修士論文 2010 年度 (平成 22 年度)

全方位カメラを用いた情報家電機器発見及び制御機構

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 小川 正幹

修士論文要旨 2010 年度 (平成 22 年度)

全方位カメラを用いた情報家電機器発見及び制御機構

近年、ユビキタスコンピューティング環境の発展に伴い、ネットワーク越しに制御可能な情報家 電機器が日常の生活空間で増加しつつある。具体的には、テレビ、エアコン、照明機器等の機器が 挙げられる。ユーザはそれらの機器を携帯端末を用いてネットワーク越しに制御できる。これによ り、ユーザは情報家電機器が存在している場所へ行かなくても、遠隔からそれらの機器を操作でき る。また、リモコン等の複数の操作インターフェースを持たなくても、情報家電機器を検索し利用 できるサービスが、研究レベルでの提案から製品化まで含めて登場している。

しかし、これらの情報家電機器を利用する際、情報家電機器の設置から利用、維持に至るまでユーザは複雑な手順を踏む必要がある。まずユーザは、情報家電機器を設置する際に情報家電機器のネットワーク設定等の専門的な知識を要する手順を踏む必要がある。次に、それらの情報家電機器器を発見し利用する際、ネットワーク上でそれらの機器を検索する必要がある。検索する際、ユーザは情報家電機器が室内のどこに存在しているかを知る事は出来ない。従って同じような機器が複数あった場合、利用したい情報家電機器がどこにあるのかを特定する必要がある。さらに、新たな情報家電機器が追加されたり、元々あった情報家電機器が移動、除去された場合等、ユーザはそれらの情報家電機器の情報を再設定する必要がある。これらの必要とされる手順は、ユーザに専門的な知識を要し、情報家電機器の利用における負荷を高めていると考えられる。

本論文では、上記の問題を解決する為に、全方位カメラを用いて情報家電機器の認識を行い、携帯端末を用いて情報家電機器の位置情報の提供と制御を行う機構を提案する。具体的には全方位カメラで室内を監視し、室内に新たな物体が登場したときの時間を取得する。次にネットワーク情報を監視し、室内に新たな情報家電機器が登場した時の時間を取得する。両方の時間を参照し、情報家電機器の情報と、情報家電機器の室内の位置情報をマッチングし、ユーザへ提供する。これによりユーザは、情報家電機器の設置、発見、制御を専門的な知識を要する事なく行える。

本研究の手法を評価する為に、従来の手法と比較しながらユーザビリティ評価を行い、本研究の手法の有用性を確認した。また、本研究の手法が想定するアプリケーションに置いて十分に動作可能である事を示す為にパフォーマンス評価を行った。

キーワード:

ユビキタスコンピューティング,全方位カメラ,情報家電機器

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 小川 正幹

Abstract of Master's Thesis Academic Year 2010

A System for Discovering and Controlling Information Appliances using Omnidirectional Camera

In recent years, Information Appliances that users can control them on the network has increased as the development of ubiquitous computing environments. For example, TV, Air Conditioner, Light and many appliances can be controlled on the network. For this, users can control them at remote places on their mobile phones or mobile computers. And there are many services has developed for controlling information appliances as a research or as a product.

However, using these information appliances, users have to do many complex steps. First of all, users have to set up the information appliances to connect network. The second, users have to discover information appliances on the network. At last, users have to re-setup when the new information appliances has appeared or existing information appliances has removed or moved. The setting up information appliances need the special technique for information technology. The discovering information appliances is difficult when many similar services exist together. Therefore, using information appliances is not friendly to users.

In this paper, to solve these problems, I used Omnidirectional Camera for recognizing information appliances, and I used Mobile Computer for controlling information appliances. Concretely, I use the difference of timestamp of the new unknown object appeared by camera and new information appliance appeared by network. And I evaluate recognition accuracy and recognition speed and usability.

Keywords:

Ubiquitous Computing, Omnidirectional Camera, Information Appliance

Keio University Graduate School of Media and Governance

Masaki Ogawa

目次

第1章	序論	1
1.1	研究背景	2
1.2	情報家電機器の利用と問題点	3
	1.2.1 情報家電機器の設置	3
	1.2.2 情報家電機器及び提供されるサービスの発見	3
	1.2.3 情報家電機器の管理,維持	4
1.3	研究目的	4
1.4	本論文の構成	5
第 2 章	情報家電機器利用手法	6
2.1	情報家電機器制御の為の共通基盤	7
2.2	既存の情報家電機器制御技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
	2.2.1 AirPrint	7
	2.2.2 ePrint	8
2.3	情報家電機器利用におけるユーザ負荷軽減に関する研究	8
	2.3.1 uPhoto	8
	2.3.2 A Remote Monitoring and Control of Home Appliances on Ubiquitous	
	Smart Homes	8
2.4	カメラを利用した物体認識,実世界認識に関する技術	9
	2.4.1 Microsoft Kinect	9
	2.4.2 Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces	10
2.5	既存手法の問題点の整理	11
2.6	本研究の機能要件と想定シナリオ	11
2.7	本章のまとめ	12
第3章	情報家電機器発見及び制御機構	13
3.1	機能要件の整理....................................	14
3.2	機能要件に対するアプローチ	14
3.3	想定環境	14

3.4	情報家電機器認識機構	15
3.5	ネットワーク情報の監視	15
	3.5.1 UPnP を用いた情報家電機器情報取得	15
	3.5.2 UPnP 機器の制御	17
3.6	全方位カメラを利用した室内監視	18
	3.6.1 背景差分法を用いた物体検出	18
	3.6.2 差分領域の取得とノイズ除去	19
	3.6.3 物体情報の抽出と管理	20
	3.6.4 照明変化による誤検知の防止	22
3.7	情報家電機器の特定	22
3.8	情報家電機器の管理,維持手法	24
	3.8.1 情報家電機器の位置情報追跡	24
	3.8.2 情報家電機器の除去,変更等の管理	24
3.9	本章のまとめ	25
第4章	設計	26
4.1	~~~	$\frac{20}{27}$
4.1		$\frac{21}{27}$
		21 28
4.2		$\frac{20}{29}$
T.4		29
		29
		29
		29 29
4.3		$\frac{29}{30}$
1.0	749869	00
第5章		31
5.1	ハードウェア	32
5.2	ソフトウェア	33
5.3	実装アプリケーション	34
	5.3.1 DCIAI の概要	34
	5.3.2 DCIAI のシステムの流れ	34
	5.3.3 DCIAI のユーザ端末	35
5.4	本章のまとめ	36
第6章	評価	37
6.1	評価方針	38
6.2		38

6.3	定量的	勺評価	39
	6.3.1	情報家電機器の認識速度及び精度評価実験	39
	6.3.2	情報家電機器の追跡速度及び精度評価実験	41
	6.3.3	考察	42
6.4	定性的	勺評価	43
	6.4.1	実験手法	43
	6.4.2	実験結果	44
	6.4.3	考察	45
6.5	本章の	Dまとめ	46
第7章	結論		47
第7章 7.1		D展望	47 48
		D展望	
	今後の		48
	今後¢ 7.1.1	異種通信プロトコル間における通信の実現	48 48
	今後の 7.1.1 7.1.2	異種通信プロトコル間における通信の実現	48 48 48
7.1	今後の 7.1.1 7.1.2 7.1.3 まとめ	異種通信プロトコル間における通信の実現	48 48 48 48

図目次

1.1	実験環境と制御可能な情報機器	2
1.2	ネットワーク上に存在する機器	4
2.1	uPhoto の操作画面とサービスが可視化されている状態	9
2.2	人間の検出の様子	10
2.3	深度センサによって取得した画像	10
2.4	特徴点の抽出	10
2.5	マーカを使わずに情報をオーバレイしている状態	10
3.1	背景差分の抽出	18
3.2	背景差分の絶対値を元に画像を二値化	19
3.3	二値化画像の欠損補完	20
3.4	ラベリング処理	21
3.5	物体検知と情報のオーバレイ	23
4.1	情報家電機器発見及び制御機構のハードウェア構成図	27
4.2	情報家電機器発見及び制御機構のソフトウェア構成図	28
5.1	全方位カメラ PointGreyResearch Ladybug2	33
5.2	DCIAI の構成	35
5.3	ipad	36
6.1	Smart Living Room	38
6.2	全方位カメラの設置	39
6.3	異なる色成分,明るさの実験環境	40
A.1	ユーザビリティ評価に使用したアンケート	55

表目次

5.1	全方位カメラ	32
5.2	仮想情報家電機器	32
5.3	カメラ画像取得及び解析マシン	32
5.4	機器情報,カメラ情報マッチングマシン	33
5.5	カメラ画像取得及び解析の実装環境	33
5.6	UPnP デバイス及び機器情報,カメラ情報マッチング部実装環境	34
5.7	DCIAI 実装環境	35
6.1	情報家電機器の認識速度及び精度評価実験結果	40
6.2	情報家電機器の認識速度及び精度評価実験結果	42
6.3	設定における負荷の大きさのアンケート結果	44
6.4	DCIAI の有用性についてのアンケート結果	45
6.5	DCIAI の利用環境についてのアンケート結果	45

ソースコード目次

3.1	SSDP Packet for Connect	15
3.2	SSDP Packet for Disconnect	16
3.3	Device Description	16
3.4	Service Description	17

第1章

序論

本章では、まず本研究の背景となる、ユビキタスコンピューティング環境に おける情報家電機器の利用について述べる。次に、情報家電機器利用に関す る問題点を明らかにし、本研究の目的を示す。最後に本論文の構成を述べる。

1.1 研究背景

近年ユビキタスコンピューティング研究の発展に伴い,生活空間の至る所にコンピュータや情報家電機器,センサ等の情報機器が設置されるようになった.それらの情報機器を用いて,空間内に存在する人間を賢くサポートする研究が行われるようになった.例えば,慶應義塾大学徳田研究室[1]では,SSLabプロジェクト [2]や Smart Living Roomプロジェクト [3]を通じて,生活空間を対象とした情報機器制御に関する研究が行われ,実験環境が運用されている.これらの実験環境の中では,ネットワークを通じて制御可能な情報機器を設置し,様々なアプリケーションを介してそれらの情報機器を制御している.ユーザはそれらのアプリケーションを利用する事によって,室内の情報機器を制御できる.例えば,Smart Living Roomプロジェクトが運用されている空間では,ドアロック,プロジェクタ,モニタ,ライト,ネットワークカメラ,ロールスクリーン,センサが実際に制御可能であり,ユーザはWebブラウザや,携帯端末上の写真からそれらの機器を制御できる [4].



