卒業論文 2009 年度 (平成 21 年度)

# ORGA：AR 技術のための加速度センサを利用した マーカレスな物体認識手法の研究


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

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

唐津 豊

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

# 卒業論文要旨 2009 年度 (平成 21 年度)

# ORGA：AR 技術のための加速度センサを利用した マーカレスな物体認識手法の研究


本論文では，画像解析と物体に取り付けた加速度センサを用いてユーザが物体を持ち上げる動きを解析することによる，AR 技術のためのマーカレスな物体認識手法を提案する．

近年，物体に取り付けた無線センサノードが取得した情報の可視化や，センサデータから抽出したコンテキストに基づくサービスの提供に Augmented Reality（AR）技術が用いられている．AR 技術を用いてセンサデータを実空間上に投影することや，サービスのインターフェイスを構築することで，視覚的にわかりやすく情報やサービスの提供を行うことができる．

ユビキタスコンピューティング環境下において，このような AR 技術を用いたインターフェイスを実現する場合，カメラで撮影した画像と実空間上の物体を結びつけてシステムが認識する必要がある．そのため，ビジュアルマーカを用いて物体を認識する手法が多く用いられている．しかし，ビジュアルマーカを用いる物体認識手法には様々な問題がある．例えば，認識する物体の数だけビジュアルマーカを用意する必要があることや，ビジュアルマーカの形状が重複しないように厳密に管理する必要があることが挙げられる．また，物体にビジュアルマーカを取り付けることで，システムの使用環境の景観を大きく損ねてしまうといった問題も挙げられる．このように，ビジュアルマーカを用いる物体認識手法は，物体が大量に存在する環境や環境に目立つマーカを配置したくない場合には適していない．

そこで本研究では，物体に取り付けられている加速度センサノードによって取得した物体の加速度と，ユーザデバイスに含まれるカメラで撮影した画像を解析することによって取得した物体の移動情報の二つを用いて物体を認識する手法「ORGA」を提案する．本研究は，カメラの目の前にある物体の移動情報に対応する加速度値を検出したセンサを検索し，物体にどのセンサが取り付けられているか認識する．またセンサの固有 ID に物体に関する情報を関連づけておくことによって，カメラの前に存在する物体を認識する．これによって，ビジュアルマーカを物体に配置することなく，カメラ画像から物体を認識する．

具体的なアプローチとして，まずユーザの視点映像をユーザが身につけるヘッドデバイスのカメラで撮影し，撮影した画像から特徴点を抽出することでユーザが手に取った物体を検出する．画像解析の結果移動物体を検出できた場合，同じ時間に加速度が大きく変動しているセンサを，物体に取り付けられたセンサの中から検索する．検索の結果，条件を満たすセンサが存在する際，そのセンサのデータやセンサ ID にあらかじめ関連づけられた情報を取得することで物体の認識を行う．

本論文では本研究の手法を用いてセンサデータの可視化を行うシステムの実装を行い，この手法に対する評価を行った結果と考察を述べる．



**慶應義塾大学 総合政策学部**

**唐津 豊**

# Abstract of Bachelor's Thesis Academic Year 2009

## ORGA : Object Recognition using Acceleration for Augmented Reality

We propose a method that recognizes objects without any markers by using image analysis and object's acceleration getting from acceleration sensors attached to object in Augmented Reality.

These days, Augmented Reality (AR) is used for visualizing sensor data getting by using wireless sensor nodes, or providing services based on sensor data. For overlaying sensor data to real world by AR, or implementing service-interface based on AR, systems can provide services and information easily understandable.

In Ubi-comp environment, system must recognize objects in relation to image frame captured by camera in case that system is implemented on AR. So, it is often use a method of recognizing object's by Visual markers. However, there are many problems in a method of Visual markers. For example, it is necessary to make difference Visual marker as many as objects and system administrator has to keep not making overlapping marker's shape. In addition, Visual markers are so prominent in system environments. Thus, a method of recognizing objects using Visual markers is not suitable to be use in environments that there are so many objects, or in case that prominent markers can't be attached.

We propose "ORGA" which is a marker-less object recognition method using object's movement getting from acceleration sensor attaching to object and image analysis. In this method, system detects acceleration sensor, which get acceleration similar to movement of object in front of camera. And system can recognize which sensor is attaching to object in front of camera by relating sensor ID to object's information. Hereby, it is be able to recognize objects without Visual markers.

In approach of "ORGA", at first, user captures the action that user puts up object, and system detect moving object in image by extracting feature points from image. If moving object be detected by image analysis, system searches acceleration sensor which acceleration change at same time, in sensors attaching to objects. Finally, it is able to recognize object from information that is related to detected sensor ID.

In this paper, we implemented system of visualizing sensor data using "ORGA", and describe the result of evaluations and considerations.

**Yutaka Karatsu**

**Faculty of Policy Management**
**Keio University**

# 目次

**第 1 章　序論** 1
1.1　本研究の背景 . . . . . 2
1.1.1　無線センサノード . . . . . 2
1.1.2　センサデータの利用 . . . . . 2
1.1.3　センサデータへのアクセシビリティと AR 技術の利用 . . . . . 2
1.1.4　ビジュアルマーカを用いた物体認識 . . . . . 3
1.2　本研究の問題意識 . . . . . 3
1.3　本研究の目的 . . . . . 4
1.4　本論文の構成 . . . . . 5

**第 2 章　AR 技術における実空間認識手法** 6
2.1　本研究の対象領域 . . . . . 7
2.2　既存の手法と対象領域 . . . . . 8
2.2.1　不可視マーカを用いたカメラの位置情報取得手法 . . . . . 8
2.2.2　画像特徴点解析によるカメラの位置・姿勢推測手法 . . . . . 8
2.2.3　3D モデルを用いた物体認識手法 . . . . . 9
2.2.4　パターンマッチングと特徴量解析による物体認識手法 . . . . . 10
2.2.5　LED を利用した可視光通信によるセンサデータ投影手法 . . . . . 10
2.3　本研究と既存手法の比較 . . . . . 11
2.3.1　既存手法の比較 . . . . . 11
2.3.2　本研究の対象領域と既存手法の比較 . . . . . 13
2.4　本章のまとめ . . . . . 13

**第 3 章　加速度センサと画像解析を利用した物体認識手法** 14
3.1　ORGA の概要 . . . . . 15
3.1.1　機能要件 . . . . . 15
3.1.2　想定環境 . . . . . 15
3.1.3　加速度センサと画像解析を利用した物体認識手法 . . . . . 16
3.2　情報閲覧の過程における物体を持ち上げることの妥当性 . . . . . 16
3.3　画像解析による移動物体の検出 . . . . . 17
3.3.1　特徴点抽出 . . . . . 17
3.3.2　手領域抽出による誤検知の防止 . . . . . 18

3.3.3 特徴点解析による移動特徴点の取得 . . . . . 19
3.3.4 移動物体の検出 . . . . . 19
3.4 移動物体に設置されたセンサの特定 . . . . . 20
3.4.1 画像内の移動物体とセンサが取得した動きの時間的な照合 . . . . . 20
3.4.2 複数の物体同士の区別 . . . . . 22
3.5 情報投影システムでの利用 . . . . . 23
3.6 本章のまとめ . . . . . 24

**第 4 章 設計** 25
4.1 設計概要 . . . . . 26
4.2 システム構成概要 . . . . . 26
4.2.1 ハードウェア構成 . . . . . 26
4.2.2 ソフトウェア構成 . . . . . 26
4.3 ORGA モジュールの動作概要 . . . . . 27
4.3.1 画像処理機構動作概要 . . . . . 28
4.3.2 センサ特定機構動作概要 . . . . . 28
4.4 可視化モジュール動作概要 . . . . . 29
4.4.1 センサデータの可視化 . . . . . 29
4.4.2 複数の物体の区別 . . . . . 30
4.5 本章のまとめ . . . . . 30

**第 5 章 実装** 31
5.1 概要 . . . . . 32
5.2 開発環境 . . . . . 32
5.2.1 ユーザデバイス . . . . . 32
5.2.2 センサモジュール . . . . . 33
5.3 センサモジュールの実装 . . . . . 33
5.3.1 センサノードの配置 . . . . . 34
5.3.2 センササーバの実装 . . . . . 34
5.3.3 センサパケット . . . . . 34
5.4 ユーザアプリケーションの構成 . . . . . 35
5.5 移動物体検出モジュールの実装 . . . . . 36
5.5.1 画像特徴点抽出機構 . . . . . 36
5.5.2 移動特徴点抽出機構 . . . . . 36
5.5.3 手領域内特徴点の除外 . . . . . 37
5.5.4 移動物体の検出 . . . . . 37
5.6 センサ特定モジュールの実装 . . . . . 38
5.6.1 センサのインスタンス化 . . . . . 38
5.6.2 画像内の移動物体と加速度センサの照合 . . . . . 39
5.7 可視化モジュールの実装 . . . . . 40

5.7.1 センサデータの投影 . . . . . 40
5.7.2 複数のセンサデータの同時投影 . . . . . 41
5.8 本章のまとめ . . . . . 41

**第 6 章 評価** 42
6.1 評価方針 . . . . . 43
6.2 システム利用時の認識精度評価 . . . . . 43
6.2.1 実験環境 . . . . . 44
6.2.2 実験手順 . . . . . 44
6.2.3 評価基準 . . . . . 45
6.2.4 実験結果 . . . . . 45
6.2.5 考察 . . . . . 47
6.3 複数の物体の同時移動時における認識精度評価 . . . . . 48
6.3.1 実験環境 . . . . . 48
6.3.2 実験手順 . . . . . 48
6.3.3 評価基準 . . . . . 49
6.3.4 実験結果 . . . . . 49
6.3.5 考察 . . . . . 50
6.4 物体を持ち上げるインタラクションについてのユーザビリティ評価 . . . . . 52
6.4.1 実験環境 . . . . . 52
6.4.2 実験手順 . . . . . 52
6.4.3 アンケート項目 . . . . . 53
6.4.4 実験結果 . . . . . 54
6.4.5 考察 . . . . . 56
6.5 物体を傾けるインタラクションに関する定性評価 . . . . . 57
6.5.1 実験環境 . . . . . 58
6.5.2 実験手順 . . . . . 58
6.5.3 アンケート項目 . . . . . 58
6.5.4 実験結果 . . . . . 59
6.5.5 考察 . . . . . 60
6.6 本章のまとめ . . . . . 60

**第 7 章 結論** 61
7.1 今後の課題と展望 . . . . . 62
7.2 本研究のまとめ . . . . . 62

**参考文献** 65

# 図目次


1.1 無線センサノードを物体に取り付けた例 . . . . . 2
1.2 uMegane によるセンサデータの可視化 . . . . . 3
1.3 sensAR によるセンサデータの可視化 . . . . . 3
1.4 ビジュアルマーカの例 . . . . . 4
1.5 商店にマーカを配置した様子 . . . . . 4

2.1 物体にセンサノードが取り付けられた環境の例 . . . . . 7
2.2 不可視マーカを天井に配置した時の景観 . . . . . 9
2.3 特徴点解析によるカメラ位置・姿勢推測手法の実行画面 . . . . . 9
2.4 特徴点解析によるカメラ位置・姿勢推測手法による 3D モデルの可視化 . . . . . 10

3.1 特徴点の抽出結果 . . . . . 18
3.2 入力画像 . . . . . 18
3.3 手領域抽出結果 . . . . . 18
3.4 移動特徴点の抽出結果 . . . . . 19
3.5 特徴点クラスタリングによる移動物体の抽出結果 . . . . . 21
3.6 移動物体検出時の実時間の取得イメージ . . . . . 21
3.7 物体に取り付けられた加速度センサ特定イメージ . . . . . 22
3.8 センサデータを投影した例 . . . . . 24

4.1 ハードウェア構成図 . . . . . 27
4.2 ソフトウェア構成図 . . . . . 27

5.1 本システムを利用している様子 . . . . . 32
5.2 センサノードの配置 . . . . . 34
5.3 センサパケットの設計 . . . . . 35
5.4 アプリケーション内のスレッド間連携 . . . . . 35
5.5 情報の投影結果 . . . . . 41
5.6 複数の物体を持ち上げた時の投影結果 . . . . . 41

6.1 物体を 1 つずつ持ち上げた場合の認識率 . . . . . 46
6.2 物体を 2 つ同時に持ち上げた時の認識率 . . . . . 46
6.3 認識率の全評価基準に関する評価結果 . . . . . 49

6.4　正常に認識した時と誤って認識した時とを対比した結果 . . . . . 50

# 表目次

2.1 既存手法を物体認識に用いた場合の比較 . . . . . 11

3.1 客が商品を選ぶ時の行動 . . . . . 17

5.1 ユーザデバイス使用ハードウェア . . . . . 33
5.2 ユーザアプリケーション開発環境 . . . . . 33
5.3 センサモジュール開発環境 . . . . . 33

6.1 処理速度の平均値 . . . . . 45
6.2 システムの処理速度 . . . . . 50
6.3 被験者の年齢層 . . . . . 52
6.4 被験者の性別 . . . . . 52
6.5 物体を 1 つだけ持ち上げた場合の回答結果 . . . . . 54
6.6 物体を 2 つ持ち上げた場合の回答結果 . . . . . 54
6.7 両方の場合に共通する設問の回答結果 . . . . . 55
6.8 両方の場合に共通する設問の回答結果 . . . . . 59

# 第 1 章

# 序論

本章では，まず本研究の背景を述べると共に，問題意識を述べ，その後本研究の目的を述べる．

## 1.1　本研究の背景

本節では本研究の背景について述べる．

### 1.1.1　無線センサノード

無線センサノードが出現し，センサノードが取得した情報を無線ネットワークを介して送信することができるようになり，実世界の温度や明るさなどの情報をコンピュータで容易に利用することができるようになった．この無線センサノードは小型化され，図 1.1 のように任意の物体に取り付けて物体の状態を観測することができる．また，今後さらに小型化，低コスト化が進むと様々なモノに取り付けられるようになると考えられている．

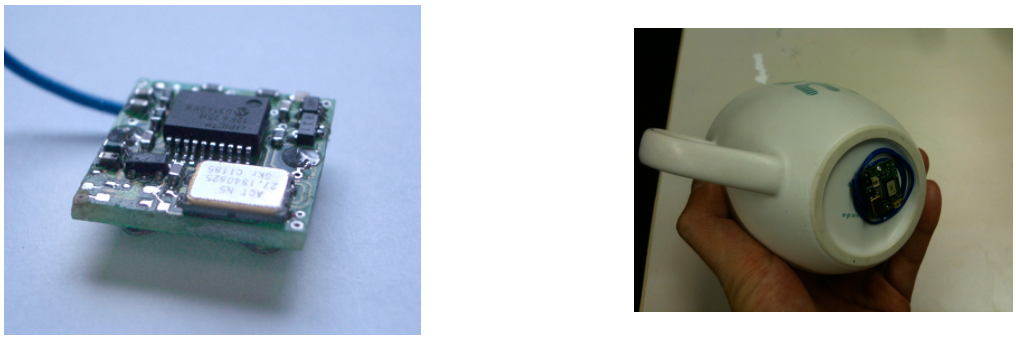

図 1.1　無線センサノードを物体に取り付けた例

### 1.1.2　センサデータの利用

無線センサノードが様々なモノに取り付けられている環境では，センサが取得した情報を土台にしてサービスを提供することができる．例えばサービスの１つとして，食品や電化製品の流通過程における保存状態や輸送履歴などの情報を管理するトレーサビリティシステムにセンサを応用することが挙げられる．商品ごとにセンサを取り付け，輸送中の保存状態や輸送経路を継続的に記録し続けることによって，従来のトレーサビリティシステムでは管理できなかった輸送中の保存状態の変化や運搬経路履歴の遷移なども管理することができる．また，商品に無線センサノードを取り付けることにより，商品１つ１つのトレーサビリティ情報を細かく取得することが可能となる．一方で商品に取り付けたセンサで取得したトレーサビリティ情報を利用し，商店の売り場で客が興味を持った商品のトレーサビリティ情報を客に提供するといったサービスも実現できる．具体的にはワインのように，過剰な振動や急激な温度変化によって商品価値が著しく下がってしまう商品が，工場で出荷されてから商店に届くまでの保存状態や運搬情報の遷移を提供するといったサービスに応用できる．

### 1.1.3　センサデータへのアクセシビリティと AR 技術の利用

無線センサノードを用いてこのようなサービスを実現しようとする場合，サービスを利用するユーザの中にはコンピュータに関する専門知識を持たない人も含まれる．そのため，コンピュータに関する知識が無いユーザであっても容易にセンサデータやサービスを利用できることが好ましい．これに関して，センサデー

タやサービスへのアクセスを容易にする方法は数多く存在する．例えば，センサデータを鳥瞰地図に配置したビューアを用いて可視化する手法 [1] や，二次元バーコードを携帯端末のカメラで読み取ることでセンサデータやサービスを利用する手法 [2] などが挙げられる．その中でも，センサデータのビューアやサービスのインターフェイスに AR 技術を用いる手法は，ユーザが専門的な知識を持つ必要がない上に，視覚的に分かりやすくサービスを利用することができる．例えば，慶応義塾大学の今枝卓也氏らによる「uMegane」[3] や Coventry University の Dan Goldsmith 氏らによる「SensAR」[4] では実空間上の物体や環境に配置したセンサが取得したデータをコンピュータグラフィクス（CG）で表現し，図 1.2，1.3 のように AR 技術を使って実空間に投影して可視化する手法を提案している．これによって，コンピュータに不慣れなユーザであっても，システムを利用することができる．

図 1.2　uMegane によるセンサデータの可視化

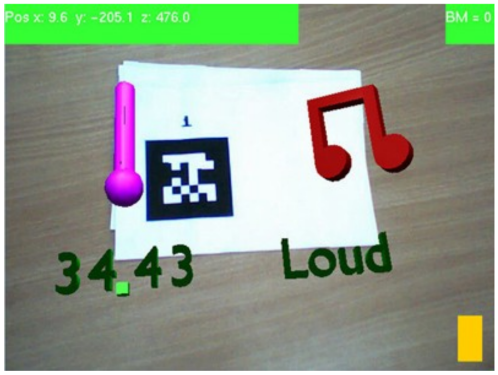


図 1.3　sensAR によるセンサデータの可視化

### 1.1.4　ビジュアルマーカを用いた物体認識

このようにセンサデータの可視化やサービスのインターフェイスに AR 技術を利用する場合，実空間に存在する物体やセンサノードをカメラ画像と関連付けて認識する必要がある．そのため，ビジュアルマーカを用いた物体認識手法が多く用いられている．ビジュアルマーカを用いた物体認識手法は，図 1.4 のようなマーカを実空間上の物体や環境に配置しておき，これをカメラで撮影することで認識を行う．ビジュアルマーカには事前にセンサ ID や配置した物体のインデックスを関連付けておき，カメラに映ったビジュアルマーカの形状を解析することで関連付けた情報を取得する．これを元にビジュアルマーカが配置されている物体や，可視化の対象となるセンサを識別する．

## 1.2　本研究の問題意識

ビジュアルマーカを用いた物体認識手法には様々な問題点がある．例えば，システムの使用環境に物体が大量に存在する場合，物体の数だけ異なる形状を持ったビジュアルマーカを用意し，それらの形状が重複しないように管理する必要がある．またビジュアルマーカを配置することで，図 1.5 のように実空間の景観を損ねてしまう．そのため，コンビニエンスストアのような物体が大量に存在する環境や，環境内に目立つマーカを配置したくない場合には適していない．さらに，この手法はビジュアルマーカを撮影する距離や角度に認識精度が大きく影響を受ける．また物体にマーカを取り付けることでユーザが物体を撮影できる方向が限定されてし

