことができる。

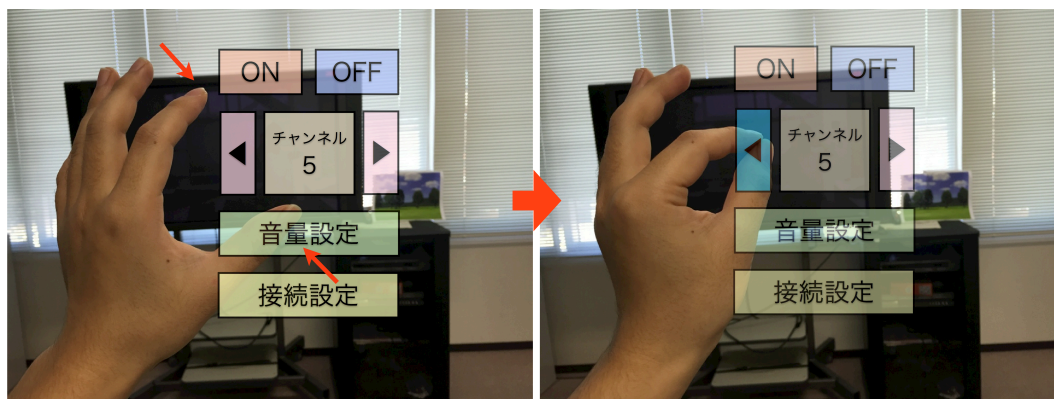


図 3.4: 手のピンチ操作を用いた UI の操作

3.5 UIの階層化

既存のリモコンインタフェースにおいて、操作の種類が多数ある機器ではボタン数の増加によって操作に混乱が生じてしまう問題が存在していた。本提案システムの機能においても、HMD に単に全ての操作インタフェースを提示するだけではユーザにとって使いやすいインタフェースとはならない。そこで本研究では、機器の操作を2つのステップに分け、ステップごとに UI を変更することで操作性の改善を行った。1つ目のステップでは操作する機能を UI から指定する。その後2ステップ目において選んだ機能の詳しい操作を行う。

具体的な操作例を図 3.5 にて説明する。図 3.5 はエアコンを操作するインタフェースの全体図であるが、初期画面では「電源 ON/OFF」「温度の変更」「風量の設定」「タイマーの設定」の4種類の選択肢から操作を行う。電源の ON/OFF と温度の変更はエアコンの機能として基本的な操作であるため初期画面にて操作が可能であるが、風量の設定やタイマー設定については別の UI が用意されており、各ボタンを選択するとその項目の UI が表示される。ユーザはその画面にて操作を行うことで、目的の機能に対して入力を行うことができる。

3.6 利用シナリオ

ホームネットワーク環境の普及と HMD が日常的に使用されている環境におけるシステムの具体的な使用方法として、次のような利用シナリオを想定している。

A さんは外出先から帰宅し、部屋の暖房機器やテレビを付けようと部屋へ入る。部屋に入った A さんはドアを開けたその位置から手をエアコンへ向ける動作を行った。A さんの HMD にエアコンのインタフェースが表示され、その中から「設定温度」「風量」を設定しエアコンを