図 1.1 実験環境と制御可能な情報機器

ネットワークを介して制御可能な情報機器は一般家庭にも普及し始めた。本論文では、ネットワークを介して制御可能な家電機器を,情報家電機器と定義する。実際に普及している情報家電機器の例として、冷蔵庫、エアコン、照明機器、テレビ、HDD レコーダ等が挙げられる。これらの情報家電機器は、ホームネットワークを介した制御や、インターネットに接続可能な物であれば、外出先からでも制御が可能である。さらに、家全体をホームネットワークを利用して制御するスマートホームも登場した[5]。スマートホームは、家全体の家電機器を一括で制御できるため、機器制御を容易にする他、家庭内の電力管理も効率的に行う事が出来る。

また、ネットワークを介してそれらの情報家電機器を連携させる技術も発展してきた。例えば、 固有のメールアドレスを持つプリンタが挙げられる。これは PC がなくても携帯電話から画像を添 付したメールを送信する事で、写真の印刷が行える。さらに、無線 LAN を搭載したデジタルフォ トフレームは、ネットワークを介して写真を受信したり、インターネットを利用した写真共有サービスと連携する事が出来る。また、DLNA や Bluetooth といった異なる通信規格間での通信を実現するミドルウェアアプローチも研究されている [6].

1.2 情報家電機器の利用と問題点

前節で述べたように、情報家電機器は生活空間の中で増加しており、研究レベルでも製品レベルでも様々な技術が用いられている。しかし情報家電機器を利用する際に、ユーザは様々な手順を踏む必要がある。ユーザが情報家電機器を実際に利用する際にユーザが踏む手順を、本研究では以下の3段階に分ける。

- 1. 情報家電機器の設置
- 2. 情報家電機器及び提供されるサービスの発見
- 3. 情報家電機器の管理,維持

以下に、これらの手順を踏んで情報家電機器を利用する上での問題点を述べる。

1.2.1 情報家電機器の設置

まずユーザは情報家電機器を利用する際、情報家電機器を設置する必要がある。この時ユーザが行わなければならない手順として、情報家電機器の物理的な設置と、情報家電機器をネットワークを介して利用する為の設定である。例えば、インターネットに接続可能な情報家電機器であれば、情報家電機器の IP 設定や、ホームネットワークへ参加するための初期設定が必要となる。これは専門的な知識を持たないユーザへ負担がかかる作業であると考えられる。このように、情報家電機器の設置はエンドユーザへの負荷が高いという問題点が挙げられる

1.2.2 情報家電機器及び提供されるサービスの発見

次にユーザが行わなければならないのは、設置された情報家電機器がどこにあるのか、どのようなサービスが提供されているかを発見する事である。ユーザ自身が設定を行った環境では機器やサービスの発見は容易であるが、会議室やホテル等の不特定多数のユーザが利用する環境において、機器やサービスを発見する事は難しい。また、それらの機器やサービスをネットワーク上で発見できたとしても、実際にどこにその機器があり、どこでサービスが提供されるかが分からないといった問題点が挙げられる。例えば、MacOS の Finder を利用すると図 1.2 のように、ユーザは同じネットワーク上にあるコンピュータや機器を容易に発見できる。

しかし、ユーザはこれらの機器が実際にどこにあるかが分からない。従って、特定の機器にデータを出力しようとしても、どこに出力されるかが分からないといった問題点が挙げられる。

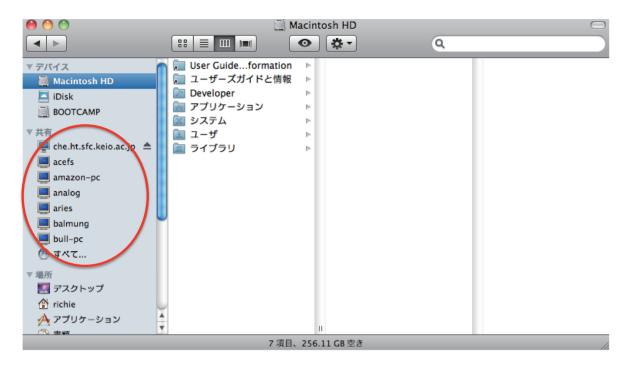


図 1.2 ネットワーク上に存在する機器

1.2.3 情報家電機器の管理,維持

情報家電機器が利用可能になった上でユーザが行わなければならないのは、利用している情報家 電機器の管理、維持である。例えば、ユーザが任意の機器やサービスをいつでも利用できるように 携帯端末や操作端末上に登録していた場合、それらの機器やサービスが除去されたり、設定に変更 があった場合、ユーザは情報家電機器の情報を再設定しなければならない。このように、情報家電 機器に変更があったとき、ユーザは利用する為の設定や情報家電機器そのものの設定をし直さなければならないという問題点が挙げられる。

1.3 研究目的

このように、情報家電機器の利用には様々な問題点がある。本研究の目的は、ユーザに対して特別な知識や手順を要求する事なく、情報家電機器を利用できるようにする事である。そこで、情報家電機器の情報と、情報家電機器の空間内の位置情報を共にユーザへ提供する事で、情報家電機器利用における負荷軽減を目指す。本研究ではその目的を達成する為に、全方位カメラを利用して機器発見、制御を行う。具体的には、画像解析とネットワーク監視により、機器が利用可能になった時間と設置された時間を元に、情報家電機器の空間内の位置座標と、機器情報をマッピングする事で情報家電機器の認識を行う。情報家電機器の認識を行った後、ユーザへ情報家電機器の情報と、情報家電機器の位置情報を通知する。ユーザは携帯端末上でそれらの情報を用いて、情報家電機器

が利用可能になる。また、情報家電機器に変更があった際も、ユーザへ通知が行われる。従って、ユーザは情報家電機器の設定を意識する事なく利用できる。これにより、設置、発見、管理の手順に置けるユーザへの負荷を軽減する。

1.4 本論文の構成

本論文では、まず第2章に情報家電機器制御に関する関連研究を挙げ、その問題点から機能要件を整理する。次に第3章で写真とカメラを用いた情報機器発見、制御手法について述べ、第4章で本研究が扱う手法について述べる。次に第5章で本論文で扱うシステムの設計を述べ、第6章でシステムの評価を行い第7章で本論文をまとめる。

第2章

情報家電機器利用手法

本章では、まず情報家電機器利用に関する様々な手法を述べる。次に情報家電機器利用に関するユーザへの負荷を軽減する為の研究について述べる。次に、本研究で必要となるビジュアルマーカを使わない物体認識に関する関連技術を述べる。最後に、既存の技術の特徴と本研究の比較をした上で問題点の整理を行い、本研究における機能要件を明確にする。

2.1 情報家電機器制御の為の共通基盤

本節では、情報家電機器制御の為の既存の共通基盤技術について述べる。 近年 PC やその周辺機 器, AV 機器, 電話, 家電機器の発展に伴い, それらをネットワークで接続する事により, 互いの機器 の機能を提供し合うための技術が研究されている。例えば、Home Audio/Video interoperability (以下 HAVi) が挙げられる.HAVi は,家電メーカによって提唱された家庭内ネットワーク対応 AV 機器の仕様である。家電機器は、メーカごとに制御の規格が異なっている。例えば A 社の開発 した機器に対して B 社が開発したリモコンでは制御が出来ない。しかしネットワークを通じて機 器を相互接続した場合、メーカによって制御規格が異なっていると、接続していても機器の連携が 出来ない. 従って異なるメーカの機器間でも協調して制御可能にする為に提唱されたものが HAVi である。また、HAVi と相互接続可能なネットワークアーキテクチャとして、Sun Microsystems によって開発された Jini [22] が挙げられる.Jini は処理のスピードなどが異なる様々な種類の機 器をネットワーク接続することを目的としており,機器同士が非同期通信を行う手段を提供して いる. これにより、家電機器が Jini のクライアントを実装する事で、それらの家電機器をネット ワーク化できる. さらに、これらのネットワーク化された情報機器を相互連携する技術として、 Microsoft の UPnP [16] や Apple の Bonjour [17] が挙げられる。これらの技術を利用する事によ り、ネットワーク化された情報機器の相互接続が容易になり、さらに情報機器を利用するユーザは それらの機器の設定を行わなくても利用可能になる.また,それらの技術が実装された機器はネッ トワークに接続していれば簡単に検索が可能であり、ユーザはネットワーク上の機器を検索し、す ぐに利用する事が出来る.また,家電機器やセンサー類を通信機器によって接続しネットワーク化 するための規格としてエコーネット [21] が挙げられる.エコーネットは,家庭内の電灯線や無線 を利用してホームネットワークを構築する為の規格である。これにより、大きな工事や配線を行わ なくても家庭内の機器をネットワーク制御できるようになる.

