

卒業論文 2004年度(平成16年度)

公共空間における人の位置と顔の向き取得に関する研究

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

南 政樹

慶應義塾大学 環境情報学部

駒木 亮伯

*akinori@sfc.wide.ad.jp*

## 卒業論文要旨 2004年度(平成16年度)

### 公共空間における人の位置と顔の向き取得に関する研究

本研究では、室内の公共空間において人の位置と向きを提供する **Catch Me System** を構築する。**Catch Me System** は、カメラによる画像解析を用いて、人を位置と向きを特定する。本論文では、画像解析による室内の広範囲での位置特定手法、**Two Face Collection Model** を提案し、**Catch Me System** を設計・実装・評価する。

近年、情報通信技術の進展により、様々な計算機器やセンサが人々の生活空間に遍在するユビキタスコンピューティング環境が実現されつつある。また、ユビキタスコンピューティング環境が整うにつれ、人の位置情報を利用した多様なロケーションウェアサービスが研究されている。ロケーションウェアサービスは、個人の家庭環境から公共空間まで室内、室外を問わず様々な空間に浸透し始めている。

しかし現在、室内の公共空間での位置取得システムが整っていない。室内の公共空間における位置情報システムの特徴として、不特定多数の人に対して限られた狭い場所に縛られずサービスを提供する点、また位置取得センサの設置位置と個数が限定される点が挙げられる。従い、室内の公共空間における位置取得システムは、利用者に予めの準備を軽減させ、限られたセンサで室内の広範囲における位置取得を可能にさせる必要がある。

本研究では、不特定多数の人が室内の公共空間で利用できる汎用性を持たせるため、カメラを用いた画像解析による位置特定手法、**Two Face Collection Model** を提案する。**Two Face Collection Model** は室内に設置されたカメラから、人の顔を正確にとらえたカメラ2台を選出し、その2台を用いて人の位置と向きを算出するモデルである。

本論文では、**Two Face Collection Model** を用いて **Catch Me System** の設計・実装・評価を行う。**Catch Me System** によりユーザは、センサや計算機器を持つことなく、ユーザの位置と向きを取得できる。また、従来の画像解析による位置取得システムに比べ、カメラから遠距離にいるユーザの位置取得が可能である。これにより、ユーザに負荷をかけず、室内の広範囲で位置と向きの取得を可能にする。また、サンプルアプリケーションとして、人の位置に応じたサウンドシステム **Trackable Sound** を構築した。**Trackable Sound** は、鑑賞者の位置と向きに合わせて音源を自動的に再調整し、ユーザの動きに合わせて音源を追従させる音響効果を実現する。

#### キーワード:

公共空間, 位置, 向き, 室内, ロケーションウェアサービス, 画像解析

慶應義塾大学 環境情報学部  
駒木 亮伯

# **Abstract of Bachelor's Thesis**

## **Research of person-tracking system in public space**

This thesis proposes Catch Me system, which is designed for sensing human's location and orientation indoor. Catch Me system realizes various indoor location service in public space where people moves dynamically.

Recently, progress of information technology have been realizing ubiquitous computing environment by increasing various computers and sensors in our daily environment. As ubiquitous computing environment develops, various sensing technology has been put to practical use and many service which use such technologies is invented. Especially, location system has been developed remarkably, various location aware service has been invented regardless of private or public, indoors or outdoors.

However, There is no indoor person-tracking system in public space. Because person-tracking system in public space should assume many and unspecified people use service. Then, this research create a practical person-tracking system that solves most of the public space problem.

This thesis designs the person-tracking system using image analysis. The system specifies human's location and orientation in public space. Therefore, this system proposes Two Face Collection Model. This model specifies two cameras that most accurately copy user's face. And this tracking system calculates the human's location and orientation with these cameras. The system suppresses the delay by the image analysis to the minimum by using this model. In addition, this thesis creates Catch Me system using Two Face Collection Model.

This thesis, first, clarifies the requirement of the indoor person-tracking system in public space. Then, it presents Two Face Collection Model which specifies two cameras. And describes the design and implementation of Catch Me System. Finally, it shows evaluation of the system and concludes.

Keywords:

Public Space, Location, Orientation, Indoor, Location Aware Service, Image Analysis

**Akinori Komaki**  
**Faculty of Environmental Information Keio University**

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	本研究の背景	2
1.1.1	センシング技術の発展	2
1.1.2	ロケーションウェアサービスの多様化	2
1.1.3	公共空間におけるロケーションウェアサービスの進展	3
1.2	問題意識	3
1.2.1	公共空間におけるサービスの汎用性	4
1.2.2	広範囲における位置取得システムの必要性	4
1.2.3	向き情報の必要性	4
1.3	本研究の目的	4
1.4	本論文の構成	5
<b>第2章</b>	<b>人の位置と視線方向取得システムの分類</b>	<b>6</b>
2.1	本研究の対象となるロケーションウェアサービス	7
2.1.1	Follow Me Service	7
2.1.2	Security Service	8
2.1.3	Notify Service	8
2.1.4	Device Control Service	9
2.2	センサ形態による位置取得技術の分類	9
2.2.1	センサ携帯型	10
2.2.2	センサ非携帯型	12
2.3	公共空間かつ室内における汎用的な位置取得技術	13
2.4	画像解析により生ずる機能要件	14
2.4.1	粒度の向上	14
2.4.2	向きの取得	14
2.4.3	計算処理にかかる遅延	15
2.4.4	システム導入の容易性	15
2.5	本章のまとめ	15
<b>第3章</b>	<b>画像解析による人の位置と向き特定手法</b>	<b>16</b>
3.1	本研究のアプローチ	17
3.1.1	想定環境	17
3.1.2	アプローチ概要	18

3.2	画像解析による人の特定 . . . . .	18
3.2.1	動画像解析 . . . . .	19
3.2.2	人の顔検出 . . . . .	20
3.3	Two Face Collection モデル . . . . .	20
3.3.1	顔検出 . . . . .	21
3.3.2	顔の位置と向き検出 . . . . .	21
3.3.3	カメラ2台の特定 . . . . .	22
3.3.4	実世界上の位置・向きへの変換 . . . . .	22
3.4	関連研究 . . . . .	23
3.5	本章のまとめ . . . . .	23
<b>第4章</b>	<b>Catch Me の設計</b>	<b>24</b>
4.1	設計方針 . . . . .	25
4.2	Catch Me の概要 . . . . .	25
4.2.1	想定環境 . . . . .	25
4.2.2	ハードウェア構成 . . . . .	26
4.2.3	ユースケース . . . . .	27
4.2.4	ソフトウェア構成 . . . . .	27
4.2.5	基本動作 . . . . .	29
4.3	各部の設計 . . . . .	29
4.3.1	Image Capture Unit . . . . .	30
4.3.2	Image Analyzer Unit . . . . .	30
4.3.3	Camera Manage Unit . . . . .	31
4.3.4	Location Manage Unit . . . . .	31
4.3.5	Notify Unit . . . . .	32
4.3.6	アプリケーションインタフェース . . . . .	32
4.4	本章のまとめ . . . . .	33
<b>第5章</b>	<b>Catch Me の実装</b>	<b>34</b>
5.1	実装の環境 . . . . .	35
5.2	実装概要 . . . . .	35
5.3	各部の実装 . . . . .	35
5.3.1	Image Capture Unit . . . . .	36
5.3.2	Image Analyzer Unit . . . . .	36
5.3.3	Location Manage Unit . . . . .	37
5.3.4	Camera Manage Unit . . . . .	39
5.3.5	Notify Unit . . . . .	39
5.4	カメラ設置方法 . . . . .	40
5.5	Sample Application . . . . .	40
5.6	本章のまとめ . . . . .	40

<b>第6章</b>	<b>評価</b>	<b>42</b>
6.1	評価内容 . . . . .	43
6.2	Catch Me System の定量的評価 . . . . .	43
6.2.1	処理速度の評価 . . . . .	43
6.2.2	位置・向き粒度の評価 . . . . .	44
6.3	Catch Me System の定性的評価 . . . . .	44
6.4	本章のまとめ . . . . .	44
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	<b>45</b>
7.1	今後の課題 . . . . .	46
7.1.1	顔抽出方法の見直し . . . . .	46
7.1.2	位置情報の精度向上 . . . . .	46
7.1.3	プライバシー . . . . .	46
7.2	本章のまとめ . . . . .	47

# 目次

1.1	SmartWatch	3
1.2	R-click	3
2.1	Follow Me Camera	7
2.2	AuraLamp	9
2.3	ActivityZones	12
3.1	Assumption environment	17
3.2	Approach	18
3.3	Face Algorithm1	21
3.4	Face Algorithm2	21
3.5	Face Orientation	22
3.6	Location Information	23
4.1	Hardware	26
4.2	Usecase1	27
4.3	Usecase-2	28
4.4	System	28
4.5	ソフトウェアシーケンス図	29
5.1	Image Capture Unit	37
5.2	Image Analyzer Unit	38
5.3	Location Management Unit	39
5.4	Notify Unit	40
5.5	Sample Application	41
6.1	Process Time	43

# 表 目 次

2.1	位置取得技術の評価	14
3.1	Image Processing API	19
5.1	Linux 実装環境	35
5.2	Windows 実装環境	35
5.3	Web Camera	36
6.1	Evaluation	44



# 第1章 序論

本章では，本研究の背景について述べ，そこに存在する問題点を挙げる．その後，本研究の目的を述べる．そして，最後に本論文の構成を述べる．

## 1.1 本研究の背景

近年、情報通信技術の発展により、Mark Weiser の提唱したユビキタスコンピューティング環境 [1] という概念が一般化しつつある。ユビキタスコンピューティング環境では、様々なセンサや情報機器がネットワークに接続し、人々の生活空間に遍在している。このような環境では、複数の情報機器が多様なセンサによって取得された情報を利用し、協調動作することによって、人々の利便性や安全性を向上させる。既存のユビキタスコンピューティング環境に関する実験空間の具体例として、**Oxygen**[2]、**Easy Living**[3]、**Aware Home**[4]、**Cooltown**[5] などが挙げられる。

### 1.1.1 センシング技術の発展

近年、センシング技術が著しく発達し、高性能で小型なセンサが数多く開発されている。また、カメラ、超音波センサ、圧力センサ、GPS[6] や RFID[7] など様々な種類のセンサが登場している。そのため、多様な高性能で小型なセンサが開発され、それらセンサを環境の様々な場所や道具に埋め込む研究が行われるようになった。センサを環境の様々な場所や道具に埋め込むことにより、様々な現実世界の環境情報が取得できるようになっている。

### 1.1.2 ロケーションウェアサービスの多様化

近年、様々な現実世界の環境情報が取得可能になり、ユビキタスコンピューティング環境における、人々の生活を支援するサービス開発が盛んに行われている。特に位置取得技術の発展、普及は目覚しく、ロケーションウェアサービスが私たちの生活空間に浸透し始めている [8]。ロケーションウェアサービスとは、人や物の位置情報を収集し利用するサービスである。

例えば、ロケーションウェアサービスとして、ユーザの位置に応じたサラウンドシステムや音声ナビゲーション [9]、ユーザの持ち物を追跡する、**Smart Watch**[10](図 1.1)、や RFID と携帯電話を使ったワイヤレス・タウン情報提供サービス、**R-click**[11](図 1.2)、など様々な種類のロケーションウェアサービスが実現されている。また、犯罪発生率の急増を抑える事を目的として、人の動き方によって不審者を特定するシステムが開発されている。具体例として、米国防総省の研究・開発部門、高等研究計画局 (DARPA)、による **VSAM** プロジェクト [12] が挙げられる。VSAM とは、ビデオカメラを用いたセキュリティシステムであり、画像解析技術を用いて人の位置を監視するものである。今後さらに、ユビキタスコンピューティング環境が私たちの生活空間に浸透するにつれ、ロケーションウェアサービスの種類は多様化するものと考えられる。