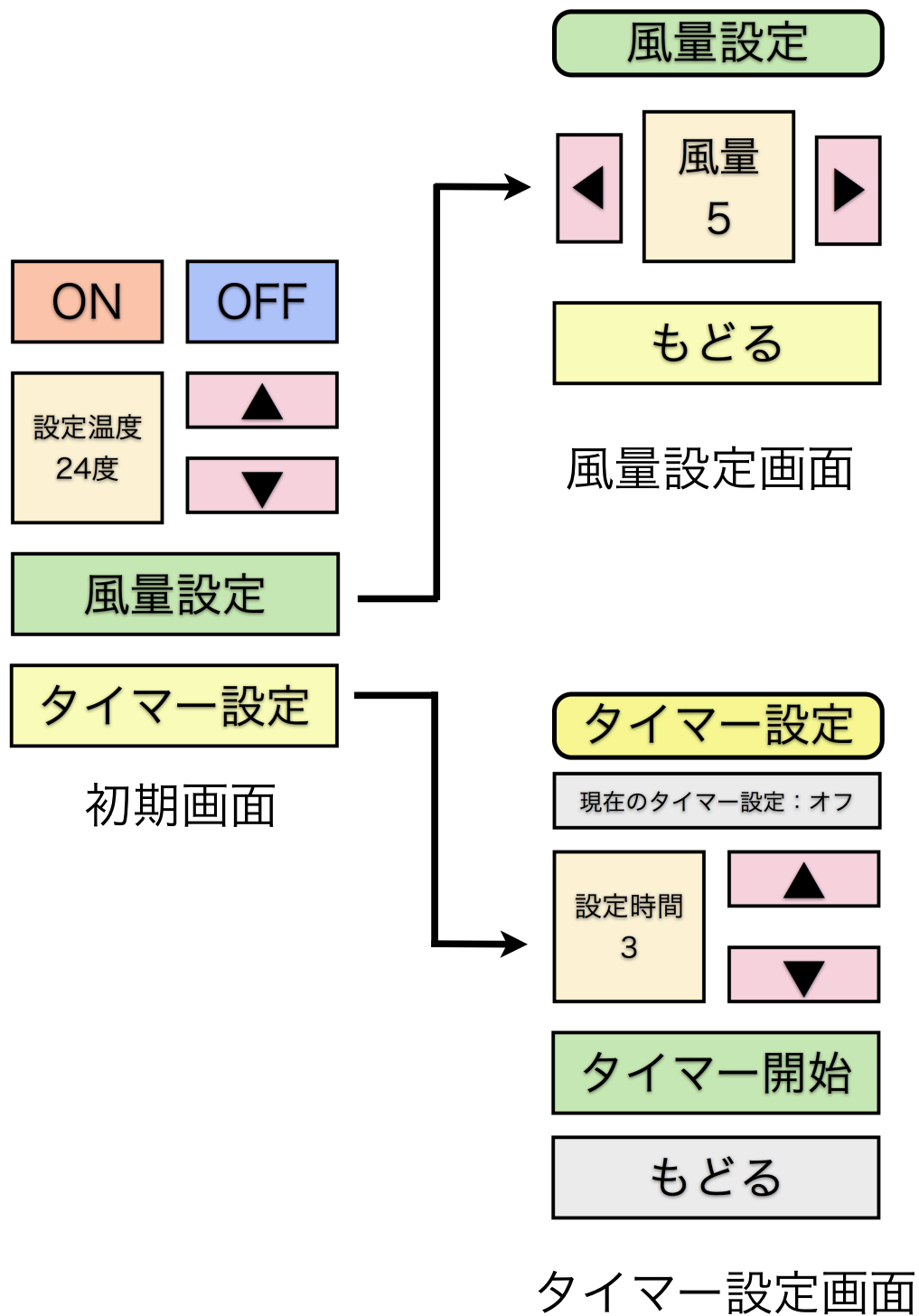


図 3.5: UI の全体図

起動させた. また、同じ位置からテレビにも手を向け、テレビの起動と好きなチャンネルの設定を一度に行った.

その後、椅子に腰掛けリラックスしていた A さんはホームシアターで映画が見たいと考えた. A さんは椅子に腰掛けたまま備え付けのスクリーンに手を向け、スクリーンを下げる操作を行った. その後、同じ姿勢で遮光カーテンの開閉や音響機器の設定、プロジェクターの起動等の操作を行いホームシアターの環境を作り上げた. 映画を鑑賞し終えた A さんは同じ手順で各機器の電源を OFF にし、椅子から移動せずに環境中の複数の機器を操作することが出来た.

第4章 システムの実装

4.1 環境の構成

本システムではユーザ側のウェアラブル端末である HMD、外部のネットワークに接続された家電機器及び無線通信が可能なネットワーク環境から構成されている。

ウェアラブル端末はビデオ透過型 HMD と RGB カメラ及びデスクトップ PC から成っており、透過型 HMD（エプソン社製の MOVERIO BT-100）に RGB カメラを取り付けている。

ウェブカメラの画像からユーザの手、AR マーカを検出するアプリケーションは C++ 言語を用いて開発した。HMD に UI を表示するプログラムは C# 言語を用いて開発した。そして、画像処理用のライブラリである OpenCV を用いてユーザの手の認識を行った。また、家電機器の特定、認識には AR マーカ及び Metaio 社の AR アプリ開発ライブラリである MetaioSDK を用いた。

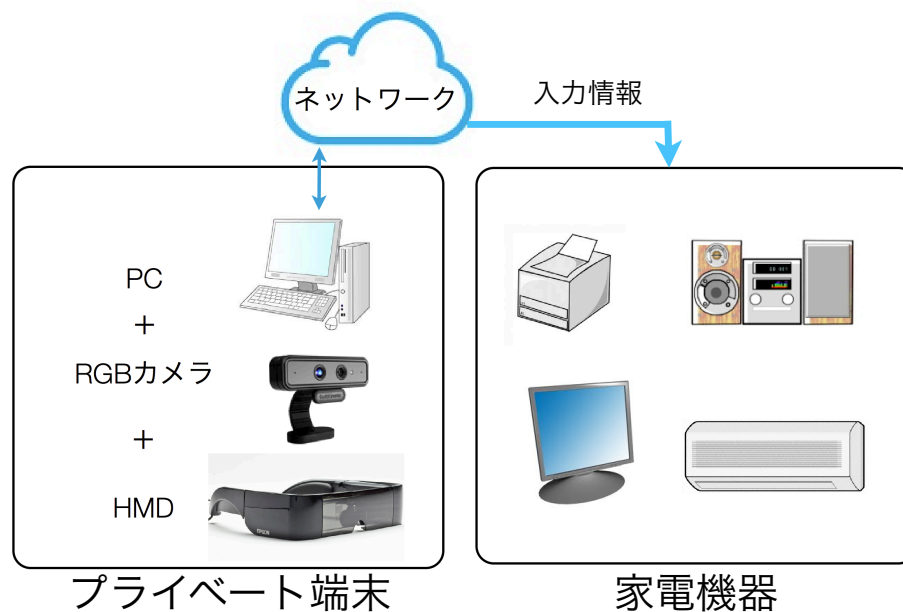


図 4.1: システム構成

4.2 通信方式

本研究では HMD 側である Android 端末に PC の情報を送受信する際、株式会社アプトが提供している画面共有アプリ「Komado」を用いて通信を行う。このアプリは PC の画面をそのまま Android 端末へ送信することができるため、PC で全ての画像処理を行い、その結果の UI の表示のみを HMD 側で行うことができる。

4.3 システム処理の流れ

本節では、実装を行った家電機器操作システムの処理の流れについて述べる。処理の流れを図 4.2 に示す。機器の検出ステップでは、AR マーカを環境に配置し、それを HMD に取り付けられた RGB カメラで撮影することによって室内に存在する機器の検出と位置の計算を行う。ユーザの手の認識については HMD に取り付けられた RGB カメラから肌色領域を抽出した後、フィルタ処理を行い、手を向けている動作を検出する。その後手が機器に向いているかの検出ステップにおいて、検出された手の方向と機器の相対的な位置関係から操作する機器の特定を行う。UI の表示ステップでは、特定された機器の ID 情報を元にその機器の操作 UI をユーザの HMD 上に表示する。入力動作の検出ステップでは、検出されているユーザの手の形状より手がピンチ操作を行ったことを検出し、それによって UI に対して入力を行う。家電制御ステップでは、入力された情報から、ネットワーク又は赤外線通信を通じて家電機器の制御を行う。制御後は操作終了判定ステップに移り、ユーザが手を向ける動作を止めて視界外に手を移動させることで UI の表示を止める。このような一連の流れによって本システムは動作する。