2.2 既存の情報家電機器制御技術

現在,情報家電機器の普及に伴って,様々な情報家電機器に対応した情報家電機器制御技術が商 用化されている.以下に既存の情報家電機器制御技術の例を述べる.

2.2.1 AirPrint

Apple が開発した AirPrint [9] は,iPad,iPhone,iPodTouch からネットワークプリンタにアクセスし,プリントを行えるようになる技術である.AirPrint は Wi-Fi 経由でネットワーク上のプリンタを自動的に見つけ出し,プリントを行う.AirPrint を利用する際は,利用するプリンタのデバイスドライバや専用のソフトは必要でなく,ユーザは Apple の提供する携帯端末を持っているだけで手元のドキュメントを印刷できる.ユーザはプリンタを利用する為の設定や,プリンタの

検索を意図せずにプリンタを利用する事が出来る。しかし、ユーザはネットワーク上でプリンタを 発見しても、それが実空間上でどこに存在しているかを知る事が出来ない。

2.2.2 ePrint

Hewlett Packard が開発した ePrint [10] は、インターネットに接続可能なプリンタにメールアドレスを付与する。ユーザは印刷したいファイルをプリンタのメールアドレス宛に送信するだけで、ユーザ端末上のファイルを印刷する事が出来る。メールアドレスを利用しているため、ユーザはプリンタのデバイスドライバや専用のソフトは必要でなく、専門的な知識を必要とせずにプリンタを利用できる。しかし、これを利用する為にメールアドレスを設定しなければならなかったり、ユーザは自分の携帯端末にメールアドレスを登録しなければならない等の手順が必要となる。

2.3 情報家電機器利用におけるユーザ負荷軽減に関する研究

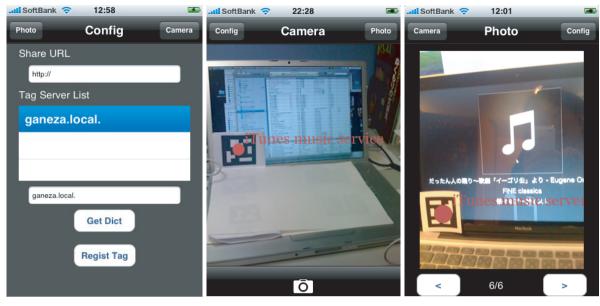
本節では、ユーザが情報家電機器を利用する際に、情報家電機器の設定、発見、制御のユーザへ の不可を軽減する事を目的とした研究を挙げる。

2.3.1 uPhoto

まず、慶応義塾大学の徳田研究室で行われている uPhoto [4] を挙げる. uPhoto は写真を用いてユビキタスコンピューティング環境の情報を保存する. ユーザは情報家電機器をカメラを用いて撮影する事によって、機器の操作情報や環境の状態等を写真と共に保存出来る. 保存した機器は写真上で操作する事が出来る. また、ユーザはカメラ画像にオーバレイされた情報を見る事で、サービス発見が容易に行える. 図 2.1 にカメラ画像に情報がオーバレイされている様子を示す. しかし、情報家電機器の認識にはビジュアルマーカを用いているため、情報家電機器の管理者は、セットアップする際に情報家電機器毎にビジュアルマーカを作成する必要がある.

2.3.2 A Remote Monitoring and Control of Home Appliances on Ubiquitous Smart Homes

情報家電機器制御に関する研究として、Kyungpook National University の A Remote Monitoring and Control of Home Appliances on Ubiquitous Smart Homes [8] を挙げる. これは、外出先のユーザがインスタントメッセンジャを利用して家庭内の情報家電機器にアクセスし、制御する事を目的とした研究である. これにより、ユーザは利用端末上で機器特有の操作インターフェースではなく、統一されたインターフェースによって機器を制御できる. また、自然言語処理を用いることで、ユーザは機器と会話するように制御できるため、ユーザへの負荷が低いと考えられる. しかしこれは対象が家庭内であり、会議室等の複数人で利用される空間において、情報家電機器の追加、削除や設定の変更等が行われた時に、ユーザは手元の端末の設定を再設定する必要がある.



Configuration Mode

Camera Mode

Photo Mode

図 2.1 uPhoto の操作画面とサービスが可視化されている状態

2.4 カメラを利用した物体認識、実世界認識に関する技術

本研究ではユーザへの情報家電機器利用の負荷を軽減するため、情報家電機器の空間内の位置座標を取得する。物体の空間内の位置座標には ARToolkit [15] のような、ビジュアルマーカを用いた手法たり、不過視マーカを用いた手法 [12] 等が挙げられる。しかしこれらのマーカを用いた手法は、ユーザにマーカの作成を要求したり、事前にマーカを用意しておかなければならないという問題点がある。そのため特殊なマーカを用いた物体認識はユーザへの負荷軽減を目的とする本研究において適していない。そこで、本節では、カメラを利用して特殊なマーカを用いずに物や人等の認識を行う研究について述べる。

2.4.1 Microsoft Kinect

まず、Microsoft 社の Kinect を挙げる。Kinect は家庭用ゲーム機の周辺機器として販売された デバイスであり、RGB カメラ、深度センサ、マルチアレイマイクロフォンを一つにしたデバイス である。Kinect は、特殊なスーツやセンサ、マーカの装着を要求する事なく、ユーザの動作を取得する事が出来る。ユーザの動きを常に追跡し続ける事で、より高精度にユーザの動作を取得する 手法をとっている。また、複数人のユーザの動作を同時に取得できる。Kinect が人間を検出している様子を図 2.2、図 2.3 に示す。

また、Kinect では異なる複数人を別の人物として認識可能であるが、それぞれが誰であるかに





図 2.2 人間の検出の様子

図 2.3 深度センサによって取得した画像

ついて判別する事が出来ない。しかし、Kinect は人間の骨格をモデリングしてモーションキャプチャを行っているので、人間以外の物体は現在検出できない。従って本研究が想定するヴィジュアルマーカを用いない物体認識手法とは対象が異なる。

2.4.2 Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces

特殊なマーカを使わずに実世界認識を行う研究として、Active Vision Laboratory の Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces [7] を挙げる。これは、最初にカメラ画像内の特徴点を抽出してキャリブレーションを行うことによって、画像内に存在する物体を検出することが出来る。また、検出した物体に情報をオーバレイすることによって、マーカを使わずに Augmented Reality を実現できる。特徴点を抽出している様子と、実際に情報がオーバレイされている状態を図 2.4 図 2.5 に示す。しかしこれも Kinect と同様に、物体が何であるかまでは判別できない。

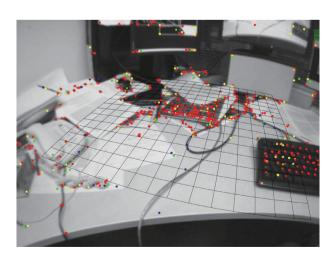


図 2.4 特徴点の抽出



図 2.5 マーカを使わずに情報をオーバレイしている状態

2.5 既存手法の問題点の整理

このように、現在様々な情報家電機器制御手法が提案されている。既存の情報家電機器制御手法によって、ユーザは情報家電機器の IP アドレスやデバイスドライバ等を意識せずにネットワーク上の情報家電機器を制御できる。これにより、ユーザは専門的な知識を持たなくても情報家電機器が利用できる。しかし既存の手法を利用する場合、ユーザは情報空間上の IP アドレス等の識別子と現実空間の実デバイスのバインディングを行わなければならない。従って、機器を設置して利用する為に以下のような手順を踏む必要がある。

- 1. 機器の設置
- 2. 機器の IP アドレス等の情報空間上の識別子の発見
- 3. 機器の情報空間上の識別子の抽象化(ビジュアルマーカ、メールアドレス等の作成)
- 4. 機器へのビジュアルマーカの貼付け等の抽象化した情報の付加
- 5. 機器の制御,利用

このように、情報家電機器を利用する為に情報空間上の識別子と現実空間の実デバイスのバインディングを行う為には、ユーザは多くの手順を踏む必要がある。例えば ePrint は、メールアドレスという情報空間の識別子を手動で登録する必要がある。また、ビジュアルマーカを利用する手法は、機器を設置するごとにユーザはビジュアルマーカを印刷し、貼付けるという特殊な動作を要求される。従って、従来の家電機器を利用するよりも利用する為の手順が増えるため、情報家電機器の利用はユーザへの負荷が大きいと考えられる。

2.6 本研究の機能要件と想定シナリオ

このように、ユーザは情報家電機器を利用する際に情報空間上の識別子と現実空間の実デバイスとのバインディングを行う為に様々な手順を踏まなければならない。従って、本研究の機能要件として、エンドユーザに負担をかけない情報空間上の識別子と現実空間の実デバイスとのバインディング手法が必要だと考えられる。具体的には、ユーザが機器を設置した後、バインディングの為の特殊な作業や手順を行わなくても利用できるようにする必要がある。従って本研究では、今までユーザが行っていた情報空間上の識別子と現実空間の実デバイスのバインディングを自動で行うことによって、この問題を解決する。この問題が解決された時のユーザの情報家電機器利用シナリオを以下に述べる。

情報家電機器設置における負荷軽減シナリオ

ユーザ A は家電量販店において情報家電機器を購入して、部屋に設置を行った。通常では、機器の電源を入れた後にネットワーク接続する為にアクセスポイントを指定したり、携帯端末上で情報家電機器を検索する等の作業を必要とする。しかし本研究における情報家電機器認識手法によっ

て、ユーザは情報家電機器の電源を投入するだけで、携帯端末上で機器が制御できるようになる.