図 1.4　ビジュアルマーカの例

まう．これによってユーザはビジュアルマーカを撮影する距離や角度などの撮影条件を常に意識しなくてはならないという問題がある．

図 1.5　商店にマーカを配置した様子

## 1.3　本研究の目的

本研究では，AR 技術においてビジュアルマーカを用いずに物体の認識を行うことを目的とする．具体的には，コンビニエンスストアで客がある商品に興味を持った際，その商品に取り付けられたセンサで取得したトレーサビリティ情報を可視化するようなシステムをビジュアルマーカを使用せずに実現する．ビジュアルマーカを使用しないことで，店内の景観を損ねることや商品の数だけビジュアルマーカを用意する必要が無くなる．また，カメラでビジュアルマーカを適切に撮影するよう意識する必要が無くなるため，客はより自然にシ

ステムを利用できる．

そのために，本研究ではユーザが物体を手に取ったときの動きを利用して物体の認識を行う．物体がユーザによって動かされた時の動きを画像解析と物体に取り付けられた加速度センサを利用して解析し，これを元に物体に関する情報やセンサデータを取得する．これによってビジュアルマーカを用いずに物体認識を行うことを目標とする．

## 1.4 本論文の構成

第１章にて，本論文の研究背景と問題意識を説明した．本論文では，第２章で本研究と類似した目的を持つ既存手法を比較した上でそれらと本研究との差分を明確にし，本研究の方向性について述べる．第３章では，本研究が提案する物体認識手法について説明を行う．第４章で本研究の手法を用いたセンサデータ可視化システムの設計について説明し，第５章でシステムの実装について述べる．第６章では実装したシステムの評価方針を定めた上で，実験方法と評価結果およびそれに関する考察を述べる．最後に第７章で今後の課題と展望について述べた上で，本論文をまとめる．

# 第 2 章

# AR 技術における実空間認識手法

本章では，AR 技術における物体認識について述べた上で，既存の物体認識手法を例示し，それらが対象としている領域を比較する．

## 2.1　本研究の対象領域

前章で述べた通り，本研究では AR 技術においてビジュアルマーカを用いずに物体認識を行うことを目的とする．これはビジュアルマーカを用いる手法に，物体が大量に存在する環境において物体の数だけ異なるビジュアルマーカが必要であり，なおかつそれらが重複しないように管理しなければならないという問題があるためである．またビジュアルマーカの配置によって，システムの使用環境の景観が損なわれるという問題を解決するためである．

この他に，本研究ではユーザが特にシステムを意識しなくても情報を閲覧できることを目標としている．ビジュアルマーカを用いる手法は，マーカを撮影する角度や撮影時の照明条件によって認識率が大きく影響を受ける．そのため，ユーザは物体の情報が適切に表示されるように，ビジュアルマーカの撮影位置，角度などの照明条件を常に意識する必要があった．本研究では，ビジュアルマーカを用いる手法のように撮影条件を意識しなくても情報を閲覧できることを目標としている．

その上で本研究は認識する物体が大量に存在し，図 2.1 のように各物体に小型の無線センサノードが取り付けられている環境での利用を想定している．また，コンビニエンスストアの店内のように，ビジュアルマーカをはじめとする目立つマーカを配置できない環境を対象としている．このような環境で提供されるサービスの例として，１章で例示した商品トレーサビリティ情報可視化アプリケーションが挙げられる．このサービスは，コンビニエンスストアといった商店の売り場で，客が興味を持った商品の商品情報やトレーサビリティ情報を AR 技術で可視化するサービスである．これによって，これにより客は商品の保存状態が適切であったかどうかや，どのような経路で運搬されてきたかを確認しながら商品を購入することができるようになる．本研究ではこのようなシステムをはじめとする，センサによって取得した情報やコンテキストを可視化する情報の対象とし，環境の景観に配慮すべき環境において，AR 技術で情報の可視化をするアプリケーションを想定している．

図 2.1　物体にセンサノードが取り付けられた環境の例

## 2.2 既存の手法と対象領域

前節で説明した対象領域を踏まえた上で，本研究の目的と類似した目的を持つ既存手法と各手法が対象としている領域について説明する．

### 2.2.1 不可視マーカを用いたカメラの位置情報取得手法

まず，ビジュアルマーカを配置することにより環境の景観が損なわれるという問題に着目した研究として，奈良先端技術大学院大学情報科学研究科の中里氏らによる不可視マーカを用いたカメラの位置・姿勢推定手法 [5] が挙げられる．この研究は，肉眼では見ることのできない再帰性反射材を使用したビジュアルマーカを用いるウェアラブル AR システムのための位置推定手法である．

ユーザがカメラやヘッドマウントディスプレイなどのデバイスを身につけ，AR 技術を使用したサービスを受けるウェアラブル AR システムを使い，屋内での道案内や注釈による情報提供を行う研究が従来から進められている．このウェアラブル AR システムでは情報を適切に投影するためにユーザの位置やカメラの撮影角度，向きなどの姿勢を正確に取得することが重要になる．屋内での使用を想定したウェアラブル AR システムでの位置情報取得には，従来ビジュアルマーカを環境の壁や天井に配置する手法が多く用いられる．しかしビジュアルマーカを配置することで環境の景観が損なわれてしまうという問題があった．

そこで中里氏らは再帰性反射材を使用したビジュアルマーカと赤外線カメラを用いた，環境の景観を損ねることのない位置情報取得手法を提案している．この手法では肉眼では見ることのできない不可視マーカを図 2.2 のように天井に配置し，これをユーザの頭に取り付けた赤外線カメラで撮影することでユーザの位置や姿勢を推測する手法である．不可視マーカを用いることにより，左の図のようにマーカが環境に溶けこむように配置できるため，従来のマーカよりもシステムを導入しやすくなっている．

この手法を物体認識に応用する場合，不可視マーカと物体に関する情報を関連付けた上で，認識したい物体にマーカを取り付けることにより，物体認識を行うことはある程度可能である．ビジュアルマーカと同様にマーカの形状をもとに物体を認識するため，コンビニエンスストアの店内のように形状や色が類似する物体が大量にある環境でも使用することができる．しかし，ユーザはマーカを肉眼で見る事ができないため，マーカが張り付けられている箇所を明示する必要がある．また，マーカの撮影方法について従来のビジュアルマーカを用いる手法よりも強く意識しなければならない．さらに認識したい物体の数だけ異なる形状を持ったマーカを用意しなくてはならないため，物体が大量に存在する環境での利用には不適である．

### 2.2.2 画像特徴点解析によるカメラの位置・姿勢推測手法

不可視マーカを用いる手法と同様に，ユーザの位置やカメラの姿勢を取得することを目的とする手法として，Active Vision Laboratory の Georg Klein 氏らの画像特徴点解析によるカメラの位置や姿勢を推測する手法 [6] が挙げられる．この手法はユーザの視点を撮影するカメラで取得した画像内の特徴点抽出とマッピングをリアルタイムに行い，図 2.3 のようにマッピングした特徴点の移動量からカメラの相対的な位置や撮影角度などを推測する手法である．この手法によって取得した位置情報をもとに実空間へ情報を図 2.4 のように投影することができる．

この手法は環境にビジュアルマーカを配置するといったインフラ構築をする必要がないため，屋内外を問わずシステムを利用することが可能である．しかし，ユーザの位置の移動量やカメラの傾きの変化量など相対的

図 2.2　不可視マーカを天井に配置した時の景観

な位置情報しか取得することができないため，不可視マーカを用いる手法のような経路案内サービスのようなアプリケーションには利用できない．また，この手法では特徴点の解析時にパターンマッチングや特徴量解析による実空間の認識を行っていないため，物体認識に応用することは困難である．したがって，本研究が対象とするアプリケーションでの利用には適していない．

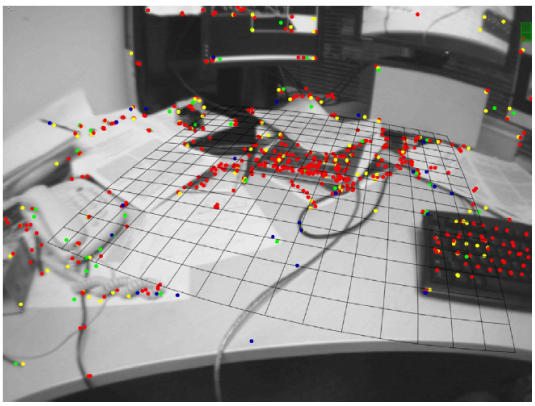

図 2.3　特徴点解析によるカメラ位置・姿勢推測手法の実行画面

### 2.2.3　3D モデルを用いた物体認識手法

カメラの視野内の物体を認識することを目的とする手法として，Department of Virtual and Augmented Reality の Gabriele Blester 氏らによる研究 [7] が挙げられる．この研究は認識する対象となる物体の 3 D モデルを事前に作成しておき，カメラに写った物体の形状と 3 D モデルの形状を照合する手法である．3 D モデルを用いる手法では，事前に認識の対象とする物体の 3 D モデルを作成する必要があるが，ビジュアルマーカのようなタグを物体に配置しなくても，カメラの目の前に存在する物体を認識することができる．また，実空間上の他の物体やユーザの体で認識する物体が多少隠れていたとしても，システムが形状を推測する事によってある程度物体の認識や追跡を行うことが可能である．そのため，ビジュアルマーカを用いる手法よりもユーザは物体の撮影条件を意識する必要が無い．この手法を用いることにより会社のオフィスや会議室でユー

図 2.4　特徴点解析によるカメラ位置・姿勢推測手法による 3D モデルの可視化

ザの目の前にある物体に関するアノテーションを投影するサービスや，建築物の模型のように特徴的な形状をもつ物体に情報を付加するアプリケーションなどをマーカレスに実現することができる．

しかし 3 D モデルと画像内の物体の形状を照合するため，形状が似通っている物体同士を誤認識する可能性がある．そのため，商品倉庫や商店の売り場など同じ形状の物体が大量に存在するような環境での利用には適していない．また事前に物体の 3 D モデルを作成する必要があるため，認識したい物体が大量に存在する場合にも不適である．

### 2.2.4　パターンマッチングと特徴量解析による物体認識手法

3 D モデルを用いる手法のほかに，ビジュアルマーカを用いずに物体を認識する手法として，IT Expo 2009 にて Koozyt 株式会社が公開したポスターアンプ [8] が挙げられる．ポスターアンプは，カメラで撮影した画像をパターンマッチング技術や特徴量解析を用いて解析し，画像に写ったポスターや看板などを認識する技術である．これにより，ビジュアルマーカを配置しなくてもポスターや看板などをはじめとする物体を認識することができる．この技術を利用してカメラで撮影したポスターのデジタル版を携帯端末にダウンロードしたり，撮影したチラシに関する WEB ページにリダイレクトするようなサービスを作ることができる．

しかし，この手法は解析技術の特性上，同じデザインが施された物体同士をそれぞれ異なる物体として扱うことが困難である．例えば，カメラで撮影した物体に取り付けられているセンサを識別するような目的でこの手法を利用することはできない．そのため，3 D モデルを用いた物体認識手法と同様に，同じパッケージを持つ商品が大量存在する商品倉庫や商店の売り場での使用を想定したアプリケーションでは利用する事ができない．

### 2.2.5　LED を利用した可視光通信によるセンサデータ投影手法

物体に取り付けたセンサが取得した情報を AR 技術で可視化するサービスにおいて，ビジュアルマーカを用いずにサービスを実現している例として，東京大学の西田氏らによる「萌え木」[9] が挙げられる．「萌え木」では観葉植物の状態を観察するためにセンサを取り付け，そのセンサで取得したコンテキストを AR 技術を用いて可視化している．コンテキストを取得するために，センサとともに取り付けた LED の可視光通信によってセンサデータをユーザデバイスに送信している．可視光通信を用いることにより，ビジュアルマーカを配置

せずに，観葉植物に取り付けられているセンサのデータを取得する事ができる．

このように LED の可視光通信を用いる手法はセンサデータを可視化するシステムにおいて，ビジュアルマーカを用いずにセンサの認識，および情報の可視化を実現できる．また，センサデータをそのまま送信するため，センサが取り付けられた物体に依存しないで情報の可視化を行う事ができる．しかし，ビジュアルマーカと同様に情報が正しく表示されるように LED の撮影条件について意識する必要があり，また LED の点滅光によって景観が損なわれる．赤外線 LED を使うことで環境の景観に配慮することもできるが，不可視マーカを用いる手法と同じように LED の撮影条件をユーザが強く意識しなくてはならない．

## 2.3 本研究と既存手法の比較

本節では前節で挙げた既存手法が対象としている領域について比較したうえで，本研究との差分を明確にする．比較項目はマーカの有無，環境内の物体数，個別の物体認識の可否，撮影条件の四項目である．まずマーカの有無とは，物体認識用のマーカを認識したい物体に取り付ける必要があるかどうかを指す．次に環境内の物体数とは，システムが想定している使用環境内の物体の量である．個別の物体認識とは，カメラで撮影した画像を介して，視野内の物体を物体の色や形状に左右されることなく認識することができるかを示している．最後に撮影条件とは，システムを利用する際にシステムの使用環境の照明の変化や，物体を撮影する角度や位置に，認識率がどれだけ影響を受けるか，またユーザに対して物体を撮影する方向がどれだけ限定されるかを表している．既存手法の対象領域について比較した結果を表 2.1 に示す．

表 2.1　既存手法を物体認識に用いた場合の比較

| 手法 | マーカの有無 | 環境内の物体数 | 個別の物体認識 | 撮影条件 |
|---|---|---|---|---|
| 不可視マーカを用いたカメラの位置情報取得手法 | 有り（マーカの配置位置の明示が必要） | 少数 | 可能 | 厳しい |
| 画像特徴点解析によるカメラの位置・姿勢推測手法 | 無し | 物体数に依存しない | 不可能 | 易しい |
| 3D モデルを用いた物体認識手法 | 無し | 少数 | ある程度可能 | 易しい |
| パターンマッチングと特徴量解析による物体認識手法 | 無し | 多数 | ある程度可能 | 易しい |
| 可視光通信によるセンサデータ投影手法 | 有り（LED パネルが別途必要） | 多数 | 可能 | 厳しい |
| 本研究の対象領域 | 無し | 多数 | 可能 | 易しい |

### 2.3.1 既存手法の比較

それぞれの物体認識手法について表 2.1 の項目について言及しながら，各手法を比較する．

まず，不可視マーカを用いたカメラの位置情報取得手法は肉眼で見えにくいマーカを用いることで，従来の

ビジュアルマーカよりも実空間にマーカを配置しやすくなっている．しかし，カメラ画像からマーカを認識する原理は従来のビジュアルマーカを用いる手法と極めて類似している．そのためビジュアルマーカと同様に，認識したい物体の数だけ異なる形状を持つ不可視マーカが必要となり，認識したい物体が大量にある場合はその分環境を構築する負荷が高くなる．したがって不可視マーカを用いた手法を物体認識に応用する際には，想定される環境内の物体数は少数に限られる．一方でビジュアルマーカを用いる手法とほぼ同じ原理で物体を認識するため，全く同じ物体が複数ある場合でもそれぞれ異なる物体として区別して認識を行うことができる．また，不可視マーカを用いることでユーザにとって物体のどこにマーカが配置されているか分かりづらい．そのため従来のビジュアルマーカよりもマーカとカメラとの距離感や撮影位置などが把握しにくくなると考えられる．したがって，マーカの撮影条件は厳しいと考えられる．

次に画像特徴点解析による手法は，環境内にマーカを配置することなく利用することができる．そのため，事前にシステムの使用環境を構築する必要がなく，環境内の物体の数量に依存せずに利用することができる．また，この手法は特徴点解析とマッピング処理に堅牢なアルゴリズムが使用されているため，ユーザは実空間の撮影条件を意識せずにシステムを利用できる．しかし，特徴点の抽出とマッピング処理しか行っていないため，物体認識に応用することは困難である．

3D モデルを用いた物体認識手法は，ビジュアルマーカのようなマーカを物体に取り付けなくても利用することができる．また物体の一部が隠れていたとしても，ある程度であればシステムが物体の形状を推測して認識することができるため，ユーザは比較的物体の撮影条件を意識せずにシステムを利用する事ができる．しかし，この手法では事前に物体の 3D モデルを作成する必要があるため，ビジュアルマーカと同様に環境内に物体が大量に存在する場合にシステムの使用環境を整える負荷が膨大になる．そのため，認識する物体の数量は少数に限られてしまう．また，3D モデルと物体の形状を比較することで認識を行うため，形状が類似する物体同士を誤検出する可能性がある．したがって，同じ物体同士を異なる物体と区別して認識することができない．

パターンマッチングと特徴量解析による物体認識手法は物体にマーカを配置しなくても利用できる．また，解析結果と物体の情報を機械的に関連付けるだけでシステムの利用環境を整えることができるため，認識したい物体が大量にあったとしても比較的容易に対応することができる．パターンマッチング処理や物体の色合いなどを元にした特徴量解析処理は，一般的に実空間の照明の色合いや明るさによって誤差が出やすい．ただし，この手法ではポスターやチラシの全体に施されたデザインや色合いがビジュアルマーカの形状と同じ役割をするため，ユーザは撮影する対象をカメラで捉えやすいと考えられる．したがって，従来のビジュアルマーカよりも物体の撮影条件は易しいと設定した．その反面，この手法は全く同じデザインや色合いを持つ物体同士を異なる物体として区別することができない．

可視光通信によるセンサデータ投影手法は，物体に LED パネルを使用したマーカを取り付ける必要がある．ユーザの撮影の仕方の変化によってカメラが過剰に採光してしまうと，通信精度が低減してしまう可能性がある．そのため，ビジュアルマーカと同様にユーザが LED パネルの撮影条件を意識する必要がある．しかし，ビジュアルマーカや３ D モデルを利用する手法とは異なり，認識する物体が大量に存在しても，物体ごとに LED の点滅パターンを変化させるだけで利用することができ，環境内に認識したい物体が大量に存在しても比較的容易に対応出来る．また物体の形状やデザインに認識精度が依存しないため，同じ形状やデザインを持つ物体同士を区別することも可能である．

### 2.3.2 本研究の対象領域と既存手法の比較

前項で説明した既存手法とは異なり，本研究ではマーカを使用せずに，認識する物体が大量に存在する環境で，類似する物体同士を区別しながら物体認識を行うことを目標とする．また，ユーザが物体の撮影条件を出来る限り意識せずにシステムを利用できることを目標とする．

本研究では，商品トレーサビリティ情報をセンサノードを商品に取り付けて管理している場合に，商店の売り場で客が注目した商品のトレーサビリティ情報を実空間に投影するようなアプリケーションを想定している．商店の店内をシステムの使用環境としているため，実空間の景観を損ねないことが求められる．また，客がトレーサビリティ情報を閲覧するときに，物体の撮影条件を意識しないでも閲覧できることが望ましい．これとは別に，商品のパッケージのデザインや形状が同じであってもそれぞれを異なる物体として認識することが必要となる．

このような想定を踏まえて，本研究ではマーカを実空間に配置せずに物体を認識することを目的としている．また認識する際に，形状やデザインが類似する物体同士をそれぞれ異なる物体として認識する．そのため，既存手法の目的や対象領域と本研究の目的，対象領域は大きく異なる．

## 2.4 本章のまとめ

本章では，本研究の目的及び対象領域，想定するアプリケーションについて説明した．これを踏まえて既存手法を例示し，それらの目的や対象領域について説明した上で，本研究と既存手法の差分を明確にした．次章ではこれらを踏まえて，本研究が提案する物体認識手法について説明を行う．

# 第 3 章

# 加速度センサと画像解析を利用した物体認識手法

本章では，２章で説明した本研究の対象領域及び既存手法の比較を踏まえて機能要件を定める．そして加速度センサと画像解析手法を利用した物体認識手法「ORGA」について説明する．

