

卒業論文 2009年度(平成21年度)

無線ネットワーク環境下における  
指で囲むことによる機器間連携システムの提案

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

重近 範行

Van Meter, Rodney D

植原 啓介

三次 仁

中澤 仁

武田 圭史

慶應義塾大学 総合政策学部

天野 雅哉



*amanoma@ht.sfc.keio.ac.jp*

## 卒業論文要旨 2009 年度 (平成 21 年度)

### 無線ネットワーク環境下における 指で囲むことによる機器間連携システムの提案

本論文では、無線ネットワーク環境下に複数の機器が存在しているときに指で作った枠で囲むことでそれらを連携させるシステムを提案する。

近年、様々な機器に小型で高性能のコンピュータが搭載されるようになった。また、無線 LAN や Bluetooth といった短距離での無線通信技術が普及した。これによりひとつの無線ネットワーク環境下に多数の機器が接続するようになった。しかし、無線ネットワーク環境下において機器を連携させる場合、データの送信機器側が受信機器側を指定する手段として、IP アドレスやポート番号指定、あるいはネットワーク内にある多数のデバイス名の一覧から相手を探す必要がある。これはユーザにとって煩わしい作業である。

本研究では、ユーザにとっての作業負担を軽減させるために新しいインタラクションで機器連携を行う。両手の指を合わせることで「」や「」の形状のフレームを作り、それぞれの機器に取り付けられたビジュアルマーカをそのフレームで囲むことにより接続する機器の選択と連携を行う。画像処理により手の領域を特定し、その手の領域がフレームを形成しているか判別することで機器の特定を行う。評価では定量的評価でシステムの起動についての性能や精度を取得し、主観的作業負担を取得する手法である NASA-TLX を利用したユーザビリティ評価を取得した。



慶應義塾大学 総合政策学部  
天野 雅哉

# 目次

第 1 章	序論	1
1.1	本研究の背景	2
1.2	問題意識	2
1.3	本研究の目的	3
1.4	本論文の構成	3
第 2 章	関連研究と本研究との比較	4
2.1	関連研究	5
2.1.1	Touch-and-Connect	5
2.1.2	u-Photo	5
2.1.3	Snappy	6
2.1.4	関連研究のまとめ	6
2.2	関連研究の問題点	6
2.3	本章のまとめ	7
第 3 章	指で作ったフレームの認識による機器選択・連携	8
3.1	本システムの概要	9
3.2	想定環境	9
3.2.1	想定する連携機器	9
3.3	機能要件	10
3.4	機器選択手法	10
3.5	手で作ったフレームの認識	10
3.5.1	肌色抽出による手領域の認識	10
3.5.2	フレーム形成の判別	10
3.6	情報の送受信側の区別	11
3.6.1	フレームで囲む条件と機能	12
3.7	ユーザへの通知	12
3.8	本章のまとめ	12
第 4 章	設計	13
4.1	ハードウェア構成	14
4.2	ソフトウェア構成	14
4.2.1	マーカ認識モジュール	14

4.2.2	肌色抽出モジュール	14
4.2.3	ノイズ除去モジュール	15
4.2.4	フレーム形成モジュール	15
4.2.5	機器特定判別モジュール	15
4.2.6	情報取得・送信モジュール	16
4.3	本章のまとめ	16
第 5 章	実装	17
5.1	実装環境	18
5.1.1	実装デバイス環境	18
5.1.2	実装ソフトウェア環境	18
5.2	システムの実装	18
5.2.1	肌色抽出とノイズ除去	18
5.2.2	フレーム形成の実装	18
5.3	本章のまとめ	19
第 6 章	評価	20
6.1	定量的評価	21
6.1.1	fps の計測	21
6.1.2	処理時間の計測	21
6.1.3	マーカ認識率の取得	21
6.1.4	定量的評価の考察	21
6.2	ユーザビリティ評価	22
6.2.1	NASA-TLX とは	22
6.2.2	実験環境と実験手順	23
6.2.3	実験内容	23
6.2.4	実験結果	24
6.2.5	ユーザビリティ評価の考察	24
6.3	本章まとめ	25
第 7 章	結論	26
7.1	今後の課題	27
7.2	本論文のまとめ	27
参考文献		29

# 目次

1.1	有線ケーブルによる機器の接続 . . . . .	2
1.2	無線通信による機器の接続 . . . . .	2
1.3	イメージ図:指で作った枠で連携する機器を囲む . . . . .	3
2.1	Touch-and-Connect:2 つボタンのインタフェース . . . . .	5
2.2	ボタンを取り付けた機器 . . . . .	5
2.3	u-Photo の概観 . . . . .	5
2.4	u-Photo のディスプレイに表示される GUI . . . . .	5
2.5	SR コードのサンプル . . . . .	6
2.6	機器連携の際のジェスチャーのイメージ図 . . . . .	6
3.1	小型カメラ搭載 RID のイメージ図 . . . . .	9
3.2	取得映像 . . . . .	11
3.3	肌色抽出用閾値による 2 値化画像 (ノイズ有り) . . . . .	11
3.4	欠損補間をした画像 (1 段階目ノイズ除去) . . . . .	11
3.5	肌色最大領域を残した画像 (2 段階目ノイズ除去) . . . . .	11
3.6	指を接触させてできる「  」(左)と「  」(右)のイメージ . . . . .	12
4.1	ハードウェア構成図 . . . . .	14
4.2	ソフトウェア構成図 . . . . .	15

# 表目次

2.1	機器の選択と連携の手法 . . . . .	7
5.1	実装ソフトウェア環境 . . . . .	18
6.1	fps の平均値 . . . . .	21
6.2	処理時間の平均値 . . . . .	21
6.3	マーカ認識率 . . . . .	22
6.4	主観的作業負荷の比較 . . . . .	24
6.5	項目ごとの主観的作業負荷の比較 . . . . .	24
6.6	被験者別の主観的作業負荷 . . . . .	24