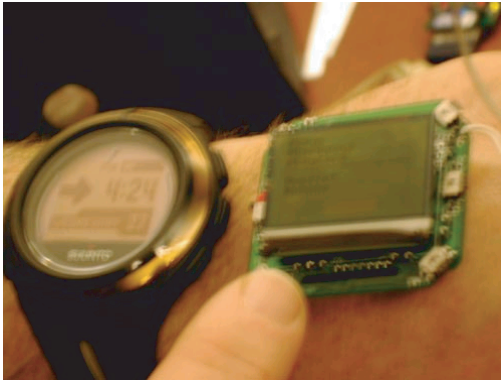


図 1.1: SmartWatch



図 1.2: R-click

### 1.1.3 公共空間におけるロケーションウェアサービスの進展

近年、公共空間におけるロケーションウェアサービスが発展しつつある。公共空間とは、その環境を利用するユーザが不特定多数いる空間を意味する。公共空間の具体例として、駅のプラットフォーム、電車内、デパート、ショップや街中の道などが挙げられる。現在、公共空間のロケーションウェアサービスとして、街角のホットスポットを利用した目的地までの交通ナビゲーション [13] やデパートやスーパーなどのショッピングナビゲーション [14] や博物館・美術館で観覧者を展示物へ誘導するサービス [15] などが挙げられる。これら公共空間におけるロケーションウェアサービスの構築が進むにつれ、公共空間における位置取得システムの開発が進められている。現在、室外における位置情報システムの多くは、GPS や地磁気センサを用いた位置取得システムが導入されている。

## 1.2 問題意識

今後、ロケーションウェアサービスの発展・多様化に伴い、室内の公共空間におけるロケーションウェアサービスの必要性が増加すると予測される。しかし、室内の公共空間における人の位置情報を取得するシステムが整備されていない。なぜなら、室外で多く使われる GPS や地磁気センサなどを用いたシステムは室内で利用できず、それに代わる絶対的な位置取得システムが存在しないためである。本節では、室内の公共空間における位置取得システムを構築する上で着目した、本研究の問題意識について述べる。

- 公共空間におけるサービスの汎用性
- 広範囲における位置取得システムの必要性
- 向き情報の必要性

### 1.2.1 公共空間におけるサービスの汎用性

公共空間は不特定多数の人が利用する環境である。そのため、公共空間でサービスを提供するためには、不特定多数の人誰もが利用できる汎用的なシステムを構築する必要がある。不特定多数の人誰もが利用できるサービスを構築するため、公共空間でのシステムは、ユーザにかかる負担を極力、軽減させる必要がある。

また、公共空間でのロケーションウェアサービスは様々な人が管理・運用すると考えられる。システム管理者が行う設置・設定にかかる負荷についても考慮する必要がある。

### 1.2.2 広範囲における位置取得システムの必要性

公共空間は、個人の部屋などに比べ、比較的広いスペースを持つケースが多い。さらに、人は部屋の広範囲を自由に移動する。例えば、駅のプラットフォームでは、プラットフォームの広範囲に人が存在し、各々が位置に縛られず移動している。よって、公共空間でロケーションウェアサービスを提供するためには、室内の広範囲で人の位置情報を取得できるシステムを構築しなければならない。

また、室内の公共空間では、センサや計算機器を設置する位置、個数が限られる。そこで、限られたセンサ・計算機器を用いて人の位置情報を広範囲で特定しなければならない。

そして前述のように、公共空間では多様な不特定多数の人が存在する。これら人々の位置情報を取得するためには、人の行動を制限することなく、人の位置情報を取得できるシステムが望まれる。

### 1.2.3 向き情報の必要性

今後、ロケーションウェアサービスが普及するにつれ、人の位置情報として向きが重要な役割を担う場合が考えられる。例えば人の向きを用いたサービスとして、移動するユーザの向きに追従し、広告やニュースを提示するサービス、ユーザの向いた先の情報を活用した機器制御サービスや、人の向いている先の機器を用いたメッセージングなどが挙げられる。しかし現在、室内の公共空間での広範囲における人の向きを取得できるシステムが提案されていない。今後、人の向きを利用したサービスを公共空間で提供できるよう、部屋の広範囲で人の向きを取得する必要がある。

## 1.3 本研究の目的

本研究の目的は、公共空間かつ室内の広範囲におけるユーザの位置と顔の向きを特定するシステムの構築である。本研究では、複数のカメラを協調させ、人の位置と向きの取得範囲を拡大する Catch Me システムを実現する。本システムを用いることにより、ユーザは、計算機器やセンサを何も持たず、室内の広範囲で位置と向きが特定される。

また、本研究では、アプリケーション開発者に対して、本システムによって特定された

ユーザの位置と顔の向きを利用するための API を提供する．アプリケーション開発者は，この API を用いることにより，ユーザの位置や向きを利用したアプリケーションを容易に開発できる．

## 1.4 本論文の構成

本論文は，全 7 章から構成される．第 2 章において，本研究が対象とするユーザの位置と向きを用いたアプリケーション例について述べ，また，位置と向きを用いた先行システムについて言及する．さらに，本システムを構築する上で，最適な位置取得方法を考察する．続く第 3 章では，本研究のアプローチである室内の広範囲に置ける位置・向き取得手法についての想定環境を示し，詳細を述べる．また，本研究で用いる動画像処理についても述べる．第 4 章では，複数のカメラを用いて取得した画像より，ユーザの位置・向きを特定し，アプリケーションに対して位置情報を提供する Catch Me の設計を示す，第 5 章では，Catch Me System の実装について述べる．そして，第 6 章で Catch Me System を評価し，第 7 章で本論文をまとめる．

## 第2章 人の位置と視線方向取得システムの分類

本章では、本研究が対象とするサービスの具体例を示す。そして、現在の位置取得システムを分類・比較し、本研究の想定環境において、対象サービスの提供に最適な位置取得システムを考察する。また、そのシステムが満たすべき機能について述べる。

## 2.1 本研究の対象となるロケーションウェアサービス

近年，情報通信技術の発展により，様々なロケーションウェアサービスが開発されている．本節では，本研究が対象とするロケーションウェアサービスを分類し，それぞれのサービスの特徴と関連研究について述べる．また，これらのサービスを室内の公共空間で提供するため，位置取得システムが解決しなければならない解決点を述べる．

### 2.1.1 Follow Me Service

#### 概要

ユビキタスコンピューティング環境を想定したロケーションウェアサービスの一つに，ユーザの移動に伴って常に最寄のデバイス等で情報を提供するフォローミーサービス (Follow Me Service) が挙げられる [16]．フォローミーサービスを提供することにより，特定の場所に立ち止まった人だけでなく，移動中のユーザに対して情報を提供できる．

関連研究としては，人の移動に追従するディスプレイ表示を可能にする **Desktop Teleporting System**[17]，会議の議事録作成，議事録作成補助を行う **Follow Me Camera**[18](図 2.1) や，ユーザに追従するアプリケーションとして筆者らが開発した人の向きに合わせたサラウンドシステム **Trackable Sound**[19] が挙げられる．

#### 解決点

室内の公共空間で Follow Me Service を提供するためには，不特定多数の人誰もの移動に対応できる位置取得システムが必要になる．既存研究に挙げた Desktop Teleporting System や Follow Me Camera は共に，ユーザがタグや計算機器などを携帯しなければならない．公共空間では，ユーザにセンサ携帯の手間をかけないシステムを構築する必要がある．



図 2.1: Follow Me Camera



## 2.1.2 Security Service

### 概要

近年の犯罪発生率の急増に伴い、セキュリティシステムの重要性がますます高まっている。そのため、街中のショップやデパートでは、防犯カメラを用いたセキュリティシステムの導入が進んでいる。具体例として、イギリスでは、CCTV(closed-circuit television:閉回路テレビ)システムに接続された数百万台の監視カメラを街中に配置し、それらの映像を用いて実際に犯罪を解決するなどの実績をあげている [20]。また、米国の DARPA において、画像解析技術を用いたビデオ監視システムの研究プロジェクト VSAM[12] を始め多くの防犯システム [21] が開発された。この他、カメラによって取得した画像を元に、人の動作認識・理解を目指す研究も行われている [22][23]。

### 解決点

室内の公共空間に位置取得システムを設置することにより、防犯サービスを提供できる。例えば防犯カメラに映し出された映像を活用して、人の顔をトラッキングし、その人の位置と向きを判別する事によって、拳動不審者を発見するサービスが考えられる。先行研究では、人の防犯カメラで人の 3 次元位置情報や向きを取得できていない。従い、人にセンサを持たせずに、部屋の広範囲でユーザの顔の位置と向きを取得するシステムが必要である。

## 2.1.3 Notify Service

### 概要

情報通信技術が発展し、ユビキタスコンピューティング環境が整うにつれ、ユーザに対してメッセージングを行うサービスが増加している。また、メッセージングの種類も視覚、音声や匂いなど多様になり、インタフェースの観点からユーザへの通知方法についての研究が進められている [24]。関連研究として、ユーザの視覚や聴覚など同じ受容器同士の衝突をさけてメッセージングを行う研究などが挙げられる。また、耳の聞こえづらい人や高齢者をサポートする目的で、視覚によるメッセージングなどが研究されている。

### 解決点

本研究の想定環境では、ショップやデパートにおいて、ユーザの目線が向いた方向へのメッセージングや公共空間に置き忘れた物を持ち主に知らせるサービスなどが考えられる。その為、ユーザの位置情報に加え向き情報が必要になる。向き情報を室内の人の動きに合わせて取得できるシステムを構築する必要がある。



## 2.1.4 Device Control Service

### 概要

情報機器の多様化と普及に伴い，人の位置や向きを利用したインタフェースが提案されている．例えば，人の位置と向きを利用した照明機器，空調機器，テレビ，ステレオや電話など情報機器の制御サービスがある．関連研究として，視線方向を用いてライトの制御を行う **AuraLamp**, 見ている先のテレビをつける **Attentive Television**, 離れた空間にいるユーザが視線方向を利用して機器を操作する **EyeProxy** などの研究 (図 2.2)[25] が挙げられる．

### 解決点

室内の公共空間で，人の位置・向きに応じた機器制御を行うためには，ユーザの見ている先の機器を特定する必要がある．既存研究に挙げた，**AuraLamp** や **Attentive Television** は，視線方向を取得するカメラセンサの近くでなければ機器制御を行えない．公共空間では，必ず人が機器の近くにいるとの想定は難しい．従い，位置を取得するカメラやセンサから離れた位置でもユーザの位置を取得できる必要がある．



(a) *AuraLamp*, (b) *Attentive TV*, (c) *EyeProxy*

図 2.2: Eye Device

## 2.2 センサ形態による位置取得技術の分類

本研究では，2.1 節で取り上げたサービスを提供するのに最適な位置取得システムを構築する．そのため本節では，既存の位置取得技術を分類し，各々の位置取得技術について考察する．位置取得技術の分類は，ユーザのサービス利用形態の観点から，センサ携帯型とセンサ非携帯型の二種類に分類する．

## 2.2.1 センサ携帯型

センサ携帯型のシステムは、ユーザがセンサを身に付けて利用するシステムである。従い、センサ携帯型のシステムは、ユーザが意図的にセンサを持ち歩くことによってロケーションウェアサービスを利用できる。以下には、センサ携帯型のシステムを構築する時に用いる位置取得技術と向き取得技術について説明する。

### 位置取得技術

- 超音波センサ

超音波センサは、古くから位置取得技術として多く利用されている。超音波センサとは、超音波が障害物に反射し返ってくるまでの時間を測定することで、その障害物までの距離を特定するセンサである。特徴として、誤差が数 mm の高精度な位置情報を取得可能な点である。しかし、既存の多くのシステムが、ユーザと環境側双方にセンサを設置する必要があること、また、風、温度や遮蔽物による影響が大きいなどの特徴も持つ。超音波センサの具体例として、**Active Bats**[18] を挙げる。Active Bats は、ケンブリッジ大学及びオリベッティ研究所が開発した位置情報管理システムである。数十 cm 単位の粒度で位置情報を取得可能である。Active Bats は、座標表現のセンサ位置データを習得し、空間を 3 次元の座標で表現する。また、センサの傾きや方向の計測も可能である。位置情報を取得されるユーザには超音波発信機の装着、環境側の天井には複数の超音波受信機を設置する必要がある。

- RFID

RFID は、Radio Frequency Identification の略で、電波を利用した認証 (認識) 技術である。RFID のシステムは、タグとリーダから構成される。特徴として、タグの値段が安価な事、耐久性に優れているなどが挙げられる。しかし、電波強度を用いてタグとリーダの接近度でしか位置を計れないため、単体で人の位置は 3 次元座標で表現できない。関連研究として NaviGeta を挙げる。NaviGeta は玉川大学が開発した位置情報管理システムである [26]。Navi Geta はユーザの位置を計るため、床の 15cm ごとに RFIDtag を埋め込む。さらに、ユーザの履物に RFIDreader を装着し位置を検出する。