4.4 家電機器の認識及び相対位置の検出

4.4.1 機器の識別

本研究では家電機器の識別にマーカを用いる。具体的には、家電機器にそれぞれ固有な ID を持つマーカを貼り付け、それを HMD に取り付けられた RGB カメラで探索し、特定することで機器を認識する。マーカの ID と機器情報は関連付けられ、PC 内で管理される。マーカの画像を図 4.4 に示す。

4.4.2 環境に配慮したマーカの選定

今研究で行うマーカの認識には、特定のパターンで生成された模様ではなく、任意の画像を予め登録することでマーカとして利用できる MetaioSDK というマーカ検出ツールを用いた。このツールを使用した理由として、環境中に配置するマーカは人の目に映るものであり、日常的に見慣れないマーカを配置すると景觀に影響が出てしまうという問題点があるからである。そのため本システムではマーカの画像を環境に合わせて変更できるマーカ検出ツールを用いて実装を行った。

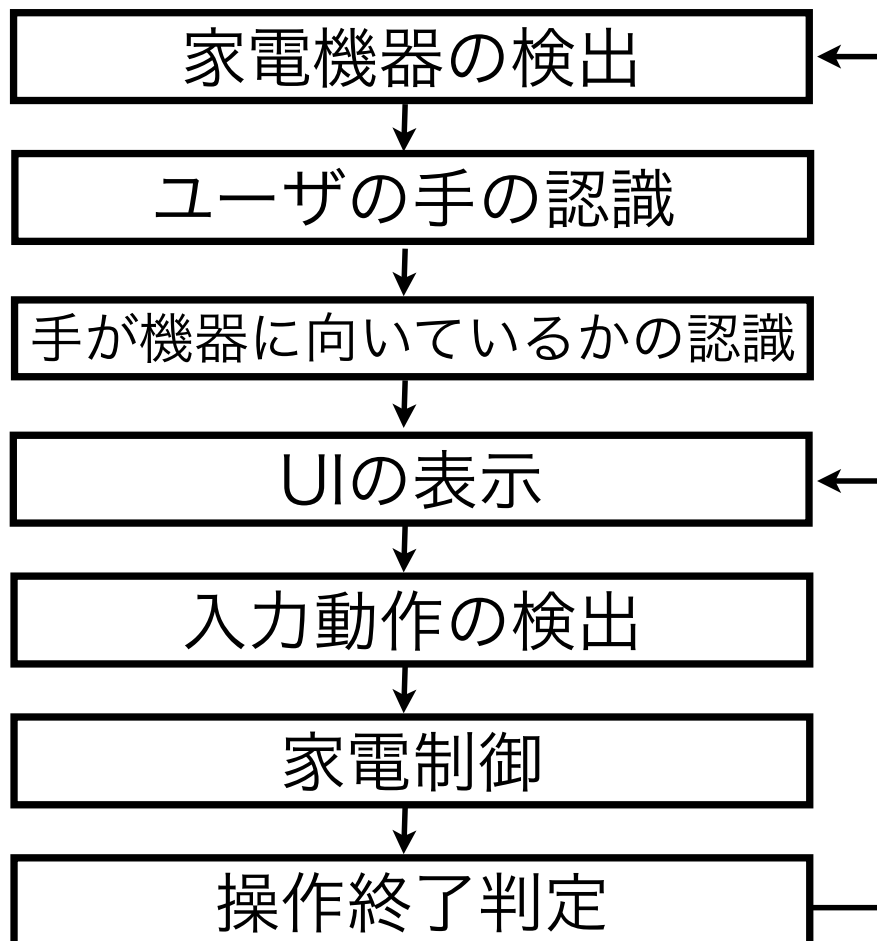


図 4.2: 本システムの処理の流れ



図 4.3: マーカの設置例



図 4.4: 使用したマーカ画像

4.4.3 機器との相対的な位置関係

機器と HMD の位置関係を求めることで、機器指定を行う際の機器の選択を可能にする。そのために、機器をマーカにより特定した後、マーカに対して MetaioSDK の `getTrackingValues` メソッドを用いてマーカ座標を求める。このメソッドで検出した座標と手の座標を比較することで手を機器に向けているかを判定する。

4.5 手認識プログラムの実装

ユーザが操作したい家電機器を選択する際、本システムでは操作したい機器に手を向けるインタラクション手法を用いて指定を行う。そのため、ユーザの手の位置、向いている方向を検出する必要がある。本システムでは、ユーザの装着している HMD に取り付けられた RGB カメラよりユーザの向いている方向の視界を取得し、取得した映像中から肌色認識を用いてユーザの手を検出する。

4.5.1 肌色抽出を用いたユーザの手の検出

ユーザの手の検出を行うには今回 HMD に取り付けられたカメラより HSV 画像を取得し、肌色領域を抽出することによって行う。肌色を画像から抽出する際、RGB を用いて肌検出を行うと、暗い場所では全体の RGB が低く、明るい場所では全体的に RGB が高くなるため閾値の範囲が広がってしまい必要な肌色以外の領域も検出するように成ってしまう。そのため肌色検出では RGB を使わず HSV 形式の色空間を用いた肌色検出を行う。HSV 表色系では色の色相、彩度、明度を元にした表色系であり、色相を用いることで環境光の強弱に強い検出を行うことができる。そのため、OpenCV を用いてまず RGB 画像を HSV 画像へ変換する。その後、得られた HSV 画像から色相が人間の肌の色は、色相が $6^{\circ} \sim 42^{\circ}$ の範囲に収まるため、本研究ではこの範囲に当たるピクセルを抽出した。図 4.5 にその際の画像を示す。