# 第 1 章

## 序論

本章では、まず本研究の背景を述べる。ついで背景に対する問題意識、目的を述べる。最後に、本論文の構成について述べる。

## 1.1 本研究の背景

ユビキタスコンピューティングの研究が盛んに行われている近年、様々な機器に小型で高性能のコンピュータが搭載されるようになった。また、無線 LAN や Bluetooth [1] といった短距離での無線通信技術が普及した。その結果、以前から無線通信で連携が可能だったパソコンやプリンタなどに加え、今までネットワークに接続しなかったような生活家電やデジタル家電・AV 機器などが互いに無線通信で接続できるようになった。例えば、デジタルカメラなどのメモ리카ードとして頻りに利用される SD カードに無線通信技術を組み込むことでパソコンにデータを無線で送ることのできる Eye-Fi [?] が登場した。このような無線通信による機器間接続は日に日に接続可能機器を増やし、有線ケーブルによる機器間接続は次第に減っている。それは、機器間の接続に有線ケーブルを利用すると機器間の距離はケーブルの長さにより制限されることや、多くの機器間を接続させることで機器周辺がケーブルでかさばってしまうことが要因であるといえる。従って、多くの機器が連携を行う際には無線通信技術が好まれるため、今後も無線通信技術の発展や接続可能機器が増加すると考えられる。

## 1.2 問題意識

しかし、様々な機器に小型で高性能のコンピュータが搭載されたことや短距離での無線通信技術の普及により、ひとつの無線ネットワークに多種多様の機器が接続したことで機器操作は有線ケーブル接続に比べ作業負荷が高くなった。有線ケーブルによる機器間接続をしている場合、どの機器間が接続しているかは目で見て明確に判断できるのだが、無線ネットワーク環境下では機器間接続は目に見えないし、数え切れないほど多くの機器と接続している可能性もある。無線ネットワーク環境下で機器の連携を行う際は、データの発信機器がデータの受信機器を示す必要がある。現在では、発信機器が受信機器の IP アドレスやポート番号を指定したり、無線ネットワークに接続している機器の機器名一覧から受信機器を選択する方法が一般的である。しかし、IP アドレスやポート番号は数字の羅列であるため記憶しておくのは容易ではなく、接続前にあらかじめそれを調べておく必要がある。また、無線ネットワークに接続している機器の機器名一覧から受信機器を選択する方法は、接続機器の数に比例して探すのが困難になったり、無線ネットワーク内に同じ機器が複数存在しているときには見分けがつかなくなったりもする。このように、有線ケーブルによる接続に比べ、無線ネットワーク環境下での連携を行う機器の選択作業がユーザにとってとてもわかりづらく作業負荷がかかるものである。有線ケーブルによる機器の接続を図 1.1 に、無線通信による機器の接続を図 1.2 に示す。



図 1.1 有線ケーブルによる機器の接続



図 1.2 無線通信による機器の接続



### 1.3 本研究の目的





本研究では、無線ネットワーク環境下であってもユーザにとって作業負荷の少ない方法で接続機器の選択を可能にするシステムを提案する。例えば、デジタルカメラとプリンタとデジタルフォトフレームの3点が無線ネットワークに接続している状況を考える。まず、ユーザの視線に近い場所にwebカメラを設置する。そうすることでwebカメラが取得する映像とユーザの視界をなるべく同じにする。次に、両手の親指と人差し指を合わせることで「」や「」といったフレームを前方に作る。そのフレームは視界(webカメラの取得映像)に入っているだろう。webカメラの取得映像を解析し、指で作ったフレームの内部の状況から機器の連携を行う。デジタルカメラの画像をデジタルフォトフレームやプリンタに送信する場合、「」や「」のフレームでそれらの機器を囲むことで連携する機器を選択する。ここであげた3つの機器を指で合わせて作ったフレームで囲んだイメージ図を図1.3に示す。実際にユーザの視界に接続したい機器を入れることで、無線ネットワーク環境下であってもユーザにとって作業負荷をあまり感じずに接続機器の選択を可能にする。



図 1.3 イメージ図:指で作った枠で連携する機器を囲む

### 1.4 本論文の構成

本論文は本章を含め全7章で構成する。第1章にて、本研究の背景と問題意識、目的を説明した。第2章では、関連研究を述べ、本研究との比較を行う。第3章では、指で囲むことによる機器連携の手法について述べる。第4章では、設計について述べる。第5章では、実装について述べる。第6章では、本研究の実験・評価について述べ、その考察をまとめる。最後に第7章で今後の展望について述べ、本論文のまとめとする。h

## 第 2 章

# 関連研究と本研究との比較

本章では、無線ネットワークで機器が接続し連携を行う際のインタラクションを提案した関連研究として、Touch-and-Connect, u-Photo, Snappy を挙げてまとめ、問題点について述べる。

## 2.1 関連研究

本節では、無線ネットワーク環境下において機器の連携を行う際のためのインタラクションを提案した研究について述べまとめる。

### 2.1.1 Touch-and-Connect

Touch-and-Connect[3] は、名古屋大学の岩崎陽平氏らによって提案された無線ネットワーク環境においての機器間接続用フレームワークである。各機器にプラグボタン (接続元) とソケットボタン (接続先) の 2 種類のボタンを設置し、接続したい両機器のボタンをユーザが押すことで機器間の接続を可能にしている。ユーザが直接機器のボタンを押すことにより機器間接続を行うため、IP アドレスや機器名の指定のようなユーザにとってわかりにくい作業をすることなく機器の連携を可能にした。Touch-and-Connect の 2 つボタンのインタフェースを図 2.1 に、実際に機器にボタンを取り付けた様子を図 2.2 に示す。

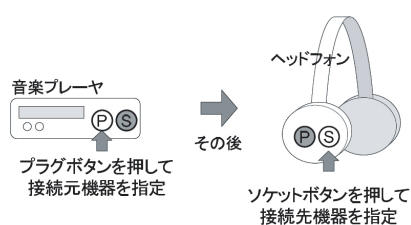


図 2.1 Touch-and-Connect:2 つボタンのインタフェース

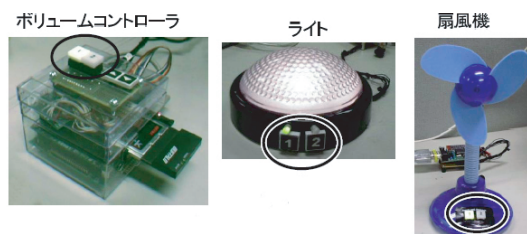


図 2.2 ボタンを取り付けた機器

### 2.1.2 u-Photo

u-Photo [4] は、慶應義塾大学の鈴木源太氏らによって提案された写真を用いることで機器操作を可能にするシステムである。u-Photo では、ARToolKit[5] を利用し各機器に取り付けられているビジュアルマーカを認識することで機器の特定を行っている。機器の連携は u-Photo のディスプレイに GUI を表示し、ユーザがコマンドをタッチすることで行っている。u-Photo の概観を図 2.3 に示す。また、u-Photo のディスプレイに表示される GUI を図 2.4 に示す。