- 無線

位置取得技術として、既存の無線 LAN インフラを利用した位置測定手法がある。特徴として、無線の電波強度を利用した三点測量により、ユーザの位置情報が数 m の誤差で取得可能である。関連研究として、マイクロソフトの **RADAR**[27] が挙げられる。RADAR では、ラップトップ PC からの無線 LAN の電波強度を基地局で計測し、基地局からラップトップ PC までの距離を算出している。研究では、建物内の 1 フloor、43.5m × 22.5m、に無線 LAN の基地局を 3 台設置することにより、ラップトップ PC の位置を 2 ~ 3m の精度で計測可能にした。

- 方位センサ

位置取得技術として、方位センサを用いた位置測定手法がある。方位センサとは、地磁気を利用し地球上での方位を取得するセンサである。特徴として、室外では細かい粒度で方位を特定できるが、高層ビルで用いると地磁気が弱くなり、誤差が大きくなる点がある。関連研究として、AZIM[28]が挙げられる。AZIMでは、方位センサを用いてランドマークの方位を2つ計測し、交点を求めることで位置を特定する。

- その他

今まで紹介したセンサ以外にも、様々な位置取得技術が存在する。例えば、暦本氏らがAR(Augmented Reality)分野の利用を目的としたNaviCam[29]では2次元バーコードを利用している。NaviCamは、ユーザがカメラで環境に貼り付けてあるカラーコードを撮影して、位置情報を特定する。また、小西氏らが開発した、ジャイロセンサ、地磁気センサと気圧センサを用いた自律方式によるポジショニングシステム[30]や、産総研の開発したWeavy[31]など加速度センサを用いたシステムが挙げられる。これらのシステムは、環境側にセンサを埋め込む必要がなく、ユーザが位置取得に必要なセンサを全て持つ。環境側に設置するセンサがないため、比較的容易にシステムを導入できる。

## 向き取得技術

- 超音波センサによる三角測量

超音波センサを二つ使い、三角測量する方法が考えられる。三角測量とは、既知の2つの点から求めたい点への角度を測定して、三角形の1辺と2角の関係から位置を測定する方法である。Active BatsやIS-600など3次元位置座標を取得できるセンサ二つ持つ事により、センサとそのリーダの位置から人の向きを取得できる。特徴として、遮蔽物に弱い但し細かな粒度で方向を取得可能である。

- 光の指向性による測定

指向性を持った赤外線センサを用いることにより、方向を取得できる。環境側に受信機を多数設置する必要がある。特徴として、光を用いるため遮蔽物に弱い。既存研究では、CoBIT[9]が赤外線の指向性を利用し、向きを取得している。

- 方位センサによる測定

方位センサとは、前述したように、地磁気を利用し地球上での方位を取得するセンサである。方位センサを利用することによって、正確な方位を取得できる。既存研究では、AZIMやActiveBelt[32]で用いられている。

## 2.2.2 センサ非携帯型

センサ非携帯型のシステムは，ユーザがセンサを身に着けず利用できるシステムである．センサ非携帯型のシステムは，環境側に設置されたセンサのみを用いてユーザの位置を特定する．以下には，センサ非携帯型のシステムを構築する時に用いる位置取得技術と向き取得技術について説明する．

### 位置取得技術

- 画像解析

人の位置を取得する技術として，古くから画像解析が研究されている．システムとして，人をトラッキングする環境にカメラを設置する．特徴として，予めキャリブレーションされたカメラを複数台用いる事により，数十 cm の誤差で人の位置情報を取得できる．また，位置情報を取得されるユーザ自身は何もセンサを身に着ける必要がない．しかし，カメラによる画像を利用するため，太陽などの光による逆光の影響や背景と人が同一色になると背景と同一化してしまうなどの欠点がある．関連研究として，Easy Living[3]，AwareHome[4]，ActivityZones[33] が挙げられる．Easy Living は，マイクロソフトリサーチにより知的生活環境実現のために利用するアーキテクチャとして提案された技術である．Easy Living では部屋のリビングに設置されたカメラ 2 台を元に，カメラ画像を色のヒストグラムに分解して解析する．これにより，背景との差分から人の位置を判別し，10cm 程度の粒度で位置情報を取得可能にした．また，AwareHome ではユーザの個人認証を RF を用いてなども行っている．これにより，室内にいる人の位置情報と個人識別によるアクセス制御などを可能にしている．

ActivityZones(図 2.3) では，位置情報に加え，部屋の中にいる人の動き方をカメラでトラッキングしている．これにより，人の動き方や位置に応じてゾーンを作る事を可能にした．これにより，そのゾーンごとに応じたサービスを提供できる．



図 2.3: ActivityZones

- 圧力センサ

圧力センサを部屋の床に埋め込むことにより、人の位置を特定する。特徴として、屋外・屋内を問わず設置が可能な点、人が歩くときの圧力を測り個人識別が可能な点が挙げられる。また欠点として、人の3次元位置が取得できないことや、圧力センサを埋め込む設置コストなどの問題が挙げられる。関連研究として、Smart Floor[34]が挙げられる。Smart Floorでは、部屋一面の床に圧力センサを設置しユーザの位置特定を行っている。また、個人識別が93パーセント可能にした。

#### 向き取得技術

- 画像解析

画像解析を用いて、顔の向きを取得できる。カメラから得られた画像情報から人の顔を判定し、顔の向きを取得する。画像による2次元な情報なので細かな向きの取得は不向きである。既存研究として、EasyLiving や AcitivityZonesなどが挙げられる。

- 音声解析

音声解析を用いて、人の向きを取得できる。室内に複数台のマイクを設置し、マイクから取得した音声を解析する。既存研究として、MITの研究[35]が挙げられる。

## 2.3 公共空間かつ室内における汎用的な位置取得技術

本節では、2.1章で述べた室内の公共空間を対象としたロケーションウェアサービスを提供する上で、最適な位置取得技術を選定する。表2.1に、既存の代表的な室内の位置取得技術の特徴を示す。位置取得技術の評価は、これまでに各々のセンサを用いて作られた既存の位置取得システムを参考にしている。また、ここでは公共空間を $20m^2$ と仮定し評価する。

表を参照すると、センサ携帯型の技術は細かな粒度で位置情報を取得できるのが分かる。特に、超音波センサは、環境側にセンサを設置する密度も $1/1m^2$ 程度により、20個程度であり、位置情報の粒度も9cmと大変細かい。しかし、本研究では室内の公共空間を想定している。公共空間では、不特定多数の人が様々なロケーションウェアサービスを利用することになる。例えば、デパートでは、そのデパートに来ることを予め予定していた人、偶然デパートに立ち寄った人、デパートの中をただ通り過ぎる人など様々な人がいる。よって、これら不特定多数の人誰にもサービスを提供可能にするためには、これらの人全員に予め同一のセンサを携帯させるのは難しい。そのため、前節で示した非センサ携帯型のシステムによる位置取得システムが必要になる。

センサ非携帯型のシステムとしては、画像解析が注目を集めている近年の画像解析技術の進歩により、様々な手法が提案されている[36]。次章では、画像解析によって位置取得を行う場合に満たすべき要素について取り上げる。



表 2.1: 位置取得技術の評価

手法	位置情報	向き情報	センサ個数 <sup>1</sup>	センサ利用の明示性	総合評価
超音波	9cm		20 個程度	必須	
RFID	15cm	×	320 個程度	不要	×
無線	3 ~ 4.3m	×	3 個程度	不要	
方位	2 ~ 3m		なし	不要	
2次元バーコード	<sup>2</sup>		<sup>2</sup>	必須	×
画像解析	高 <sup>3</sup>		2 個程度 <sup>3</sup>	不要	
圧力	10 ~ 1m	×	20 個程度	不要	

総合評価： ○ = 可能， × = 不可

総合評価： ○ = 十分， △ = やや不十分， × = 不十分

<sup>1</sup> 20m<sup>2</sup> の空間に設置するセンサ個数

<sup>3</sup> 2次元座標を想定

<sup>2</sup> カメラを使った特別な状況を想定

## 2.4 画像解析により生ずる機能要件

本節では、画像解析を用いた位置取得システムを構築する上で生ずる、機能要件を整理する。これらを満たすことにより、室内の公共空間でのロケーションウェアサービスを提供できる。満たすべき要件は、粒度の向上、向きの取得、計算処理にかかる遅延、システム導入の容易性の4点である。

### 2.4.1 粒度の向上

画像解析システムが満たすべき要件の一つ目として、位置・向き情報粒度の向上を挙げる。本研究の対象とするサービスが必要とする粒度の位置情報と向き情報を提供できるようにしなければならない。本研究では、Security Service として、人の位置情報から挙動不審者を特定するサービスを提案する。そのため、ユーザの位置情報を電波強度のような近接度ではなく、座標表現で取得する必要がある。また、通常、家具や壁などに設置する情報機器は、cm 単位で設置されるケースが多い。よって、見ている先の機器を制御するため、顔の位置を cm 単位で取得できることが望ましい。

### 2.4.2 向きの取得

画像解析システムが満たすべき要件の二つ目として、向きの取得を挙げる。前節で挙げた、Easy Living ではユーザの向きが場所に固定されていた。しかし、本研究では、見て

いる方向の機器制御やユーザの向きに合わせた follow me サービスなどを提供するため、ユーザの向きを細かな単位で取得する必要がある。また、現在の画像解析による位置取得システムは、カメラと近距離にユーザがいることが前提になっている。しかし、公共空間では必ずしもユーザがカメラの近くにいるとは限らない。そのため、カメラから遠距離にいるユーザに対しても、顔の向きを提供できるようにするのが望ましい。

### 2.4.3 計算処理にかかる遅延

画像解析システムが満たすべき要件の三つ目として、計算処理にかかる遅延を挙げる。画像解析によるシステムは、画像取得から位置情報算出までに遅延がかかると予測される。本研究では、follow me サービスを実現するため、遅延を軽減させる必要がある。人の歩く早さは時速4Km[37]といわれる。従い、人は1秒間に約1m程度移動すると予測できるので、計算処理にかかる時間は最低でも1秒程度に抑える必要がある。

### 2.4.4 システム導入の容易性

画像解析システムが満たすべき要件の四つ目として、位置取得システム管理者がシステムを容易に導入できるようにする必要がある。既存の画像解析システムは、他のシステムと比べ、カメラの設置や設定が難しい。本研究では、防犯サービスなどを想定しているため、システム管理者が室内の状況にあわせて、システムの位置や設定を容易に変更できるようにすべきである。

## 2.5 本章のまとめ

本章では、室内の公共空間において提供できるロケーションウェアサービスについてまとめた。また、これらのサービスを提供するための位置取得技術として、画像解析が適していることを述べた。また、画像解析を用いて位置取得システムを構築する上で、満たさなければならない機能要件についても述べた。

## 第3章 画像解析による人の位置と向き特定手法

本章では，本研究のアプローチについて述べる．そのため，まず本研究で用いるアプローチの概要について述べ，その後，顔認識技術について説明す．最後に本アプローチが用いる Two Face Collection モデルについて説明を加える．