## 3.1 ORGA の概要

本項では 2 章を踏まえて，機能要件を定めた上で本研究が提案する画像解析と加速度センサを用いた物体認識手法「ORGA」の概要について説明する．

### 3.1.1 機能要件

本研究の目的を達成するために以下の 3 つの要件を全て満たしている必要がある．

- 物体の外見に依存しない物体認識
  ビジュアルマーカを用いた物体認識手法は画像解析によって物体に取り付けられたマーカの形状を取得し，その形状に関連付けられた情報から物体を認識する手法である．そのため物体そのものの形状や色合いが認識精度に影響することがなく，外見が同じ物体をそれぞれ異なる物体として認識することができる．物体に取り付けたセンサノードの情報を可視化するようなシステムの場合，同じ外見を持つ物体が複数存在する環境であっても，物体に取り付けられたセンサノードを特定することが可能となる．本研究では物体に装着されたセンサの情報の可視化を行うことを想定するシステムに含めているため，外見が同様の物体をそれぞれ異なる物体であると区別しながら認識を行う必要がある．したがって，物体の外見に依存せずに認識を行わなければならない．

- リアルタイムな認識処理
  AR 技術ではユーザが見ている実空間の光景にリアルタイムで情報を投影する．そのため，物体認識の処理速度が十分でなく，情報の投影に過剰な遅延が起こる場合，可視化システムとして成立しない．そのため，物体認識にかかるオーバーヘッドは可能な限り低減し，ほぼリアルタイムに物体の認識を行うことが必要である．

- 物体を明示的に選択できるインタラクション
  AR 技術で物体に関する情報を可視化する場合，ユーザが情報を閲覧したい物体を明示的に選択できる必要がある．これは実空間上に存在する物体の情報をユーザのニーズを無視して可視化してしまうと，情報の可読性が著しく低下するためである．ビジュアルマーカを用いる手法では物体に取り付けられたマーカをカメラで撮影することで，ユーザが情報を閲覧する物体を選択している．本研究ではマーカレスに物体認識を行うにあたり，何らかの方法によってユーザが情報を可視化して欲しい物体を選択できる必要がある．

### 3.1.2 想定環境

本研究が想定しているシステムの利用環境は 2 章で説明したように，コンビニエンスストアの売り場といった，環境の景観への配慮が必要な環境である．また環境内には見た目が同じ物体が多数存在している．このような環境で，認識の対象となる物体には無線でデータを送信できる加速度センサが取り付けられており，物体の加速度の蓄積，配信を行うセンササーバに送信していることを想定している．また，センサノードにはそれ

ぞれ固有の ID が振られている．ユーザデバイスとして実空間の光景を撮影するカメラと撮影された映像を出力するヘッドマウントディスプレイで構成されたヘッドセットを所持しており，ヘッドセットは小型 PC に接続されていることを想定している．この他に可視化する情報に応じて，画像や 3D モデルがセンサ ID と関連付けられて保存されているデータベースが存在し，可視化する画像や 3D モデルを取得することができる．

### 3.1.3 加速度センサと画像解析を利用した物体認識手法

前述した機能要件を満たす物体認識手法として加速度センサと画像解析を利用した物体認識手法「ORGA」を提案する．この手法はユーザが物体を手に取る動作を利用して物体を認識する手法である．「ORGA」は以下の 3 つの処理手順をもって物体の認識を行う．

1. カメラでユーザが物体を持ち上げる様子を撮影
2. カメラ画像を解析して持ち上げた物体を検出
3. 持ち上げられた物体の移動時間とセンサノードの加速度が変動した時間を照合

まず，ユーザが所持しているユーザデバイスに取り付けられているカメラでは実空間の映像を撮影している．ユーザはこのカメラの視野内で情報を閲覧したい物体を持ち上げる．物体が持ち上げられた際に，システムはカメラが撮影した画像を解析して画像内の移動物体を検出する．画像解析によってカメラの視野内で移動物体を検出すると，物体が移動し始めた時間と同じ時間に加速度が大きく変動しているセンサを検索する．検索した結果，条件を満たすセンサが存在した場合，センサに振られている ID を取得する．この ID にセンサが取得したデータや可視化する情報を関連付けておくことにより，情報を投影することができる．

この手法では，ビジュアルマーカや LED パネルといったマーカを必要とせず，また物体の外見を元に認識を行うわけではないので，物体の外見に依存せずに認識を行うことができると考えられる．また，画像内の物体と加速度センサのデータを時間的に照合を行うことでシステムの演算負荷を低減でき，より高速な認識処理を行うことができると考えられる．情報の閲覧時にはユーザが情報を閲覧したい物体を持ち上げるというインタラクションによって明示的に物体を選択できる．システムの使用環境構築時にはセンサの固有 ID と情報を機械的に関連付けることができる．そのためビジュアルマーカの様に物体ごとに異なる形状を持ったマーカを生成し，物体の情報と関連付けるといった必要がない．

## 3.2 情報閲覧の過程における物体を持ち上げることの妥当性

「ORGA」ではユーザが物体の情報を閲覧する時に，その物体を手に取るというインタラクションによって情報の投影を行う．物体を手に取るという行動を，本研究ではユーザが興味を持った物体の情報を閲覧するときに自然に取りうる行動であると考える．これに関して，商店の売り場における客の購買行動について収集したデータを表 3.1 に示す．収集したデータは客が商品を選ぶときにどのような行動を取るか分析したものである．データの収集は大学生協店内のペットボトル飲料品売り場で，多くの客が弁当や飲み物を購入しに訪れる夕方の 30 分間で行った．収集方法には売り場で客がどのような行動を取って商品を選んでいたか，行動別に計数するという方法を用いた．

データを収集した結果，パッケージを眺めながら購入する商品を選ぶ客と，商品を手にとってパッケージに記載されている栄養価や販促情報を読んでから購入する客が存在した．商品を眺めた客は 98 人中 80 人と大半を占め，残りの 18 人の客は実際に商品を手に取った．このように商品購買時に客が興味を持った商品を手

表 3.1　客が商品を選ぶ時の行動

| 行動 | 人数 | 全体の割合 (%) |
|---|---|---|
| 商品を眺める | 80 | 81.6 |
| 商品を手にとる | 18 人 | 18.3 |
| 合計 | 98 人 | 100 |

に取るという行動は一般的に行われている．このような結果及び考察から興味を持った物体を手に取るという行動について，ユーザに大きな負荷がかかることはないと考えた．

このような結果を元に，情報を閲覧するときにユーザが取るインタラクションを選定した．調査結果では興味を持った商品を眺めるだけの客が圧倒的に多い．そのため，商品を見ただけで情報が可視化される方が可視化のインタラクションとして適切であるように思える．しかし，本研究が想定しているような物体が大量に存在する環境において，物体を見ただけで情報が可視化されてしまうと，一度に大量の情報が可視化されてしまい，情報の可読性を損ねてしまう可能性がある．

対照的に，ユーザが手に取った物体の情報のみを表示することによって，一度に可視化する情報を絞りこむことができる．また，前述した評価実験で商品を手にとった客の大半が，商品のパッケージに書かれている情報を読んでいた．このことから物体を手に取るという行動は，ユーザがその物体に興味を持ったことを明確に表していると考えられる．そのため物体を手に取った時に情報を表示することで，ユーザが興味を持った物体を自然にフィルタリングできるという二次的な効果にも期待できる．

以上のような考察の結果，物体を持ち上げるという行為が情報閲覧のトリガーとして妥当であると考えた．

## 3.3　画像解析による移動物体の検出

本節ではカメラで撮影した画像から移動物体を検出する手法について説明する．検出手順を以下に示す．

1. 画像から特徴点を抽出
2. ノイズとなる特徴点の除去
3. 特徴点解析による移動特徴点の取得
4. 特徴点の密度を元にした移動物体の解析

各手順について以下で詳しく説明する．

### 3.3.1　特徴点抽出

画像処理による移動物体の検出はフレーム間差分法，背景差分法などが挙げられる．しかし本研究ではカメラが固定されておらず，比較的カメラが動かない情報閲覧時であってもカメラ画像には若干のブレが生じる．そのため上記の方法では検出精度が低下してしまう．そこで本研究は特徴点解析によって移動物体を検出する．画像特徴点をもとに移動物体を検出することにより，物体の形状や色合いに制限を受けずに移動物体を検出することができる．また自由視点のカメラであってもある程度高い精度で解析を行うことができる．

本研究で用いる検出手法ではまず始めにカメラが撮影した画像の 1 フレーム毎に，画像全体から特徴点を抽出する．抽出時は画像をグレースケール化してノイズを低減した後に抽出を行う．特徴点は各点が画像内にお

ける座標や特徴量を保持しており，これらの情報を解析することで物体の認識を行う．画像から特徴点を抽出した結果を図 3.1 に示す．

図 3.1　特徴点の抽出結果

### 3.3.2　手領域抽出による誤検知の防止

本研究ではカメラで撮影した画像全体から特徴点を抽出するため，物体を持ち上げるユーザの手の特徴点も同時に抽出してしまう．そのため，手に物体を持っていなくても，手自体を持ち上げられた物体として誤認識してしまう可能性がある．そこで画像から肌色領域を用いて手領域を取得し，この手領域の情報を元に手の特徴点を取り除く．肌色領域抽出とは，画像を HSV 表色系で表現した場合にどの人種の肌の色でも H 値（色相）が 6 ° ～38 ° の範囲に収まるという統計結果 [10] に基づき，肌色が画像内で占める領域を抽出する手法である．

この手法を利用して肌色領域を抽出し，その結果を元にユーザの手が占める領域を取得する．この領域内に座標を取る特徴点を移動物体解析処理から除外することによって，誤検出を低減する．図 3.2 に肌色抽出処理の入力画像を示し，肌色領域を白で表現した上で手領域として取得した部分を矩形として描画した結果を図 3.3 に示す．結果画像の矩形内に位置する特徴点をここでは移動物体解析処理から除外する．

図 3.2　入力画像

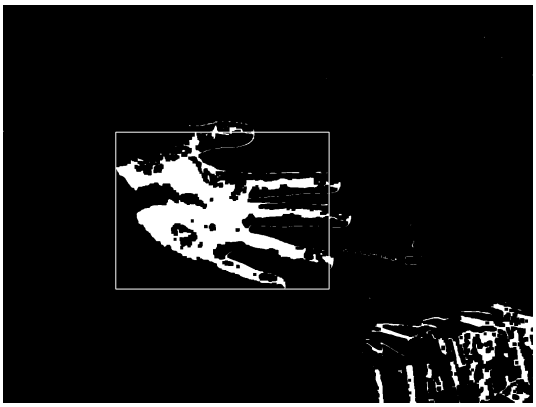

図 3.3　手領域抽出結果

### 3.3.3　特徴点解析による移動特徴点の取得

前述した手法でノイズを除去した特徴点から，移動特徴点を取得する．移動特徴点とは，連続するフレーム間において，座標が移動した特徴点のことである．ここでは現在の画像フレームとそれより 1 フレーム前のフレームの間で移動した特徴点を取得する．移動特徴点の解析は，まず 2 つのフレームで抽出した特徴点同士をマッチングする．マッチングは特徴量が近似する特徴点同士の関連付けを行い，対応する点同士のペアを作る処理である．本研究の手法ではペアを構成する点の片方は現在のフレームから抽出した点あり，もう片方の点は直前のフレームで抽出した特徴点である．

次に，マッチングすることで関連付けられた特徴点のペアの座標から，点の移動量を計算する．特徴点はそれぞれ画像内における座標を持っているため，ペアになった特徴点の座標を計算することで，特徴点がフレーム間でどのように移動したかを解析する事ができる．このことから，座標が移動している点を移動特徴点として取得できる．図 3.4 はこの方法で移動特徴点を取得し，特徴点が移動した軌跡と共に描画した画像である．これらの特徴点を元に移動物体を検出する．

図 3.4　移動特徴点の抽出結果

### 3.3.4　移動物体の検出

取得した移動特徴点を元に画像内の移動物体を抽出する．取得した移動特徴点をユーザが移動させた物体から抽出された特徴点であるとみなし，これを解析して移動物体の検出を行う．しかし，本研究で使用する移動特徴点取得手法では画像全体から特徴点を抽出しているため，移動特徴点が一様に取得されてしまう．そこで，本研究では特徴点は各物体ごとにそれぞれ密集しているという前提で，点の密度を元に特徴点をクラスタリングすることで物体ごとに特徴点を分類できると仮定した．本手法ではこの仮定に則って移動物体の検出を行う．具体的には，特徴点の画像内における座標分布の密度で各特徴点をラベリングし，ラベリングの結果を元に特徴点を分類する．そして，分類した特徴点の各集合をそれぞれ移動物体として検出し，特徴点を内包する矩形領域を画像内で移動物体が写っている領域として取得する．ラベリングアルゴリズムを以下に示す．

特徴点ラベリングアルゴリズム

By every image frame
1. Set up of all feature points in $P$
・For each feature point $p_i$ in $P$
    Assign initial index to $p_i$
・Assign beginning index to index counter $I$

For each $p_i$ in $P$
(If $p_i$'s index is not equal to initial index
    Go next feature point)
2. For each $p_j$ in $P$
・Figure distance between $p_i$ and $p_j$
    If $p_{near}$ which is near from $p_i$
        If $p_{near}$'s index is not equal to initial index
            Assign $p_{near}$'s index to $p_i$'s index
            break
3. If $p_i$'s index is equal to intitial index
    Assign $I$'s index to $p_i$'s index
    $I$++

まず，全ての移動特徴点に初期値となるインデックスを与える．次に移動特徴点の各点において，順に処理を行う．まず，処理の対象となる点のインデックスが初期値のままである場合，その点と座標的に近い点を検索する．検索の結果，座標の近い特徴点があればその点のインデックスを調べる．このインデックスが初期値でなければ，対象となる特徴点に同じインデックスを設定する．近くに条件を満たす点がない場合，対象となる特徴点に新たなインデックスを設定する．この処理を全ての特徴点について行うことにより，特徴点をクラスタリングすることができる．

特徴点のクラスタリングを行った後，それぞれの特徴点の集合ごとに点を内包する矩形を取得する．上記のアルゴリズムを使用して特徴点を解析し，複数の移動物体を検出した結果を図 3.5 に示す．図 3.5 では，検出した移動物体をそれぞれ矩形で囲っている．これによって，画像内の移動物体の数やそれぞれの位置を検出することができる．

## 3.4 移動物体に設置されたセンサの特定

本項では，前項の画像解析処理によって検出した，画像内の移動物体に取り付けられているセンサの特定方法について説明する．

### 3.4.1 画像内の移動物体とセンサが取得した動きの時間的な照合

本研究では物体が大量に存在する環境でシステムを利用することを想定している．そのため，画像解析とセンサが取得した加速度のそれぞれから物体の 3 次元移動ベクトルを生成し，それらを厳密に照合して移動物体

図 3.5　特徴点クラスタリングによる移動物体の抽出結果

に取り付けられたセンサを特定するような方法では，認識時の計算負荷が膨大になり，リアルタイムに情報を投影できない可能性がある．そこで本研究では，物体が移動し始めた時間を照合することでセンサを特定し，計算負荷を低減させる方法を用いる．この特定方法は以下の手順で行われる．

1. 画像解析によって移動物体が検出された時間の取得
2. 同じ時間に加速度が変動したセンサの特定

この 2 つの処理について詳しく説明する．

**移動物体が検出された時間の取得**

画像解析によって移動物体が検出された場合，検出した移動物体ごとに移動を始めた時間を取得する．移動開始時間を取得するイメージを図 3.6 に示す．図の横軸は時間の経過を表わし，それに沿って画像フレームが連続している．画像内で移動物体が検出されると，その時の実時間 $tx$ を取得する．このとき取得した $tx$ をセンサの特定に使用する．

図 3.6　移動物体検出時の実時間の取得イメージ

**物体移動時に加速度が変動したセンサの特定**

画像内で移動物体が動き始めた時間を元に，物体に取り付けられた加速度センサを特定する．図 3.7 はセンサの特定イメージを表したものである．移動物体が検出された時間 $tx$ に最も近い時間で加速度が変動したセンサを物体に配置された加速度センサの中から検索する．加速度が変動したかどうかを判別する方法として，X 軸方向の加速度を $Ax$，$Y$ 軸方向の加速度をAy，Z 軸方向の加速度を $Az$，しきい値をS とした場合，

$$\sqrt{Ax^2 + Ay^2 + Az^2} > S \tag{3.1}$$

を満たしている時に加速度が大きく変動したとして評価する．このように加速度が変動しているセンサの中から，画像内で移動物体を検出した時間に最も近い時間で値が変動したセンサを検索する．図の中では $tx$ と同じ時間に加速度が変動している中央のセンサを画像内の移動物体に取り付けられた加速度センサであると特定する．センサが特定できた場合，そのセンサ ID を取得する．このセンサ ID に関連付けられた情報を元にその物体に関する情報や温度センサ，照度センサなど物体に配置された他のセンサの情報を取得することで物体の認識や情報の投影を行う．

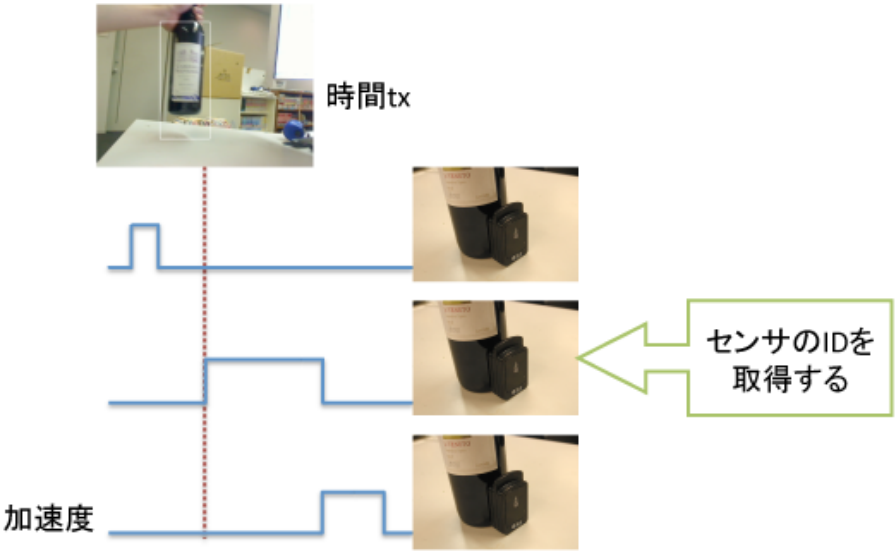


図 3.7　物体に取り付けられた加速度センサ特定イメージ

### 3.4.2　複数の物体同士の区別

本研究では，システムの想定環境の例としてコンビニエンスストアといった商店を挙げている．そのため，複数のユーザが同時にシステムを利用することが多分に考えられるため，ユーザが物体を手に取った際，同時に別のユーザが環境内で異なる物体を持ち上げることが起こる可能性がある．これにより，ユーザが閲覧したい物体の情報と共に不要な情報も一緒に可視化されてしまうことが起こりうる．以上の理由から，複数の情報が可視化された際，ユーザが持ち上げた物体に関する情報を可視化された情報の中で区別できる機構が別途必要となる．

また，これまで説明した物体認識手法では，画像解析によって取得した画像内を占める座標といった移動物

体に関する情報と加速度センサの ID が厳密に関連付けられていない．これはユーザの目の前にある物体の情報を一様に可視化することはできるが，そのそれぞれの情報を物体ごとに区別して可視化することが難しいということである．このことから一度に複数の物体を認識する際，それぞれの物体を区別する機構が別途必要になる．