図 2.3 u-Photo の概観

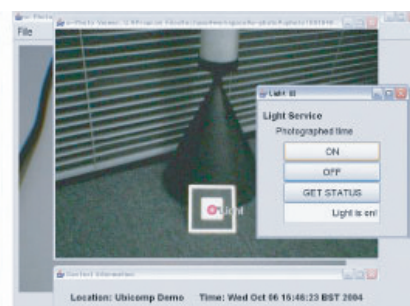


図 2.4 u-Photo のディスプレイに表示される GUI

### 2.1.3 Snappy

Snappy[6] は、慶應義塾大学の伊藤友隆氏らによって提案された振る動作を用いた機器連携手法である。各機器に固有の SR(Swing Reference) コードを対応づけておき、携帯端末を振り SR コードの矢印を再現することで機器の特定を行っている。機器特定後、機器情報を取得する場合は携帯端末を手前に振り、他の機器と連携させる場合は携帯端末を押し出すように振る。図 2.5 に SR コードのサンプルを示す。また、図 2.6 に機器連携時のジェスチャーのイメージ図を示す。

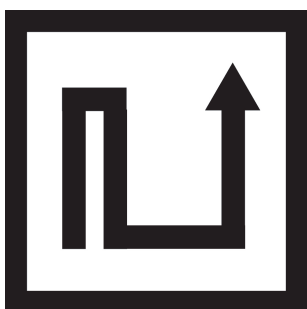


図 2.5 SR コードのサンプル



図 2.6 機器連携の際のジェスチャーのイメージ図

### 2.1.4 関連研究のまとめ

それぞれの研究で、ユーザが作業負荷を軽減して無線ネットワーク環境下における機器連携接続操作をすための手法の提案がされている。接続する機器の選択手法と機器連携の手法をまとめる。

Touch-and-Connect では、機器に 2 種類のボタンを設置し、ボタンを押すことで機器の選択を行う。機器の連携は、接続元の機器のプラグボタン、接続先の機器のソケットボタンを押すことで行う。また、接続したい両機器に実際に接触するため、ユーザにとっては接続を認識しやすい。

u-Photo では、機器にビジュアルマーカを設置し、機器 (マーカ) を撮影することで選択の特定を行う。機器の連携は、u-Photo のディスプレイ上の GUI の操作により行う。また、接続したい機器の写真がディスプレイ上に表示されるため、同一機器でない限りユーザにとっては認識しやすい。

Snappy では、SR マーカと機器とを関連付けておき、SR マーカの矢印の形を携帯端末を振って再現することで機器を選択する。機器の連携は、携帯端末を前に押し出すように振ることで行う。関連研究をまとめたものを表 2.1 に示す。

## 2.2 関連研究の問題点

Touch-and-Connect では、機器の選択・連携は機器に取り付けられたボタンを物理的に押すといった点ではユーザにとって作業負荷を軽減されたであろう。しかし、それぞれの機器に 2 つずつ特殊なボタンを付けるのは容易ではないし、コストもかかる。

u-Photo や Snappy は、マーカは容易に作成が可能であり、紙へ印刷するだけでできるのでコストもかからない。また、機器との結びつけが困難であるわけではないのでその点についてはいいといえる。しかし u-Photo はユーザが持っているとは言えない特別なデバイスであるため、多くの人が持っているものを利用す

表 2.1 機器の選択と連携の手法

システム名	機器への設置物	機器の選択	機器の連携
Touch-and-Connect	機器にボタン設置	ボタンを押す	接続先と接続元の 2 種類 のボタン
u-Photo	機器にマーカを設置	マーカを撮影	ディスプレイの GUI で 操作
Snappy	SR マーカと機器の関連 付け	携帯端末をマーカ通り に振る	携帯端末を振る

べきである．そこで Snappy である．Snappy は iPhone [7][8] を使用する．しかし iPhone を持って矢印にそって振るのは少々面倒である．

## 2.3 本章のまとめ

本章では、はじめに関連研究を紹介し、ついで関連研究の問題点を述べた．Touch-and-Connect はそれぞれの機器に物理的なボタンを 2 個ずつ取り付けてそれらを押すことで機器の特定・連携を行った．u-Photo では、機器に取り付けられたビジュアルマーカをカメラで撮影することで機器の特定・保存を行い、u-Photo 本体の GUI で操作することで機器の連携を可能にした．Snappy では SR マーカに記された矢印に従って携帯端末を振ることで機器の特定を行い、さらにその携帯端末を前に出したりすることで連携をおこなった．それぞれの研究では機器にボタンを設置したり特殊なデバイスや携帯端末を持つ必要がある．



## 第3章

# 指で作ったフレームの認識による機器選択・連携

本章では、本システムの概要について述べた後に想定環境を述べる。ついで機能要件をまとめる。その後、指で作ったフレームを認識することで接続機器の選択・連携を行う手法について述べる。

### 3.1 本システムの概要

無線ネットワーク環境下に多種多様の機器があるとき、機器を接続して連携させるためには IP アドレスやポート番号、あるいはネットワーク内の多数のデバイス名の一覧から受信する機器を選択する必要がある。しかしその作業はユーザにとってはわかりづらく作業負荷を感じる。

本システムでは、無線ネットワーク環境下においてもユーザが作業負荷を感じずに機器選択を行えるようにする。無線ネットワーク環境下にある機器にビジュアルマーカを貼り付け、そのマーカを指を合わせて作ったフレームで囲むことで機器の選択や連携を行う。まず、データを送信する側の機器に貼り付けられたビジュアルマーカを指で作った「」のフレームで囲み、その後、データを受信する側の機器に取り付けられたビジュアルマーカを指で作った「」のフレームで囲む。そうすることで機器の選択・連携での作業負荷を軽減させる。指で作ったフレームは、肌色抽出などの画像処理をすることで認識・判別した。機器の選択には AR 技術を用いた。

### 3.2 想定環境

本研究は、無線ネットワークに生活家電、パソコン、オーディオ機器など多種多様の機器が接続している環境下を想定とする。また、AR 技術の発展に伴いそれぞれの機器にビジュアルマーカが貼り付けられていることが一般的な環境とする、そしてユーザは限りなく目に近い場所に小型カメラを搭載した透過型の HMD を装着しているものとする。参考として RID(網膜走査ディスプレイ) [9] をあげる。商品化はされていないが、網膜に直接映像を投影する技術の研究ががされている。図 3.1 に小型カメラを設置した RID のイメージ図を示す。