情報家電機器管理における負荷軽減シナリオ

ユーザ A は複数人で利用する会議室 A 内の情報家電機器を携帯端末上で利用していた. しかし ユーザ B が新たな機器を追加して元々あった機器を除去してしまった. 通常ではユーザ A の携帯 端末上での機器情報をユーザ A が構成し直さなければならない. しかし本研究における情報家電機器制御手法によって, 自動で再設定を行われ, ユーザは設定の変更を意識せずに情報家電機器を携帯端末上で利用できる.

2.7 本章のまとめ

本章ではまず、情報家電機器の利用に関する様々な手法を述べ、次に情報家電機器利用の際のユーザへの負荷軽減に関する既存研究について考察した。考察の結果として、本研究の機能要件を明確にした。次章では、全方位カメラを利用した情報家電機器発見及び制御機構の概要と具体的な手法について述べる。

第3章

情報家電機器発見及び制御機構

本章では、本研究における手法の詳細を述べる。まず、前章で述べた機能要件を整理する。次に機能要件を満たすアプローチを提案する。次にアプローチとなる情報家電機器認識及び制御機構における、ネットワーク機器の監視と、画像解析による室内の監視について具体的な手法を述べる。最後に二つの情報を用いた情報家電機器特定手法について述べ、本研究における手法の詳細とする。

3.1 機能要件の整理

前章で述べたように本研究における機能要件は、情報空間の識別子と現実空間の実デバイスとの バインディングを自動で行う事である。これによりユーザは特殊な作業や操作を行うことなく情報 家電機器を利用できる。この機能要件を整理すると、以下のようになる。

- 情報家電機器の自動認識及び管理
- 情報家電機器の実空間の位置情報取得

情報家電機器の自動認識及び管理に関しては、今まで情報家電機器を認識する為に様々な手順を踏まなければならなかったが、まずそれを自動で行うことで、ユーザへの負荷を軽減する。また、認識した機器に設定の変更等が行われた時も、ユーザへ再設定等の負荷をかけないため、情報家電機器の情報を管理し、変更があった場合は自動で再設定を行う。また、情報家電機器の実空間の位置情報取得に関しては、ビジュアルマーカの貼付け等の特殊な動作をユーザに要求する事なく、情報家電機器の位置情報を取得する。これにより、ユーザは実空間上で情報家電機器を容易に発見できる。

3.2 機能要件に対するアプローチ

前節で述べた機能要件を満たすアプローチとして以下の2点を挙げる。

- ネットワーク監視と画像解析による情報家電機器認識機構の構築
- 画像解析による物体追跡機構の構築

まず、情報家電機器の設置時にかかるユーザの負担の軽減を実現するアプローチとして、画像解析とネットワーク監視による情報家電認識を行う。これにより、情報家電機器の電源が投入された時に自動的に情報家電機器の機器情報、位置情報を抽出する。情報家電機器認識機構はユーザ端末へその情報を送信し、端末上で利用可能にする。これにより情報家電機器の設置時にかかるユーザ負荷の軽減及び、ビジュアルマーカを用いない情報家電機器認識が実現できると考えられる。

また、ビジュアルマーカを用いない情報家電機器追跡を実現するアプローチとして、認識機構で 抽出した情報と、画像解析を用いて物体追跡を行う。

3.3 想定環境

本研究における想定環境を述べる。本研究が対象とする空間は、室内公共空間である。例えばオフィス、会議室等の空間や、家庭のリビングルーム等が挙げられる。また室内公共空間ではある程度照明の変化が限られていると想定する。従って、本研究では時間の変化による日光の影響やユーザの手による照明変化は考慮するが、自動車のヘッドライトや想定外の照明変化については考慮し

ない. また,室内に全方位カメラが固定されている事を想定とする.全方位カメラを使用する事によって室内空間を網羅的に監視できる.

3.4 情報家電機器認識機構

情報家電機器の認識は次の手順で行う.

- 1. ネットワーク情報を監視し、情報家電機器の詳細情報とネットワークに参加した時間を取得
- 2. 全方位カメラを用いて室内を監視し、物体が設置された時間と室内の空間座標を取得
- 3. 情報家電機器の設置時間と、室内の物体設置時間を比較しマッチング

まず、情報家電機器がホームネットワーク等の既存ネットワークに参加した時間を取得する。次に全方位カメラを用いて室内を監視し、画像解析を用いて室内に新たな物体が出現した時間を取得する。最後に情報家電機器がネットワークに参加した時間と、室内に新たな物体が出現した時間を参照し、情報家電機器の機器情報と位置情報をマッチングする。これにより情報家電機器を発見し、認識する事が出来る。

3.5 ネットワーク情報の監視

情報家電機器認識機構はまず、ネットワーク情報を監視する。本研究におけるネットワークとは主に TCP/IP ネットワークである。UPnP [16] や Bonjour [17] などのゼロコンフィギュレーション技術のプロトコルが実装されている情報家電機器は、TCP/IP ネットワークに接続すると、それぞれに対応した情報家電機器制御サーバへネットワークへ参加したという情報を送信する。各プロトコルにおいて、情報家電機器を制御するサーバは情報家電機器の参加情報を読み取る事によって情報家電機器を発見できる。本研究では、情報家電機器の情報を取得し制御するプロトコルとしてUPnP を用いる。

3.5.1 UPnP を用いた情報家電機器情報取得

本研究では UPnP が実装された情報家電機器を UPnP デバイスと定義する. UPnP デバイスは, TCP/IP ネットワークに接続すると, The Simple Service Discovery Protocol (以下 SSDP)と呼ばれる HTTP パケットを UDP で送信する. SSDP パケットの例をソースコード 3.1, 3.2 に示す.

ソースコード 3.1 SSDP Packet for Connect

```
NOTIFY * HTTP/1.1
SERVER: Mac OS X/10.6.5 UPnP/1.0 CyberLink/1.3.2
CACHE-CONTROL: max-age=60
LOCATION: http://133.27.171.185:4004/service_description.xml
NTS: ssdp:alive
NT: urn:schemas-upnp-org:service:notification:1
USN: uuid:3148-a12d-167b-e03c::urn:schemas-upnp-org:service:notification:1
8 HOST: 239.255.255.250:1900
```

ソースコード 3.2 SSDP Packet for Disconnect

```
NOTIFY * HTTP/1.1

NTS: ssdp:byebye

NT: urn:schemas-upnp-org:device:test:1

USN: uuid:3148-a12d-167b-e03c::urn:schemas-upnp-org:device:test:1

HOST: [FF02::C]:1900
```

SSDP パケットを用いる事によって、サーバは UPnP デバイスの存在の有無、存在しているデバイスの種類、デバイスの IP アドレス、デバイスの詳細やサービスの詳細が記述されている XML ファイルの場所を知る事が出来る。SSDP パケットは、UPnP デバイスが TCP/IP ネットワークに参加した時、TCP/IP ネットワークから離れるとき、サーバが UPnP デバイスを検索する時に送信される。これにより、サーバは TCP/IP ネットワーク上に存在する UPnP 機器の情報を取得できる。また、サーバは、それらの詳細が記述されている XML ファイルを読み込む事で、デバイスの詳細情報とともに、利用できるサービスのリストを取得できる。これらのリストを扱う事でサーバはデバイスを制御できる。デバイスの詳細情報を記述した XML の例をソースコード 3.3 に示し、サービスの詳細情報を記述した XML の例をソースコード 3.4 に示す。

ソースコード 3.3 Device Description

```
<?xml version="1.0" ?>
    <root xmlns="urn:schemas-upnp-org:device-1-0">
      <specVersion>
        <maior >1 </maior >
4
        <minor>0</minor>
5
6
      </specVersion>
7
      <device>
        <deviceType>urn:schemas-upnp-org:device:test:1</deviceType>
9
        <friendlyName>Media Server</friendlyName>
        <manufacturer > Richie </manufacturer >
10
        <manufacturerURL>http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/~richie</manufacturerURL>
11
        <modelDescription>Richie's Evaluation Device</modelDescription>
12
        <modelName > Echo </modelName >
13
        <modelNumber > 1.0 </modelNumber >
14
15
        <modelURL>http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/~richie</modelURL>
        <serialNumber > 1234567890 
16
        <UDN>uuid:richie_evaluation_device_1 </UDN>
17
18
        <UPC>123456789012</UPC>
        <iconList>
20
            <mimetype > image/gif </mimetype >
21
            <width>48</width>
22
            <height>32</height>
23
            <depth >8 </depth >
24
            <url>/description/icon.gif</url>
25
          </icon>
26
        </iconList>
27
        <serviceList>
            <serviceType>urn:schemas-upnp-org:service:notification:1</serviceType>
30
            <serviceId>urn:schemas-upnp-org:serviceId:notification:1/serviceId
31
            <SCPDURL >/service_description.xml </SCPDURL >
32
            <controlURL>/service/timer/control</controlURL>
33
            <eventSubURL>/service/timer/eventSub</eventSubURL>
34
35
          </service>
36
        </serviceList>
        cpresentationURL >/ presentation </presentationURL >
      </device>
38
    </root>
```

```
<?xml version="1.0"?>
    <scpd xmlns="urn:schemas-upnp-org:service-1-0" >
2
        <specVersion>
3
      <major>1</major>
4
      <minor > 0 </minor >
5
6
        </specVersion>
        <actionList>
      <action>
           <name>Notification</name>
9
10
           <argumentList>
11
        <argument>
             <name > InText </name >
12
               <relatedStateVariable>Text</relatedStateVariable>
13
             <direction>in</direction>
14
15
        </argument>
16
         <argument>
             <name>ReturnText</name>
             <relatedStateVariable>Text</relatedStateVariable>
18
             <direction > out </direction >
19
        </argument>
20
          </argumentList>
21
      </action>
22
23
        </actionList>
24
        <serviceStateTable>
25
      <stateVariable sendEvents="no">
           <name > Text </name >
26
27
           <dataType>string</dataType>
      </stateVariable>
         </serviceStateTable>
29
    </scpd>
30
```