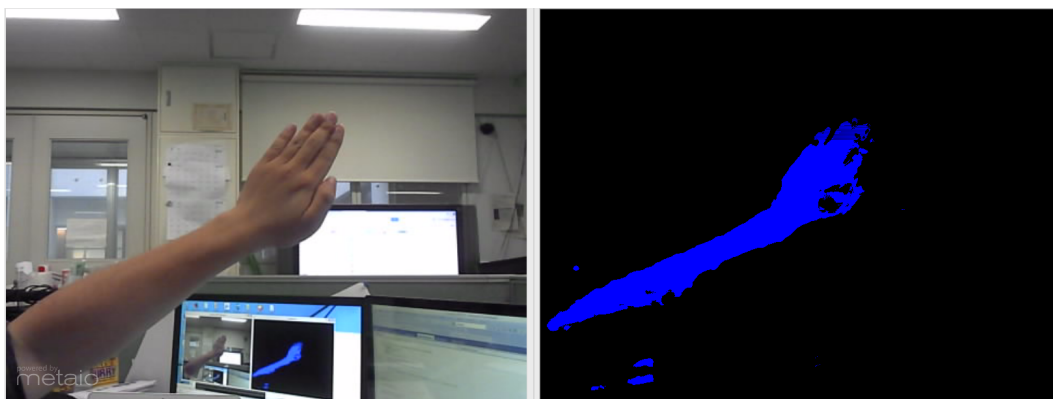


図 4.5: 肌色領域の検出

4.5.2 ノイズの除去

色相から画像中の肌色領域を抽出する際、環境中の手ではない肌色領域を検出してしまう場合があります。ノイズとして乗ってしまうため、ノイズの除去を行う。除去の方法として検出された肌色領域の面積からノイズであるかを判別する方法を用いた。

肌色領域の面積を用いたノイズ除去

肌色領域を取得した画像に対して OpenCV の `cvFindContours` 関数を適用し、全ての肌色領域の輪郭を取得する。その後、各領域の面積を計算し、画像中の領域が 300 ピクセルよりも小さい領域に関しては手ではなくノイズであると判断し、肌色領域から除外した。これは自身の手が HMD のカメラに映った際に少なくとも手の領域は 800 ピクセル以上で映っていたため、このような閾値でノイズの処理を行った。



図 4.6: ノイズを除去する前の画像

4.5.3 手の先の検出

ノイズの除去により手の輪郭を検出することが出来たため、取得した手の輪郭から手の位置を検出する。本システムでは手の先を手の位置として検出する。本研究において手全体の重心ではなく手の先端を手の位置とした理由としては、手の先端のほうがより認識がしやすく、インタラクションの際に安定して追跡できると考えたからである。この処理によって検出した手の位置と映像中のマーカの位置を比較することで手が向いている方向にある機器の指定を行う。

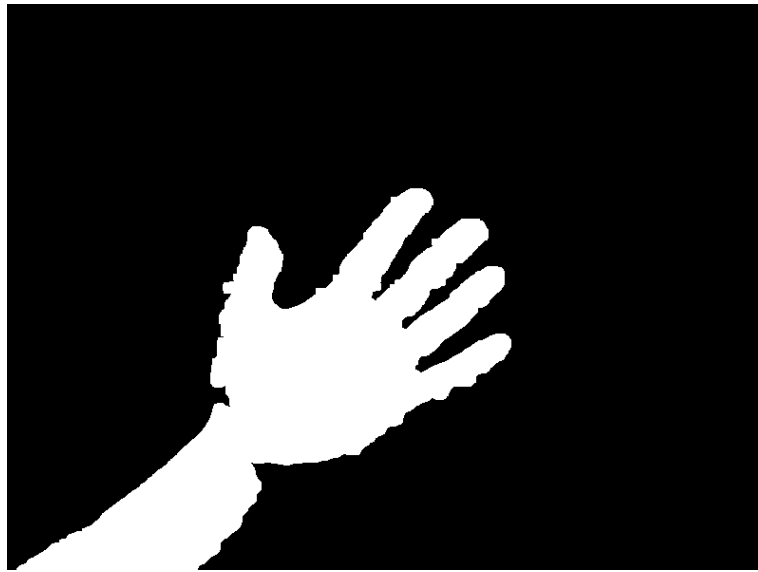


図 4.7: ノイズ処理を行った後の画像

手の先端は手の領域の内画像中の Y 座標が最も高い部分を検出することで求める. 手の領域として検出された範囲の全てのピクセルに対して Y 座標を調べ、最も値の大きなピクセルを手の位置として求める. 検出した手の先端に円を描画するプログラムを作成し、手の位置が検出されているかの確認を行った. 図 4.8 にその際の画像を示す.



図 4.8: 手の先の検出

4.6 UI の表示及び操作

4.6.1 機器に応じた UI の表示

ユーザが環境中の機器に手を向けた際、マーカから検出された機器の情報より機器に対応した UI がユーザの HMD に表示される.