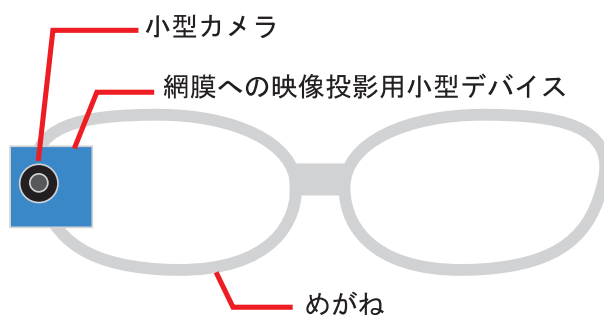


図 3.1 小型カメラ搭載 RID のイメージ図

#### 3.2.1 想定する連携機器

本研究では、機器の選択・連携を目標にしているため、想定する連携機器としてデジタルカメラ、デジタルフォトフレーム、プリンタをここであげる。デジタルカメラなどは通信のためにメモリーカードで Eye-Fi を利用する。

### 3.3 機能要件

機能要件をまとめたものを以下に述べる。

- 映像中のマーカが手で作ったフレームで囲まれたときのみ機器のマーカの認識を行う
- マーカ認識したときに機器の特定を行う
- 情報送信側と情報受信側を区別する
- 機器の選択がなされたことをユーザに通知する

### 3.4 機器選択手法

機器の選択はユーザが機器に取り付けたマーカを囲むことにより行う。ここでの処理としては web カメラから映像を取得し、その映像内にマーカが存在するか判別する。マーカが存在するときはそのマーカが登録されているマーカであるかを判別する。マーカが登録されているものであると判断された場合、そのマーカが手で作ったフレームで囲まれているか判別する。マーカの判別については ARToolKit を利用する。手で作ったフレームで囲まれているかの判別については OpenCV [10][11] によって画像解析によって行った。手で作ったフレームで囲まれているかの判別手法について以下で述べる。

### 3.5 手で作ったフレームの認識

マーカが登録されているものであると判断された場合、そのマーカが手で作ったフレームで囲まれているか判別する必要がある。その手法として、まず肌色抽出により手領域を白、それ以外を黒にした 2 値化画像にする。その後、その画像内の手の領域 (白の領域) がフレームを形成しているかを判別する。

#### 3.5.1 肌色抽出による手領域の認識

まずはじめに、RGB 表色系である web カメラでの取得映像 (図 3.2) を肌色抽出に向いている HSV 表色系に変換する。その後、あらかじめ設定しておいた肌色抽出用閾値により、閾値内を白、閾値外を黒にした 2 値化画像 (図 3.3) にする。そしてその画像のノイズ除去として 2 つの処理をおこなう。まず第一段階のノイズ除去として、肌色領域内の小さな穴を埋めるため、膨張・収縮処理をすることで欠損補間を行う。欠損補間を行った画像を図 3.4 に示す。第二段階のノイズ除去として、肌色領域の面積が最大のものを残す処理を行う。これはまずラベリング処理を行い、一塊の肌色領域に同じ番号のラベルをつける。そしてそのラベルごとの面積 (ピクセル数) をもとに、肌色領域が最大であるもののみを残すしりである。最大領域を残した画像を図 3.5 に示す。

#### 3.5.2 フレーム形成の判別

肌色領域の最大のみを残す処理を行ったら、次にマーカがフレームで囲まれているかどうかを判別する。まず、認識されたマーカの中心座標を取得する。その座標を中心に小さな四角形を初期値として仮形成する。そしてその四角形の一辺のピクセル情報を取得して、辺内にあるピクセルの色がすべて白であればそのままに





図 3.2 取得映像



図 3.3 肌色抽出用閾値による 2 値化画像 (ノイズ有り)



図 3.4 欠損補間をした画像 (1 段階目ノイズ除去)



図 3.5 肌色最大領域を残した画像 (2 段階目ノイズ除去)

し、黒が含まれていれば辺を中心から遠ざけていく．それをすべての辺において繰り返し行う．その結果，四角形のすべての辺上にあるピクセルの色がすべて白であるとき，四角形の形成を確定させ，同時にフレーム形成がなされたと判断し，マーカの情報を取得する．もし，四角形の形成が確定しないままどれら一辺でも取得映像領域の端まで行ってしまった場合は，フレーム形成がなされなかったと判断し，マーカの情報を取得しない．

### 3.6 情報の送受信側の区別

機器の連携を行う上で，情報送信側と情報受信側を区別する必要がある．そのために本研究では手で作ったフレームを「 $\square$ 」と「 $\square$ 」の 2 種類識別する．「 $\square$ 」は左右の手の親指同士，人差し指同士を接触させることのできる．「 $\square$ 」は片方の手の親指をもう一方の手の人差し指，片方の手の人差し指をもう一方の手の親指に接触することのできる．指を接触させることのできる「 $\square$ 」，「 $\square$ 」のイメージを図 3.6 に示す．そして情報送信側のマーカを囲むときは「 $\square$ 」のフレームを形成し，情報受信側のマーカを囲むときは「 $\square$ 」のフレームを形成する．「 $\square$ 」と「 $\square$ 」の判別手法としては，先に述べたフレーム形成の判別までは同じとし，そのときにできたフレームの縦と横の比によって違いを出す．「 $\square$ 」を形成したときは，およそ縦:横 = 1:1 であり，「 $\square$ 」を形成したときは，およそ縦:横 = 1:2 である．

### 3.6.1 フレームで囲む条件と機能

本研究では情報送信側と情報受信側を囲むときに条件を設ける。機器を連携させるときに、まずはじめに情報送信側を「 」で囲むことにより送信側機器を特定しておく。その後、情報受信側を「 」で囲むことにより機器の連携を行う。また、情報送信側と情報受信側は 1:x 対応の関係にしておく。そうすることで、例えばデジタルカメラに入っている画像をプリンタとデジタルフォトフレームの両機器に送りたいとする。そのときは、まずはデジタルカメラのマークを「 」で囲み、その後プリンタのマークを「 」で囲み、さらにデジタルフォトフレームのマークを「 」で囲むことで両機器へ送信できる。また、機器に取り付けたマークを「 」のフレームで囲む際、一度に複数のマークを囲んだ場合は、連携が可能なものすべてと連携を行う。