サーバは TCP/IP ネットワークへ UDP でデバイス検索メッセージを送信でき、それを受信したデバイスはサーバに対してデバイスの存在を通知できる。

本研究では、UPnP デバイスが TCP/IP ネットワークに参加した時に送信する SSDP パケットを監視する。まず、TCP/IP ネットワーク上に UDP で送信される SSDP パケットが存在していた時に SSDP パケットを取得し解析する。次に、SSDP パケットを送信したデバイスに接続し、Device Description の XML ファイルを取得する。Device Description 内に記述されている device Type タグの中身を参照し、SSDP パケットを送信した機器の種類を取得する。これにより、ネットワークに参加した UPnP デバイスの種類を取得できる。SSDP パケットを送信した機器が、情報家電機器であった場合、その UPnP デバイスの情報を取得し、データベースに格納する。このとき、UPnP デバイスの情報と、UPnP デバイスがネットワークに参加した時間の情報を格納する。

3.5.2 UPnP 機器**の**制御

UPnP 機器の情報を取得することで、UPnP 機器が制御可能になる。具体的には、Device Description 内に記述されている、Service Description を参照して制御を行う。まず、UPnP 機器の Service Description から、利用可能なサービスのリストを取得する。サービスのリストを取得した後に action タグを参照し、実際に行える命令を取得する。取得した命令に従って、UPnP 機器に対して HTTP メッセージを送る。これにより UPnP 機器を制御できる。

3.6 全方位カメラを利用した室内監視

室内監視の手法は以下の手順で行う.

- 1. 背景差分法を用いて、物体が設置された時の背景画像の差分を取得
- 2. 差分が生まれた領域の中心座標と、差分が生まれた時間を取得
- 3. 物体が存在している空間座標を管理し、背景画像を更新

情報家電機器認識機構はネットワーク情報と同時に全方位カメラを用いて室内を監視する。室内 全体を背景差分法を用いて監視し、新たな物体が室内に設置された時、物体が設置された時間と、 室内の空間座標を取得する。取得した物体の空間座標、設置時間はデータベースに格納し、管理 する。

3.6.1 背景差分法を用いた物体検出

背景の差分は、色の変化による誤検知を減らす為にグレースケール化した画像で取得する. まず、全方位カメラから最初に読み込んだ画像をグレースケール化し、背景とする. 次に、全方位カメラから映像を取得していき、背景に差分が生じた画像内の場所を取得する. 背景の情報に対して、現在の画像において差分が生じている状態を図 3.1 に示す.

背景画像(グレースケール)





差分比較



グレースケール化





図 3.1 背景差分の抽出

3.6.2 差分領域の取得とノイズ除去

背景差分を用いて新たな物体が画像内に現れた時の差分を取得した後,差分領域の取得とノイズ 除去を行う.以下にその手順を述べる.

画像の二値化

背景差分を取得した後、差分の絶対値を元に画像を二値化する。これにより、グレースケールの時に生じていた細かいノイズを除去する事が出来、矩形として背景の差分を取得する事が出来る。画像の二値化の様子を図 3.2 に示す。

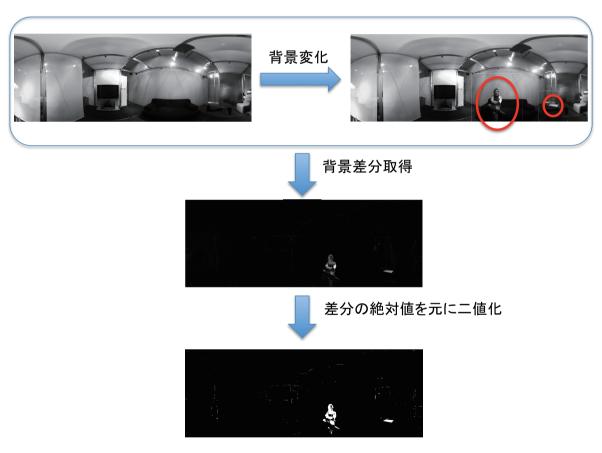


図 3.2 背景差分の絶対値を元に画像を二値化

差分領域の欠損補完

画像を二値化した後、それを物体として認識する為に差分領域の欠損補完を行う。二値化した段階では矩形に穴やちらつきが目立ち、物体として認識する事が難しい。従って、一定の閾値以上の大きさを持った矩形の差分領域を膨張させ、膨張させた後に収縮する。これにより、物体の矩形をある程度正確に取得出来る。欠損補完の様子を図 3.3 に示す。

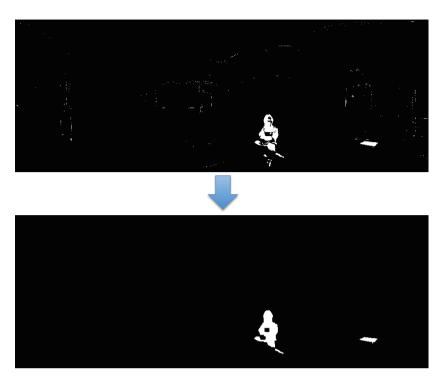


図 3.3 二値化画像の欠損補完

差分領域のラベリング

差分領域の欠損補完を行った後に、差分領域を独立した領域として捉える為に、ラベリングを行う。ラベリング処理の様子を図 3.4 に示す。取得した差分領域が大きい順に番号をつけ、差分領域を管理する。今回はラベリングされた差分領域が小さすぎる物を背景として除外し、それ以外の部分を物体として認識する事で、ノイズ除去を行う。これにより、物体の差分領域を取得できる。

3.6.3 物体情報の抽出と管理

背景差分法を用いて差分領域を取得した後、物体が設置されたというコンテクストを取得する. まず、ラベリングした差分領域の各中心座標を監視する. 監視した中心座標のうち、一定期間中心 座標が固定されて動かない物を設置された物体と見なす. 物体が設置された際に物体に id を付加 し、設置された物体の id、設置された空間座標、設置された時間をそれぞれ取得する. また、物体 が設置されたコンテクストを取得した後、背景画像を更新する. これにより、設置された物体に対 して移動や除去が行われた際に背景差分法を用いて移動や除去を検知できる. 以下に物体設置コン テクストの取得と、背景更新の詳細について述べる.

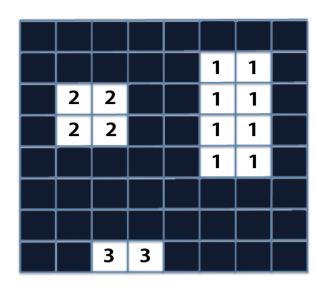


図 3.4 ラベリング処理

物体設置コンテクストの取得

物体設置コンテクストを取得する際、ラベリングされた差分領域の中心座標を監視する。しかし物体設置はユーザによって行われる事と、全方位カメラを使用して室内全体を監視しているため、ユーザも物体として認識される恐れがある。従って誤認識を防ぐため、ユーザの居る領域を物体領域として除外する必要がある。通常背景差分法を用いる時は入力画像全体を背景として更新するが、本研究では部分的に背景画像を更新する。ラベリングされた差分領域の中で、ユーザが物体を設置した後生まれる差分領域は、物体数 + ユーザ数であると考えられる。本研究では、その中で中心座標のずれが少ない物を物体として認識し、中心座標のずれが大きい物をユーザとして認識する。実際にラベリングされた差分領域の中心座標を監視する実験を行った。その結果、物体は中心座標のずれが少なく、ユーザは意図して静止しない限り、中心座標のずれが認められた。従って本研究ではこの手法を用いて物体設置コンテクストを取得する。

部分的な背景更新

部分的な背景更新を行うため、本研究ではマスキング処理を利用して背景更新領域を取得する. まず物体設置コンテクストを元に、物体が設置された領域を取得する.次に背景画像における、物体が設置された領域部分に対してマスキング処理を行い、背景画像から抜き取る.次に、物体が設置された時のフレームのカメラ画像における、物体が設置された領域部分に対してマスキング処理を行い、物体が設置された領域部分以外の場所を切り取る.背景画像と、物体が設置された時のフレームのカメラ画像をマッピングし、部分的に背景更新を行う.