## 3.1 本研究のアプローチ

本節では、まず本研究のアプローチを明確化するために、想定環境を述べる。続いて、本研究のアプローチについて詳細を述べる。

### 3.1.1 想定環境

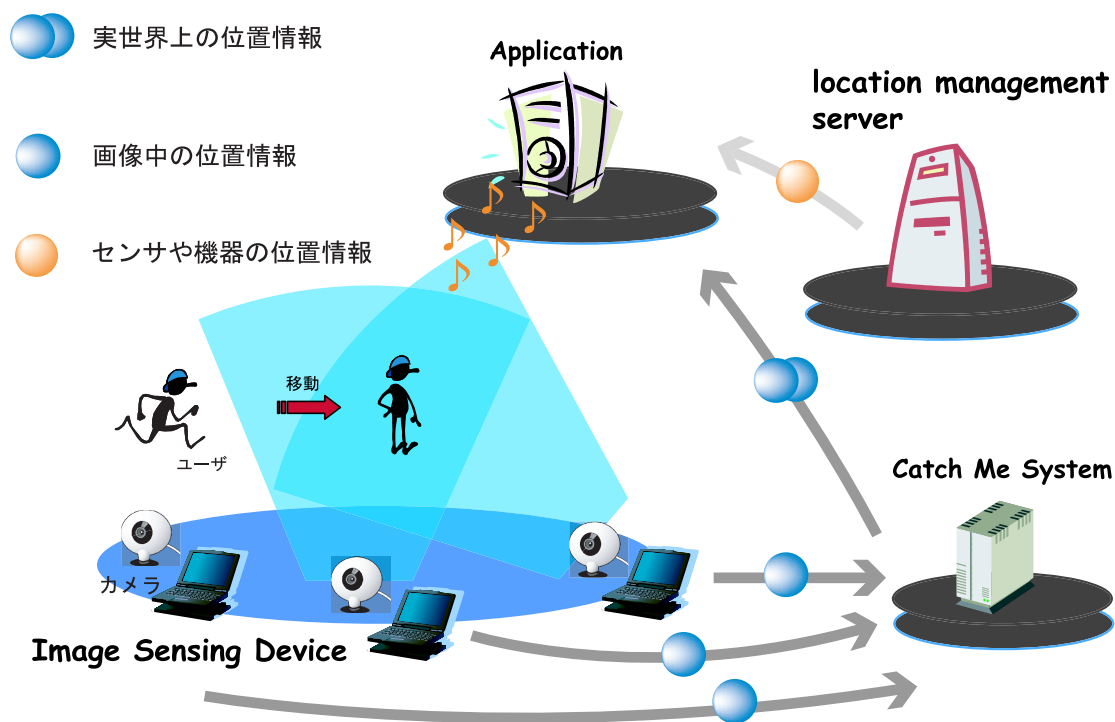


図 3.1: Assumption Environment

本節では、本研究の想定環境(図 3.1)について述べる。本研究では、公共空間かつ室内を移動するユーザの位置情報を取得し、様々なロケーションウェアサービスを提供可能にする。ロケーションウェアサービスを利用する上で、カメラや情報機器の位置を室内で統一的に集めておく必要がある。そのため本研究の想定環境では、公共空間に設置された情報機器やセンサの位置情報を管理する Location Management Server が存在する。Location Management Server は、常に情報機器やセンサの位置と向きを保存している。

ユーザの位置情報は全て、Catch Me System が特定する。Catch Me System は、部屋に設置されたカメラとユーザの位置座標を算出する計算処理端末(以後 Image Sensing Device)と、外部のアプリケーションに対して、ユーザの位置情報を公開する Catch Me Server から成り立っている。Catch Me Server はソケットで各アプリケーションに対して、ユーザの位置・向き情報を送る。

公共空間に設置された機器やセンサの位置情報が必要な場合、各 Application は、Location Management Server に対して問い合わせ、公共空間に設置されている情報機器やセンサの

位置・向き情報を取得する．また，Catch Me System のサーバを通して，公共空間内のユーザの位置情報が取得する．Application は，集めたユーザ，情報機器とセンサの位置・向き情報を元に，ロケーションウェアサービスの提供が可能になる．

### 3.1.2 アプローチ概要

本研究では，設置された Image Sensing Device によって，画像を解析をし，室内の広い範囲でユーザの位置と向きを特定する．本論文では，Two Face Collection モデルを提案し，ユーザの位置と向きを特定する．Two Face Collection モデルとは，一番ユーザの顔を大きく正確に取れたカメラ画像を 2 枚を用いてユーザの位置と向きを割り出すモデルである．ここで述べた顔を大きく正確に取れた画像とは，逆光の影響による顔判定のぶれがなく，ユーザの顔が一番大きく判定できたものを意味する．Two Face Collection モデルを利用することにより，比較的早くかつ正確かつ広範囲でユーザの位置と向きを特定できる．

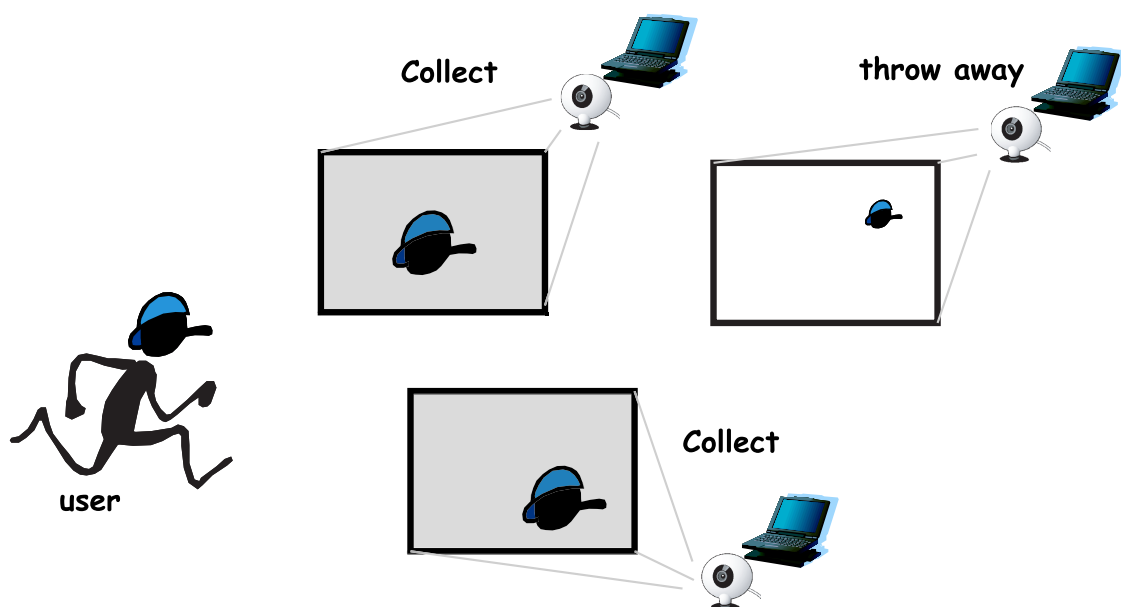


図 3.2: アプローチ

## 3.2 画像解析による人の特定

本節では，近年の画像解析技術について述べる．古くから画像解析技術は，知能を持ったロボットやコンピュータを活躍させるため，画像による認識技術として研究されている．特に，人物を特定する必要性は様々な研究分野で生じる事から，人物検出・顔認識技術は，活発に研究が行われている．しかし，人が人の顔を認識する事は日常の行為であるにもかかわらず，コンピュータによる人物の特定は容易ではない．実際に現在でも，自分

物特定に必要な顔の要素は未だ解明されていない。今後、画像解析技術はさらに進歩する事が予測される。

### 3.2.1 動画画像解析

近年、カメラやPCの性能が上がるにつれ、動画画像処理技術が急速に浸透してきた。動画画像処理は、静止画の画像処理の拡張としてとらえられる。

静止画の画像処理は、カメラから撮られたアナログの画像データをデジタル化し、フィルタをかけ画像を加工する作業である。デジタル化とは量子化や離散かとも呼ばれ、主に、ハードウェアが行う空間的なデジタル化と、色に関するデジタル化の二種類に分けられる。空間的なデジタル化とは、例えば、CCDの各画素でとらえた情報を離散的な数値で表現することが挙げられる。色情報のデジタル化とは、色をどのようにデジタル的に表現するかに関連がある。現在、PCのデジタル処理では、RGB表色系の表現が多い。また、フィルタとは、画像を加工する機能を指す。画像の加工機能としては、例えば、ぼやけ気味の画像からノイズをカットする平滑化機能や、エッジを強調してシャープな画像に変換する機能などが挙げられる。

動画画像処理は、静止画の画像処理に時間的な量子化が加わった処理である。1次元時系列データの場合では、時間量子化の単位は、サンプリングレートが用いられる。それに対し動画画像の場合は、1秒間に何枚の静止画を記録できるかを表現する、フレームレート (fps:frame per second) が用いられる。現在の標準的なフレームレートは、30fpsである。

#### オープンソース動画画像処理ライブラリ

動画画像処理機器が開発されるにつれ、動画画像処理のライブラリの開発も進んでいる。最近では、動画画像処理ライブラリが商用パッケージ [38] からオープンソースのパッケージまで揃いつつある。オープンソースとしては、OpenCV, ARToolKit, Malibなどのライブラリが挙げられる。以下に各ライブラリの特徴を表 3.1 に示す。

表 3.1: Image Processing API

項目	OpenCV	ARToolKit	Malib
言語	C++, C	C, java, MatLab	C
プラットフォーム	Windows, Linux	Linux, Windows, Mac	Linux, FreeBSD
目的	ビジョン	Augmented Reality	顔認識など
画像認識機能	豊富	Augmented Reality に特化	基礎的な API 中心
規模	20 万行	2 万行	2 万行
入力	V4L	V4L, IEEE1395, DV	V4L, IEEE1394

OpenCV は Intel の研究所が提供している動画画像処理 API である。コンピュータビジョ

ンの学会協力もあり，様々な動画画像処理アルゴリズムが提供されている．Intel の研究所が作成しているので，Intel 製の CPU に最適化されたライブラリを提供している．

ARToolKit は，拡張現実感 (AR:Augmented Reality) のアプリケーション作成を目的としたライブラリである．ARToolKit はマーカをカメラで撮影することにより，位置情報を特定できる．ARToolKit は，Linux, Windows, Mac など様々なプラットフォームに対応して作られている．

MALib は，未踏ソフトウェア創造事業で開発がスタートした動画画像処理 API である．Malib は，実時間で連続的に画像処理するフレームワークや動画画像を入出力する抽象度の完成度が高い．MALib では，顔認識に使われる API も多数公開されている．

### 3.2.2 人の顔検出

動画画像処理技術が向上するにつれ，人の顔検出についての研究が発展している．画像中に含まれる人の顔を検出する手法は，Computer Vision の研究として様々な提案がなされている．例えば顔検出技術は，知識ベース，特徴抽出，肌色検出，テンプレートマッチ，グラフマッチ，固有顔，統計的手法 (ニューラルネットワーク，SVM, HMM) など多くの試みがある．

一般的に，顔画像検出や顔画像認識技術は，難しさの段階で以下のように分類されている．下に行けば行くほど難易度が上がる．また現在，顔の表情や属性の検出は，人工知能や認知心理学などの分野での利用が多い．

1. 顔位置の検出  
画像から人の顔を判定し，顔の位置を求める
2. 顔向き of 検出  
画像から人の顔を判定し，顔の向きを求める
3. 顔の認識 (個人の識別)  
画像から人の顔を判定し，顔の特徴点を抽出し，個人を見分ける
4. 表情や属性の検出 (年齢など)  
画像から人の顔を判定し，顔の特徴点を抽出し，人のメンタルモデルを認識する

## 3.3 Two Face Collection モデル

本研究のアプローチである Two Face Collection モデルの詳細について述べる．前節でも述べたように，Two Face Collection モデルは，ユーザの顔をもっとも大きく正確に捉えた画像 2 枚を用いてユーザの位置と向きを検出する．以下にその詳細を述べる．

### 3.3.1 顔検出

顔検出アルゴリズムは、Computer Vision の分野で輝度の影響が少ない肌色抽出方法 [39] など様々研究がなされている。本アプローチでは、輝度の影響が少ないアルゴリズムを用いた MAlib[40] の顔特定手法を利用する。この手法は、以下のような手順で行われる。第一に、図 3.3 の式により、入力画像の RGB 値を正規化する。R, G, B は入力画素の RGB 値である。これにより得た a, b の値が、中心を (a0, b0)、それぞれの半径を (ra, rb) とする楕円領域に含まれるか否かを判定する (図 3.4 を参照)。