本研究ではユーザが複数の物体を同時に持ち上げた際，さらに持ち上げた物体のどれか 1 つを傾けることで物体同士の区別を行う．持ち上げた物体のどれか 1 つを大きく傾け，センサの傾斜角の変化を検知することで，特定したセンサの中からさらにセンサの絞り込むことができる．センサの傾斜角の取得は，ユーザが物体を傾ける際に物体は大きく動かないと仮定し，物体静止時に加速度センサの各軸から得られる重力加速度の分解成分を元に算出する．ユーザが同時に持ち上げている物体の中から，算出した傾斜角がしきい値を上回り，物体を傾けていると検知できた場合，その結果を元にユーザが傾けている物体を絞りこむ．物体のどれか 1 つを傾けるため，絞り込んだセンサは 1 つに特定することができる．

持ち上げた物体をさらに傾けるという行為は持ち上げた物体をより強く注目するということを表していると考えている．持ち上げた物体についてさらに注目するという行為としては，例えば商店に陳列されている商品の様な場合であれば，商品を振る行為や商品のパッケージを開封するといった行為が考えられる．しかし，これらの行為はユーザが大きな動作を行わなければならず情報閲覧時に行う行為としてはユーザにとって負担になると考えられる．またワインのような振動に弱い物体の場合，これらの行為によって物体の価値が下がってしまう．それに対し，物体を傾ける行為はユーザにとって少ない動作で実現でき，また物体に与える影響も最小限ですむと考えられる．このことから可視化された情報の中から持ち上げた物体に関する情報を選択するインタラクションとして，物体を傾けるという行為は妥当であると考えた．以上の理由から，持ち上げた物体の情報を区別する操作として物体を傾けるという行為を本研究では使用した．

物体を傾けることで絞り込んだセンサが取り付けられている物体の情報の投影方法と，他の物体の投影方法とで差分をつけて可視化することにより，ユーザは投影された情報がどの物体のものであるか区別することができる．投影方法の差分のつけ方としては，傾けた物体の情報を表示を点滅させる，物体が傾けられている時だけその他の情報を表示ないといった方法が考えられる．このような機構を設けることにより，複数の物体の情報を可視化している時でも，ユーザはそれぞれの物体の情報を区別することができる．

## 3.5 情報投影システムでの利用

AR 技術で物体の情報を実空間に可視化する際は，これまで説明した方法を使用して取得した，物体に取り付けたセンサの ID を元に可視化する情報を選定する．まず，物体が持ち上げられた時に可視化する情報を事前にセンサ ID に関連付けておき，投影する画像や 3D モデル，テキストデータなどリソースを外部のデータベースに保存しておく．投影の際には，取得したセンサ ID をキーとしてデータベースに保存されたリソースを取得する．そして，取得したリソースをユーザアプリケーション側で加工し，カメラ画像にマージすることによって，情報の投影を行う．これにより，幅広い種類の情報を可視化することができる．

また，物体に取り付けたセンサで温度や照度などの情報も同時に取得している場合や加速度センサの他に別のセンサが取り付けられている場合なども同様に可視化することができる．加速度センサの ID とセンサが取得した温度，照度などの情報を関連付けておき，センササーバやデータベースに蓄積しておく．可視化する際には，加速度センサの ID を元にそれらの情報を取得することで実空間へ投影することができる．図 3.8 に本手法を用いて物体に取り付けられたセンサの情報を実空間に投影した例を示す．

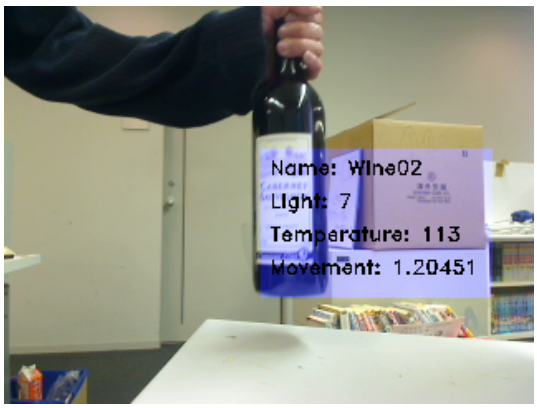


図 3.8　センサデータを投影した例

## 3.6　本章のまとめ

本章では本研究の対象領域から機能要件を定めた．また，本研究が想定する環境について言及した上で，画像解析と加速度センサを利用する物体認識手法「ORGA」について説明した．「ORGA」はユーザが情報を閲覧したい物体を持ち上げる動きを利用して物体の認識を行う手法である．「ORGA」ではまず，ユーザデバイスに含まれるカメラで撮影した画像から移動物体を検出し，検出時の実時間を取得する．移動物体が検出された時間と加速度センサの値が変動した時間を照合し，その結果から物体に取り付けられたセンサを特定する．最後に，特定したセンサの ID を元に物体に関する情報をデータベースから取得し，物体認識を行う．次章では「ORGA」を使用した情報可視化システムの設計について説明する．

# 第 4 章

# 設計

前章では画像解析と加速度センサを利用した物体認識手法「ORGA」について説明を行った．本研究では「ORGA」の認識精度やユーザビリティに関する評価実験を行うため,「ORGA」を使用してセンサデータ可視化システムを作成した．本章では，このセンサデータ可視化システムの設計について説明する．

## 4.1 設計概要

前章で説明した，画像解析と加速度センサを用いた物体認識手法「ORGA」を使用して，本研究では物体に取り付けたセンサの情報を実空間に投影するシステムの設計を行う．このシステムはまずシステムの使用環境としてコンビニエンスストアといった商店の売り場をシステムの使用環境として想定している．売り場に並べられている商品にはそれぞれ無線センサノードが取り付けられており，商品のトレーサビリティ情報を取得し続けているとする．本システムは，商品に取り付けられているセンサで取得した保存状態の遷移や輸送経路などを，商店の売り場で客が商品を手にとった際に可視化するシステムである．

本システムでは，ユーザは実空間を撮影するカメラや情報が投影された映像を表示するディスプレイなどが組み込まれたユーザデバイスを身につけている．また情報を投影する物体には加速度センサが取り付けられており，センササーバに加速度値を送信している．ユーザデバイスはカメラからユーザの視点画像を常時取得し，画像内の移動物体を検出する．移動物体が検出できた場合，同時間に加速度が大きく変動しているセンサをセンサ群の中から検索する．その結果，加速度が変動しているセンサのセンサデータを画像に投影してディスプレイに表示する．

## 4.2 システム構成概要

本項では，本システムのハードウェア構成及びソフトウェア構成について説明する．

### 4.2.1 ハードウェア構成

ハードウェアは，ユーザ側と環境側のそれぞれで構成される．ユーザは視点映像を撮影する WEB カメラ，物体認識処理やセンサデータの投影処理を行う PC，センサデータが投影された映像を表示するヘッドマウントディスプレイで構成されたユーザデバイスを所持する．環境側にはまず無線ネットワークを介してデータを送信できる加速度センサが認識の対象となる物体に装着されている．また加速度センサが送信したセンサデータをユーザデバイスへ送信するセンササーバがあり．この他に実空間に投影を行う情報が保存された情報格納サーバが存在する．本システムではセンサデータを可視化するため，情報格納サーバには物体の温度や照度が保存されている．ハードウェア構成図を図 4.1 に示す．

### 4.2.2 ソフトウェア構成

ソフトウェアはユーザデバイスに実装されている．ユーザデバイスに実装されているソフトウェアは，3 章で説明した「ORGA」を用いて物体の認識を行う「ORGA モジュール」とセンサデータを実空間に投影する「情報可視化モジュール」に大別される．

「ORGA モジュール」には，ユーザデバイスのカメラで撮影した画像から特徴点を抽出する「特徴点抽出モジュール」，同じく画像からユーザの手の領域を抽出する「手領域抽出モジュール」，抽出した特徴点や手領域から画像内で移動する物体を検出する「移動物体検出モジュール」で構成される画像処理を行う部分が含まれている．また，加速度センササーバから物体の加速度を取得し，加速度が変動しているセンサを検出する「加速度変換・解析モジュール」と，画像処理の結果とセンサデータを元に移動物体に取り付けられているセンサを特定する「センサ特定モジュール」で構成されるセンサ特定処理を行う部分が含まれる．

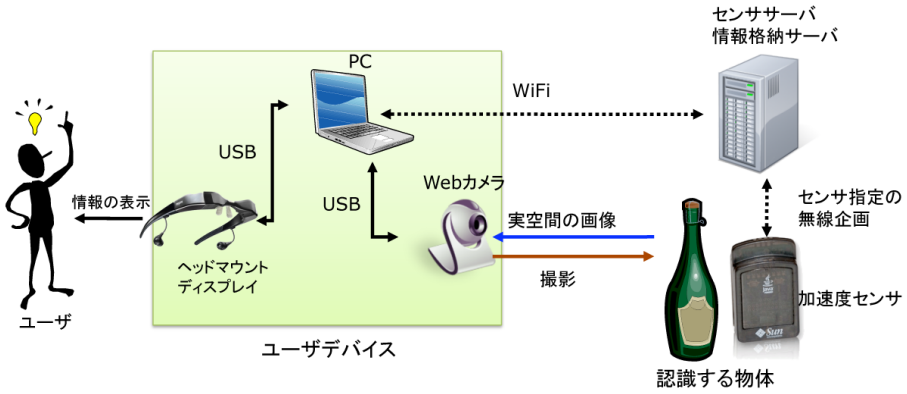


図 4.1　ハードウェア構成図

「情報可視化モジュール」では「ORGA モジュール」で行った物体認識処理の結果を元に，実空間にセンサデータを投影する処理を行う．このモジュールは情報格納サーバに保存されている物体の温度や照度といった情報を，「ORGA モジュール」から渡されたセンサ ID を元に取得する．さらに認識した物体の個数に応じて，カメラが撮影した画像にセンサデータを合成する処理を行う．

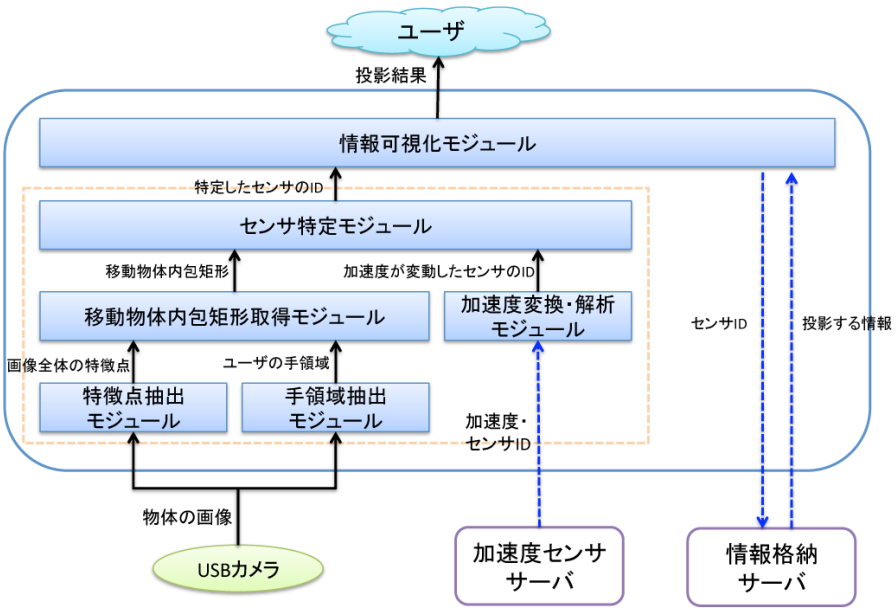


図 4.2　ソフトウェア構成図

## 4.3　ORGA モジュールの動作概要

本項ではユーザデバイスに実装されているセンサデータ可視化アプリケーションで「ORGA」を使用して物体認識を行う「ORGA モジュール」を構成する各モジュールの動作について説明する．「ORGA モジュール」は前述した通り，画像解析を行ってカメラで撮影した移動物体を検出する「画像処理機構」と，画像処理の結

果とセンサが取得した加速度から，ユーザが手にとった物体に取り付けられているセンサを特定する「センサ特定機構」で構成されている．

### 4.3.1 画像処理機構動作概要

画像処理機構はカメラが撮影した画像内で移動する物体を矩形として抽出するモジュールである．画像処理機構は「特徴点抽出モジュール」,「手領域抽出モジュール」,「移動物体検出モジュール」で構成される．

**特徴点抽出モジュール**

画像特徴点をカメラが取得する画像から毎フレーム連続して抽出する．抽出した特徴点は現在のフレームと直前のフレームとでそれぞれの点について特徴量を比較し，直前のフレームから座標が移動した特徴点を抽出する．そのため２フレーム分の特徴点を一時的に保存しておく．その後，抽出した移動特徴点の中から移動した距離が長すぎる，もしくは短すぎる点を外れ値として除去する．これらの処理の結果，残った特徴点を画像内で移動した物体の特徴点とし，移動物体の抽出処理に用いる．

**手領域抽出モジュール**

ユーザの手から抽出した特徴点を除去するために，特徴点抽出処理と並行して肌色領域の抽出処理を行う．肌色領域は領域を内包する矩形として表現し，この矩形の内側に位置する特徴点は移動物体の検出処理に使用しないようにする．

**移動物体検出モジュール**

画像内の移動物体の抽出は特徴点の集合において座標が密集している部分を矩形で括ることで行う．この処理は３章で説明した特徴点のラベリング処理を用いて行う．矩形が一つしか検出できなかった場合，矩形の左上の頂点座標と面積をセンサ特定モジュールに渡す．移動物体が複数検出できた場合，矩形の面積と矩形内の特徴点が極端に小さいものをノイズとして除いた上で，矩形面積で降順にソートする．ソートした矩形から上位２つまで矩形を取得してセンサ特定モジュールに渡す．移動物体が複数検出できた時に矩形情報を２つに限定して取得するのは，ユーザが片手に一つずつ物体を持つとすると同時に持ち上げることができる物体が２つまでということが想定できるためである．また本システムではユーザがヘッドマウントディスプレイを装着することを想定しているため，画像内のごく小さな移動物体の情報まで表示するとユーザの視界を遮ってしまうことが考えられるからである．最終的に特徴点の集合を括った矩形を移動物体が画像内を占める座標データとし，この矩形センサ特定機構に渡す．

### 4.3.2 センサ特定機構動作概要

センサ特定機構は画像処理機構の処理結果を元に，物体に取り付けられている加速度センサの中からが持ち上げた物体に取り付けられているセンサを特定する処理を行う機構である．この処理機構は，センササーバから各センサの加速度の取得，加速度の重力影響の除去，そしてセンサが移動しているかどうか解析を行う「加速度変換・解析モジュール」と画像処理機構の結果とセンサの加速度の値を元に移動物体に取り付けられたセンサを特定する「センサ特定モジュール」で構成される．

**加速度変換・解析モジュール**

加速度変換・解析モジュールはまずセンササーバがユーザデバイスに送信した物体の加速度値を受信し，タイムスタンプと合わせてアプリケーション内にセンサ ID 毎に保存する．物体の加速度はセンサデータの可視化を行うときにも使用するため過去に観測した加速度のログを保持し，ログが一定量を超えた場合古い加速度値から削除する．これはアプリケーションがセンサデータを保持するため，連続的にシステムを動作させた時にメモリを確保できなくなることを防ぐためである．

また，このモジュールではセンサが取得した加速度から重力影響を除去した上で，センサが取り付けられた物体が移動しているかどうか判別する．センサから取得した加速度値はセンサが常に計測する重力加速度が含まれている．そのため，センサが取得した生データを使用すると移動物体の判別精度が低減してしまう．そこで本モジュールではセンサが取得した加速度にハイパスフィルタを掛けることで，加速度から重力影響を除去した値に変換する．重力影響を除去した加速度を元に物体が移動中であるかどうかを解析する．解析には３章で説明した算術式を使用する．

**センサ特定モジュール**

画像処理機構が解析した移動物体の矩形とセンサが取得した加速度値を照合し，移動している物体に取り付けられているセンサを特定する．センサの特定は移動物体検出モジュールが矩形を取得したことをトリガーにして，加速度が大きく変動しているセンサの検索を開始する．

センサの検索後，ユーザが持ち上げた物体に取り付けられているセンサを選定する．検出できた移動物体がひとつだけの場合，加速度が変動したセンサの中で加速度のタイムスタンプが移動物体を検出した時刻に最も近いものをユーザが持ち上げた物体のセンサとする．移動物体が複数検出された場合は，タイムスタンプが移動物体検出時刻に最も近いセンサの他に，このセンサのタイムスタンプの前後１秒以内に加速度を観測したセンサも含めて可視化を行う．このように複数のセンサデータを可視化する時に選定条件を緩く設定することで，ユーザが持ち上げた物体の情報が表示されないというようなことを防止する．

## 4.4 可視化モジュール動作概要

「可視化モジュール」は「ORGA モジュール」が物体に取り付けられていると特定したセンサの情報を画像内に投影するモジュールである．

### 4.4.1 センサデータの可視化

センサ特定モジュールで取得したセンサ ID を元にセンサデータを実空間に投影する．可視化するセンサデータは温度，照度，加速度の３つで，それぞれテキストで表現したセンサデータをセンサ ID 毎に半透明の矩形で囲んで表示する．投影方法は特定したセンサが単数の場合と複数の場合で分かれる．センサが１つだけの場合，ユーザが持ち上げた物体に重ねてセンサデータを表示する．センサデータを投影する位置は画像解析によって算出した矩形の座標を元に決定する．複数のセンサデータを可視化する場合，センサ ID 毎に並べて表示する．これは本システムがヘッドマウントディスプレイを使用するため，情報量が多くなったときにユーザの視界を妨げてしまう可能性があるからである．センサデータの投影は物体が移動を止めてもある程度継続して行い，物体が移動を停止してから一定時間経過すると投影を終了する．

### 4.4.2 複数の物体の区別

3 章で述べたように，複数のユーザがシステムを使う場合は同時に物体が持ち上げられた時，ユーザが持ち上げた物体と共に不要な情報が可視化される可能性がある．また本システムでは複数のセンサデータを投影する際，物体に重ねず，画像内に並べて表示するため，それぞれのセンサデータがどの物体に取り付けられたセンサの情報か区別しづらい．そこで 3 章で説明した通り，複数のセンサデータが表示されている状態でユーザがどちらかの物体を傾けることにより情報を区別する．ユーザが物体を揺らすとセンサデータを囲んでいる矩形を点滅する．これによりユーザは揺らした物体のセンサデータがどれか区別することができる．

## 4.5 本章のまとめ

本章では ORGA を使用したセンサデータ可視化システムの設計について説明した．次章では説明した設計をもとにシステムの実装について説明する．

# 第 5 章

# 実装

本章では，4 章で説明した設計に基づき，ORGA を使用したセンサデータ可視化システムの実装について説明する．

## 5.1 概要

本研究では 4 章で説明したシステム設計を元に，「ORGA」を使用したセンサデータ可視化システムの実装を行った．本章ではこのセンサデータ可視化システムの具体的な実装について説明する．図 5.1 に本システムを使用して情報を閲覧するユーザの様子を示す．物体には無線センサノードが取り付けられており，物体の加速度をセンシングしている．今回の実装では物体の情報として監視する温度と照度も合わせて，このセンサノードで取得している．ユーザは WEB カメラとヘッドマウントディスプレイで構成されたヘッドセットを装着し，カメラがユーザの視点映像を撮影している．ヘッドセットは演算用の PC に有線接続されている．PC はカメラが撮影した映像とセンササーバから取得した物体の加速度を元に，移動物体の検出，物体認識，センサデータの投影を行う．最後に投影結果をヘッドマウントディスプレイを通してユーザに通知する．

図 5.1　本システムを利用している様子

## 5.2 開発環境

本節ではシステムの実装に使用したハードウェアとソフトウェア環境について述べる．

### 5.2.1 ユーザデバイス

ユーザデバイスは WEB カメラ，ヘッドマウントディスプレイ，演算 PC で構成されている．演算 PC の内部では物体認識処理及びセンサデータ可視化処理を行うアプリケーションが動作している．使用したデバイス及びアプリケーション開発環境を表 5.1，5.2 に示す．