3.6.4 照明変化による誤検知の防止

背景差分法は照明変化に弱く、照明変化が起こることによって生じた室内の輝度の変化を物体と 間違えて検出してしまう事がある。そこで本研究では、提案する手法において照明変化が起こりう る場合を以下の2通りに分類した。

- 1. ユーザによって意図的に室内の照明が変えられたとき
- 2. 時間によって室外の明るさが変化したとき

本研究において想定する空間は室内であり、ある程度室内の照明環境が一定である。従って、照明変化はユーザが室内の照明を操作する事による照明の変化、カーテンの開閉等による照明の変化、太陽光の変化による室内への影響を対象として照明変化の誤検知防止を行う。

ユーザによる照明変化

ユーザによる照明変化は大きく室内の照明環境を変化させる。例えば、室内で操作可能な照明が複数あったとき、そのうちの一つを消灯もしくは点灯しただけで大きな変化が生じる。実際に実験してみたところ、照明の変化は室内全体に影響を及ぼしている事が分かった。また、多くの照明は天井についているため、天井付近に大きく差分が見られる事が分かった。従って本研究では、室内全体で大きな差分が発生している時、室内の上部に特に大きな差分が発生している時に、その差分を物体と認識しない。また、前述したような特徴的な大きな差分が見られた場合、室内全体の背景を更新する。

時間による照明変化

時間による照明変化は、一時的な物ではなく長い期間で少しずつ変化する。例えば朝と夜では室外光の強さが異なり、室内光の変化に比べれば大きくはないが、物体検出精度に大きく影響する。従って本研究では、定期的に背景画像を更新することで、時間による照明変化を軽減する。全方位カメラは室内を常に監視しているので、ある一定の時間を閾値として、現在差分が生じている領域以外の部分の背景を更新する。これにより、時間による照明変化による検出精度低下を防ぐ事が出来る。

3.7 情報家電機器の特定

ネットワーク情報を監視して取得した UPnP デバイスの情報と設置時間,室内を監視して取得した物体情報と設置時間を比較し,情報家電機器の特定を行う.まず,UPnP デバイスの情報をデータベースに問い合わせ,ネットワークに参加した情報家電機器が存在しているかどうかを確認する.もしネットワーク上に新たな UPnP デバイスが存在していた場合,UPnP デバイスの情報,ネットワークに参加した時間を取得する.次に,室内の物体情報を管理するデータベースを確

認し、現在設置されている物体が設置された時間を取得する。物体設置時間を参照し、UPnP デバイスがネットワークに参加した時間に近い時間で設置された物体があれば、その物体を検出された UPnP デバイスとする。この時、UPnP デバイスの情報と、設置されている物体の空間座標を紐付けし、新たにデータベースに情報を格納する。また、物体設置時間を参照し、もし UPnP デバイスに近い時間に設置された物体が存在しなかった場合、ネットワークに参加した UPnP デバイスは新たに室内に置かれていないとする。これにより、空間内に存在する UPnP デバイスの位置情報が取得できる。

UPnP デバイスの位置情報を取得する事によって、カメラ画像への情報の投影や、物体の位置情報を元に任意の機器を制御できるようになる。実際に UPnP デバイスの位置情報を特定し、特定した情報を元に試験的にカメラ画像上の UPnP デバイスに情報をオーバレイした様子を図 3.5 に示す





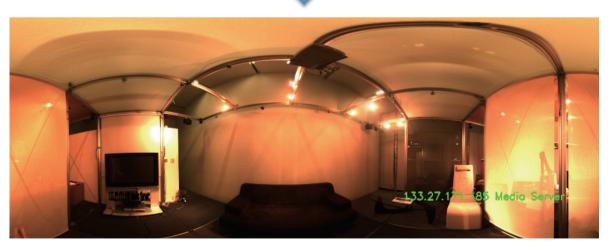


図 3.5 物体検知と情報のオーバレイ

3.8 情報家電機器の管理、維持手法

本節では、情報家電機器の移動、除去、変更等に対する管理について述べる。情報家電機器が追加された場合は前節までに述べた情報家電機器認識機構に従い、新たに機器を追加する。情報家電機器が移動した時は背景差分法を用いて、情報家電機器の位置情報追跡を行い、位置情報を管理する。また、除去、変更等が行われた際は、空間内の物体情報と情報家電機器のネットワーク情報を用いて管理を行う。情報家電機器の位置情報追跡と、管理の詳細を以下に述べる。

3.8.1 情報家電機器の位置情報追跡

本研究ではビジュアルマーカを使わずに情報家電機器の追跡を行う。追跡を行う為に、情報家電機器の設置された空間内の座標を監視し、情報家電機器に変化があった際に背景差分法を利用し、物体追跡を行う。まず、室内において物体が設置されている空間座標を監視する。次に、背景に差分が生じた空間座標を取得する。背景に生じた差分領域が2つ以上確認できたとき、物体の情報を管理するデータベースに問い合わせ、差分が生じた領域の中心座標と、物体が設置されている座標を比較する。このとき、物体が設置されている座標と差分領域の中心座標が一致していれば、設置されている物体が移動もしくは除去されたと見なす。次に、差分が生じた領域が2つであり、既存のUPnP デバイスがネットワークから離れておらず、新たな UPnP デバイスが参加していない場合、UPnP デバイスが新たに生じた差分領域の中心座標へ移動したと見なす。また、このとき既存の UPnP デバイスがネットワークから離れた場合、UPnP デバイスが除去されたと見なす。また、2つ以上差分領域が生まれていた場合、ネットワーク上の UPnP 機器の参加数と、ネットワークから離れた UPnP 機器の情報を参照する。これにより、既存の物体が移動したか除去したかを確認できる。また、ネットワーク監視と背景差分法のみの利用では、移動と設置が同時に行われた際移動先の座標を特定できない。従って、情報家電機器の色素情報を取得し、背景差分領域に含まれる色素情報と比較し、移動先の座標を取得する。

3.8.2 情報家電機器の除去.変更等の管理

情報家電機器の除去,変更について,考えられるものは以下の3点である.

- 情報家電機器が室内から除去される
- 情報家電機器が移動されずに電源が切られる
- 電源が切られていた情報家電機器に電源が投入される

まず、情報家電機器が室内から完全に除去されてしまう場合、あるいは他の部屋へ移動された等の場合が考えられる。次に、情報家電機器の電源が切られる事により、ネットワーク上で操作、認識が出来なくなった場合が考えられる。また、移動されずに電源が切られていた情報家電機器に再び電源が投入される場合が考えられる。この3点について以下に詳細を述べる。

情報家電機器が室内から除去された場合

情報家電機器が室内から除去される時、電源が切られて除去される場合と、バッテリ駆動の機器等、電源が投入されたまま除去される場合の2通りが考えられる。電源が切られて除去される場合、まずネットワーク上で情報家電機器がネットワークから離れた事を取得する。次に電源が切られた情報家電機器が設置されている空間座標を監視する。監視していた空間座標に背景差分が生まれ、情報家電機器の移動が行われていなかった場合、その情報家電機器は空間内から除去されたとする。次に、電源が投入されたまま除去された場合、まず空間内の情報家電機器の位置情報を監視する。情報家電機器はネットワーク上に存在しているが、機器が存在していた空間内の位置から、物体が除去されて居た場合、その情報家電機器は除去されたと考える。

情報家電機器が移動されずに電源が切られた場合

情報家電機器が移動されずに電源が切られた場合,まず情報家電機器の存在している空間内の位置情報を監視する.監視している位置情報に背景差分が生まれず,情報家電機器そのものの移動や除去が認められない場合,情報家電機器の固有の識別子(UPnP デバイスであれば serialNumber タグに記述されている内容)を取得し、物体情報とともに保存する.

情報家電機器に再び電源が投入された場合

空間内に存在している情報家電機器に再び電源が投入された場合,移動されずに電源が切られた際に保存されていた情報家電機器固有の識別子を元に,電源が切られる前と同じようにサービスを開始する。また,電源が切られてからしばらく移動されなかったが,電源が切られたまま移動されて移動先で電源が投入されたときは,情報家電機器発見手法と同じ手法で新しく機器を認識する。次に情報家電機器固有の識別子を元に,新たに出現した物を最新として,保存してあった物体情報を更新する。

3.9 本章のまとめ

本章ではまず、前章で洗い出した機能要件について整理し、機能要件を満たす為のアプローチについて述べた。次に、情報家電機器の発見手法、位置情報追跡手法について詳細を述べた。次章では、本研究における情報家電機器発見及び制御機構の設計について述べる。

第4章

設計

本章では、本研究の情報家電機器発見及び制御機構の設計について述べる。 まず、本研究で使用するハードウェアの構成とソフトウェアの構成を述べ、 本研究における情報家電機器認識及び制御機構の構成を明確にする。次にソ フトウェア構成の中で、モジュール間でやりとりされるデータの詳細につい て述べ、ソフトウェア構成の詳細を明確にする。

4.1 設計概要

本節ではまず、情報家電機器発見及び制御機構のハードウェア構成と、ソフトウェア構成について述べる。

4.1.1 ハードウェア構成

情報家電機器発見及び制御機構のハードウェア構成図を図 4.1 に示す.



図 4.1 情報家電機器発見及び制御機構のハードウェア構成図

情報家電機器発見及び制御機構において、まず室内の映像を網羅的に取得する為に全方位カメラを用いる。また、全方位カメラから取得した情報と、情報家電機器そのものから情報を取得し、統合して管理する機器情報管理サーバを用いる。機器情報管理サーバでは、現在接続されている情報家電機器の機器名称、機能等の詳細情報と、それらの情報家電機器の室内での位置情報が管理される。それらの情報がアプリケーションサーバへ送られ、ユーザは携帯端末を利用してアプリケーションサーバへアクセスし、情報家電機器を制御する。

4.1.2 ソフトウェア構成

情報家電機器発見及び制御機構のソフトウェア構成図を図 4.2 に示す.