次に抽出された肌色の連結領域を求め、顔領域の候補とする。ノイズの除去や目、眉、唇など肌色以外の部分も連結する事を目的として、肌色画素領域の連結はブロック単位で行う。具体的には、画像を数ピクセル単位での格子に分割し、格子単位で肌色画素の数が閾値をこえるか否かを判定する。閾値を超えたものについて格子単位での連結領域のラベリングを行う。最大の面積を持つ領域を画像領域の候補とし、その閉方を求めて顔領域とする。

$$r = \frac{R}{R + G + B + 1} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B + 1} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$a = r + g/2 \quad \dots \textcircled{3}$$

$$b = \sqrt{3g}/2 \quad \dots \textcircled{4}$$

図 3.3: 顔を抽出する式

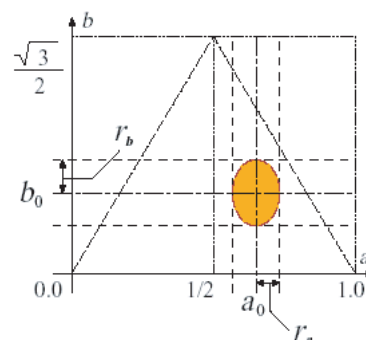


図 3.4: 顔を抽出する肌色領域

### 3.3.2 顔の位置と向き検出

本研究では、画像より顔の位置と向きを取得する。既存の画像解析による顔の位置・向き検出システムは、ユーザがカメラの近距離にいるという制約がつく例が多い。これは、カメラによってユーザの目や鼻など特徴点を検出しているためである。しかし、カメラから遠距離にユーザがいる場合、ユーザの目や鼻など特徴点を検出することは難しい。そこで、本アプローチでは、画像中にある顔の重心位置を測定し、カメラから遠距離にいるユーザの顔位置と向きを特定可能にする。

具体的には、カメラより取得した画像から顔を判定し、顔を覆う楕円と顔を覆う四角形を求める。そして、それぞれの重心座標と中心座標を計算で求める。ここで、楕円の重心が四角形の中心よりどちらにどの程度ずれているかを判定する。そして、この重心の位置を顔の位置とし、重心のずれ方を顔の向きとする。図 3.5 では、楕円の重心が四角形の中心よりユーザにとって右下にずれていることが見て取れる。よって、顔が右下方向を向い



ているのが分かる．これによって，顔の位置と向きを特定する．

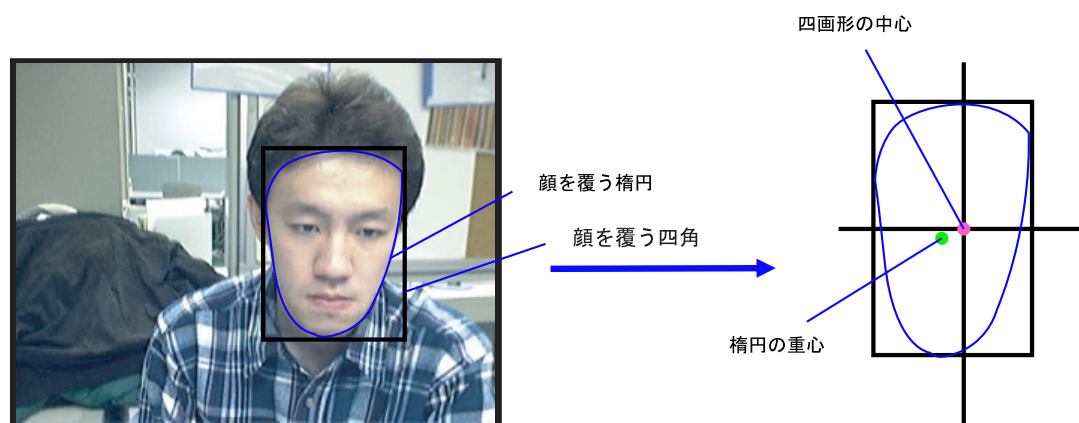


図 3.5: 顔の向き

### 3.3.3 カメラ 2 台の特定

本アプローチでは，ユーザの顔を映した複数のカメラの中から 2 台を動的に特定し，実世界上の位置と向きを算出する．カメラ 2 台は，ユーザの顔を一番大きく正確に写したカメラ 2 台を選ぶ．ユーザの顔を一番大きく正確に写したカメラとは，顔面積をもっとも大きく判定し，顔判定のぶれが少ないものを指す．

画像解析は，逆光の影響を受けやすい．逆行のため，顔をうまく特定できない場合や顔の判定にちらつきが生じる場合が多々ある．もっとも，正確にとらえた画像を用いることにより，位置・向き判定の誤差を少なくできる．

### 3.3.4 実世界上の位置・向きへの変換

本アプローチでは，実世界上の 3 次元位置座標と向きを求めるため，ステレオ視の原理を利用する．ステレオ視の原理とは，左右一対のカメラから撮影された画像の対応点を求め，3 次元空間中の座標を求めるものである．この 3 次元座標を求める計算は三角測量と呼ばれる幾何学原理に基づいている．

本研究では，先に特定したカメラ 2 台の画像を用いて三角測量を行う．2 台のカメラで捉えたユーザの顔画像の重心点を，各カメラに対応する 2 次元平面上に投影されたユーザの視点とする (図 3.6 の a 及び b)．さらに各カメラにおける視線ベクトル  $A_a, B_b$  を求め，その交点  $P$  を顔の 3 次元位置とした．

なお，予め，個々のカメラの視野角や画素数などのカメラパラメータが既知であることを想定している．これにより，1 画素あたりの角度を算出できる．

動的に選び出された 2 台のカメラ画像を用いて，ユーザの向きを現実世界の方角で特定する．二台のカメラより得られた画像から顔の向き具合，ユーザの顔方向を見積もる．

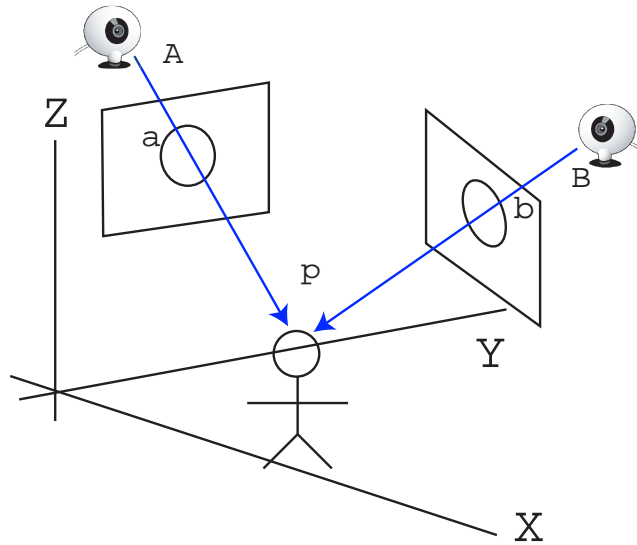


図 3.6: 3次元位置特定

### 3.4 関連研究

画像解析による人の位置測定については、多様な関連研究がある。例えば、先にあげた Microsoft Research の Easy Living では、主にリビングを対象とした知的情報空間構築の中で、カメラを用いたユーザの位置特定を試みている。また、ジョージア工科大学の Aware Home でも、家という居住空間全体でカメラを用いた人の位置特定についてを試みている。また、MIT でも、部屋をカメラで撮影しユーザの動き方によってゾーンを作る研究 [41] を行っている。

### 3.5 本章のまとめ

本章では、本研究が用いる、公共空間かつ室内の広範囲でユーザの位置と向きを取得するための Two Face Collection モデルについて述べた。また、Two Face Collection モデルは画像解析を用いているため、画像解析の基礎についても触れた。

## 第4章 Catch Me の設計

本章では，前章で提案した室内における人の位置と顔の向き得範囲を拡大する Catch Me System 設計の詳細について述べる．まず，設計方針，システム全体の概要について述べる．次に Catch Me を構成する各モジュールについて述べる．



## 4.1 設計方針

本研究の目的は室内の広範囲で人の位置と視線方向を特定する Catch Me システムの構築である。Catch Me システムの設計方針として、カメラの非依存性、カメラ設定の容易性、計算処理コストの分散性、アプリケーション開発の容易性を挙げる。

- カメラ非依存性

ユビキタスコンピューティング環境では、多様な種類のカメラを用いて映像を取得するのが想定される。そのため、本システムをカメラ非依存にし、そのような環境で利用可能にする必要がある。ただし、本システムが用いるカメラは非圧縮であるため、DV カメラなど DV で圧縮したカメラには対応しない。

- カメラ設定の容易性

序章でも述べたように、公共空間かつ室内でのロケーションアウェアサービスは、今後様々な場所へ拡大していくと予測できる。よって、システム管理者が常に得意とは限らない。コンピュータの操作が得意でない人でも位置取得システムを容易に設定できるようにすべきである。本機構は、そのような人でもカメラの光加減を調節できるよう GUI が作成されている。

- 計算処理コストの分散性

ユビキタスコンピューティング環境では、センサ同士を協調させ多様な情報が取得できる。しかし、センサによっては計算リソースを大量に必要とするものが存在するため、一部の計算機器に大きな負荷がかかり、サービスがうまく提供できなくなる恐れがある。そこで本機構では、負荷のかかるセンサの計算処理を分散するように設計する。

- アプリケーション開発の容易性

本機構では、人の位置と顔の向きを取得するためのインタフェースを提供している。アプリケーション開発者は、そのインタフェースを実装する事により、画像解析やカメラ設定などに関する事柄を一切意識することなく、人の位置と顔の向きを利用したサービスを開発できる。

## 4.2 Catch Me の概要

### 4.2.1 想定環境

本研究が提供する部屋の広範囲における人の位置と視線方向を取得する Catch Me システムは、一度に一人のユーザを対象に作れている。想定環境として、部屋のリビングやオフィスや会議室が対象である。さらに、本システムでは複数のカメラで取得したユーザの位置情報をホームサーバで管理するため、カメラがホームサーバと通信する必要がある。

また、カメラ自身はネットワークとの接続性を持たないため、PC やマイクロ PC などの計算機器と接続する必要がある。

## 4.2.2 ハードウェア構成

Catch Me システムでは、以下のハードウェアを想定している。ハードウェア構成図を以下に示す。

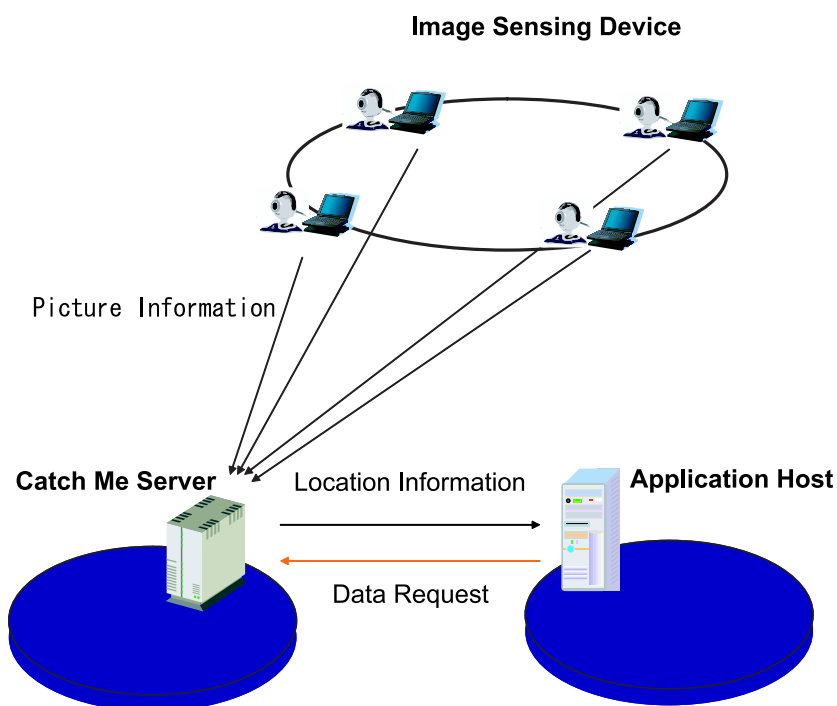


図 4.1: ハードウェア構成

- Image Sensing Device

画像を取得するカメラと計算処理端末から構成される。ここでは、画像データを取得し、画像中から人の顔を判定する。また、顔の大きさや向きも取得する。Catch Me Server に取得した情報を送信する。

例 USB Camera or IEEE1394 Camera or Digital Camera + Work Station or Personal Computer

- Catch Me Server

Image Sensing Device より送られてきたデータを元に、ユーザの位置と顔の向きを特定する。Application Host からの要求に対して、特定したデータを Application Host へ送信する。

例 Work Station, Personal Computer

- Application Host

Catch Me Server に対してリクエストを送り，ユーザの位置情報を取得する．取得した位置情報を用いてサービスを提供する．Catch Me Server と同一ホストの場合がある．