ヘッドマウントディスプレイに VUZIX iWear VR920，USB カメラに Logicool Qcam Pro 9000 を使用した．ユーザアプリケーションが動作する PC は Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q9550 @ 2.83GHz 及び 4 GB 分の主メモリを搭載し，Windows Vista Business Service Pack 2 が動作する．ユーザアプリケーションの開発には C++ 言語を使用した．この他に画像解析用のライブラリとして OpenCV 1.1 pre[11]，処理を高速化するためのライブラリとして Visual C++ 2008 コンパイラに標準装備されている OpenMP[12] 及び POSIX Threads for Win32 version 2.8.0[13] を使用している．カメラで取得する画像サイズは 320 × 240 に設定した．また認識する物体には市販のワインボトルを使用した．

表 5.1　ユーザデバイス使用ハードウェア

| | |
|---|---|
| CPU | Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q9550 @ 2.83GHz |
| 主メモリ | 4.00GB |
| USB カメラ | Logicool Qcam Pro 9000 |
| ヘッドマウントディスプレイ | VUZIX iWear VR920 |

表 5.2　ユーザアプリケーション開発環境

| | |
|---|---|
| OS | Windows Vista Business Service Pack 2 |
| 使用言語 | C++ |
| 画像解析ライブラリ | OpenCV 1.1 pre |
| 並行処理ライブラリ | OpenMP，POSIX Threads for Win32 2.8.0 |
| 処理画像サイズ | 320 × 240 |

### 5.2.2　センサモジュール

物体に取り付けるセンサノード及びセンササーバで構成されるセンサモジュールの開発環境について説明する．センサ部の開発環境を表 5.3 に示す．なお，本システムの実装ではセンササーバはユーザアプリケーションが動作する PC 内で動作させ，ユーザアプリケーションへのセンサデータの送信は，ローカルのネットワークを使って行った．そのため，センササーバのハードウェアはユーザデバイスの PC と同じものである．

表 5.3　センサモジュール開発環境

| | |
|---|---|
| センサノード | SunSPOT |
| 使用言語 | J2SDK 1.6.0.16 |
| センサライブラリ | SunSPOT SDK 5.0 RED |

物体の加速度の取得及び物体の状態管理に SunSPOT [14] を使用した．SunSPOT は物体に取り付け，加速度，温度，照度を取得する．これらの情報を取得し，センササーバに送信するプログラムとセンササーバ内で動作するサーバアプリケーションは共に JAVA 言語を使用して開発し，J2SDK 1.6.0 を使用した．

## 5.3　センサモジュールの実装

本項では物体に取り付けるセンサノード及びセンササーバで行った実装について説明する．

### 5.3.1　センサノードの配置

複数のセンサの情報を同時に可視化する際，本研究ではセンサが取得した加速度の変動を元に物体同士を区別できるように可視化する．そのため物体に取り付けるセンサは加速度を取得する X，Y，Z の三軸が物体間で画一的に定まるよう配置しなくてはならない．本システムの実装では，SunSPOT が取得する加速度の Y 軸方向を物体を置いた時の縦方向に合わせて配置した．センサを物体に配置した図を図 5.2 に示す．

図 5.2　センサノードの配置

### 5.3.2　センササーバの実装

センサノードは観測したデータをセンサ ID と共に 0.2 秒ごとに SunSPOT 独自規格の無線ネットワークを用いてブロードキャストする．これをセンササーバに USB で有線接続されたベースステーションが受信する．センササーバはユーザアプリケーションをクライアントとして TCP/IP のサーバクライアント方式で実装した．ベースステーションが受信したセンサデータに受信した時刻をタイムスタンプとして付加し，受信した順にリアルタイムでユーザアプリケーションに送信する．

### 5.3.3　センサパケット

本システムでは物体認識に使用する加速度と可視化する温度，照度を単一のセンサで取得する．そのため，本システムの実装では情報格納サーバを別途設けず，センササーバが加速度と共に物体の温度，照度も扱い，３種類のセンサデータをユーザアプリケーションに送信する．図 5.3 はセンササーバがユーザアプリケーションに送信するセンサパケットの設計である．センサパケットには，観測したセンサの ID，センサが取得した温度，照度，３軸加速度，観測時のタイムスタンプが保存されている．

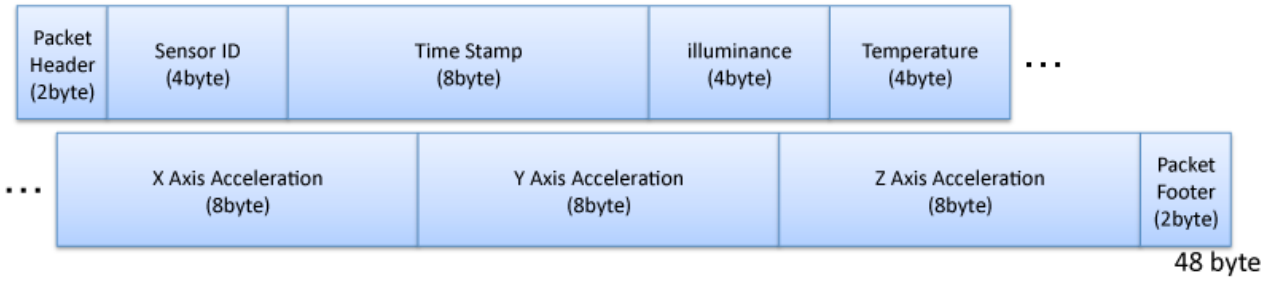


図 5.3　センサパケットの設計

## 5.4　ユーザアプリケーションの構成

ユーザアプリケーションは画像解析による移動物体の検出，センサで取得した加速度と画像解析の結果を元にした物体認識，及びセンサデータの可視化を行う．アプリケーションを構成する各モジュールは処理の高速化のためにスレッドとして実装されており，常時複数のスレッドが処理を行う．図 5.4 はスレッド間の連携について表した図である．

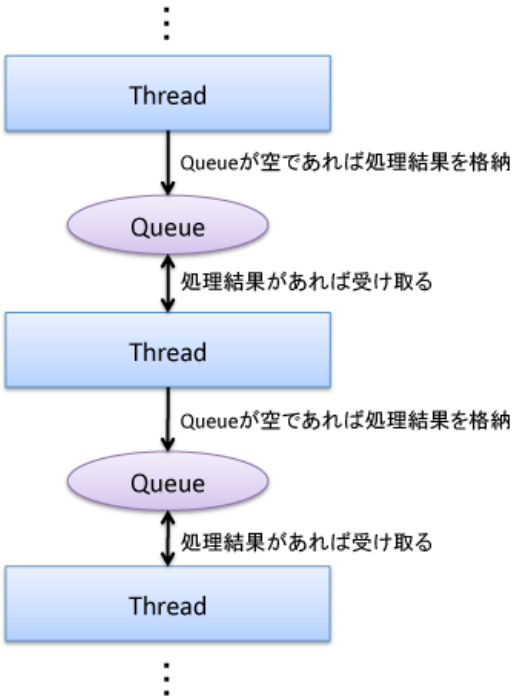


図 5.4　アプリケーション内のスレッド間連携

スレッドはパイプライン方式で実装されており，カメラが撮影した画像の１フレームに１ループの割合で動作する．各スレッドの毎フレームの処理結果はスレッド同士をつなぐキューに格納される．キューに格納することができる処理結果は１ループのみであり，キューに処理結果を入れられない場合，そのスレッドは一時的

に停止する．また，キューから受け取る前スレッドの処理結果がない場合もスレッドは一時停止する．これによって，各スレッドの処理速度に差があっても処理の遅延を防ぐことができる．ユーザアプリケーションはほぼ全てのクラスがパイプラインスレッドとして実装されており，処理の高速化を実現している．

## 5.5 移動物体検出モジュールの実装

本節ではユーザアプリケーションの画像解析による移動物体検出モジュールの実装について説明する．

### 5.5.1 画像特徴点抽出機構

カメラで撮影した画像から 1 フレームごとに画像特徴点を抽出する．特徴点は Herbert Bay 氏らによる Speed-UP Robust Features (SURF)[15] を用いた．SURF は特徴点抽出アルゴリズム SIFT を高速化したアルゴリズムで，既存の手法よりも高速に堅牢な解析を行う事ができる．また SURF は OpenCV 1.1 にてその抽出メソッドが実装されているため，実装ではこのメソッドを使用した．OpenCV の関数を使用して SURF の抽出を行うコード例を以下に示す．

SURF を利用した特徴点抽出のコード例

```
/* 特徴点抽出用パラメータ */
CvSURFParams params = cvSURFParams(500, 1);

/* 結果格納用ストレージ */
CvMemStorage* pStorage = cvCreateMemStorage(0);

/* 抽出結果のインデックスリスト */
CvSeq* pCurrentKeypoint = NULL;
CvSeq* pCurrentDescripter = NULL;

/* 画像全体から特徴点を抽出 */
cvExtractSURF(pImage, NULL,
     &pCurrentKeypoint, &pCurrentDescripter, pStorage, params);
```

例に挙げたコードでは，抽出メソッドが使用する変数群を確保し，その後画像データである pImage から抽出を行う．変数群の確保は，システムがセットアップされる時にまとめて行い，システムの動作中は画像フレームごとに抽出メソッドを呼び出す．抽出結果は特徴点の座標やヘッセ行列値などの情報が格納されているストレージとストレージ内の各点を示すインデックスなどが連なっている KeyPoint，Descripter と呼ばれるリストとして出力される．そのため，後に行う移動特徴点解析のために現在のフレームと直前のフレームの 2 フレーム分，ストレージと KeyPoint，Descripter リストを確保している．

### 5.5.2 移動特徴点抽出機構

抽出した特徴点の中から座標が移動した特徴点のみを抽出する．

**特徴点のマッチングと移動量の計測**

移動特徴点抽出では，まず直前フレームと現在のフレームとで抽出した特徴点のマッチングを行う．本システムでは特徴点の抽出に SURF を用いているため，マッチングで比較する特徴量は各点におけるラプラシアン符号である．このようなマッチングを異なるフレーム間で行い，特徴点の座標がどのように動いたかを解析する．マッチング処理の実装は OpenCV のサンプルコードに含まれる find_obj.cpp をクラスとしてラップすることで行った．

マッチングを行った後，各特徴点のペアに関して特徴点がフレーム間で移動した距離を計算する．そして，距離が極端に小さいものを除くことで移動特徴点の抽出をした．また，画像内の移動物体の検出は現在のフレームで抽出した特徴点の座標を使用して解析を行う．移動物体検出時には，直前のフレームで抽出した特徴点は不要になるため，毎フレームごとに破棄するように実装した．

**外れ値の除去**

本システムではカメラの画像全体から特徴点を抽出しているため，移動特徴点抽出時に行うマッチング処理で取得した外れ値が多く検出される．そのため，これらのノイズ情報を除去するための処理を実装した．外れ値の除去は，移動距離が極端に大きい特徴点を除くことで実現する事ができる．マッチング時に対応する点が見つからず，全く別の点とマッチングされてしまった場合，特徴点の移動距離が他の点の移動距離よりも極端に長くなる．そのため，移動距離が長いものを除くことによって外れ値を除去する事ができ，その後の移動物体検出の精度を高めることができる．

### 5.5.3 手領域内特徴点の除外

ユーザの手が映り込むことによる移動物体の誤検出を防ぐために，ユーザの手領域の抽出を行う．肌色領域の抽出はカメラで撮影した画像を RGB 表色系から HSV 表色系に変換した上で，1 ピクセルごとに H，S，V 値の比較を行った．抽出時のパラメータは H 値が 6〜15，S 値が 25〜255，V 値が 25〜255 の範囲と定め，各ピクセル値がこれらの範囲である場合肌色であると定めた．

抽出した肌色領域はユーザの手の他に，肌色がかった背景のようなノイズも合わせて抽出してしまう．また，ユーザの手の範囲内であっても適切に抽出できずに虫食い状に誤検出を起こしてしまう．そこで本システムでは肌色領域抽出画像に膨張収縮処理を施し，虫食い状の未検出部分を保管した．また抽出した肌色領域にラベリング処理を施し，画像内を占める面積が大きい順にソートした上で上位 2 つの領域を手の領域として取得する．ラベリング処理の実装には奈良先端科学技術大学院大学 井村誠孝氏が公開しているラベリングクラス [16] を使用した．最後に，抽出した手領域の内側に位置する特徴点を除去することにより，ユーザの手を移動物体として誤検出することを低減した．

### 5.5.4 移動物体の検出

本研究ではカメラで取得した画像全体から移動特徴点を抽出するため，画像内に複数の移動物体があったとしても移動特徴点は一様に抽出されてしまう．そのため本システムでは 3 章で説明した特徴点のラベリングによる分類を行い，複数の移動物体に対応できるように実装した．ラベリング処理は 3 章で述べたアルゴリズムに沿って実装した．

ラベリングによって付加された各特徴点のインデックスごとに特徴点集合を作り，それぞれの集合を移動物体として検出する．検出の際には集合に含まれる点があまりにも少ないものを除いた上で，集合内の特徴点を内包する矩形を計算し，その矩形の面積が降順になるようにソートする．ソートした集合の上位 2 つの集合を移動物体として検出した．これは本システムがユーザが両手を使って一度に持ち上げられる物体の数は 2 つまでであると想定しているためである．検出した移動物体は計算した特徴点の内包矩形の座標と面積を OpenCV の矩形を表現する構造体である CvRect に代入して，物体認識とセンサデータの可視化に利用する．

## 5.6 センサ特定モジュールの実装

本節では移動物体に取り付けられているセンサを特定する，センサ特定モジュールの実装について説明する．画像解析によって検出した移動物体を示す矩形とセンサが取得した物体の加速度を照合して物体認識を行う．

### 5.6.1 センサのインスタンス化

センササーバから受信したセンサデータは物体認識処理とセンサデータ可視化処理で利用する．センサデータ可視化処理ではセンサ ID を元に可視化するデータを選定するため，センサデータはセンサ ID に対応付けて保持しなくてはならない．また，本研究では環境内に大量の物体が存在し，そのそれぞれにセンサノードが取り付けられていることを想定している．そのためセンサの数量はその時々に応じて動的に変化する．そこで，本システムではセンサをインスタンス化し，センサの数量が変動しても対応できるように実装した．具体的にはセンサデータをセンサ ID ごとに保持するクラスを SunSPOT クラスとして実装した．センササーバからデータを受信し，SunSPOT クラスをインスタンス化してデータを格納する時とセンサデータを利用する時のコード例を以下に示す．

SunSPOT クラスの利用例

```
/* サーバから受信したパケットからセンサデータを取得する */
int id = packet.getInt(2);
Time timestamp(false, packet.getLongLong(6));
int illuminance = packet.getInt(14);
int temperature = packet.getInt(18);
double accelerationX = packet.getDouble(22);
double accelerationY = packet.getDouble(30);
double accelerationZ = packet.getDouble(38);
short teminationNumber = packet.getShort(46);

/* センサのインスタンスを取得する */
SunSPOT& sunSPOT = SunSPOT::getInstance(id);

/* センサデータを更新する */
sunSPOT.update(timestamp, illuminance, temperature,
    accelerationX, accelerationY, accelerationZ);
```

SunSPOT インスタンスを取得したとき，過去に受信したことのあるセンサから送られたデータだった場合，そのセンサのインスタンスを取得することができる．対照的にセンサデータが初めて受信するセンサから送信されたものだった場合，そのセンサの ID を元に新しくインスタンスを作成し，以後これを再利用する．これによりセンサの数量が動的に変わったとしても，柔軟に対応することができる．

### 5.6.2 画像内の移動物体と加速度センサの照合

前項で説明した移動物体検出処理によって得られた矩形情報とセンサが取得した加速度値を照合し，移動物体に取り付けられているセンサを特定する．照合処理は基本的に移動物体検出モジュールから矩形情報が渡された時刻とセンサデータのタイムスタンプを比較することによって行う．実際に実装したアルゴリズムを以下に示す．

移動物体と加速度センサの照合アルゴリズム

If moving objects $O$ detected
1. Set up list of sensors which acceleration changes
・For each sensor $s$
    If $s$'s accleration changes a lot of values
        Add $s$ to sensor list $L$

For each moving object $o$ in $O$
2. Collation
・Get current datetime $t$
・For each sensor $s$
    Figure difference $t$ and $s$'s timestamp
・Sort $L$ by $t$
・Get first sensor $target$ of $L$

3. Pick up candidate of $o$'sensor
・For each sensor $s'$ in $L$ getting off $target$
    If timestamp of $s'$ is approximately-same timstamp of $target$
        Add $s'$ to candidate list of sensor attached to $o$
        (candidate list may be empty in a lot of cases)

Finally, $target$ and candidate list are sensor of $o$

## 5.7 可視化モジュールの実装

前項で述べた物体認識モジュールで取得したセンサ ID を元に，実空間へセンサデータの投影を行う．センサデータは投影時の温度，照度，加速度をテキスト形式で表現して投影を行った．温度は摂氏の値，照度は SunSPOT が取得した生データを使用し，加速度については 3 軸加速度を 1 軸のスカラー値に変換して投影した．

### 5.7.1 センサデータの投影

ユーザが物体を 1 つ持ち上げた場合，持ち上げた物体に重ねるようにしてセンサデータを投影する．センサ ID を元にセンサが取得したリアルタイムのセンサデータを取得する．これを移動物体検出モジュールで取得した矩形の座標を元に投影する．投影の際には，座標のスムージングを行い，ユーザがセンサデータを閲覧しやすいように表示を行った．ヘッドマウントディスプレイに表示される投影結果を図 5.5 に示す．

### 5.7.2　複数のセンサデータの同時投影

ユーザが複数の物体を同時に持ち上げた場合，ユーザの視界に並べるようにセンサデータを投影する．また，センサデータを整列して投影することにより，投影されたデータがどちらの物体のものか区別が付きづらい．そこで，物体を持った状態でそのうちの１つを傾けたとき，揺らした物体のセンサデータをマークアップすることで物体同士の区別をつけられるように実装した．マークアップは揺らした物体のセンサデータを点滅させるという方法を取った．物体を２つ持ち上げ，その上で片方を傾けた時の投影結果を図 5.6 に示す．図の中で緑色の矩形で表示されているデータが傾けた物体のデータを示している．

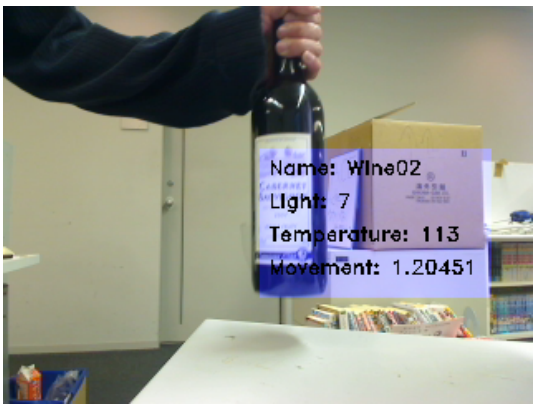


図 5.5　情報の投影結果

図 5.6　複数の物体を持ち上げた時の投影結果

## 5.8　本章のまとめ

本章では，「ORGA」を利用して物体認識を行う，センサデータ可視化システムの実装について説明した．本システムはユーザが持ち上げた物体に取り付けたセンサの情報を可視化する．ユーザはヘッドマウントディスプレイと USB カメラで構成されるヘッドセットを装着し，情報を閲覧したい物体を手にとるとセンサデータを見ることができる．ユーザデバイスが接続されている PC 内ではユーザアプリケーションが動作しており，このアプリケーション内で「ORGA」を利用して物体に取り付けたセンサの特定を行っている．