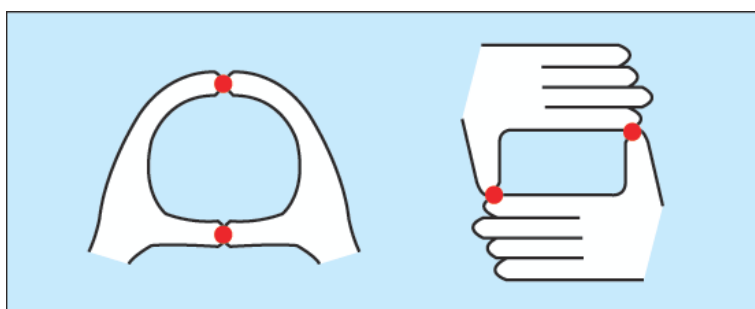


図 3.6 指を接触させてできる「 」(左)と「 」(右)のイメージ

## 3.7 ユーザへの通知

本研究はユーザにとって煩わしくない機器連携を可能にする必要がある。そのためにユーザへの通知は大切である。ユーザへの通知方法として、ユーザの装着している HMD を通して誰でもわかりやすい表示をすることにする。マークを認識していないとき、HMD にはカメラ映像(ユーザの視界に近づけたもの)を表示している。そしてマーク認識後、手でフレームを作った場合はそのフレームを赤いラインで表示する。その後機器の情報を取得したときはその機器の情報を表示する。また、取得した情報が情報送信側である場合は、機器の連携をするために必要な情報であるため映像内の隅の方にその情報を表示し続ける。その後、情報受信側のマークが囲まれたときに連携できたことも表示する。

## 3.8 本章のまとめ

本章では、無線ネットワークで多種多様の機器が接続可能である状態における機器連携の手法について述べた。すべての機器にはビジュアルマークが設置されており、情報送信側の機器に取り付けられたマークをまず手で作った「 」のフレームで囲み、その後情報受信側に取り付けられたマークを手で作った「 」のフレームで囲むことで機器連携を行う。マークが手で作ったフレームで囲まれているかについては、まずマークが登録されているマークかどうかを判別し、登録されていれば肌色抽出とそのノイズ処理をして手領域を出し、マークの中心座標から四角形を広げていくことでフレームの形成を判断し、機器の特定を行った。ユーザへの通知は装着している HMD を通してフレームや機器の情報を表示し伝える。

## 第4章

# 設計

本章では、指で作ったフレームで囲むことによる機器間連携システムの設計を述べる。システム構成を述べた後に、各モジュールの役割の説明を述べる。

## 4.1 ハードウェア構成

ハードウェア構成を図 4.1 に示す。無線ネットワーク環境下にある多種多様の機器とパソコンが無線 LAN により繋がっている。web カメラとパソコンは USB 接続を行う。パソコンと HMD は VGA ケーブルで繋がっている。



図 4.1 ハードウェア構成図

## 4.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図 4.2 に示す。ソフトウェア構成の主なモジュールについての概要を以下に説明する。

### 4.2.1 マーカ認識モジュール

マーカ認識モジュールでは、映像内にマーカが存在したときに、そのマーカが登録されているものかどうかを判別する。登録されているものであればそのマーカに結び付けられている情報とマーカ自体の情報を次のモジュールへ渡す。

### 4.2.2 肌色抽出モジュール

肌色抽出モジュールでは、肌色抽出用閾値に従って肌色の領域を白で表す 2 値化画像にする。その画像と機器情報、マーカ情報を次のモジュールへ送る。

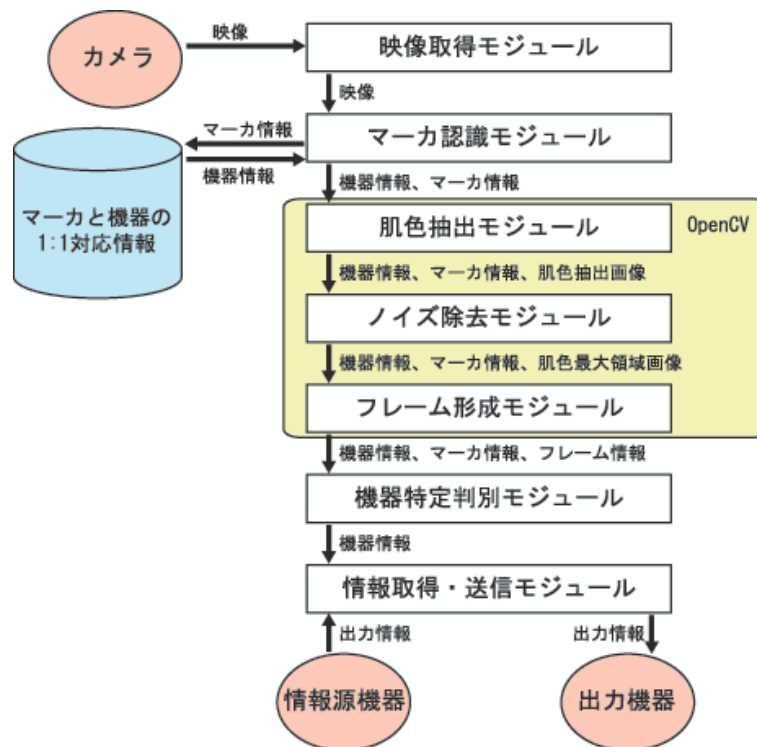


図 4.2 ソフトウェア構成図

#### 4.2.3 ノイズ除去モジュール

ノイズ除去モジュールでは、肌色抽出で取得した2値化画像のノイズ除去を行う。まず膨張・収縮処理により欠損補間を行い、その後ラベリング処理をして面積が最大の肌色領域のみを残す。そして、機器情報とマーカ情報と肌色領域の最大のものを残した画像を次のモジュールへ送る。

#### 4.2.4 フレーム形成モジュール

フレーム形成モジュールでは、認識したマーカの中心座標を取得して、その座標から四角形を次第に広げていくことで手で作ったフレームを形成する。ここでフレーム形成が確定すれば、機器情報とマーカ情報、フレーム情報を次のモジュールへ送る。

#### 4.2.5 機器特定判別モジュール

機器特定判別モジュールでは、機器の情報をユーザに伝えるため取得した情報を表示する役割や、情報送信側の機器情報を一時記録しておくモジュール、また情報送信側と情報受信側が確定したときに、その両機器が連携可能かどうかを判別するモジュールである。情報送信側と情報受信側が連携可能であると判別されたときに機器情報を次のモジュールへ送る。