例 Work Station, Personal Computer, PDA, Telephone etc

### 4.2.3 ユースケース

Image Sensing Device が主体となって行う動作には，カメラパラメータの送信と画像上の顔情報を送信する事が挙げられる．以下にユースケース図を示す．

Image Sensing Device が Catch Me Server にカメラ位置と取得した画像から顔画像を抽出し顔の位置，向き情報を送信する．Catch Me Server では集められたカメラ位置と顔情報を元に画像上の位置情報から実空間上の3次元位置情報に変換する．アプリケーションから要求に対して Catch Me Server がユーザの位置情報とユーザの向き情報を Application host に送信する．

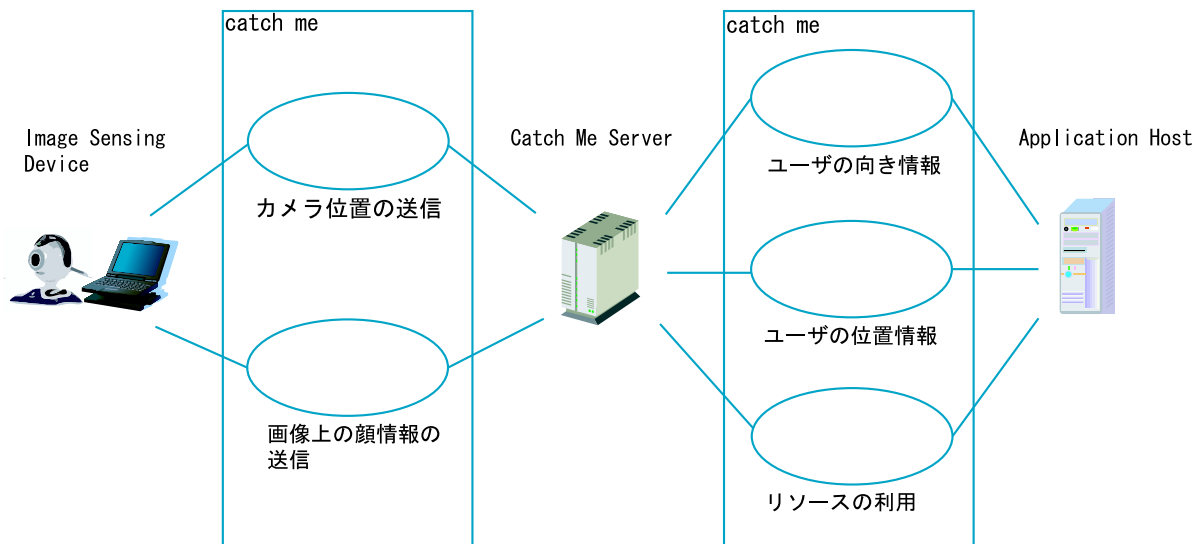


図 4.2: Image Sensing Device 主体のユースケース

ユーザが主体となって行うユースケースには，カメラ位置の設定，カメラパラメータの設定が挙げられる．ユースケース図を以下に示す．

### 4.2.4 ソフトウェア構成

Catch Me システムは Image Capture Unit, Image Analyzer Unit, Camera Manage Unit, Location Manage Unit, Notify Unit の5つの部分から成り立っている．システム構成図を図 4.4 に示す．

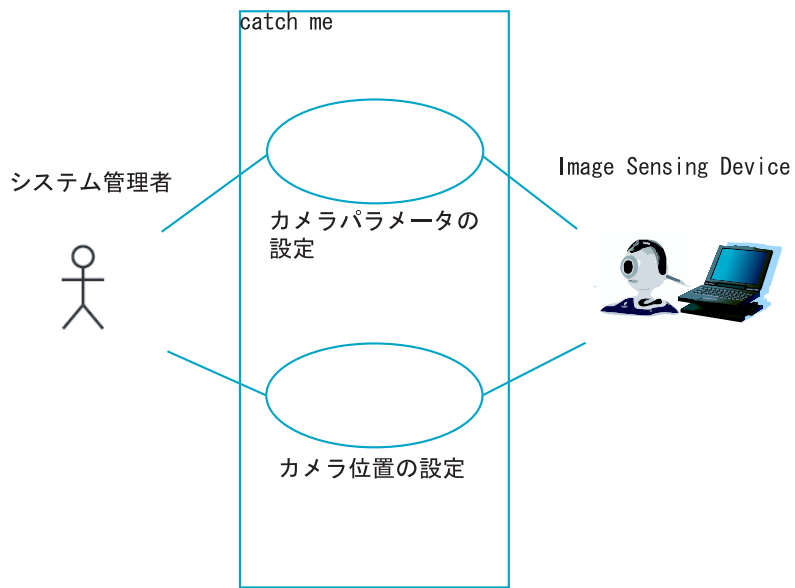


図 4.3: システム管理者主体のユースケース

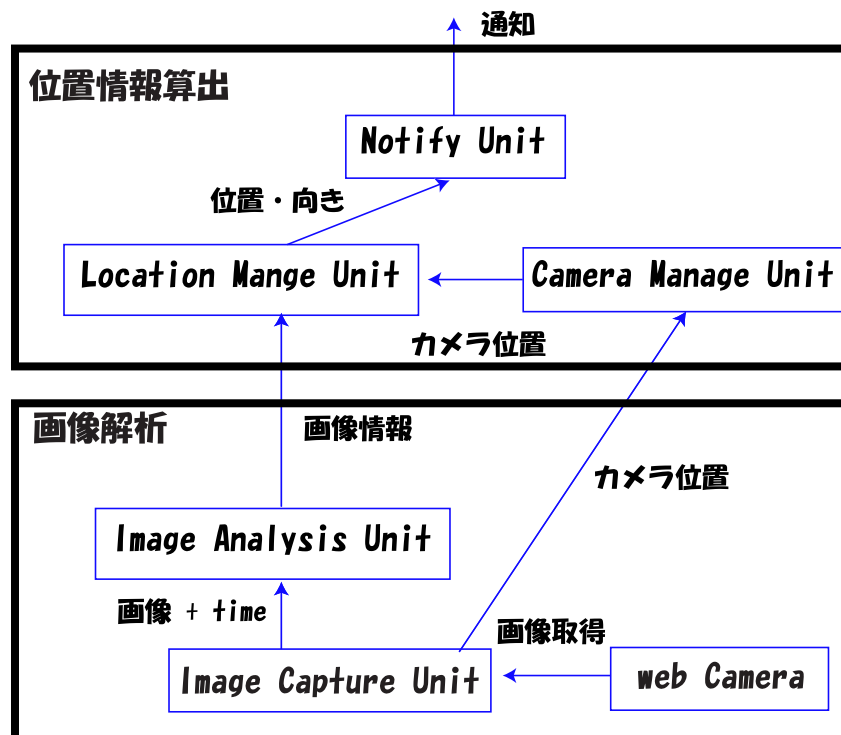


図 4.4: システム構成図

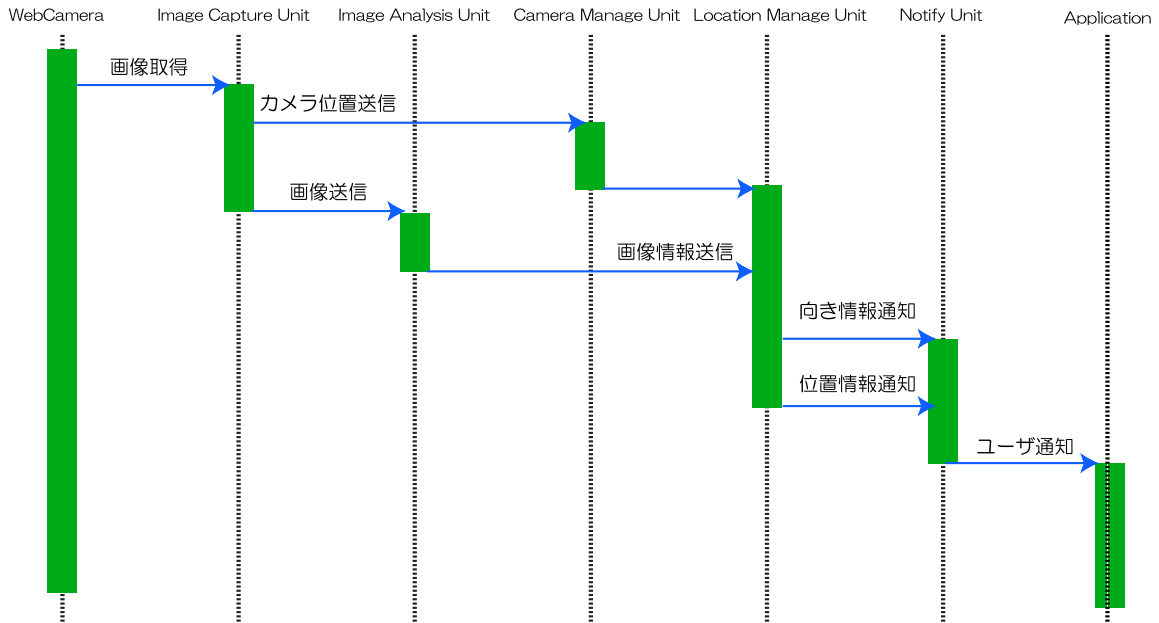


図 4.5: ソフトウェアシーケンス図

#### 4.2.5 基本動作

本ソフトウェアの基本動作手順は、図 4.5 を見ることによって把握できる。

基本的な動作の流れは、まず WebCamera から Image Capture Unit がカメラ画像を取得する。その後、Image Capture Unit は Image Analysis Unit へ画像を送信しバッファに保存する。ここで、画像解析を開始し顔検出を行う。ここで得られた、画像中におけるユーザの位置と顔の向き情報をソケット通信を用いて、Location Manage Unit へ渡される。また、カメラの位置情報を Image Capture Unit から Camera Manage Unit へ送信する。Location Manage Unit では、ユーザの顔をもっとも大きく正確に取られたカメラを 2 台動的に選定する。また、Camera Manage Unit から送られたカメラの位置情報を用いて実世界上の位置情報を算出する。その後、Notify Unit を用いて各アプリケーションに対して、ユーザの位置と向きを取得できるインタフェースを提供する。

### 4.3 各部の設計

本研究で構築する Catch Me システムの構成について説明する。その後、各部毎に説明を加える。Image Capture Unit, Image Analysis Unit はともにカメラに付属した計算端末上で動作する。また、Camera Manage Unit, Location Manage Unit, Notify Unit は Catch Me Server 上で動作する。

### 4.3.1 Image Capture Unit

カメラから画像を取得するユニットである。システム開発者が、カメラ毎に実装する。カメラから取得できる画像は、非圧縮の物を想定する。主に行っている事は、以下の2点である。

#### カメラ画像取得

カメラ画像を定期的に取り込みバッファに保存する必要がある。カメラを取得した時刻も同時に保存する。取得したカメラ画像は Image Analyzer Unit へ送られる。

#### カメラ位置取得

カメラの設置されている位置情報と向きを保存する。これらの情報は、Camera Manage Unit へ送信される。

### 4.3.2 Image Analyzer Unit

カメラ画像を解析するユニットである。Image Capture Unit から送られてくる画像ごとに実行する。画像中のユーザの顔を判定し、画像中の顔位置、顔の向きを特定する。具体的な処理内容を以下に示す。

#### 顔認識

取得された画像から、人の顔が写っているかを判定する。人の顔は色で判断する。顔領域は多角形として判定される。人の顔が判定できた場合、次に重心の判定に写る。

#### 重心判定

検知された顔領域から重心位置を判定する。顔の重心位置は、多角形に判定された顔領域から重心点を算出する。顔領域から得られた顔の重心点は、顔の位置や向き算出に利用される。

#### 向き判定

画像中における顔の向きを判定する。顔の向き判定方法は、前節で説明したように、顔の重心点のずれた方向から推定する。重心点のずれ方からも考慮する。

## 位置情報送信

Image Analyzer Unit から Location Manage Unit へ，計算し取得された顔の位置情報を送信する．ここはソケットを用いて Location Manage Unit が動作する Catch Me Server と通信する．

## 向き情報送信

Image Analyzer Unit から Location Manage Unit へ，計算し取得された顔の向き情報を送信する．ここはソケットを用いて Location Manage Unit が動作する Catch Me Server と通信する．