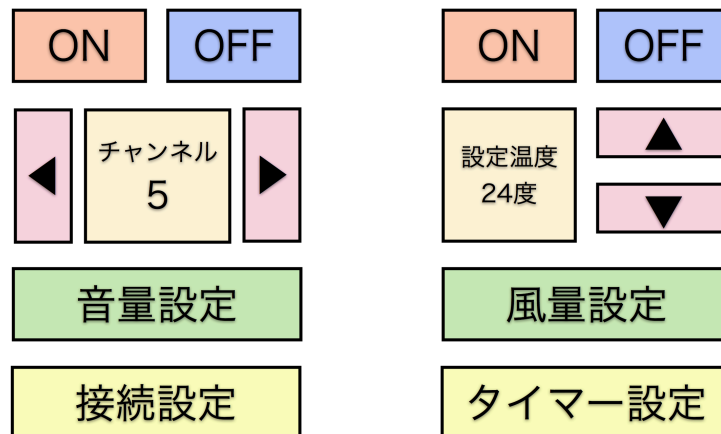


図 4.9: テレビの UI (左) とエアコンの UI (右)

4.6.2 UI に対する操作

本システムでは HMD に表示された UI を操作する手法として手の動きを用いる。手の検出については前述した通りの方法によって検出することができる。選択動作として本システムでは指先のピンチ操作を用いて表示された UI に対して操作を行う。ピンチ操作とは、手の親指と人差し指を触れさせる動作のことを言う。この操作により、ユーザは表示された UI のに対して選択操作を行うことができる。



図 4.10: ピンチ操作

4.6.3 ピンチ操作の検出

ピンチ動作は、検出されているユーザの手の形状の変化から判断する。摘む動作を行った際、人差し指と親指が繋がることで手の輪郭の中に肌色ではない領域が出現する。本システム

ではこの変化を画像処理で検出し、手のピンチ操作と判定する. 具体的には、予め検出されている手の領域に肌色ではない領域が含まれているかを OpenCV の関数である cvFindContours 関数によって判断し、肌色でない領域が出現した際に手のピンチ操作を行ったと判断し、UI に対して入力動作を行う.

4.6.4 選択箇所の検出

手のピンチ操作を行う際は人差し指と親指の接触した部分が入力位置となる. そのため、ピンチ操作を行った際の人差し指又は親指の先端位置を検出し、入力位置とする. ピンチ操作を行っている際は人差し指と親指は伸ばしている状態であるため、右手で操作している場合は検出されている手の輪郭の中で最も左の座標にあるピクセルを入力位置として検出する. また、左手と右手の判別には手の座標が画面の左にあるか右にあるかを計算し判定する.

4.7 家電への出力

ユーザの身に付けた HMD によって家電へ入力が行われた際の通信には従来のリモコン操作と同じく赤外線通信を用いて行う.

4.7.1 ハードウェア

赤外線通信モジュール

赤外線信号を用いて機器に入力をする場合、パルス位相変調信号を用いて通信を行う. この通信方法は赤外線の点灯時間と消灯時間の長さの組み合わせによってビット値を表現する信号方式となっており、機器の混線が起らないよう機器ごとに決まった信号パターンで通信を行っている. 本システムの実装では使用する家電機器のリモコンから出る赤外線信号を解析し、同じパターンの信号を送る機能を作成する. そのため、「赤外線リモコンの発光信号を受信し学習する機能」、「家電機器への操作信号が来た際に正しい赤外線信号を発信することのできる機能」を有する回路を作成した.

回路図を図 4.13 に示す.

4.7.2 赤外線信号の学習と出力

家電機器を赤外線で操作するには、その機器が認識する赤外線のパターンを学習しなければならない. そのため、家電機器が認識する赤外線の信号パターンを読み取るプログラムを作成した. 赤外線信号はパルス位相変調信号となっているため、信号のオンとオフの間隔が一定のパターンとなっている. そのため赤外線の受信する間隔をミリ秒単位で計測し記録するプログラムを実装した. 実装には Arduino と赤外線受信モジュールを使用し、受信モジュールに赤外線リモコンの信号を送信した際にその信号の発光パターンを記録するものである. また、

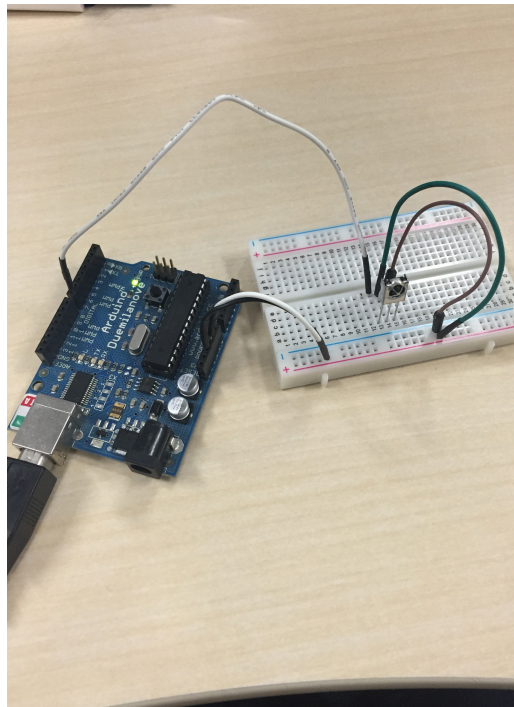


図 4.11: 赤外線送受信を行うモジュール

それと同時に Arduino 側からリモコン信号を送信する機能を付加し、HMD で検出された入力情報を元に赤外線信号を発行するプログラムの実装も行った。そのため Arduino に赤外線ダイオードを取り付け赤外線信号の発信機器としても利用する。

4.8 学習を行った機器と操作について

本システムで学習した機器について説明する。本システムは赤外線通信を用いた機器であれば赤外線パターンの学習により操作が可能となる。そのため周辺機器として日常的に操作するテレビのリモコン、及び扇風機のリモコン信号を学習させ操作を行った。