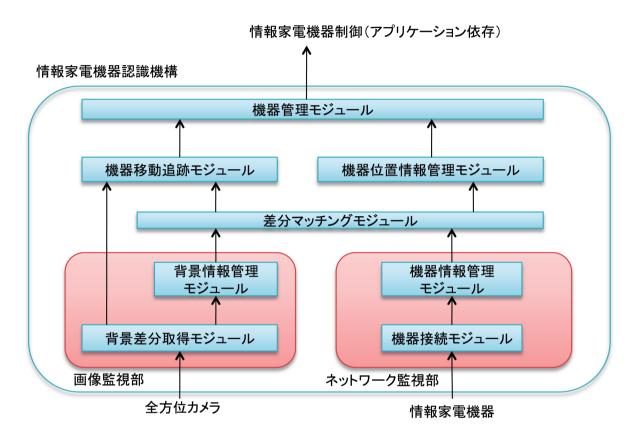


図 4.2 情報家電機器発見及び制御機構のソフトウェア構成図

入力は全方位カメラからの映像入力と、情報家電機器からの接続情報となっており、それぞれ情報か電気認識機構内の画像監視部、ネットワーク監視部へ送られる。画像監視部において、背景差分取得モジュールはカメラ映像から背景差分を取得し、背景情報管理モジュール、機器移動追跡モジュールへ背景情報を送る。ネットワーク監視部において、機器接続モジュールは情報家電機器が接続された際の機器情報を取得し、機器情報管理モジュールへ送る。機器情報管理モジュールは機器情報と接続時間を管理する。背景情報管理モジュール内の背景情報と、機器情報管理モジュール内の機器情報と接続時間は差分マッチングモジュールへ送られ、情報家電機器の位置情報と機器情報が管理される。情報家電機器の位置情報と機器情報は、機器移動追跡モジュール、機器位置情報管理モジュールでは空間内の機器のベースとなる位置情報を管理する。それらの情報は機器管理モジュールへ送られ、室内の情報家電機器の位置情報と機器情報が管理される。それらの管理された情報は、情報家電機器制御アプリケーションへ送られる。

4.2 各モジュールの詳細

本節では、情報家電機器発見及び制御機構内の各モジュールの実際に行う処理について詳細を述べる.

4.2.1 画像監視部

画像監視部は、全方位カメラから取得した映像を元に、室内の背景差分とフレーム間差分を取得し、背景差分を背景情報管理モジュールへ、フレーム間差分を機器移動追跡モジュールへ送る。背景差分は情報家電機器が設置された事を認識するため、新たなオブジェクトが置かれた際の空間内の位置情報と、置かれた時間を取得する。また、機器移動追跡を行うため、情報家電機器が置かれている空間内の場所を監視し、変化が起こった時にフレーム間差分を取得し、機器移動追跡モジュールへ送る。

4.2.2 ネットワーク監視部

ネットワーク監視部は、情報家電機器がネットワークへ参加した時に、情報家電機器の名称や機器の持つ機能を取得し、さらに機器が接続された時間を取得する。機器情報管理モジュールでは、現在利用可能な情報家電機器を管理し、それらが接続された時間も同時に管理する。

4.2.3 差分マッチングモジュール

差分マッチングモジュールでは、画像監視部で取得した新たなオブジェクトの空間内の位置情報、置かれた時間と、ネットワーク監視部で取得した情報家電機器の情報、接続された時間を元に、情報家電機器の位置情報と機器の詳細情報をマッチングする。これにより、空間内のどこにどの情報家電機器が存在しているかが分かる。それらの情報は機器移動追跡モジュールと機器位置情報管理モジュールで管理される。

4.2.4 機器移動追跡.機器位置情報管理.機器管理モジュール

差分マッチングモジュールから送られた情報家電機器位置情報,詳細情報は,機器移動追跡モジュール,機器位置情報管理モジュールで管理される.機器移動追跡モジュールでは,情報家電機器の存在している空間内の位置を監視し,その位置に変化があった際,画像監視部から取得するフレーム間差分情報を用いて機器の移動を追跡する.機器位置情報管理モジュールは,機器が新たに設置された際の初期位置情報を管理している.機器管理モジュールでは,機器移動追跡モジュールで取得した位置情報の更新と,もともと存在している機器の位置情報を元に,最新の機器の位置情報を管理する.

4.3 本章のまとめ

本章では、情報家電機器発見及び制御機構のハードウェア構成、ソフトウェア構成、システムの 挙動、各モジュールの詳細について述べた。次章では、情報家電機器発見及び制御機構の実装につ いて述べる。

第5章

実装

本章では情報家電機器認識及び制御機構の実装について述べる. 実装に使用したハードウェア, 言語, ライブラリを示し, 本研究における実装環境を詳細に述べる. また, 情報家電機器認識及び制御機構を利用した, 評価実験に使用するアプリケーションの詳細について述べ, 実装アプリケーションの設計, 使用したハードウェアについて述べた.

5.1 ハードウェア

本節では、情報家電機器認識及び制御機構のハードウェア環境について述べる。本研究において実装に使用したハードウェアは、全方位カメラ、情報家電機器として実装した仮想情報家電機器、カメラから画像を取得して解析を行うマシン、それらの情報を統合して情報家電機器の詳細情報と室内の位置情報をマッチングするマシンにより構成されている。ハードウェア環境の詳細を以下の表 5.1~表 5.4 に示す。また使用した全方位カメラを図 5.1 に示す。

表 5.1 全方位カメラ

デバイス	PointGreyResearch Ladybug2					
最大解像度	$1024 \times 768 \mathrm{px}$					
最大 FPS	30FPS					
通信インターフェース	IEEE-1394b					

表 5.2 仮想情報家電機器

デバイス	Apple Mac Book 13inch
CPU	Intel Core 2 Duo 2.4GHz
メインメモリ	4GB
OS	Mac OS 10.6.5

表 5.3 カメラ画像取得及び解析マシン

デバイス	Lenovo ThinkPad T61P				
CPU	Intel Core 2 Duo T7800 2.6GHz				
メインメモリ	3GB				
OS	WindowsXP				

全方位カメラには Point Grey Research 社 [14] の Ladybug2 を用いた。Ladybug2 は IEEE-1394b インターフェースでカメラ画像取得及び解析マシンと接続される。カメラ画像取得及び解析マシンには Windows XP を搭載した PC を使用した。また,仮想情報家電機器は Apple Mac Book,情報家電機器とカメラの情報を統合し管理するマシンには Apple Mac Book Pro を使用した。

表 5.4 機器情報, カメラ情報マッチングマシン

デバイス	Apple Mac Book Pro15inch
CPU	Intel Core 2 Duo 3.06GHz
メインメモリ	8GB
OS	Mac OS 10.6.5



図 5.1 全方位カメラ PointGreyResearch Ladybug2

5.2 ソフトウェア

本節では、情報家電機器認識及び制御機構のソフトウェア環境について述べる。ソフトウェア環境を図 5.5、図 5.6 に示す。

表 5.5 カメラ画像取得及び解析の実装環境

実装 OS	Windows XP		
言語	C++		
ライブラリ	OpenCV 1.1		
IDE	Microsoft Visual Studio 2008		

カメラ画像取得及び解析には Windows マシン上で C++ で実装した。これはカメラ画像を取得し解析する際に VM を使用する java と比較して高速で処理が出来るため,また画像解析のライブ

表 5.6 UPnP デバイス及び機器情報,カメラ情報マッチング部実装環境

実装 OS	Mac OS 10.6.5
言語	javaVM J2SDK 1.6.0.22
ライブラリ	CyberLink for Java(UPnP API)
IDE	Eclipse Helios Service Release 1

ラリである OpenCV を使用する為である。また,仮想情報家電機器の通信プロトコルは UPnP を使用し,仮想情報家電機器との通信部においては,java で利用できる UPnP の API である CyberLink for Java [18] を用いた.仮想情報家電機器の通信プロトコルとして UPnP を用いた理由は,仕様が公開されており,対応する機器が多く,さらに java で書かれた実装が存在した為である.

情報家電機器の情報とカメラ情報をマッチングするモジュールにおいては、情報家電機器の名前 と機能、室内の空間座標が取得され、それらの情報がアプリケーションに提供される.

5.3 実装アプリケーション

本節では、評価実験で用いるアプリケーションについて述べる。本研究では、ユーザへの情報家電機器の利用に対するユーザビリティ評価を行う。従ってユーザアプリケーションとして、Discovery and Control Information Appliance Interface (以下 DCIAI) を実装した。

5.3.1 DCIAI **の概要**

DCIAI は、情報家電機器認識機構で取得した情報家電機器の情報と情報家電機器の位置情報を元に、全方位カメラ画像に情報家電機器の情報を投影する。図 5.3 に DCIAI の構成を示す。

5.3.2 DCIAI **のシステムの流れ**

DCIAI は情報家電認識機構から情報家電機器の情報及び位置情報を取得する。また、同時にこの時の室内の画像を全方位カメラから取得する。次に、機器情報を元に全方位カメラから取得した画像に情報を投影する。情報が投影された画像は、室内画像を管理するサーバへ送られる。ユーザ端末では、室内画像が更新されたとき、最新の室内画像を画像管理サーバから取得する。ユーザ端末上で室内画像に機器情報が投影された画像が表示される。ユーザは機器情報が投影された画像を元に情報家電機器を発見でき、制御できる。

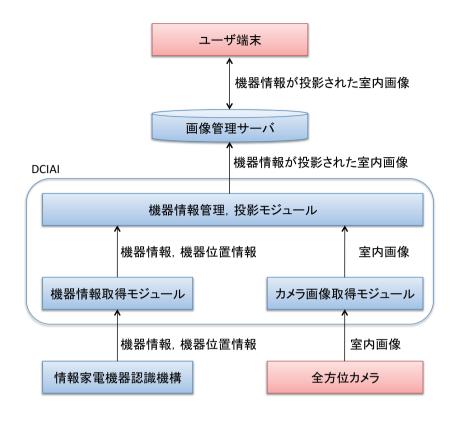


図 5.2 DCIAI の構成

5.3.3 DCIAI **のユーザ端末**

DCIAI のユーザ端末として、本研究では iPad を用いた。これは、パノラマ画像を表示するためにある程度解像度が高いディスプレイが必要だからである。また、タッチスクリーンを利用して、ユーザに明示的に情報家電機器を選択させる。表 5.7 に DCIAI の実装環境を示す。iPad 上で動作するアプリケーションの為、iPad 上のアプリケーション開発言語は Objective-C を使用した。また、情報家電機器情報取得部と、室内画像取得、及び情報が投影された室内画像の作成には C++を用いた。

表 5.7 DCIAI 実装環境

実装 OS	Mac OS 10.6.5					
言語	Objective-C, C++					
IDE	Xcode					
対象 OS	iOS 4.2					



図 5.3 ipad

5.4 本章のまとめ

本章ではまず、情報家電機器認識及び制御機構のハードウェア環境、ソフトウェア環境について述べ、次に評価実験で使用するためのアプリケーションである、Discovery and Control Information Appliance Interface の実装について述べた。次章では本研究で提案した手法を定性的、定量的に評価し、評価結果を考察する。

第6章

評価

本章では、情報家電機器認識及び制御機構の評価について述べる. まず、本研究における評価方針を明確にする. 次に評価実験を行った場所、ハードウェア設置の方針について述べ、実験環境を明確にする. 次に、情報家電機器認識及び制御機構について、定量的、定性的に評価実験を行い、評価実験結果について考察を行う.