### 4.3.3 Camera Manage Unit

公共空間に設置されたカメラ設置場所や向きを管理する．ここで，全てのカメラに ID をふり管理する．この Unit に問い合わせることにより，カメラの設置台数，設置位置，設置向きなどを特定できる．

### 4.3.4 Location Manage Unit

画像中の顔位置と顔の向きの情報を実世界上の位置と向き情報に変換するユニットである．ここでは，Camera Manage unit と Image Analysis Unit からの情報を元に位置情報を算出する．ここで得られた位置と向き情報は Notify Unit へ送られる．

## カメラ画像情報受信

Image Analyzer Unit から，各カメラにおける画像上の顔の位置と向き情報を受信する．Catch Me Server から送られてくるソケットを受け取る．

## カメラ位置情報送受信

Camera Manage Unit に対してリクエストを送り，カメラの位置情報を更新する．これにより，カメラの位置移動に対応できる．

## 動的カメラ特定

Image Analyzer Unit から送られてきた情報を元に，もっともユーザの顔を正確に取れた画像を動的に二つ特定する．正確にとは，光の加減などで顔の判定がちらついていなくかつ大きく取れているかで判断する．また大きさは，前節で説明した顔を覆う四角形の大きさを元に測定する．

## 位置情報変換

動的に特定された二つのカメラ画像情報とそのカメラの位置を元に、ユーザの位置を画像上の位置から実世界上の位置に変換する。位置情報の変換方法については、前節で述べたとおりカメラ二台を使った三角測量を用いる。

## 向き情報変換

動的に特定された二つのカメラ画像とそのカメラの位置を元に、ユーザの向きを画像上の向きから実世界上の方位に変換する。向き情報の変換方法については、前節で述べたとおりである。

### 4.3.5 Notify Unit

外部のアプリケーションに対して、取得したユーザの位置情報を提供するユニットである。

#### applicaton 要求受信

アプリケーションからユーザの位置情報提供の要求を受け付ける。要求を受け付けると、そのアプリケーションに対して、現在のユーザの位置情報を送信する。

#### インタフェース提供

アプリケーション開発者が、画像処理やカメラなどの設定を気にせず、ユーザの位置と向きを使ったアプリケーションを開発できるようにする。そのため、今システムでは、アプリケーション開発者に対していくつかのインタフェースを用意する。

### 4.3.6 アプリケーションインタフェース

外部のアプリケーションに対して、提供されるインタフェースは以下のものを揃える。

#### getUserLocation

ユーザの位置情報を三次元位置座標で返すメソッドである。このメソッドをアプリケーション開発者が用いてアプリケーションを実装するだけで、ユーザの位置情報を利用できるようになる。



### **getUserDirection**

ユーザの向きを角度で返すメソッドである。このメソッドをアプリケーション開発者が用いてアプリケーションを実装するだけで、ユーザの向き情報を利用できるようになる。

### **getCameraLocation**

現在部屋に設置されているカメラすべての位置座標を返すメソッドである。このメソッドをアプリケーション開発者が用いてアプリケーションを実装するだけで、室内に設置されているすべてのカメラの位置を把握できるようになる。

### **getCameraNum**

現在部屋に設置されている全カメラ数を返すメソッドである。このメソッドをアプリケーション開発者が用いてアプリケーションを実装するだけで、室内に設置されているすべてのカメラの数を把握できるようになる。

## **4.4 本章のまとめ**

本章では、Catch Me システムのソフトウェア構成について詳細に述べた。この設計方針を元に、Catch Me システムの実装を進める。

## 第5章 Catch Meの実装

本章では，室内における視線方向取得範囲の拡大システムのプロトタイプ実装として，Catch Me システムの実装について述べる．前章の設計に基づいて，本システムは，Image Capture Unit, image Analyzer Unit, Camera Manage Unit, Location Manage Unit, Notify Unit の5つの部分から構成される．また，Notify Unit で提供されるアプリケーションインタフェースについても述べる．

表 5.1: Linux 実装環境

項 目	環 境
CPU	Pentium 1.8GHz
Memory	256MB
OS	FedoraCore2
JDK	Java 2 SDK, Standard Edition Version 1.5.0

表 5.2: Windows 実装環境

項 目	環 境
CPU	Pentium 1.8GHz
Memory	256MB
OS	WindowsXP Professional
JDK	Java 2 SDK, Standard Edition Version 1.5.0

## 5.1 実装の環境

Catch Me の実装は、表 5.1,5.2 に示す開発環境で実装した。本システムは画像を解析する部分を Linux で実装し、実世界上の位置・向きを算出する部分を WindowsXP で実装した。また、画像処理部は、既存の動画像処理 API を利用するため、C 言語を用いて実装し、位置・向き算出部は Java を用いて実装した。

次節以降では、Catch Me の各ユニットについて詳細に述べる。

## 5.2 実装概要

本研究では、画像解析を用いた位置・向き取得システム Catch Me の実装を行う。具体的に実装は、カメラに付随した PC の画像解析部と、複数のカメラから集められた顔の位置と向き情報から実世界上の位置座標を算出する部分の大きく二部分に分けられる。

## 5.3 各部の実装

Catch Me システムを構築するユニットの主要クラスについて説明を記述する。

### 5.3.1 Image Capture Unit

カメラ画像を取得するユニットである。このユニットは、動画像処理 API である MALib[40] を用いて実装した。/dev/video0 に Web カメラを接続し、カメラ画像をキャプチャした。実装に使用した Web カメラは Logitech qv-4000[42] を用いた。仕様を表 5.3 に示す。

#### malib\_bttv\_new\_with\_device(path)

引数に Web カメラの path を指定し、カメラを指定する。

#### capture\_time()

キャプチャした時間を記録する。double 型の数値を返す。

#### malib\_bttv\_start\_capture(source[])

キャプチャした画像データを source(配列) に記録する。

表 5.3: Web Camera

項 目	環 境
画像センサ	CCD
有効画素数	VGA 640 × 480
動画イメージサイズ	最大 640 × 480
静止画イメージサイズ	最大 1280 × 960
フレームレート	最大 30fps
視野角	44 °

### 5.3.2 Image Analyzer Unit

取得画像の中から、顔の位置と向きを判定する。第一に、Malib の拡張 API である Macao[43] を利用し、背景と顔を切り離す。第二に、切り離された顔画像の重心と顔の縦・横の長さを測定する。第三に、顔の向きを求める。

#### malib\_plainbuf\_new\_with\_source(source)

引数に入力となる MalibSource を指定し、単フレームバッファを生成する。

```

int
capture_main (int argc, char* argv[])
{
    ...
    malib_init (&argc, &argv);
    src[0] = (MalibSource*) malib_bttv_new_with_device ("/dev/video0");
    time = capture_time();
    malib_bttv_start_capture ((MalibBttv*) src[0]);
    ...
}

```

図 5.1: Image Capture Unit

#### **macao\_skin\_new\_with\_buf(buffer)**

RGB カラー画像を入力とし，肌色情報を利用して顔領域の抽出を行なうメソッドである．引数に入力となるバッファへのポインタを指定する．返値は，生成された Macao の MacaoSkin オブジェクトへのポインタを返す．

#### **catchme\_info\_new\_with\_buf(buffer,Macaotrack)**

本研究で顔の位置と向きを出すために実装したメソッドである．引数として，入力となるバッファへのポインタと対応する MacaoTrack オブジェクトへのポインタ．返値は，生成された FaceDir オブジェクトのポインタを返す．

#### **catchMeMessenger(String host, int port)**

接続先である CatchMeServer のアドレスとポート番号を設定する

#### **void sendString(msg)**

文字列の送信を行う．

### **5.3.3 Location Manage Unit**

Location Manage Unit では，動的に特定された二つのカメラを用いて，ユーザの位置と向きを特定する．その結果を Notify Unit へ送る．

```

...
buf0 = (MalibBuffer*)malib_plainbuf_new_with_source(src);
filter0 = (MalibSource*)macao_skin_new_with_buf(buf0);
filter1 = (MalibSource*)catchme_info_new_with_buf(buf0,
(MacaoTrack*) filter0);
...

```

図 5.2: Image Analyzer Unit

**ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(port);**

指定したポートでサーバソケットを生成する。

**String receiveString()**

文字列を受信する。

**String detectUser(int cameraNum, String userLocation)**

ユーザの位置を測定できるか否か判定するメソッド。ここで、Two Face Collection モデルに基づき、ユーザの位置を測るカメラ 2 台を特定する。なお、予めカメラにはそれぞれ番号が振られているものとする。

**String manageLocation(String cameraLocation, String userLocation)**

カメラの位置座標と画像中のユーザ位置座標を元に、ユーザの実世界上の位置情報を測定する。引数には、カメラ位置情報と画像中のユーザの位置座標を入力する。

**String manageDirection(String cameraLocation, int UserDirection)**

カメラの位置座標とユーザの向きを元に、ユーザの現実世界の向きを測定する。引数として、カメラ位置座標とユーザの向きを入力する。

```

public class EyeGazeDetection{
private String DirectionMSG;
private String LocationMSG;
...
    DirectionMSG = location.manageDirection(camLoc, uDir);
    LocationMSG  = location.manageLocation(camLoc, uLoc);
    ...
}

```

図 5.3: Location Management Unit

### 5.3.4 Camera Manage Unit

### 5.3.5 Notify Unit

Notify Unit では、アプリケーションに対しての要求を受け、そのアプリケーションに対して位置情報を Socket を用いて提供する。また、本機構が提供するインタフェースを以下に列挙する。

#### アプリケーションインタフェース

String getUserLocation()

現在のユーザ位置情報を返す。

String getUserLocation(int time)

時間を引数に、その時間のユーザ位置情報を返す。

int getUserDirection()

現在のユーザ向き情報(角度)を返す。ただし予め、0°の位置を設定する必要がある。

int getUserDirection(int time)

時間を引数に、その時間のユーザ向き情報(角度)を返す。

String getCameraLocation(int cameraid)

カメラ ID を引数に、そのカメラの位置情報が返る。

String getCameraLocation()

空間内に存在するすべてのカメラの位置情報が返る。

int getCameraNum()

空間に存在するすべてのカメラの数が返る



```

void class catch_me_notify(int a,int k,double s,int muki,int sum_x)
{
...
    public String getUserLocation(){ ...
    }
    public String getUserLocation(int time){ ...
    }
    public int getUserDirection(){ ...
    }
    public int getUserDirection(int time){ ...
    }
    public String getCameraLocation(int cameraid){ ...
    }
    public String getCameraLocation(){ ...
    }
    public int getCameraNum(){ ...
    }
...
}

```

図 5.4: Notify Unit

## 5.4 カメラ設置方法

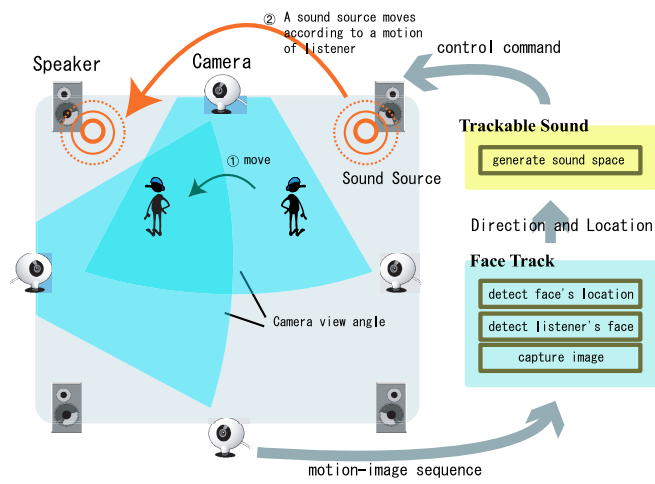
事前にカメラを設置する必要がある。カメラ設置方法は、カメラの高さを揃え、また全てカメラの中心を一点に集める必要がある。一点に集めるため、目印などを用いてカメラの方向を揃える。

## 5.5 Sample Application

サンプルアプリケーションを図 5.5 に示す

## 5.6 本章のまとめ

本章では、Catch Me システムの実装環境、実装の詳細について述べた。



☒ 5.5: Sample Application

## 第6章 評価

本章では，室内の公共空間における位置取得システムのプロトタイプとして実装した Catch Me システムについて評価を行う．本システムの動作検証を行い，定量的評価と定性的評価を行い考察を加える．