#### 4.2.6 情報取得・送信モジュール

このモジュールでは、情報送信側が持っている情報を取得し、情報受信側の機器にその情報を送信しアウトプットする。

### 4.3 本章のまとめ

本章では、指で作ったフレームで囲むことによる機器間連携システムの設計について述べた。ハードウェア構成として、多種多様の機器や web カメラや HMD が一台の PC と繋がっており、そこにマーカと機器情報結びつけて登録しておく。ソフトウェア構成として、ソフトウェア構成図を示した後に各モジュールの説明を述べた。マーカ認識モジュールで登録済みマーカを認識後、肌色抽出モジュールで設定された閾値に従って 2 値化画像にする。その後のノイズ除去モジュールで欠損補間や肌色の最大領域の取得を行い、フレーム形成モジュールで、マーカの中心座標からフレームが形成できるか判別した。そして機器特定判別モジュールで機器情報の取得と連携可能かどうかの判別、ユーザへの通知を行い、情報取得・送信モジュールで連携を行う。

## 第5章

# 実装

本章では、指で作った枠で囲むことによる機器間連携システムの実装を述べる。まず実装環境・実装デバイス環境を述べ、ついで、肌色抽出やノイズ除去での実装、フレーム形成時の四角形の初期状態の多きさ、「 $\square$ 」や「 $\square$ 」の判別について述べる。

## 5.1 実装環境

本項では実装環境について述べる．実装に用いた環境を表 5.1 に示す．

表 5.1 実装ソフトウェア環境

OS	Windows XP Professional SP3
CPU	Core(TM)2 Duo L9400 1.86GHz
メモリ	2.96GB
言語	C
開発環境	Visual C++ 2008
ライブラリ	OpenCV, ARToolKit

### 5.1.1 実装デバイス環境

実装デバイスとして，web カメラ (Logicool QCAM 200V[12]) と PC (Lenovo ThinkPad X200s) 利用した．また，web カメラは市販のものを使用し，fps は 30 で解像度は  $640 \times 480$  に設定して行った．

### 5.1.2 実装ソフトウェア環境

実装は WindowsOS 上で行い，開発環境は Visual C++ 2008 を用いた．使用ライブラリは画像解析に OpenCV，機器認識の部分に ARToolKit を使用した．

## 5.2 システムの実装

本項では，主に行った実装について述べる．機器連携の研究は uPhoto や Snappy で知られるように多くされているので，今回の実装では，マーカを囲むことで機器を特定する部分までの実装を行った．

### 5.2.1 肌色抽出とノイズ除去

肌色抽出部分の実装において，肌色の閾値を設定する必要がある．今回利用した肌色抽出の閾値は HSV 表色系で  $6 \leq H \leq 25, 10 \leq S \leq 255, 10 \leq V \leq 200$  に設定した．また，ノイズ処理の欠損補間のために膨張・収縮処理を 3 回行った．その後，ラベリングを行ったが，その際に面積が 10000 ピクセル以下のものはあまりに小さいので無視した．そして面積の最大のを手の領域候補として残した．

### 5.2.2 フレーム形成の実装

マーカが小さく映っていると認識されないので，マーカはある程度大きく写っている必要がある．そのためマーカの中心座標を基準に四角形を広げていく場合においても，少なくともマーカ全体の外部まで広がらないと



フレームの形成は確定しない。そのため、初期の四角形としてマーカの中心座標を中心として  $11 \times 11$  ピクセルの四角形を仮形成し、中心点からその辺までの距離を変数に置き換えて、変数の値を大きくすることで四角形を広げていった。映像の端まで行ってしまった場合は、その変数の値を、中心点に対して反対側にある辺の中心から辺までの距離の変数に-1 をかけた値に変えることで四角形を形成できなくした。

また「 $\square$ 」と「 $\square$ 」の判別のため、中心から辺まで距離が 10 ピクセルまでは辺のすべてのピクセルの色が白でない限り辺を外へ移動したが、11 ピクセル以降は、辺のすべてのピクセルの色を見たときに 8 割が白であれば辺を確定した。これは「 $\square$ 」のフレームはすべての辺上のピクセルの色をしるくするのが困難であったためである。また、「 $\square$ 」と「 $\square$ 」の縦と横の割合であるが、「 $\square$ 」の場合はおよそ縦:横 = 1:1 なので、縦の長さを  $x$ 、横の長さを  $y$  としたとき、「 $0.8x \leq y \leq 1.2x$ 」あるいは「 $0.8y \leq x \leq 1.2y$ 」におさまっていれば「 $\square$ 」と判別した。「 $\square$ 」の場合はおよそ縦:横 = 1:2 なので、同じく  $x, y$  で表すと、「 $1.5x \leq y \leq 2.5x$ 」におさまっていれば「 $\square$ 」であると判別した。

### 5.3 本章のまとめ

本章では、実装環境を述べた後に肌色抽出やノイズ除去、フレーム形成の実装について述べた。肌色抽出時の閾値は  $6 \leq H \leq 25, 10 \leq S \leq 255, 10 \leq V \leq 200$ 、欠損補間時の膨張・収縮処理は 3 回、ラベリング処理時には面積が 10000 ピクセル以下の領域は除去した。フレーム形成時には、初期のフレームとして  $11 \times 11$  ピクセルの四角形を仮形成しそれを広げていき、「 $\square$ 」や「 $\square$ 」の判別はそれぞれの縦と横の比で判別した。

## 第 6 章

# 評価

本章では、評価を述べる。定量的評価として、システムを起動させたときの fps や処理時間の計測、マーカ認識率などを取得した。ユーザビリティ評価として、本研究を含めた複数のインタラクションについての主観的作業負荷をアンケートにより取得した。

## 6.1 定量的評価

定量的評価として、システムの起動状態を確認するために次の3つについての実験を行う。まず、システムを起動してからシステムを終了するまでのfpsを計測した。次に、登録されているマーカを認識した時点から手で作ったフレームの形成が確定するまでの処理時間をミリ秒単位で計測する。3つ目としてマーカの認識率についての実験を行った。

### 6.1.1 fpsの計測

システムを起動してからシステムを終了するまでのfpsを計測した。1秒ごとにfpsを表示するようにし、システムを起動してからシステムを終了のfpsの計測を10回行い、平均を算出した。マーカを認識していない状態のfpsの平均値とマーカ認識している状態のfpsの平均値を表6.1に示す。

表 6.1 fpsの平均値

	マーカ認識していない	マーカ認識している
fps	30.508	2.7777

### 6.1.2 処理時間の計測

登録されているマーカを認識した時点から手で作ったフレームの形成が確定するまでの処理に要した時間をミリ秒単位で計測した。この間には肌色抽出、欠損補間、ラベリング、フレーム形成などの処理を行っている。この処理時間の計測もシステムを10回起動させ、手をwebカメラの映像内に入れずにマーカ認識のみを行っている処理時間とフレーム形成の確定までの処理時間の平均値を取得した。その結果を表6.2に示す。