学習を行った機器と学習した入力操作は以下の様になっている。

- 商品名 株式会社山善製 30 cm リビング扇
リモコンの入力 「入・切」「風量」「タイマー」「リズム」
- 商品名 株式会社 Sharp 製 AQUOS
リモコンの入力 「電源」「チャンネル 1～12」「音量」

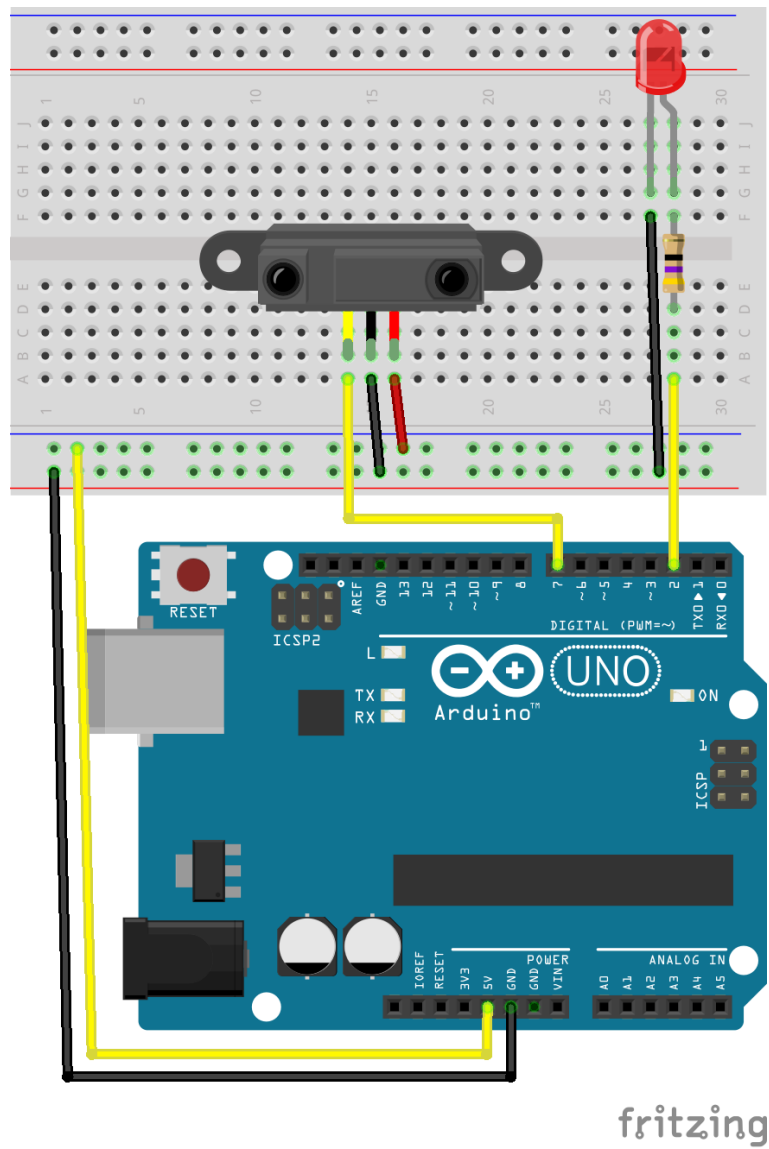


図 4.12: 赤外線送受信モジュールの配線図

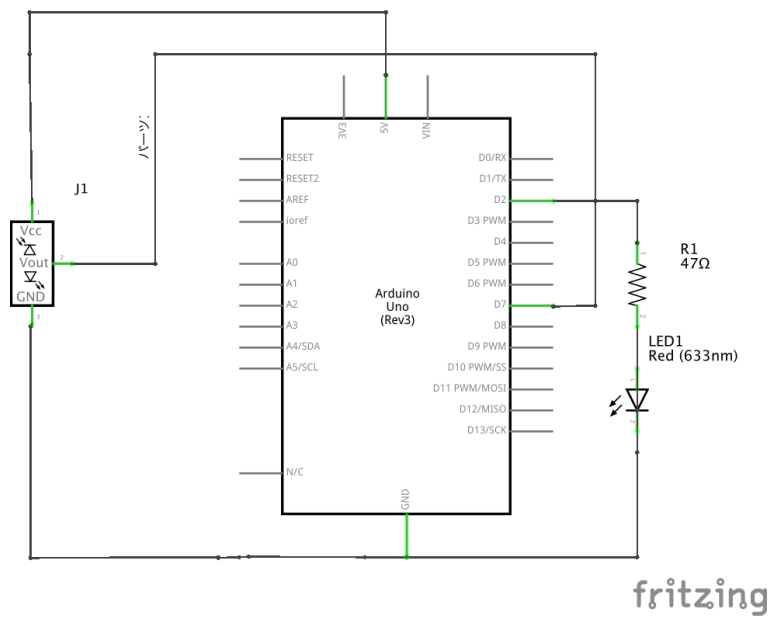


図 4.13: 赤外線送受信モジュールの回路図

4.8.1 操作 UI と入力への対応

既存のリモコンとの UI の対応について説明する. 扇風機で表示される UI は機能が複雑でないため全ての操作を初期画面にて行うことのできるインタフェースデザインとした. 一方でテレビの UI は操作する機能が多数あるため初期画面にて電源の ON/OFF、チャンネルの操作を行うことができ、音量の調整には「音量の設定」ボタンを選択した後に音量調整用の UI を表示し、操作を行うことができるようにした.