## 6.1 評価内容

本研究は、Catch Me System を定性的評価と定量的評価の二段階で評価を行う。定量的評価の項目は、カメラで画像をキャプチャしてから位置・向きを算出するまでにかかる時間と、位置情報の粒度について行う。定性的評価は、既存の画像解析を用いた位置取得システムと比較を行う。

## 6.2 Catch Me System の定量的評価

Catch Me システムのリアルタイム性を調べるため、位置情報と向き情報を算出するのにかかる遅延時間を計る。また、位置情報粒度についても取り上げる。

### 6.2.1 処理速度の評価

定量的評価として、測定内容を以下に挙げる。AB それぞれについて、100 回ずつ動作させた。

- A. カメラで画像をキャプチャしてから、位置情報を出すまでの遅延時間
- B. カメラで画像をキャプチャしてから、向き情報を出すまでの遅延時間

測定結果

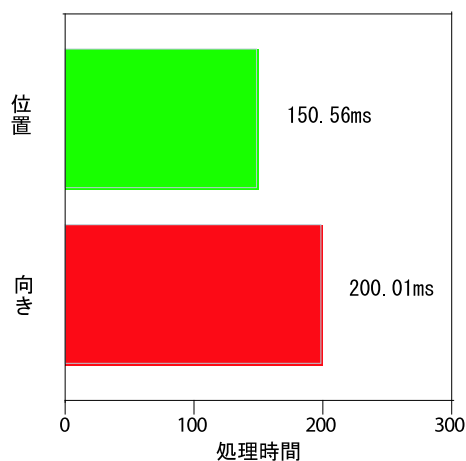


図 6.1: 処理速度

A は平均 150.56msec, B は 200.01msec であった。光の加減により、向き算出は時折大変時間がかかることがあったが、どちらも 1sec とかからないことが分かった。これに

より，follow me サービスなどリアルタイム性が問われるサービスにも耐えうる性能を示した．

## 6.2.2 位置・向き粒度の評価

## 6.3 Catch Me System の定性的評価

本節では，定性的評価として，本 Catch Me System の機能を関連研究と比較する．比較する機能は，広範囲における位置取得の汎用性，向き情報の性能，位置情報の粒度である．比較対照に，Easy Living, Aware Home, Activity Zone を挙げる．以下，それぞれの機能について，各システムの対応を説明する．また機能比較の結果を表に示す．

表 6.1: Catch Me System の定性的評価

システム名	広範囲における位置取得	向き情報の性能	位置情報の粒度
Easy Living		×	
Aware Home		×	
Catch Me			
Activity Zone			

評価： = 十分， = 不十分， × = 未対応

## 6.4 本章のまとめ

本章では，Catch Me システムの評価と考察を行った．評価は，定性的評価と定量的評価の二段階で行った．

## 第7章 結論

本章では，Catch Me をミドルウェアとして普及させる上で，追加すべき機能，改善・考慮すべき点を今後の課題として取り上げる．そして，最後に本論文全体を振り返り，そのまとめとしての結論を述べる．

## 7.1 今後の課題

本研究では、公共空間かつ室内の広範囲で人の位置と向きを取得するため、画像解析による位置取得システム Catch Me を構築した。このシステムを普及させるため、今後の課題について述べる。

### 7.1.1 顔抽出方法の見直し

Catch Me システムは既存の動画像処理 API, MALib を用いて画像から顔を特定している。Malib の顔特定は、画像を RGB に変換し、肌色を抽出する方法をとっている。そのため、この方法は光の逆光による影響を受ける。さらに、髪の色にも影響される場合がある。

今後、Catch Me システムを普及させるためにも、顔抽出のアルゴリズムを改良し、人の顔の判定ミスをなくす必要がある。

### 7.1.2 位置情報の精度向上

今回の実装においての問題は、システム管理者のカメラ設置コストを軽減させたこともあり、Catch Me システムは位置・向き情報の粒度が荒くなった点が挙げられる。

例えば、ユーザがカメラから遠く離れている場合、画像解析は背景と人の区別がつきづらくなる。また、カメラ画像は微妙に歪曲しているため、位置測定に誤差が生じる。今後、Catch Me システムによる位置情報の粒度を向上させる必要がある。

### 7.1.3 プライバシ

画像解析を利用するためには、カメラを室内に設置しなければならない。現在、公共空間におけるカメラの設置は、インタフェース、プライバシーやセキュリティなどの側面から議論 [44][45][46] されている。特に、センサや計算端末が私たちの身の回りに多数設置されるユビキタスコンピューティング環境では重要な問題である。

多くの人が、室内を自動撮影するカメラを設置することを望まない。なぜならば、カメラには、他の位置情報センサに比べ、大量の個人情報が含まれる。しかし、カメラの設置場所を限定したり、カメラから取得できる生情報にフィルタをかけ、情報を劣化させることにより受け入れられることがある。

例えば、最近普及している光学式マウスも、机の上の画像を撮影して、画像処理により移動量を検出している。しかし、光学式マウスがプライバシー問題の標的になっていない。これは、限られた場所のみ撮影していること、画像処理で得られる移動量だけがコンピュータに転送されるためである。

今回、設計した Catch Me システムでも、部屋に設置されたカメラから顔の位置と向き情報だけを保障できれば、一般の公共空間に普及すると予測される。



## 7.2 本章のまとめ

# 謝辞

本研究の機会を与えてくださり，ご指導を賜りました慶応義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝いたします．

慶応義塾大学徳田・村井・楠本・中村・南合同研究会の先輩方には折りにふれ貴重な指導と助言を頂きました．特に，徳田研究室の先生方や先輩方，ACE(Active Computing Environmets) 研究グループの方々に深く感謝いたします．また，出内将夫氏，中西健一氏，伊藤昌毅氏，村上朝一氏，高橋元氏には絶えざる励ましや丁寧なご指導をを賜りました．ORFの実装において，鈴木慧氏の多大な協力に感謝します．

最後に，本研究を通じて様々経験や刺激を受ける機会を頂きましたことに，深く謝意を表します．

平成 17 年 1 月 18 日  
駒木 亮伯

## 参考文献

- [1] M Weiser. The computer for the 21st century. In *Scientific American* 256(3),94–104, September 1991.
- [2] MIT Project. Oxygen. <http://oxygen.lcs.mit.edu/>.
- [3] JohnKrumm. Multi-camera multi-person tracking for easy living. *Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance*, 2000.
- [4] Gregory D. Abowd Christopher G. Atkeson Irfan A. Cory D. Kidd, Robert Orr. The aware home: A living laboratory for ubiquitous. *ACM Conference on human Factors in Computing Systems*, 2000.
- [5] hp. Cool town project. <http://cooltown.hp.com/cooltown/>.
- [6] I. A. Getting. The global positioning system. *IEEE Spectrum*, Vol. 30, pp. 36–47, December 1993.
- [7] InData Systems. Rf code spider rfid system. <http://www.indatasys.com/html/products>.
- [8] Peter J. Brown Nigel Gregory D. Abowd, Anind K. Dey. Towards a better understanding of context and context-awareness. In *Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp. 304–307, 1999.
- [9] 中村嘉志. 無電源小型通信端末 cobit による近距離情報支援の実現. 情報処理学会, 2002.
- [10] Microsoft. マイクロソフト、スマートウォッチ向けにスポーツ情報提供を開始. In *CNET JAPAN*, 2004.
- [11] Ntt Docomo. R-click. <http://www.nttdocomo.co.jp/new/contents/03/>.
- [12] 藤吉弘亘. Vsam : 画像理解技術を用いたビデオ監視システムプロジェクトについて. 研究報告「グラフィクスとCAD」, pp. No.105 – 013, 2002.
- [13] response. 携帯電話を用いた人間ナビゲーション開始...イギリス. In *response*, 2004.
- [14] pcWEB. 大日本印刷、店舗内をナビゲーションするショッピングカート発表. *pcWEB*, 2003.

- [15] rbbtoday. Bluetooth と pda が博物館を案内 - 位置情報を用いて展示物の解説を配信. *rbbtoday*, 2003.
- [16] Adams N. Want R. Schilit, B. Context-aware computing application. *Proceedings of the Workshop on*, pp. 85–90, December 1994. Santa Cruz, CA.
- [17] P. Steggeles A. Ward A. Harter, A. Hopper and P. Webster. The anatomy of a context-aware. *Proceedings of Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 59–68, 1999.
- [18] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper. A new location technique for the active office. In *IEEE Personnel Communications*, 4(5):42–47, October 1997.
- [19] ACE. Trackablesound. <http://orf.sfc.keio.ac.jp/program/demo.html>.
- [20] *Surveillance cameras to predict behavior*. BBC, May 2001.
- [21] Hironobu Fujiyoshi and Alan Lipton. Real-time human motion analysis by image skeletonization. In *Proc. of the Workshop on Application of Computer Vision*, October 1998.
- [22] Alex Pentland. Looking at people: Sensing for ubiquitous and wearable computing. *IEEE*, 2000.
- [23] 久保田敏司. 個人行動記録システムにおける注目シーンの検出. 電子情報通信学会, pp. 47–52, 2002.
- [24] Jacob P. Somervell D. Scott McCrickard, C. M. Chewar and Ali Ndiwalana. A framework for notification systems research. *Ubicomp*, 2003.
- [25] Aadil Mamuji Thanh Pham Changuk Sohn Jeffrey S. Shell, Roel Vertegaal and Alexander W. Skaburskis. Eyepliances and eyereason: Using attention to drive interactions with ubiquitous appliances. *UIST*, 2003.
- [26] 椎尾一郎. Rfid を利用したユーザ位置検出システム. 情報処理学会研究会報告 00-HI-88, 2000.
- [27] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. *Proceedings of IEEE Infocom*, 2000.
- [28] 岩崎陽平. 方向センサを用いたユビキタス位置情報サービス. 情報処理学会, 2003.
- [29] Jun Rekimoto and Katashi Nagano. The world through the computer:.. *UIST*, pp. 29–36, 1995.
- [30] 小西勇介. 自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発, 2001.
- [31] Masakatsu Kourogi. Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained. *ISMAR*, pp. 103–112, 2003.

- [32] K. Tsukada and M Yasumrua. Activebelt: Belt-type wearable tactile display for directional navigation. *Proceedings of UbiComp2004*, pp. 384–399, 2004.
- [33] David Demirdjian Howard Shrobe Kimberle Koile, Konrad Tollmar and Trevor Darrell. Activity zones for context-aware computing. *Ubicomp*, 2003.
- [34] Robert J. Orr and Gregory D. Abowd. The smart floor: A mechanism for natural user. *ACM*, 2000.
- [35] Neal Checka Trevor Darrell evin Wilson, Vibhav Rangarajan. Audiovisual arrays for untethered spoken interfaces. *Proceedings of International Conference on Multimodal Interfaces*, 2002.
- [36] 飯尾淳. 動画像処理ライブラリ malib を利用した. *Object Oriented Symposium*, 2002.
- [37] Brenda Rae Lunsford Robert L. Waters. Energy-speed relationship of walking: standard tables. *J Orthop Res*, pp. 215–222, 1988 Vol6, No.2.
- [38] 村上延夫. マシンビジョン開発ツール fusionchecker ~ アカデミックの研究成果の産業界への還元を試みるツール. *SSII*, 2002.
- [39] 川戸慎二郎. 顔領域抽出を目的とした肌色モデルと肌色領域抽出. *PRMU*, pp. 143–148, 2001.
- [40] 飯尾淳. 汎用動画像処理ソフトウェアライブラリ. *Linux Conference*, 2002.
- [41] Kimberle Koele. Activity zones for context-aware computing. *Ubicomp*, 2003.
- [42] Logicool. Qcam pro 4000.  
[http://www.logicool.co.jp/products/videocamera/qv\\_4000.html](http://www.logicool.co.jp/products/videocamera/qv_4000.html).
- [43] 飯尾淳. 顔検出システム macao&facepoint. *Linux Conference*, 2003.
- [44] Carman Neustaedter. Balancing privacy and awareness in home media spaces. *Ubicomp*, pp. 297–314, 2003.
- [45] 椎尾一郎. コピキタスコンピューティング. ヒューマンインターフェース学会, 2002.
- [46] Marc Langheinrich. A privacy awareness system for ubiquitous computing. *ACM*, 2002.