表 6.2 処理時間の平均値

	マーカ認識のみ	フレーム形成まで
処理時間 (ms)	270.746	497.891

### 6.1.3 マーカ認識率の取得

マーカの認識率の取得のために、t41で実験を行った。壁に10種類のマーカを貼り、手で作ったフレームでそれを囲んだ時に認識されるかどうかを5つの距離について行った。それをスポットライトをつけた環境下と、蛍光灯での環境下で行った。マーカの認識率をまとめたものを表6.3に示す。

### 6.1.4 定量的評価の考察

マーカを認識していないときに比べ、マーカを認識して画像解析の処理を開始するとfpsはおおよそ10分の1までなってしまった。webカメラは30fpsで映像を取得していたので、マーカを認識していないときは同程

表 6.3 マーカ認識率

認識率	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m
スポット環境下 (%)	100	100	100	40	0
蛍光灯環境下 (%)	100	100	100	40	0

度の fps を計測できたが、画像解析の部分の処理のみに時間がかかってしまった原因があるといえる。また、画像解析の部分の処理時間を計測してみると、マーカのみがカメラに映っているときに比べ、フレーム形成を確定するまでに約 2 倍の処理時間を要している。この原因としてマルチスレッドなどを組み込んだプログラムを書かなかったことがあげられる。

また、t41 でのスポットライトでの環境と蛍光灯での環境では 1.5m までは 100 % の確立でマーカを認識できた。しかし 2m まで離れると認識率は半分以下になってしまった。スポットライト環境下でも蛍光灯環境下でも 2m での認識率は同じであるが、認識したマーカの種類は異なった。

## 6.2 ユーザビリティ評価

無線ネットワーク環境下において機器の接続を行う際に、どんなインタラクションに作業負荷を感じるかは人それぞれ異なる。そのため、本研究のユーザビリティ評価では NASA-TLX [13] を使用して主観的作業負荷についての評価を取得した。

### 6.2.1 NASA-TLX とは

NASA-TLX は、主観的作業負荷を取得するための手法である。ある作業に対して 6 項目それぞれで 0~100 の素点を取得する。その後、その 6 項目の中から 2 項目を比較しどちらがより負荷がかかったかを判断する。6 項目の中から 2 項目を比較する作業はすべての 2 項目において行うため 15 通りある。この 15 通りの比較の中で、より負荷がかかったと判断された個数をそれぞれの項目についてカウントする。そしてここでカウントした数をはじめに取得した素点に掛け、最後に 15 で割ることで項目ごとの主観的作業負荷を取得する。この手法により取得した数値は、値が大きいほど作業負荷がかかったと判断される。ここで、この手法で必要な 6 項目の内容を以下に示す。

#### 精神的要求

どの程度、精神的・知覚的な活動を要求されたか。例としては、思考、意志決定、計算、記憶、観察、検索などがあげられる。判断する基準としては、作業が精神的に容易か困難か、単純か複雑か、過酷か寛大かなどによる。

#### 身体的要求

どの程度、身体的活動を要求されたか。例としては、押す、置く、かざす、操作、入力、移動や活動などがあげられる。判断する基準としては、作業が身体的に容易か困難か、何事もなくできるか努力が必要か、落ち着いてできるか骨の折れるかなどによる。

#### 時間的要求

どの程度、時間的要求や時間的束縛を受けましたか。判断する基準としては、作業にかかった時間が短時間だったか長時間だったか、時間的にくつろいでできたか、それとも急がされてくつろげなかったかなどによる。

#### 作業達成度

どの程度、被験者によって設定された目標に達したか。目標における作業結果にどの程度満足しているか。

#### 努力

被験者の作業レベルで目標に向けて作業するにあたり、どの程度精神的および身体的に努力が必要であったか。

#### 不満

どの程度、作業中に不安、ストレス、不快感などを感じたか。またどの程度、作業中に満足、安心、リラックス、自己満足を感じたか。不安などをより感じた場合は数値は高く、満足などをより感じた場合は数値は低い。

### 6.2.2 実験環境と実験手順

t41 にてスポットライトを点灯した状態で実験をおこなった。被験者は男性 5 人である。被験者には一人ずつ t41 に来てもらい以下の手順で行った。

- 被験者に対して評価実験の説明を行った。無線ネットワーク環境下でデジタルカメラ内の写真データをプリンタに送って現像するという想定であることを説明した。
- 一つ目の実験の説明と実験を行った。
- 評価シート記入 (NASA-TLX)
- 二つ目の実験の説明と実験を行った。
- 評価シート記入 (NASA-TLX)
- 三つ目の実験の説明と実験を行った。
- 評価シート記入 (NASA-TLX)

尚、本論文の最後に使用した評価シートを載せておく。

### 6.2.3 実験内容

一つ目の実験は、IP アドレスを入力するものである。今回の実験では IP アドレスは負荷もなく調べられるという前提で、PC 上に用意したフォームに両機器の IP アドレスを入力してもらった。二つ目の実験は、接続したい両機器をタッチするだけで接続できる小型デバイスがあるという仮定で、情報送信側のデジタルカメラをタッチしてもらった後に情報受信側のプリンタをタッチしてもらった。最後に三つ目の実験として、本研究のシステムを使い、まず情報送信側のデジタルカメラのマーカを手で作ったフレームで囲んでもらった後に情報受信側のプリンタのマーカを手で作ったフレームで囲んでもらった。

## 6.2.4 実験結果

被験者 5 人分の実験結果により算出した主観的作業負荷をまとめたものを表 6.3 に示す。また、項目ごとに比較したものを表 6.4 に示す。主観的作業負荷は被験者によって負荷に感じる作業がことなる。被験者別でまとめた主観的作業負荷を図 6.5 に示す。

表 6.4 主観的作業負荷の比較

手法	主観的作業負荷
IP アドレス	49.97
タッチ	34.04
本研究	53.0

表 6.5 項目ごとの主観的作業負荷の比較

手法	精神的要求	身体的要求	時間的要求	作業達成度	努力	不満
IP アドレス	7.61	4.48	7.52	10.76	14.21	5.39
タッチ	1.31	13.25	4.68	4.28	7.95	2.57
本研究	3.89	20.6	6.05	4.48	8.21	9.76

表 6.6 被験者別の主観的作業負荷

手法	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D	被験者 E
IP アドレス	42.2	54.0	47.33	51.0	55.33
タッチ	29.73	32.33	45.47	5.0	57.67
本研究	74.73	52.6	63.33	11.67	62.67