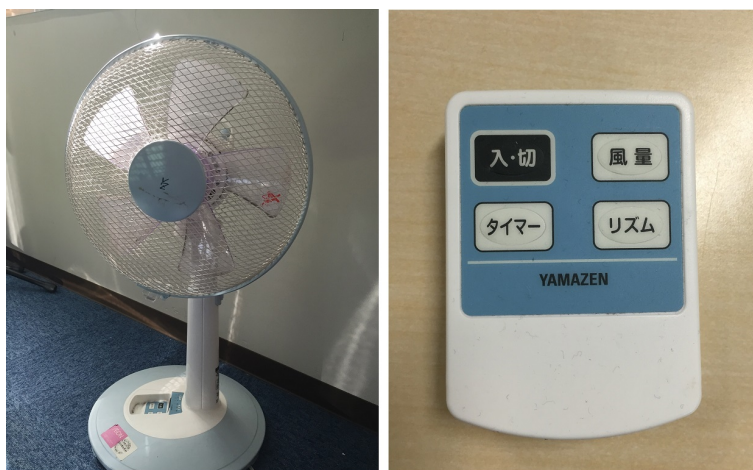


図 4.14: 学習を行った扇風機とそのリモコン



図 4.15: 学習を行ったテレビとそのリモコン

第5章 関連研究

5.1 ホームネットワーク環境でのインタラクションに関する研究

本研究にて扱う、ネットワークに接続された機器に対する操作手法についての研究は多くなされてきた。伊藤ら [13] は、ホームネットワークに繋がった機器を指定する際、スマートフォンを用いて「機器に触れる」「機器の写真を撮る」「スマートフォンを振る」「機器の写真を選ぶ」「周辺を探す」の5つの直感的なインタラクションで指定するシステムを実装した。この研究は機器を指定する際に機器との物理的な位置関係やユーザの姿勢、行動に合った最適なインタフェースを使用することが出来る。本研究では、全ての機器に対して手を向けるという指定方法を用いることでインタラクション手法を選ぶ操作が無く、直接操作する点が異なる。

塚田ら [14] は、モバイル環境において手指のジェスチャを用いて情報機器や情報家電機器の操作を実現する指装着型のウェアラブルデバイス Ubi-Finger を提案している。操作したい機器に対して指を指す動作を行うと、指先に取り付けられた赤外線センサによって指し示した方向にある機器を選択することができる。また、摘む、腕を捻るといった従来の機器入力手法のメタファを取り入れたジェスチャ入力手法を取り入れている。

氏間ら [15] は家電に深度カメラとプロジェクタを取り付け、カメラに対してジェスチャを行うとプロジェクタがユーザの体に UI を投影し、映った UI をタッチすることで家電への入力を行うシステムを提案している。また、松本ら [16] は携帯端末を用いて機器を指し示す方法を3手法挙げ、それらのユーザビリティの検討を行っている。本研究は、情報家電を指定する際に環境中にあるカメラではなく人の目線に近い位置にあるカメラを用いて情報家電の指示動作を検出するため、ユーザの視界にある情報家電を高精度で指示できる点で異なる。

Kim ら [17] は、室内に存在する機器に対して指を差す動作を用いることで操作したい機器を指定し、その後手のひらにプロジェクタで映された UI をタッチ操作することで入力を行っている。本研究との違いは、Kim らのシステムでは環境側に備えられたプロジェクタを用いて UI を表示するため複数人同時にシステムを使うことができないが、本研究では各々が持つウェアラブルデバイスで入力を行うため複数人同時に入力操作を行うことが可能である。

5.2 モバイルデバイスを用いたインタラクションに関する研究

本研究ではモバイルデバイスを用いたインタラクションシステムを開発しており、ウェアラブルコンピュータインタラクション及び AR インタラクション、に関する研究分野に関連

している。この分野で従来より様々な研究が行われてきたが、以下に本研究とそれらの相違点について述べる。Barry ら [18] は額に取り付けられたカメラより手のインタラクションを検出し、HMD と環境に設置されているモニター間でデータの送受信等を行うシステムを提案した。山本らは手や足に取り付けたセンサによって HMD とインタラクションを行うシステムを提案している。Park ら [19] はユーザの視線を検出することにより HMD に表示されている情報を選択することのできるシステムを提案している。また、Boring ら [20] はスマートフォンのカメラと環境中に配置された AR マーカを用いて環境中のディスプレイの特定を行い、ディスプレイとスマートフォン間でデータの送受信ができるシステムを提案している。これらの研究と本研究の異なる点として、周辺機器とインタラクションを行う際に機器に対応した UI を用いて操作をすることができるため、多くの機器とインタラクションすることが可能である点が挙げられる。また画面インタフェースを持たない機器に対してもインタラクション可能である点が特に大きな違いである。

また Kim ら [21] は手首に取り付けた赤外線カメラを用いて手のジェスチャを認識し、様々なハンドジェスチャを行うことの出来るシステムを提案している。本研究ではユーザが手に何も付ける必要がないため、より負担の少ない操作手法を実現している点で異なっている。

第6章 結論

6.1 本研究の成果

本研究ではホームネットワーク環境及び HMD が普及し、多くの機器に対して同一端末から操作が可能になる環境を想定した際に、動作させたい機器を環境から指定する操作や多くの入力操作が必要な操作は難しくなっていくと予想した。このような問題点を解決するため、「ユーザの位置に依存せず複数の機器から動作させたい機器の指定を行う事ができる」「十分なスペースのユーザインタフェースを用いることで複雑な操作を容易に行うことができる」という条件を満たすインタラクションシステムを提案した。そして、そのプロトタイプとして HMD を用いて赤外線リモコンで入力可能な機器を操作することのできるシステムを実装した。本システムではユーザが装着した HMD より機器に対応した UI が表示され、UI に対して手のジェスチャを行うことで機器に対して適切な操作を行うことができることが確認できた。また、多くの種類の操作が必要な機器に関しても HMD を用いたインタフェースを用いて機器の操作を行うことができた。