# 第 6 章

# 評価

本章では，5 章で説明したセンサデータ可視化システムを使用して行った実験と評価について説明し，それに対する考察を行う．

## 6.1 評価方針

本研究では，4，5 章で説明したシステムを用いて，「ORGA」の認識精度及び認識速度について定量的に評価する．また被験者にシステムを利用してもらった後，アンケートを記述させることで定性的なユーザビリティ評価を行う．評価項目は以下の４つである．

- システム利用時の認識精度評価
  この評価実験は ORGA が物体の情報を可視化する上で十分な認識精度が得られるか，また 3 章で述べた機能要件の内，物体の外見に依存せずに認識を行えるかについて評価することを目的とする．複数のユーザにヘッドセットを装着した状態で物体の情報を閲覧してもらい，その際の認識精度について評価を行う．

- 複数の物体の同時移動時における認識精度評価
  システムの使用環境内に複数のユーザが存在する場合，一度に複数の物体がユーザによって移動させられる可能性がある．そこで複数のユーザがシステムを利用し，複数の物体が同時に持ち上げられた際に，情報の可視化に十分な認識精度が得られるかを評価するために実験を行った．また，この際に機能要件に挙げた「物体の外見に依存しない物体認識」及び「リアルタイムな認識処理」を満たしているか評価する．本実験では同時に持ち上げる物体を増やしていった時の認識精度と処理速度の変化を計測する．

- 物体を持ち上げるインタラクションについてのユーザビリティ評価
  本実験では物体を持ち上げるインタラクションが情報閲覧時にユーザの負担となるか，またビジュアルマーカと比較して利用しやすいか，ユーザビリティの評価することを目的とする．また，物体を持ち上げるインタラクションによって，ユーザが自分が情報を閲覧したい物体を明示的に選択できるかどうかについても評価を行う．

- 物体を傾けるインタラクションに関するユーザビリティ評価
  物体を傾けることでユーザが必要としている情報を区別するインタラクションが「情報を閲覧したい物体を明示的に選択できる」という機能要件を満たしているか評価することを目的とする．物体を傾けたときに自分の持ち上げた物体の情報を区別しやすいかについてアンケート形式のユーザビリティ評価を行う．

本章では第 1 節，第 2 節でシステムを定量的に評価した方法と結果について，第 3 節，第 4 節で定性的に評価した方法と結果について説明する．

## 6.2 システム利用時の認識精度評価

まず，本研究の手法が AR 技術による物体に関する情報の可視化に十分な認識精度を得られるかどうか評価するため，本システムを実際に使用し，物体の情報を閲覧した時の認識精度と処理速度について評価を行っ

た．実験では，被験者にヘッドセットを装着してもらった状態で物体を持ち上げてもらった．また，被験者によってシステムの認識精度に差があるか調査するため，複数のユーザに対して実験した．実験は物体を１つずつ持ち上げる場合と２つ同時に持ち上げる場合の２種類で行った．

### 6.2.1 実験環境

本実験は 5 章で説明したデバイス構成と同様のシステムを使用した．実験に使用した物体はペットボトル飲料の容器にセンサノードを取り付けたものを用意し，被験者が情報を閲覧する物体として６つ使用した．この他に３つの物体のセンサを作動させた状態で実験を行った．このように 9 つの物体から計 6 つの物体の情報を閲覧できた時点で実験を終了し，物体を持ち上げるたびに認識精度を記録することで実験を行った．被験者にヘッドセットを装着してもらった状態で実験を行ったため，ユーザデバイスのカメラは自由視点で撮影を行っている．被験者は 20 代の男性 4 人と同年代の女性 1 人の計 5 人に協力してもらった．

このような実験環境において，物体の情報を閲覧するのに十分な認識精度を得られるかどうか，被験者ごとにシステムの物体認識精度を測定した．また，AR 技術で情報の可視化を行う上で，十分な処理速度が得られるかどうか調べるために，実験時のシステムの FPS を測定した．FPS の測定には OpenCV で提供されている cvGetTickCount 関数及び cvGetTickFrequency 関数を使用して，システム全体の FPS を算出することで行った．

### 6.2.2 実験手順

システムの概要について被験者に説明した上で，物体を 1 つずつ持ち上げた場合と 2 つ同時に持ち上げた場合で，それぞれ以下の手順で実験を進めた．

物体を１つずつ持ち上げる場合の実験手順

1．**物体を１つ持ち上げる場合の情報の投影のされ方を説明する．**
2．**被験者はヘッドセットを装着した状態で物体を１つずつ持ち上げる．**
3．**被験者が物体を持ち上げるたびに，認識結果を記録する．**
4．**被験者が 6 つの物体の情報を閲覧した時点で実験を終了する．**

物体を２つ持ち上げる場合の実験手順

1．**物体を２つ同時に持ち上げた場合の情報の投影のされ方，及び情報の区別を行う機構について説明する．**
2．**被験者はヘッドセットを装着した状態で物体を２つ持ち上げ，情報を閲覧する．**
3．**被験者が物体を持ち上げるたびに，認識結果を記録する．**
4．**被験者が 6 つの物体の情報を閲覧した時点で実験を終了する．**

物体を 1 つずつ持ち上げる実験では，まず物体を 1 つ持ち上げたときの情報の可視化方法と可視化される情報の内容について説明する．その後，被験者に物体を 1 つずつ持ち上げてもらい，物体を持ち上げる毎に物体の認識結果を記録する．手順 3 を複数回繰り返し，被験者が 6 つの物体の情報を閲覧した時点で実験を終了する．

物体を 2 つ同時に持ち上げる実験では，物体を 2 つ持ち上げた時の情報の可視化方法と，持ち上げた物体のうち一方を傾けることで情報の可視化方法が変化し，物体の情報を区別できることを説明する．その後，物体

を 1 つずつ持ち上げる実験と同様に，被験者に 2 つ同時に物体を持ち上げてもらい，物体を持ち上げるたびに認識結果を記録する．この手順 3 を繰り返し，合計 6 つの物体の情報を被験者が閲覧した時点で実験を終了する．

### 6.2.3 評価基準

本実験で評価する項目は，物体の認識精度とシステムの処理速度である．認識精度の基準は，「カメラの前で動かした物体のセンサデータのみを適切に特定して可視化することができた（Success)」，「カメラの前の物体のデータは可視化できたが他の物体の情報も可視化されてしまった（Failure-positive)」，「カメラの前の物体とは全く別の物体を認識してしまった，もしくはどの物体のセンサデータも可視化されなかった（Failure-negative)」の 3 つである．本研究ではユーザが手にとった物体に関する情報を閲覧できない場合をシステムの致命的な誤動作として捉えている．本研究では複数の物体の情報が可視化されたときに，ユーザが手に取った物体を傾けることで閲覧したい情報を区別することができる機構を取り入れている．そのため，システムが認識した物体の中にユーザが持ち上げた物体が含まれていれば，ユーザは自分の欲しい情報を選択でき，情報を閲覧する事ができる．したがって，本実験では評価基準のうち，「success」と「failure-positive」を適切に認識した，「failure-negative」を誤認識したとして評価する．

システムの処理速度は物体認識及び情報投影処理を含めたシステムの全体の処理について計測した．これはユーザが情報を閲覧する上で十分な処理速度を得られたどうかを評価するためである．そのため処理速度の計測はカメラが実空間の光景を撮影してから物体の情報を投影する処理が完了し，表示を行うまでにかかった時間の計測を行った．計測した速度は FPS として表現し，カメラの視野内に移動物体が無い状態と物体の認識処理を行っている状態を含め，実験中の処理を通して計測した．

### 6.2.4 実験結果

実験結果を表したグラフを図 6.1，図 6.2 に示す．図 6.1 は物体を 1 つずつ持ち上げる実験の結果を示しており，図 6.2 は 2 つ同時に持ち上げる実験の結果を示している．各グラフはそれぞれ被験者毎の「Success」，「Failure-positive」，「Failure-negative」が観測された割合を示している．

次に実験時の処理速度の結果を表 6.1 に示す．表 6.1 は各被験者の実験時に計測した FPS の平均値を表しており，それぞれ少数第 2 位で切り捨てた値である．FPS がヘッドセットのカメラの FPS の最大値である 30FPS を超えた値を示しているのは，カメラから画像を取得する処理に OpenCV が提供する関数を使用しているからである．OpenCV はカメラから非同期に画像を取得するため，システムの処理速度によってカメラの FPS を上回る値を計測する．このような理由で，システムの処理速度がカメラの FPS を上回って計測されている．

表 6.1　処理速度の平均値

| | FPS 最大値 | FPS 最小値 | FPS 平均値 |
|---|---|---|---|
| 1 つずつ持ち上げた場合 | 124.39 | 13.49 | 62.35 |
| 2 つ同時に持ち上げた場合 | 118.79 | 13.77 | 64.28 |

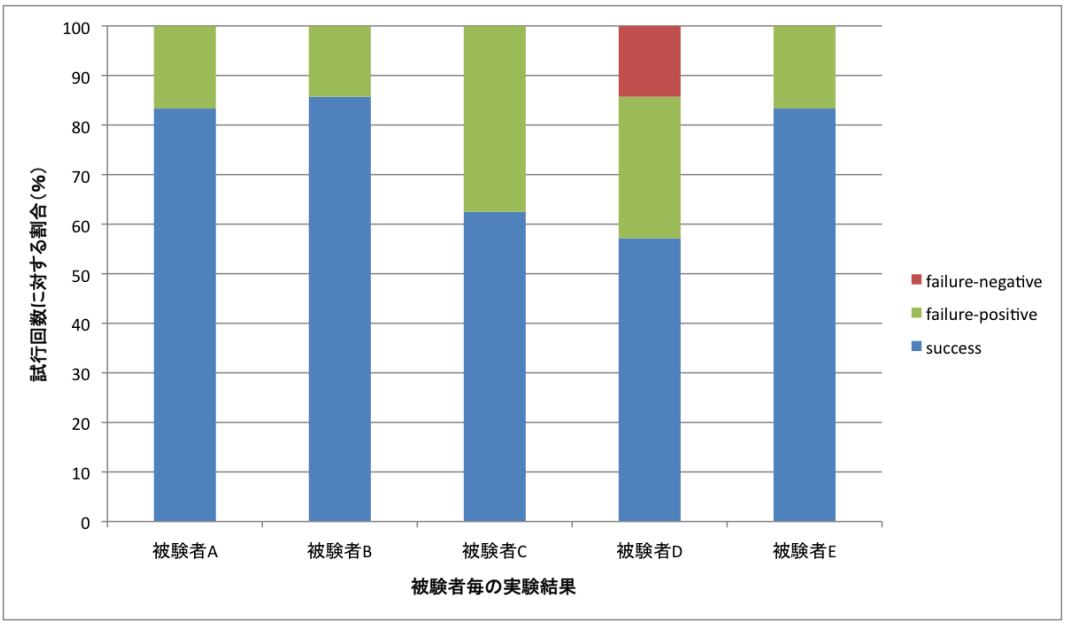


図 6.1　物体を 1 つずつ持ち上げた場合の認識率

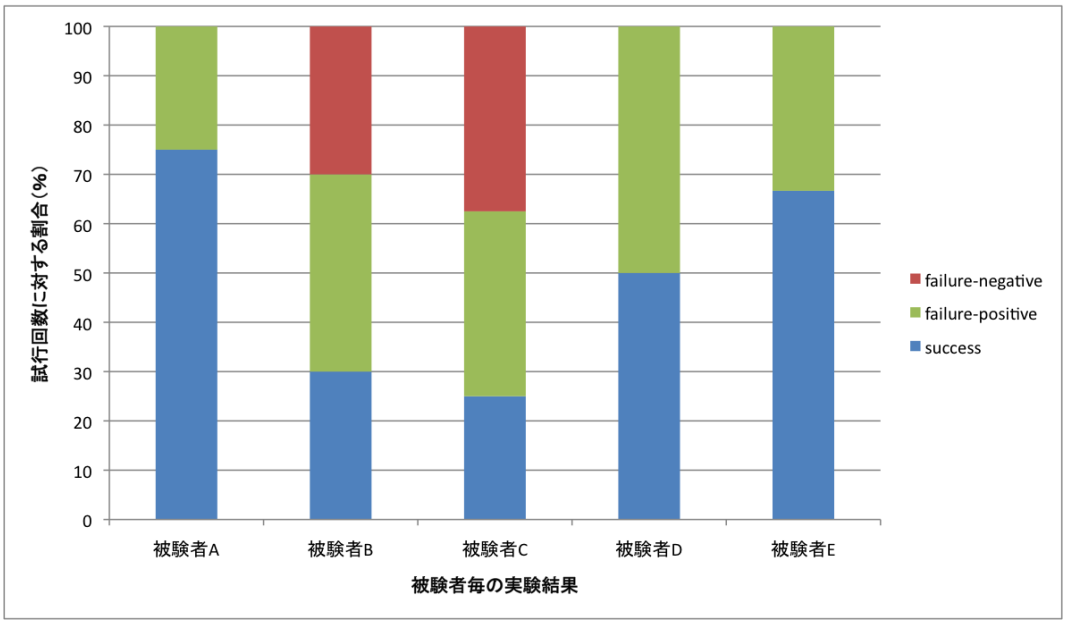


図 6.2　物体を 2 つ同時に持ち上げた時の認識率

### 6.2.5 考察

前節で示した実験結果から，それに対する考察を述べる．本研究では物体を傾けることでユーザが必要な情報を区別する事ができる機構を取り入れているため，ユーザが持ち上げた物体の情報が可視化されていれば，ユーザは必要な情報を閲覧することができる．したがって本実験では「Success」と「Failure-positive」をシステムが物体を正しく認識できたとして評価する．

**物体を 1 つずつ持ち上げた場合**

物体の認識精度について図 6.1 が示す様に，物体を 1 つずつ持ち上げた場合はほぼ全ての被験者が高い割合で情報を閲覧することができた．また，被験者 D の実験でうまく物体を認識できない事例があったのは，被験者 D が物体を持ち上げるときに加速度があまり変化しなかったためであると考えられる．また，物体を持ち上げた際にユーザが持ち上げた物体以外の情報が可視化された事例も多く見受けられる．これは加速度センサの値から物体が持ち上げられたと判定するアルゴリズムに簡易的な判定式を用いていたためであると考えられる．これにより被験者が物体を持ち上げる際に，ヘッドセットを装着している事によって距離間がつかめずに他の物体を動かしてしまうことや，物体を動かす際の机の振動を検知してしまうなど，センサが誤検知を起こしたため，ユーザが持ち上げた物体とは関係のない情報が表示された．しかし，本研究の手法では物体を傾けることによって持ち上げた物体の情報を区別する事ができるため，物体に関する情報の閲覧には十分な精度が得られたと言える．

このように，本研究の手法は物体を 1 つずつ持ち上げる場合には物体の情報を閲覧するために十分な精度を得ることができた．しかし，加速度センサの値から物体の移動を検知する際，システムが誤検知を起こすことも多く見られた．これに関しては物体がユーザによって持ち上げられたと検知するアルゴリズムを改善することで十分に対応でき，認識精度を高められると考えられる．

**物体を 2 つ同時に持ち上げた場合**

一方，2 つの物体を同時に持ち上げる実験では，被験者毎に認識率に差が表れた．物体を 1 つずつ持ち上げる実験よりも「Failure-postive」の割合が多くなった理由として，2 つの物体を同時に持ち上げるという行為がヘッドマウントディスプレイを装着した状態で行いづらいためであると考えられる．物体を持ち上げた際に，物体を載せている机を過剰に揺らしてしまったり，他の物体を動かしてしまうということが原因である可能性がある．

また，被験者 B と被験者 C の認識精度が他の被験者と比べて「Failure-negative」の割合が高かったのは，物体を持ち上げる速さが遅かったことが原因であると考えられる．これは被験者 B と被験者 C は持ち上げた物体と全く別の情報が可視化されるわけではなく，物体を持ち上げても情報が可視化されなかったからである．このような理由から加速度センサが取得した値から物体の移動を検知するアルゴリズムを改善する必要がある．ただし，本来移動していない物体を移動したとして検知した事例も見られるため，しきい値の設定を見直すだけでなく，物体の移動を評価する算出式を大きく変更する必要がある．例えば，センサの取り付け位置を物体ごとに画一的に定め，加速度の波形から物体が移動したか検出するという方法が考えられる．

このように物体を 2 つ同時に持ち上げる場合でも，1 つずつ持ち上げる場合と同様に，加速度センサの誤検知によって認識精度が低下した．そのため加速度センサの値から物体の移動をより正確に検知することで，認識精度をより向上する事ができる．今後，加速度センサが取得した情報から物体の移動を検出するアルゴリズ

ムを改善し，認識精度を向上させてゆく．

**処理速度に関する考察**

処理速度に関してはFPSの最大値と最小値に各実験とも大きな差があった．処理速度が大きく変動した理由として，画像解析処理によって抽出される移動特徴点が大量に抽出される場合とほとんど抽出されない場合とで速度に大きな差があったためであると考えられる．しかしながら，FPSが最小になった場合でもある程度の速度を確保することができたため，また処理速度に急激な緩急がつくことは見られなかったため，安定して情報を閲覧できたと考えられる．以上の理由から，情報の可視化及び情報の閲覧に十分な処理速度が得られたと言える．

## 6.3 複数の物体の同時移動時における認識精度評価

次に本システムを使用し，同時に複数の物体が移動した時の認識精度について定量的な評価を行った．これは本研究が想定する商店の売り場といった環境で複数のユーザが同時にシステムを利用する上で，十分な認識精度を確保することが出来るかどうかを評価するために行った．評価実験ではカメラの前にセンサを取り付けた物体を1つ置き，この物体を動かしてセンサデータの可視化を行う．この時カメラの視野外でカメラで撮影している物体を移動させるタイミングと同時に，複数の物体を移動させる．このように同時に複数の物体が移動したとしても，カメラで撮影している物体を正しく認識できるかどうかについて，その認識精度の評価を行った．また，一度に移動する物体が増えていった時，情報を投影するために十分な認識速度が得られるかどうかについて，システムの処理速度を評価した．

### 6.3.1 実験環境

実験に使用したデバイス構成は，前節の認識精度実験で使用したシステムと同じ構成で行った．ただしヘッドセットは固定し，カメラは定点で撮影しながら実験した．これはヘッドセットを装着し，カメラが自由視点で撮影を行うことによって認識精度が影響を受けることを排除するためである．実験に使用した物体は市販されているペットボトル飲料に5章で説明したセンサを取り付けたものを使用した．この物体をカメラの前に1つ置き，その他にカメラの視野外で移動させる物体として，カメラで撮影する物体と同じものを9個用意した．処理速度の測定にはOpenCVで提供されているcvGetTickCount関数及びcvGetTickFrequency関数を使用して，システム全体のFPSを算出することで測定した．

カメラの視野外で移動させる物体は箱の中に入れ，箱を持ち上げることで同時に移動させる．物体を移動させる被験者は，カメラで撮影する物体を持ち上げる人と視野外で物体を移動させる人の合わせた2人で通して行った．この被験者は2人とも情報工学を専門とする20代男性の大学生が担当した．

### 6.3.2 実験手順

本実験ではまず始めに，カメラの前に物体を1つ置き，カメラの視野外で移動させる物体を箱の中に配置して置く．そしてカメラで撮影している物体を動かす被験者の掛け声と共に，カメラで撮影している物体及びカメラの視野外にある物体を同時に動かす．動かした結果，システムが可視化したセンサデータを元に，カメラの前にある物体のセンサデータが適切に可視化されたかどうかを評価する．同時に動かす物体の個数は2個から10個まで1個刻みに行い，それぞれについて20回ずつ施行した．