## 6.2.5 ユーザビリティ評価の考察

まず全体的な評価として、本システムは最も作業負荷がかかるという結果になった。その要因はシステムの処理速度などによる時間的要求にあると思っていたが、それについては他の手法と同程度であった。このような結果になった原因は身体的要求によるものが多かった。身体的要求のポイントが本研究の主観的作業負荷のポイントの約 40 %も占めている。IP アドレスの入力による手法はその場でできるのに対して、タッチによる手法や本研究では実際に機器のある場所まで移動しなければならないため身体的要求が高いと予想できる。さらに、マーカを手で作ったフレームで囲む作業は機器をタッチする動作よりも大変であるため身体的要求のポイントが上がったのだろう。被験者によっては身体的要求をそこまで感じず、タッチによる手法や本研究よりも IP アドレスの入力の方が作業負荷を感じるという結果になっているが、本研究に最も負荷を感じた多数の被験者は他の手法に比べ同程度ではなく断トツで作業負荷を感じている。

また、被験者にマーカを手で作ったフレームで囲んでもらうと、全員がマーカから 1m 前後離れた場所から囲んでいた。定量的評価の認識率では 1.5m まで 100 % マーカを認識できていたので、距離については問題ないこともわかった。

### 6.3 本章まとめ

本章では、評価を述べた。定量的評価として、システムを起動させたときの fps や処理時間の計測、マーカ認識率などを取得した。マーカを認識していないときはカメラ映像と同程度の fps が出たが、マーカを認識すると画像解析の処理を行うために fps はおよそ 10 分の 1 にまでなってしまった。マーカ認識後は、フレーム形成の確定を行うかどうかで処理時間が異なった。フレーム形成の確定を行うまでの処理時間はマーカを認識するだけの処理時間の 2 倍かかった。マルチスレッドをプログラムに組み込むことで処理にかかる時間は短くなると予想される。またマーカ認識は 1.5m まで 100 % 認識し、2m になると 40 % に低下した。ユーザビリティ評価として、本研究を含めた複数のインタラクションについての主観的作業負荷を NASA-TLX を用いて取得した。IP アドレスを入力することによる機器間接続、接続する両機器を小型デバイスでタッチすることによる機器間接続、そして本研究の 3 つの手法を比較した結果、本研究は主観的作業負荷を最も感じたという結果になってしまった。機器の前まで移動することや、機器に取り付けたマーカを手で作ったフレームで囲むといったことが他の手法に比べて身体的要求のポイントを上げた原因として予想される。

## 第7章

### 結論



本章では、今後の課題について述べる。ついで本研究をまとめ、本論文を終える。



## 7.1 今後の課題

システムの処理速度が非常に遅いので、マルチスレッドや OpenMP [14] などを利用して処理速度を向上させる必要がある。また、肌色抽出の精度向上のために、閾値を動的に変化させることによって環境の変化に対応させたり、手以外の肌色部分が手と重なっている場合に手でない部分を除去する必要がある。また、本研究を一つのインタラクションとして普及させるためには他の手法に比べて主観的作業負荷がかからないシステムでなければならない。そのため、身体的要求を抑える対策をする必要がある。

## 7.2 本論文のまとめ

本論文で、『無線ネットワーク環境下における指で囲むことによる機器間連携システムの提案』について述べた。無線ネットワーク環境下での機器の選択・連携を、ユーザにとっての作業負荷を軽減させるものである。機器の選択・連携の際に、データの送信機器側につけられたビジュアルマーカを指で作った「」のフレームで囲み、その後、データをアウトプットする受信機器側につけられたビジュアルマーカを指で作った「」のフレームで囲むことで連携を行う。web カメラから取得した映像からマーカを認識した場合に画像解析を行い、マーカが手で作ったフレームで囲まれているかを判別した。しかし、機器の前まで移動しなければいけない点やマーカを正確に囲まなければならない点から身体的要求が大きくなり、他の手法に比べて作業負荷のかかるものになってしまった。

# 謝辞

本研究の機会を与えてくださり、絶えず丁寧なご指導を賜りました、慶應義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝致します。

また、貴重なご助言を頂きました慶義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士、慶應義塾大学環境情報学部専任講師中澤仁博士に深く感謝致します。慶應義塾大学徳田研究室のファカルティの方々や、諸先輩方に折にふれ貴重なご助言、ご指導を頂きましたことを深く感謝致します。特に、慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程今枝卓也氏、慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程小川正幹氏には絶え間ざるご指導と励ましを賜りましたこと深く感謝致します。そして、研究が進まず精神的に落ちている時に心配をしてくださりました徳田研究室新田美智子氏、慶應義塾大学政策・メディア研究科博士課程米沢拓郎氏、慶應義塾大学事務室学生支援の長田氏に深く感謝を致します。

最後に、研究活動をかけながら支えてくれた家族、ACE 研究グループで多くのご指導を賜りました鈴木慧氏、中津川紘太氏をはじめ、同研究グループの唐津豊氏や後輩達に感謝の念を表し、謝辞と致します。

2010年2月15日

天野 雅哉

## 参考文献

- [1] Bluetooth.com , <http://japanese.bluetooth.com/bluetooth/>
- [2] Eye-Fi Japan , <http://www.eyefi.co.jp/>
- [3] 『Touch-and-Connect:ユビキタス環境における接続指示フレームワーク』, 岩崎陽平, 河口信夫, 稲垣康善. 情報処理学会論文誌, 2004 .
- [4] 『u-Photo:ユビキタス情報を付加した画像を実現する環境情報スナップショットの開発』, 鈴木源太, 岩本健嗣, 高汐一紀, 徳田英幸 .
- [5] ARToolkit , <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [6] 『Snappy:振る動作による異種ネットワーク間での機器連携の実現』, 伊藤友隆, 河田恭兵, 中川直樹, 生天目直哉, 橋爪克弥, 伊藤昌毅, 中澤仁, 高汐一紀, 徳田英幸 .
- [7] iPhone(softbank) , <http://mb.softbank.jp/mb/iphone/>
- [8] iPhone(Apple) , <http://www.apple.com/iphone/>
- [9] RID , <http://www.brother.co.jp/news/2008/rid/index.htm>
- [10] OpenCV , <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>
- [11] 「OpenCV プログラミングブック 第 2 版 サポートサイト」 , <http://book.mycom.co.jp/support/pc/opencv11/>
- [12] Logicool , <http://www.logicool.co.jp/>
- [13] NASA-TLX , <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/>
- [14] OpenMP , <http://openmp.org/wp/>