6.2 今後の展望

今後の課題として、本システムを用いた操作と従来のリモコンを用いた機器の操作を比較し、どの程度操作の早さに影響を与えているのか、また HMD を用いたインタフェースとリモコンを用いたインタフェースを比較し操作性はどのように改善されているのかについて評価を行う必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、懇切丁寧にご指導してくださった田中二郎教授に心より感謝申し上げます。そして、嵯峨智准教授，志築文太郎准教授，三末和男准教授，高橋伸准教授，Simona Vasilache 助教にはゼミでの発表や研究生活の中で大変丁寧なご指導や助言をいただきました。また、NERF チームを始めとしたインタラクティブプログラミング研究室の皆様には，研究室での活動を通して多くのアドバイスをいただきました。深く感謝申し上げます。

最後に，ここまで私を支えてくださいました友人や精神面、金銭面で支えてくれた両親や家族，ご協力くださったすべての方々にこの場を借りて心から感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 河合, 雨森, 島田, 佐藤. “屋内位置推定に基づく情報家電認識システムの提案”, 情報科学技術フォーラム講演論文集 11(4), 275-276, 2012.
- [2] 徳田, 稲田, 松本, 中村. “ホームネットワークシステムのためのパーソナルリモコン開発フレームワーク”, 電子情報通信学会技術研究報告. SS, ソフトウェアサイエンス 110(458), 7-12, 2011.
- [3] 清川, 山本, 柴田, 安本, 伊藤. “3D 仮想空間を用いた情報家電のためのリモコンフレームワーク”, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 596-609, 2011.
- [4] 叶世, 阿部, 大山, 大井. “視線入力制御によるパソコンテレビ観賞システム”, 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学, Vol. 104, No. 636, pp. 37-42, 2005.
- [5] 伊藤, 伊福部. “ビデオキャプチャ画像処理による視線検出及び意思伝達装置への応用”, 電子情報通信学会論文誌. D-I, Vol. 88, No. 2, pp. 527-535, 2005.
- [6] M. C. Su, K. C. Wang and G. D. Chen. “An eye tracking system and its application in aids for people with severe disabilities,” Biomedical Engineering Applications Basis and Communications, Vol. 18, No. 6, pp. 319-327, 2006.
- [7] Y. Zhang, A. Bulling and H. Gellersen: “SideWays. a gaze interface for spontaneous interaction with situated displays” in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2013, pp. 851-860, 2013.
- [8] 内田, 常盤, 西, 高木, 麻生, 橋本, 森, 中島, 伊東, 小林, 八名. “意味の位置づけを可能にする意味表現を用いた情報家電操作のための対話的インタフェース”, 電子情報通信学会技術研究報告. Vol. 104, No. 543, pp. 19-24, 2004.
- [9] 松原, 徳永, 黒澤, 星野, 尾崎. “快適操作を提供するユーザーインタフェース技術”, 日立評論, Vol. 91, No. 9, pp. 726-727, 2009.
- [10] 若村, 鈴木, 入江, 梅田. “インテリジェントルームの構築-直感的なジェスチャを用いた家電製品の操作-”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), pp. 1074-1081, 2005.
- [11] T. Seifried, M. Haller, S. D. Scott, F. Perteneder, C. Rendl, D. Sakamoto and M. Inami. “Cristal. Design and implementation of a remote control system based on a multi-touch display

- ”, in Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2010, pp. 2287–2296, 2010.
- [12] M. Nancel, J. Wagner, E. Pietriga, O. Chapuis, and W. Mackay. “Midair pan-and-zoom on wall-sized displays”. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2011, pp. 177-186, 2011.
 - [13] 伊藤, 橋爪, 河田, 生天目, 伊藤, 井村, 西條, 中澤, 高汐, 徳田. “Chameleon:多様な状況下の機器指定を実現する複数インタラクション統合技術” 情報処理学会論文誌 Vol.52 No.4, pp. 1571-1585, 2011.
 - [14] 塚田, 安村. “Ubi-Finger : モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究”. 情報処理学会論文誌 Vol.43 No.12, 3675-3684, 2002.
 - [15] K. Ujita, A. Kadomura, I. Siio. “U- Remo: projection-assisted gesture control for home electronics”. CHI ’14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems pp. 1609-1614 2014.
 - [16] 松元, 瀬古, 青木, 井原, 山田. “携帯端末を用いた指し示し動作による機器選択操作手法のユーザビリティ検討”. ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告 2013-HCI-154(2), pp. 1-8, 2013.
 - [17] S. Kim, S. Takahashi, and J. Tanaka. “interface using palm and fingertip without marker for ubiquitous environment”. ICIS ’10 Proceedings of the 2010 IEEE/ACIS 9th International Conference on Computer and Information Science , pp. 819-824, 2010.
 - [18] B. Kollee, S. Kratz, and A. Dunnigan. “Exploring gestural interaction in smart spaces using head mounted devices with ego-centric sensing”. Proceedings of the 2nd ACM symposium on Spatial user interaction 2014, pp. 40-49, 2014.
 - [19] H. M. Park, S. H. Lee, and J. S. Choi. “Wearable augmented reality system using gaze interaction”. Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, pp. 175-176, 2008.
 - [20] S. Boring, D. Baur, A. Butz, S. Gustafson, and P. Baudisch. “Touch projector: mobile interaction through video”. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2010, pp. 2287-2296, 2010.
 - [21] D. Kim, O. Hilliges, S. Izadi, A. D. Butler, J. Chen, I. Oikonomidis, and P. Olivier. Digits: “freehand 3D interactions anywhere using a wrist-worn gloveless sensor”. Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology 2012, pp. 167-176, 2012.