### 6.3.3 評価基準

本実験の物体認識精度の評価基準は，前節と同様の「Success」,「Failure-positive」,「Failure-negative」の 3 つの基準で行う．また本研究では物体を傾けることでユーザが必要な情報と不要な情報を区別する事ができるため，ユーザが持ち上げた物体の情報が可視化されていれば，ユーザは必要な情報を閲覧する事ができる．そのため,「Success」と「Failure-positive」をシステムが適切に物体を認識したとして評価を行う．システムの処理速度の評価も前節の実験と同様に実験を通したシステムの FPS を計測し，最終的に FPS の最大値と最小値，平均値を動かした物体の個数ごとに評価した．

### 6.3.4 実験結果

認識精度の結果を図 6.3, 及び図 6.4 に示す．図 6.3 は認識精度の評価基準の「Success」,「Failure-positive」,「Failure-negative」の 3 項目について，横軸が同時に動かした物体の個数，縦軸が試行回数 20 回に対してそれぞれの評価基準で可視化が行われた回数をパーセントで表現した指数を示すグラフである．また，図 6.4 は「Success」と「Failure-positive」を合計したグラフと「Failure-negative」が確認された割合を示すグラフである．

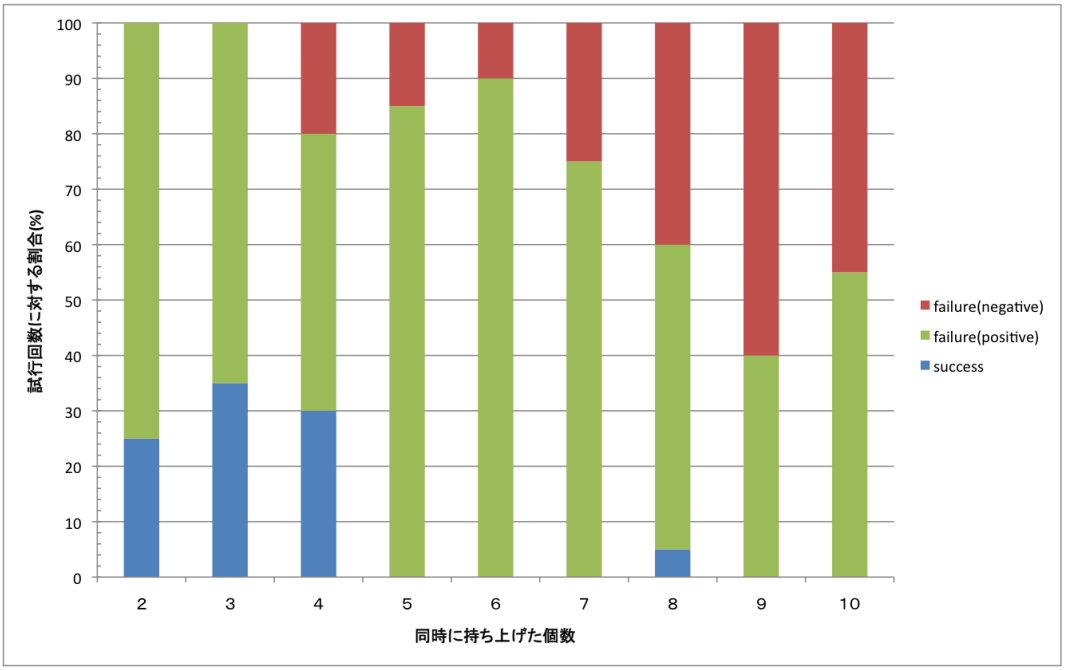


図 6.3　認識率の全評価基準に関する評価結果

次に表 6.2 はシステムの処理速度を FPS で表現し，その最大値と最小値，平均値を動かした物体の個数ごとにまとめた結果である．前節の実験と同様に OpenCV によってカメラから非同期に画像を取得しているため，カメラの FPS の上限を上回る値が計測されている．

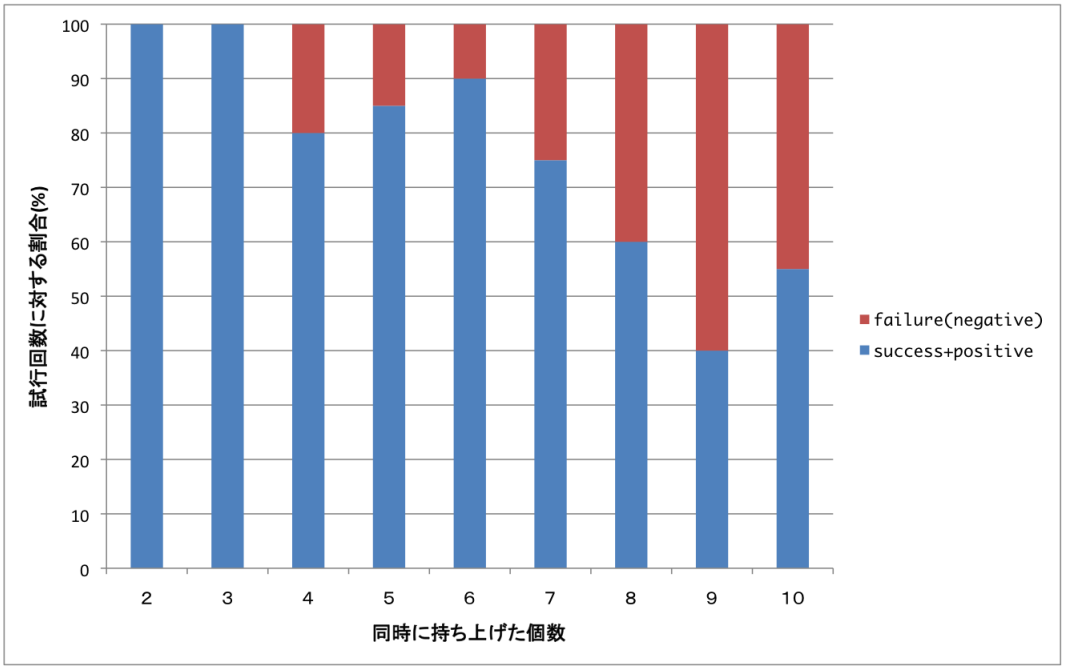


図 6.4　正常に認識した時と誤って認識した時とを対比した結果

表 6.2　システムの処理速度

| 動かした物体の個数 | FPS 最大値 | FPS 最小値 | FPS 平均値 |
|---|---|---|---|
| 2 個 | 103.31 | 14.72 | 54.23 |
| 3 個 | 93.08 | 15.24 | 51.60 |
| 4 個 | 97.42 | 15.04 | 58.99 |
| 5 個 | 93.19 | 14.99 | 53.77 |
| 6 個 | 95.20 | 14.99 | 54.34 |
| 7 個 | 93.49 | 15.06 | 56.04 |
| 8 個 | 96.03 | 14.70 | 57.77 |
| 9 個 | 94.03 | 15.19 | 60.60 |
| 10 個 | 100.75 | 15.04 | 61.15 |
| 平均値 | 96.28 | 15.00 | 56.50 |

### 6.3.5　考察

前項で記述した実験結果を元に認識精度と，物体認識処理及び情報投影処理を含めたシステムの処理速度について考察を行う．

**認識精度に関する考察**

同時に動かす物体の数が増加していった場合，認識精度は動かす物体が多いほど精度が下がっていった．ただし，同時に持ち上げられる物体が少数であった場合には比較的高い精度で物体を認識することができた．

図 6.4 のように「Success」と「Failure-postive」をシステムが適切に物体を認識できたと評価する場合，同時にシステムを使用する人数が比較的少ない，コンビニエンスストアや小売店のような狭い環境でシステムを使用する場合は本研究の手法は有用であると判断した．実験結果から同時に移動する物体が少数であれば高い精度で物体を認識することができるとわかる．また本研究では可視化された情報の中にユーザが持ち上げた物体の情報があれば，物体を傾けることによって，閲覧したい情報を区別するというインターフェイスを取り入れている．ユーザ数が少数であれば，同時に移動する物体の数量も限られると考えられるため，物体を傾けるインターフェイスを使用することで対応することができる．しかし，デパートや大型量販店などの広大な環境で使用する場合では，ユーザ数も増大するため，「Failure-negative」の割合が高くなってしまうと考えられる．そこで何らかの方法でシステムの誤認識をカバーするような機構を設けることが必要となる．

この観点から，大勢のユーザがシステムを使用する環境での利用に対応するため，ユーザごとに可視化する情報をフィルタリングする機構を設けることを考えている．例えば，物体に取り付けられているセンサやユーザデバイスの電波強度などの情報から物体とユーザの位置情報を取得し，ユーザの近くにある物体の情報を可視化するといった方法でフィルタリングすることが考えられる．また，加速度センサの値をより細かく解析し，ユーザによって持ち上げられた物体を加速度が変動した物体の中から抽出することで，不要な情報を誤って表示することを防ぐ方法も考えられる．本研究ではセンサが取得した加速度からユーザが持ち上げた物体を検出するために，固定のしきい値を加速度の大きさが上回った物体を持ち上げられた物体として認識している．このアルゴリズムを加速度値から物体がユーザによって持ち上げられているかどうか細かく解析するように改良することで，システムの誤認識を防ぐ．この方法により，例えば商店で使用する商品トレーサビリティ可視化システムでは，客が商品をレジに運ぶ，店員が品出しを行う時にセンサデータから客が商品を手に取ったと誤検知することを防ぐことができる．今後，これらの方法で可視化する情報をフィルタリングすることで認識精度を向上させ，ユーザにとって本来閲覧したい情報が可視化されない状態を防止する．

**処理速度に関する考察**

表 6.2 が示すように，同時に移動する物体が増えていったとしても処理速度に大きな変化は見られなかった．物体が増加しても FPS の平均値がほぼ横ばいであったため，さらに移動する物体が増えたとしても十分に対応出来ると考えられる．

また FPS の最大値と最小値に大きく差が見られた．これは前節の考察で説明した理由と同様に，画像解析処理の負荷の変動によるものであると考えられる．しかし，処理速度の最小値でも情報の可視化に十分な速度が確保されており，処理速度の急激な変化も殆ど見られなかったため，情報の閲覧の妨げになることはないと言える．

このような考察の元，本研究の手法は同時に移動する物体の数量が変化しても，安定した速度で物体認識を行うことが可能であると判断できる．

## 6.4 物体を持ち上げるインタラクションについてのユーザビリティ評価

「ORGA」を使用したセンサデータ可視化システムのユーザビリティを定性的に評価した．評価実験は SFC Open Research Forum 2009[17] で本研究のデモ発表を行った際に，デモブースの来場者を被験者として行った．被験者には実際に本システムを使用してもらい，その後アンケートに回答してもらった．アンケートは「物体を 1 つだけ持ち上げた場合」と「物体を 2 つ持ち上げた場合」についてそれぞれ閲覧時の負担や認識率の妥当性について，また両方の場合に共通してサービスを利用したいと思うか，情報の表示方法に不快感を抱いたかなどについて 5 段階で回答させるものを使用した．また，使用時の感想を自由に記述する形式で合わせて回答してもらった．

### 6.4.1 実験環境

実験時に使用したデバイス構成は，5 章で述べたヘッドセットとセンサノードを使用し，ユーザアプリケーションを動作させる PC のみ別の PC で実験を行った．ただし，使用した PC の CPU，主メモリ，OS は全く同じものを使用している．実験で認識させた物体は 3 つで，物体は同じパッケージのワインボトルを使用した．ワインボトル 1 つにつきセンサノードを 1 個ずつ取り付けた．

被験者は会場に訪れた人から無作為に選んだ．被験者の年齢層と性別の分布を表 6.3，6.4 に示す．

表 6.3　被験者の年齢層

| 10 代 | 20 代 | 30 代 | 40 代 | 未回答 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 人 | 30 人 | 3 人 | 1 人 | 9 人 | 54 人 |

表 6.4　被験者の性別

| 男性 | 女性 | 未回答 | 合計 |
|---|---|---|---|
| 31 人 | 14 人 | 9 人 | 54 人 |

### 6.4.2 実験手順

本実験の手順を以下に示し，それについての詳細を説明する．

実験手順

1．**システムの概要について被験者に説明する．**
2．**被験者にビジュアルマーカを用いた可視化システムを説明し，実際に動作させる．**
2．**被験者の前で本システムを利用する．**
3．**被験者に本システムを利用してもらう．**
4．**被験者にアンケートを回答してもらう．**

まず，手順 1 では本研究の概要とシステムの利用方法について説明した．また，ワインボトルを持ち上げたときにどのような情報が閲覧できるか説明した．手順 2 でビジュアルマーカを用いる物体認識手法を利用して

センサデータの投影をするシステムを被験者の前で使用する．手順 3 では，被験者の前で本システムを利用し，どのように情報が投影されるか説明した．この時，ワインボトルを 1 本持ち上げたときと 2 本同時に持ち上げた時とで投影方法が異なることも説明した．その後，手順 4 で被験者に本システムを利用してもらった．被験者にはまずワインボトルを 1 本持ち上げてもらい，センサデータを閲覧してもらった．その後，2 本同時に持ち上げてもらい，その上で片方のボトルを傾けて可視化されたセンサデータがどちらのボトルのものか確認させた．最後に手順 5 でアンケートを回答してもらった．

### 6.4.3 アンケート項目

被験者に記入してもらったアンケートの設問項目を以下に示し，設問の意図について説明する．

物体を 1 つだけ持ち上げた場合について

1．**情報を見るために物体を持ち上げることに対する負担は少なかったですか．**
2．**１で負担を感じた方は理由を記入してください．**
3．**あなたの意図したとおりに物体を認識しましたか．**
4．**ビジュアルマーカを使用したシステムとどちらが利用しやすいと感じますか．**

物体を 2 つ持ち上げた場合について

5．**情報を見るために物体を持ち上げることに対する負担は少なかったですか．**
6．**５で負担を感じた方は理由を記入してください．**
7．**あなたの意図したとおりに物体を認識しましたか．**
8．**ビジュアルマーカを使用したシステムとどちらが利用しやすいと感じますか．**
9．**表示される情報を物体毎に区別することができましたか．**

両方の場合について

10．**実際にサービスが提供されているときに使いたいと思いますか．**
11．**情報の表示の仕方は適切であると思いますか．**
12．**情報が表示されるタイミングは適切だと感じましたか．**
13．**感想を自由にご記入ください．**

各設問は設問 2，6，13 を除いて 5 段階で回答する形式をとった．

各設問の意図を説明する．設問 1，5 は物体を手に取るというインタラクションの妥当性を評価するために行う．設問 2，6 で物体を持ち上げる動作がユーザにとって負担となる要因を調べる．設問 3，7 では認識率の評価を行う．設問 4，8 ではビジュアルマーカを用いた従来のシステムと比較したときの有用性について評価した．設問 9 では物体を複数持ち上げたときに，さらに片方の物体を傾けることで物体同士を区別するという手法が要件を満たしているか評価する．設問 10 では「ORGA」の有用性を調べ，設問 11 は物体を持ち上げたとき，物体に重なるように情報がされる，視界に情報が整列するといった投影方法が適切であるかどうか評価する．設問 12 では.「ORGA」及び本システムの実行速度が情報を快適に閲覧するのに十分であったか評価する．最後に設問 13 で本研究の手法やそれを使用したシステムについての意見を自由に述べてもらった．

### 6.4.4 実験結果

本実験における評価結果を以下の表に示す. 始めに物体を 1 つ持ち上げた場合の評価項目を示し，次いで物体を 2 つ持ち上げた場合についてに評価項目，最後に両方の場合に共通した評価項目について示す.

**物体を 1 つだけ持ち上げた場合**

各設問の結果を表 6.5 に示す．表は各設問ごとに 1〜5 の評価をつけた被験者の人数と評価結果を数値化した平均値を 5 点満点で示している．数値化した評価結果の平均値は小数点第三位以下を切り捨てている.

表 6.5　物体を 1 つだけ持ち上げた場合の回答結果

| 設問 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均値 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 設問 1「情報を見るために物体を持ち上げることに対する負担は少なかったですか」 | 1 | 5 | 12 | 14 | 22 | 3.95 |
| 設問 3「あなたの意図したとおりに物体を認識しましたか」 | 0 | 3 | 6 | 20 | 25 | 4.24 |
| 設問 4「ビジュアルマーカを使用したシステムとどちらが利用しやすいと感じますか」 | 1 | 1 | 10 | 19 | 23 | 3.98 |

**物体を 2 つ持ち上げた場合**

各設問の結果を表 6.6 に示す．表は各設問ごとに 1〜5 の評価をつけた被験者の人数と評価結果を数値化した平均値を 5 点満点で示している．数値化した評価結果の平均値は小数点第三位以下を切り捨てている．なお被験者 54 人のうち 4 人が未回答であったため，回答者は 50 人である.

表 6.6　物体を 2 つ持ち上げた場合の回答結果

| 設問 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均値 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 設問 5「情報を見るために物体を持ち上げることに対する負担は少なかったですか」 | 6 | 10 | 12 | 11 | 11 | 3.22 |
| 設問 7「あなたの意図したとおりに物体を認識しましたか」 | 2 | 3 | 8 | 17 | 20 | 3.88 |
| 設問 8「ビジュアルマーカを使用したシステムとどちらが利用しやすいと感じますか」 | 1 | 4 | 10 | 12 | 23 | 4.04 |
| 設問 9「表示される情報を物体ごとに区別することができましたか」 | 1 | 3 | 9 | 14 | 23 | 4.1 |

**両方の場合に共通する項目**

各設問の結果を表 6.8 に示す．表は他の設問と同様に被験者の人数と評価結果を数値化した平均値を 5 点満点で示している．数値化した評価結果の平均値は小数点第三位以下を切り捨てている.

表 6.7　両方の場合に共通する設問の回答結果

| 設問 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均値 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 設問 10「実際にサービスが提供されているときに使いたいと思いますか」 | 1 | 1 | 8 | 26 | 17 | 4.0 |
| 設問 11「情報の表示の仕方は適切であると感じましたか」 | 0 | 3 | 9 | 22 | 20 | 4.16 |
| 設問 12「情報が表示されるタイミングは適切だと感じましたか」 | 0 | 3 | 7 | 19 | 25 | 4.22 |

**物体を持ち上げることが負担となる要因**

物体を持ち上げることが負担になる要因について設問 2，6 の回答結果を抜粋して以下に示す．

負担となる要因

- **重い（20 代男性）**
- **2 つ持ち上げるとかなり重たい（20 代男性）**
- **重かった（10 代女性）**
- **手が腱鞘炎なので辛かった（20 代男性）**
- **２つ情報を表示すると画面いっぱいになって，ワインが見えづらくなった（20 代男性）**
- **（２つ物体を持ったときに）両手がふさがる（10 代女性）**
- **ヘッドマウントディスプレイで視野が狭かった（20 代男性）**
- **ヘッドマウントディスプレイを掛けると距離を取るのが難しい（20 代女性）**
- **3 つ以上の物体や動かすことができない物体の情報を見ることができない（10 代男性）**

**自由記述形式の設問の結果**

次に本システムを使用した時の意見を自由に記述してもらった結果を抜粋して以下に示す．

本システムに関する意見

**物体を持ち上げるインタラクションについて**
**・より小さな動きで認識できると良い（20 代男性）**
**・ヘッドマウントディスプレイが多少負担になる（10 代男性）**
**・自然な動きが情報の取得につながるのが良い（年代性別未回答）**

**情報の表示方法について**
**・ワインのボトルに書きこめる情報量の制約が無くなることが素晴らしかった．**
**表示される情報を選択できるようにできると良い．（20 代男性）**
**・表示する情報量が多くなったときに見づらくなると思う（10 代男性）**

**サービスの利用に関して**
**・コンビニで飲み物などのカロリーを比較するときに，このシステムが有ると楽になる（10 代女性）**
**・リサイクルショップなどでサービスが提供されていると便利（20 代女性）**
**・サービスを実現できたら便利（10 代女性）**

**システムの運用コストに関して**
**・システムの運用コストが高い（40 代男性）**
**・加速度センサを小型化したときのコストが心配です（10 代男性）**

### 6.4.5 考察

実験の結果から考察を行う．

**5 段階で回答する設問に対する考察**

まず物体を持ち上げて情報を閲覧することに被験者が負担を感じているかとどうかについて，物体を 1 つ持ち上げる場合と 2 つ持ち上げる場合とで評価結果に明確な差があった．物体を 2 つ持ち上げる場合に，物体の情報を閲覧するために物体を持ち上げる負担が大きいと感じる被験者が多く存在した．これは本実験でワインボトルを使用して情報の可視化を行ったため，重い物体を 2 本同時に持ち上げることになったためであると考えられる．その他の要因としてセンサデータが視界の大部分を占有してしまうこと，ヘッドマウントディスプレイを掛けることで距離が取りづらいことが挙げられる．しかし，過半数の被験者が負担が少ない，もしくは比較的少ないと答えている．このことから，比較的軽い物体の情報を可視化する場合には有効な手法であり，ユーザデバイスに携帯端末を用いることや表示するデザインを改良することによりユーザの負担を軽減できると考えられる．

また既存のビジュアルマーカを用いる手法と「ORGA」のどちらが利用しやすいかという設問に対する評価結果は物体を 1 つ持ち上げる場合と 2 つ持ち上げる場合とで高い評価を得ることができた．しかし，中にはビジュアルマーカを用いる手法の方が物体を見るだけで情報が可視化されるので良いと答えた被験者もいた．確かにビジュアルマーカを用いる手法と「ORGA」を比較した場合，量販店の倉庫など景観に配慮しなくても問題のない環境でシステムを使用する場合や，物体の情報を一覧したい場合など，また認識したい物体が大きい

場合や重い場合においては，ビジュアルマーカを用いる手法の方が有用であると言える．しかし，本実験の結果では「ORGA」の方を利用したいと答える被験者も多く見られた．

これらの理由から実際に「ORGA」を使用する場合，認識手法をビジュアルマーカを用いる手法と「ORGA」とでシームレスに切り替え，利用したいサービスやサービスが提供されている環境に応じて認識手法を変えながら利用するという方法が考えられる．例えば，ユーザが物体の情報を一覧したい場合や，物体にビジュアルマーカが取り付けられている環境ではビジュアルマーカを用いる手法を使用する．一方で，本研究が想定する様な環境で情報を閲覧する場合には「ORGA」に認識手法を切り替えてサービスを利用する．このように状況に応じてビジュアルマーカによる手法と「ORGA」を使い分けてサービスの提供が行われる可能性が高い．今後，認識手法を切り替える機構や切り替えを行うインターフェイスについて検討していく．

**自由記述された意見に対する考察**

自由形式で記述させた意見は大きく以下の 4 つに分類できた．

1. 物体を持ち上げるインタラクションに関する意見
2. 情報の表示方法に関する意見
3. サービスに関する意見
4. 運用コストに関する意見

まず，1. の物体を持ち上げるインタラクションに関する意見では，「物体が重いときに負担がかかる」，「持ち上げるのが面倒」という意見の他に，「一度に 3 つ以上の物体の情報を見ることができない」といった意見を得た．しかし「持ち上げるだけで情報が見れるのは便利」といった意見も多かった．このことから，前述したように比較的軽い物体の情報を可視化する際には有効であると言える．また，持ち上げることができない物体や大量の情報を一覧するというような場合は，前述した通りマーカを用いる手法をハイブリッドに取り入れることや，より少ない動きで認識出来るように改良するなどの対応策を検討する．

2. の情報の表示方法に関する意見としては「ワインのラベルに印刷仕切れない情報でも可視化することができる」というような意見も見られたが，「情報量が多くなったときに見づらい」，「表示の仕方を選択できるようにしてほしい」などの意見もあった．これついては情報の表示方法を改良し，ユーザが表示の仕方を選択する事ができるようにするといった機能を設けることで改善することを考えている．

3. のサービスに関する意見では本システムが可視化したセンサデータの他，食品の栄養素や商品の販促情報などを可視化すると便利であるというような意見を多く得られた．これは「ORGA」を幅広く利用することができ，それに対するユーザのニーズも多いということが考えられる．

4. の運用コストに関する意見では，「センサを物体に配置するとコストパフォーマンスが低い」という意見が大半を占めた．これに関しては，高級ワインや電子機器など比較的高価な商品から優先してシステムの利用環境が整っていくと考えられる．また実際のサービス利用時には，現在商品につけられている防犯タグのように，商品購入時にレジでセンサが回収され，何度も使いまわすというような利用方法にすることで，運用コストを抑えることができると考えている．

## 6.5 物体を傾けるインタラクションに関する定性評価

本研究では複数の物体の情報が同時に可視化された際に，ユーザが持ち上げた物体の情報を区別しづらいことを考慮して，物体を傾けることでユーザが持ち上げた物体の情報を区別するインタラクションを取り入れて

いる．本実験では，このインタラクションの妥当性についてアンケートを用いて評価を行った．実験の方法として被験者にシステムを使用してもらい，複数の情報が可視化されている状態で持ち上げた物体を傾け，持っている物体の情報を区別してもらう．その後，このインタラクションに関するアンケートに回答してもらうことで実験を行った．

### 6.5.1 実験環境

実験時に使用したデバイスは，他の実験で使用したシステムと同じ物を使用した．認識する物体はペットボトルにセンサノードを取り付けたものを複数使用した．被験者は 20 代の男性 4 人，20 代の女性 1 人，50 代の男性 1 人，40 代の女性 1 人の計 7 人である．

### 6.5.2 実験手順

本実験の手順を以下に示す．

実験手順

1．**本実験の目的と物体を傾けるインタラクションについて被験者に説明する．**
2．**被験者の前でシステムを利用し，情報の区別の仕方を説明する．**
3．**被験者にシステムを利用してもらう．**
4．**物体を傾けるインタラクションに関するアンケートに回答してもらう．**

まず手順 1 で物体を傾けるインタラクションがどんな状況の時に使われるか，物体を傾けることによってユーザはどのように情報の区別を行うことができるかを説明する．次に手順 2 でシステムを使用しながら，物体を傾けた時の情報の提示方法の変化について説明する．この上で，実際に被験者にシステムを使用してもらい，物体を傾けるインタラクションで物体を区別してもらう．最後に手順 4 でこのインタラクションについてのアンケートに回答してもらう．アンケートは 5 段階の採点方式と自由記述形式の設問が用意されている．なお，自由記述形式の設問で十分な量の評価が得られなかった被験者に関しては個別にヒアリングを行った．

### 6.5.3 アンケート項目

実験で使用したアンケートの設問を以下で示し，それぞれについて設問の意図を説明する．

アンケート項目

1．**物体を区別する時に物体を傾けることに対しての負担は少なかったですか．**
2．1．**で負担を感じた方は理由を記入してください．**
3．**物体を傾けることで物体同士の区別はしやすかったですか**．
4．3．**でしにくかったと感じた方は理由を記入してください．**
5．**物体を区別するために物体を傾けるというインタラクションは適切だと思いましたか．**
6．5．**で適切でないと感じた方は理由を記入してください．**
7．**感想を自由に記述してください．**

設問 1，3，5 は 5 段階の採点方式で回答し，設問 2，4，6，7 は自由記述形式で回答する設問である．

設問 1，2 では物体を傾けて情報を区別するインタラクションがユーザの負担になるかどうか，またその理

由について評価を行う．また設問 3，4 では物体を傾けることで情報の区別がしやすかったかどうか，設問 5，6 ではこのインタラクションの妥当性について評価を行う．最後に設問 7 で物体を傾けるインタラクションについて自由な意見を述べてもらった．

### 6.5.4 実験結果

5 段階の採点形式で回答する設問 1，3，5 の実験結果を表に示す．表の各質問の平均値に関しては少数第 2 位で値を切り捨てている．

表 6.8 両方の場合に共通する設問の回答結果

| 設問 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均値 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 設問 1「物体を区別する時に物体を傾けることに対しての負担は少なかったですか」 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4.14 |
| 設問 3「物体を傾けることで物体同士の区別はしやすかったですか」 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2.71 |
| 設問 5「物体を区別するために物体を傾けるというインタラクションは適切だと思いましたか」 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 2.71 |

次に自由記述形式の設問である設問 2，4，6，7 で得られた回答を抜粋して以下に示す．設問 7 で得られた回答は他の設問の内容に関連していたため，それぞれに分類した．

自由記述形式の設問で得られた回答

**物体を傾けるインタラクションの負担について**

**・物体を 1 つ持っている時は傾けやすいが，両手に物を持っている時は難しい．（20 代男性）**

**・両手にものを持っている時，もう片方を傾けずに保たないといけない．（20 代男性）**

**情報の区別のしやすさについて**

**・ペットボトルを傾けると表示の仕方が変化したのでわかりやすかった（20 代男性）**

**・応答性が悪い（50 代男性）**

**・2 つペットボトルを持っているときは，ペットボトルを傾けにくいのもあって，うまく区別できませんでした（40 代女性）**

**インタラクションの妥当性について**

**・ペットボトルを 1 つ持っている時にその情報を選ぶために，物体を傾けるのはいいと思う．（20 代男性）**

**・コンビニの中で買うかわからない物を手に取って且つ傾けることはあまりしないと思う．（20 代女性）**

**・2 つ物を持ったときは，傾けなくても区別できればいい．（50 代男性）**

### 6.5.5 考察

まず設問 1 に関して評価結果の平均値は 4.14 と高い評価を得られた．しかし，物体を傾けることに負担を感じたと答えた被験者も存在している．これに関しては，2 つ物体を持ち上げている状態で物体を傾けることに負担を感じるという意見が多かった．本研究では，物体を傾けて情報を区別するインタラクションの用途として，複数のユーザが存在する環境でユーザが物体を持ち上げた際に，別のユーザが持ち上げた物体の情報も合わせて可視化された場合と，ユーザが両手に 1 つずつ物体を持ち上げた場合に可視化された情報からユーザにとって必要な情報を区別するために使用する．実験の結果，後者の用途で物体を傾ける場合負担を感じると回答した被験者が多かった．

情報の区別のしやすさについて評価を行う設問 3 では 2.17 と低い評価になった．「物体を傾けることで必要な情報を見つけられるのはいい」というような意見も得られたが，設問 1 と同様に 2 つ物体を持ち上げた状態では区別しにくいという意見が多かった．

設問 5 のインタラクションの妥当性について評価する設問 5 でも数値化した評価の平均が 2.17 と低かった．これに関して寄せられた意見は，他の設問の意見と同様に 2 つ物体を持ち上げている場合は妥当ではないという意見が多かった．

このような結果から，ユーザが物体を持ち上げたときに不要な情報からユーザが必要とする情報を区別するという用途において，物体を傾けることで区別するという方法は有用であると言える．これは前節のユーザビリティ評価でも高い評価を得られていることからも有用であると考えられる．しかし，物体を 2 つ持ち上げたときにそれぞれを区別するという用途での使用は高い評価が得られなかった．そのため，カメラの視野内で物体が複数持ち上げられた場合は，それぞれを結びつけて認識するように手法を改善する必要がある．これに関して，加速度センサの値と画像処理の結果を現在の時間的な照合の他，物体の 3 次元的な移動情報といった情報も活用して認識することが考えられる．この照合方法を実現するためには，画像解析で抽出した特徴点を擬似的な 3 次元空間にマッピングした上で物体の 3 次元的な移動情報を算出し，センサが取得した加速度と照合するという，より計算負荷の高い認識手法を取り入れることも視野にいれなくてはならない．今後，認識精度と計算負荷のバランスを考慮しながら認識精度を向上していく．

## 6.6 本章のまとめ

本章では 5 章で説明したシステムを使用して実験を行い，その評価結果について示した．その上で，結果についての考察を行った．実験結果，情報の閲覧に十分な物体認識精度及び処理速度を得ることができ，またユーザビリティ評価では多くの被験者から本研究に賛同する意見を得ることができた．また，その他に可視化方法や運用コストなどについて改善すべき点を見つけることができた．しかし，物体が同時に複数移動した場合など認識精度について改善すべき箇所があるため，継続して手法の精度を向上させて行くことを考えている．

# 第 7 章

# 結論

本章では，本研究の総括として，本研究の今後課題と展望についてまとめ，その上で本論文の結論を述べる．

## 7.1 今後の課題と展望

本論文では，本研究が目的とする AR 技術におけるマーカレスな物体認識を実現することができ，評価結果も本研究が目標したことを十分に満たしている結果を得ることができた．このような成果の上で，本研究の今後の課題及び展望として以下 3 つを挙げることができる．

1. 物体認識精度の向上
2. ビジュアルマーカとのハイブリッドな物体認識の実現
3. インターフェースの整備

第一に挙げられるのは，「ORGA」の認識精度の向上であり，今後の最重要課題である．本論文で提案した手法を基礎として，物体が大量に存在する環境で，同時に多くのユーザが利用したとしても，物体を適切に認識することができるように手法を改善する．本研究では認識時の計算負荷を考慮し，物体が動いた時間に着目して物体の認識を試みた．これについて認識精度を評価した結果，実際にサービスを提供する際に用いるためにはさらに精度を向上させる必要があることがわかった．認識精度を向上させるために，物体の認識に物体が移動した方向や大きさなどの情報を合わせて使用することや，物体とユーザの位置情報を取得し，その情報を元に可視化する情報をフィルタリングすることを考えている．

次にビジュアルマーカによる認識手法と「ORGA」を状況に応じて切り替え，システムの利用状況の変化に柔軟に対応する機構を設ける事が挙げられる．「ORGA」では物体を持ち上げる動きを利用して物体認識を行う．そのため，持ち上げることが難しい家具や大きな電子機器を認識する場合や物体を眺めるだけで情報を閲覧したい場合には適していないと言える．そこで，アプリケーションの用途やユーザがいる環境に応じてビジュアルマーカを用いる認識手法と「ORGA」を切り替えながらサービスを利用できる機構を設けることを考えている．これにより，コンビニエンスストアの売り場ような環境では「ORGA」を使用して物体を認識してサービスを利用し，物体にマーカが取り付けられている環境ではマーカを使用した物体認識を行うといったことが可能になると考えられる．

最後に，インターフェースの整備も課題として挙げられる．今回実装したシステムは「ORGA」の有用性を示すため，ユーザインターフェースを設けずに最低限の実装を行った．そのため，ユーザが特定の情報だけ閲覧できるように設定することや情報の可視化方法を選択するといったことができない．今後，情報の閲覧を妨げずにアプリケーションに働きかけることのできるインターフェースを実現する．

## 7.2 本研究のまとめ

AR 技術を用いて実空間の物体に関する情報を提供するシステムでは，ビジュアルマーカを用いて物体を認識する手法が多く用いられている．ビジュアルマーカを用いる手法では，コンビニエンスストアの店内といった，実空間の景観に配慮すべき環境での利用には適していない．また，認識したい物体が大量に存在する場合，物体の数だけ異なるマーカを用意しなければならないことや，ユーザがマーカの撮影方法について意識しなくてはならないといった問題も挙げられる．

そこで，画像解析と加速度センサを利用し，ユーザが物体を手に取る動きを利用して物体認識を行う手法「ORGA」を作成した．本研究では「ORGA」の提案，及び「ORGA」を使用したセンサデータ可視化システムの実装を行った．「ORGA」ではまず画像解析によってユーザが持ち上げた物体を検出する．また認識した

い物体に加速度センサを取り付け，物体の動きをセンシングしている．そして，画像から得た移動物体の動きとセンサで取得した物体の動きを照合し，物体に取り付けられたセンサを特定する．センサの特定は物体の数量が多い環境での利用を想定し，物体が移動を開始した時間に加速度が大きく変動したセンサを検索することで行い，計算負荷を低減した．情報を可視化する際には加速度センサの ID に関連付けられた情報をデータベースから取得し，画像に合成することで実空間への情報の投影を実現する．

「ORGA」を用いて実装したセンサデータ可視化システムを使用し，認識精度，認識速度，ユーザビリティを評価したところ，認識精度と認識速度は共に情報の投影及び閲覧に十分な結果を得ることができた．またユーザビリティ評価では多くの被験者が「ORGA」を用いたサービスを実際に利用したいと回答し，また意図したとおりに認識できたという回答も多く得ることができた．しかし，情報を閲覧したい物体が重い場合や，複数の物体を同時に持ち上げる場合，物体を持ち上げることが負担であるという回答が得られた．

# 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應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士に深く感謝致します．また，慶應義塾大学徳田研究室の諸先輩方には折に触れ貴重なご助言を頂き，また多くの議論の時間を割いて頂きました．特に政策メディア研究科修士課程小川正幹氏，今枝卓也氏には，本論文の執筆にあたってご指導を頂きました．また政策メディア研究科講師中澤仁博士には本研究を進めるにあたって多くの励ましとご指導を頂きました．ここに深い感謝の意を表します．最後に，研究生活を経済的にだけでなく，精神的にも支えてくれた家族，研究の日々を家族同然に同じ時間を共に過ごした慶應義塾大学総合政策学部 4 年天野雅哉氏，慶應義塾大学環境情報学部 4 年米川賢治氏，モヒカンの頃が懐かしい井村和博氏，日本，研究の日々を共に過ごした ACE 研究グループの勝治宏基氏，その他多くの友人に深く感謝し，謝辞と致します．

2010 年 2 月 11 日

唐津豊

# 参考文献


[1] Feng Zhao Nath S, Jie Liu. *SensorMap for Wide-Area Sensor Webs*. IEEE Computer Society Press, July 2007. Volume 40, Issue 7.

[2] Ito M Katagiri Y Ishikawa M Tokuda H. Airy Notes: An Experiment of Microclimate Monitoring in Shinjuku Gyoen Garden. In *INSS*, 2007.

[3] 今枝卓也, 高汐一紀, 徳田英幸. uMegane：AR 技術を用いたセンサ情報可視化システム. In *USN2008-17*, pp. 39–44, 2008.

[4] Malone G Kemp J Goldsmith D, Liarokapis F. Augmented Reality Environmental Monitoring Using Wireless Sensor Networks. In *Information Visualisation*, 2008.

[5] 中里祐介. ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定手法. PhD thesis, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, 2008.

[6] David Murray Georg Klein. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. In *ISBN:978-1-4244-1749-0*, 2007.

[7] Strieker D Bleser G, Wuest H. Online camera pose estimation in partially known and dynamic scenes. In *Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2006, IEEE/ACM International Symposium on, p56-65*, 2006.

[8] Inc. Koozyt. ポスターアンプ. `http://blog.koozyt.com/?p=1124`.

[9] 西田健志, 大和田茂. 萌え木: 拡張現実による植物育成支援. WISS 第 14 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 23–26, 2006.

[10] Shaogang Gong Jamie Sherrah. Skin colour analysis. `http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/GONG1/cvOnline-skinColourAnalysis.html`.

[11] OpenCV. `http://opencv.jp/`.

[12] OpenMP. `http://openmp.org/`.

[13] POSIX Threads for Win32. `http://sourceware.org/pthreads-win32/`.

[14] Sun Microsystems. SunSPOT. `http://jp.sun.com/products/software/sunspot/`.

[15] Tinne Tuytelaars Luc Van Gool Herbert Bay, Andreas Ess. SURF: Speeded Up Robust Features. In *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110, pp. 346–359, 2008.

[16] 井村誠孝. ラベリングクラス. `http://oshiro.bpe.es.osaka-u.ac.jp/people/staff/imura/products/labeling`.

[17] SFC Open Research Forum 2009. `http://orf.sfc.keio.ac.jp/`.