6.1 評価方針

本節では、情報家電機器認識及び制御機構の定量的、定性的評価の方針について述べる。定量的評価は、全方位カメラの処理速度、情報家電機器の認識速度、認識精度、追跡精度について評価を行う。定性的評価は、前章で述べたアプリケーションである DCIAI を用いてユーザビリティ評価を行う。実際にアプリケーションをユーザに利用してもらい、情報家電機器設置の際の負荷が普通に設置するのに比べて軽減されたかどうかをアンケートを用いて評価する。

6.2 実験環境

実験環境は慶応義塾大学 τ 館 4 階にある,徳田研究室の実験環境である Smart Living Room にて行う.



図 6.1 Smart Living Room

全方位カメラは部屋の中央に設置する. 設置の様子を図 6.2 に示す. Smart Living Room には 照明機器としてスポットライト, 蛍光灯がある. これらを用いて定量的評価を行う際, 様々な照明 環境で実験を行う.



図 6.2 全方位カメラの設置

6.3 定量的評価

本節では、情報家電機器認識及び制御機構を定量的に評価する。情報家電機器の認識及び追跡精度、速度は以下の図 6.3 に示す 3 種類の実験環境で行った、3 種類の実験環境はそれぞれ明るさ、色成分が異なっており、全てのスポットライトと蛍光灯を点灯した状態、スポットライトを半分点灯して蛍光灯を点灯している状態、蛍光灯のみ点灯している状態である。以下に実験の詳細を述べる。

6.3.1 情報家電機器の認識速度及び精度評価実験

はじめに情報家電機器の認識に関する評価実験の実験手法を述べる。まず、機器設置者が室内に入る。次に機器設置者は、機器を任意の場所に設置する。機器を設置した後、機器の電源を入れて機器がカメラに写るよう移動する。このとき機器設置者は、機器がカメラに写る場所であれば室内のどこに居てもよい。最後に、その状態で情報家電機器が認識されるのを待つ。この時、認識されるまでにかかった時間を認識速度として計測した。また、機器を設置して、設置した場所と取得した場所と設置デバイス名が正しく認識できれば2点、取得した場所がずれていた場合2点、認識できなかった場合は0点と評価する。各実験環境において10回ずつ試行を行い、各実験環境20点満点、合計60点満点で認識精度を評価した。実験結果を以下の表6.1に示す。



実験環境1 R=170.37 G=110.20 B=51.17 非常に明るい



実験環境2 R=168.18 G=112.82 B=54.64 明るい



実験環境3 R=142.51 G131.80 B73.88 やや暗い

図 6.3 異なる色成分, 明るさの実験環境

表 6.1 情報家電機器の認識速度及び精度評価実験結果

実験環境	10 回の平均認識速度	10 回の平均認識精度
1	16.05 秒	80%
2	16.3 秒	85%
3	19.8 秒	100%
総合	17.11 秒	88.3%

認識速度

試行 30 回における情報家電機器の平均認識速度は 17.11 秒だった. 情報家電機器がネットワークに参加した情報は平均で凡そ 3 秒以内で取得できているため、背景差分の取得が速度上のボトルネックとなっていると考えられる. 本研究では、画像処理に加えてカメラを 6 個使用している. 従って処理が重くなり全方位カメラを動作させた時の実際の FPS は 3 前後となっている. そのため平均認識速度は 17.11 秒という結果になった. しかし、実際に機器設置者が機器の電源を入れ、その場を離れるまでにかかる時間や、誤検知の防止を含めると、実用的には問題ない速度であると考えられる. 認識速度について実際に妥当であるかどうかは、定性的評価の節で詳しく述べる. ま

た,実験環境が暗くなるにつれて,認識速度が落ちて行った。特に,実験環境 3 は 1,2 と比較しても暗く,認識までにかかった時間は最長で,39.2 秒を要した。原因として,明るさが十分でなかったため FPS が低下した事や,鮮やかさが他と比べて低い為,ノイズが乗りやすかったなどの原因が考えられる。しかしこれは,この時の色成分をあらかじめ取得しておく事で,背景の色成分と比較しながら,動的に背景差分領域取得の為の閾値を変更する事で解決できる。

認識精度

試行 30 回における情報家電機器の平均認識精度は、88.3% となった。30 回のうち、情報家電機器の情報が取得できたが、位置情報が実際に置いた場所とずれていたのはその中でも1 回のみだった。また、実験環境1~3 になるにつれて認識速度は落ちていったが、認識精度は上がっていった。これは、照明の性質による物であると考えられる。スポットライトは照明としての指向性が強く、物体がスポットライトの近くにあると陰が出来やすい。従って、室内の設置者の動きやその他の物の動きに対して誤検知が置きやすいと考えられる。また、指向性が強いため、光を反射する性質がある物は光を反射してしまい、反射の仕方によっては、背景差分領域取得が困難になってしまう場合がある。それに対して、蛍光灯の光は指向性が弱く陰も出来にくい為、認識率が上がっていると考えられる。この問題は、差分領域をラベリングした後、監視する中心座標の移動誤差の閾値を、背景の色成分を元に動的に変更する事で解決できると考えられる。また、一番精度の低かった実験環境1においても、認識精度は8割以上を示しているので、十分実用可能な範囲であると考えられる。

6.3.2 情報家電機器の追跡速度及び精度評価実験

次に、情報家電機器の追跡に関する評価実験の手法について述べる。まず、機器設置者が室内に入る。次に機器設置者は、機器を任意の場所に設置し、認識手法の評価実験と同じように情報家電機器が認識されるのを待つ。次に、情報家電機器を室内の任意の場所に移動する。移動した後、再び情報家電機器が認識されるのを待つ。追跡が成功した場合、情報家電機器の位置情報が更新される。このとき、機器設置者が情報家電機器を移動して再設置してから情報家電機器の追跡を認識されるまでにかかった時間を追跡速度として計測した。また、機器を移動して移動した場所と取得した位置情報が正しければ2点、取得した位置情報が実際の位置とずれていた場合1点、機器を追跡できなかった場合は0点と評価する。認識に関する評価で用いた核実験環境において10回ずつ試行を行い、各実験環境20点満点、合計60点満点で追跡精度を評価した。実験結果を以下の表6.2に示す。

追跡速度

試行30回における情報家電機器の平均追跡速度は16.1秒だった。情報家電機器の認識と比べ、情報家電機器の追跡は画像解析のみを利用して行っている。従って、画像解析を行った結果の速度がそのまま追跡速度に現れていると考えられる。情報家電機器の移動が認識される際、移動元の情

表 6.2 情報家電機器の認識速度及び精度評価実験結果

実験環境	10 回の平均追跡速度	10 回の平均追跡精度
1	15.4 秒	70%
2	16.8 秒	55%
3	16.1 秒	50%
総合	16.1 秒	58.3%

報家電機器が全方位カメラのフレーム内から消えた時間と、新たな場所に現れた時間を参照している。従って、移動に大きく時間がかかってしまった場合、移動が認識できない。そのため、移動の認識に成功した場合は認識と比べて画像解析の速度が求められる。従って、平均追跡速度は認識速度に比べて早かった。

追跡精度

試行30回における情報家電機器の平均追跡精度は58.3%となった.30回の試行のうち,移動先の座標がずれていたのは認識の時と同様に1回のみだった。また,認識精度とは逆に実験環境1~3になるにつれて追跡精度は下がっていった。ある程度の時間の猶予がある情報家電機器の認識に対して,情報家電機器の追跡は2つの差分領域が出現した時間差を利用しているため,認識に比べて高速な物体認識が必要となる。従って,実験環境において認識に要する時間が長ければ長いほど,追跡精度が下がっていく結果となった。

6.3.3 考察

本研究で提案した手法について、定量的に評価した評価結果についての考察を述べる。まず情報家電機器の認識については、リアルタイムでの運用に耐え得るほどの速度は出なかったが、本研究が想定するシナリオにおいて十分実用可能な範囲の速度を計測できた。また、認識精度についても9割近く認識が行えており、十分実用可能な範囲である事が確認できた。しかし追跡については、速度は十分実用に耐え得る結果となったが、認識精度に比べて精度が著しく低下した。情報家電機器の認識及び追跡ともに、速度、精度の面でボトルネックとなっているのは画像解析の部分である事が分かった。画像解析における問題点は以下の3点だと考えられる。

- 全方位カメラを利用する際の処理速度
- 照明の変化によるノイズ
- ユーザの移動等に伴うカメラによる明るさの自動補正

まず、全方位カメラを利用する事でマシンへの負荷が高まり、単眼カメラに比べて著しく処理速度が遅い事が問題点の一つとしてあげられる。これは、全方位カメラを動作させるマシンを高速化

する事によって解決できると考えられる。この問題を解決する事で、認識速度に若干の向上が認められると考えられるが、カメラのみである程度ユーザと機器を区別するため、劇的な速度向上は見込めないと考えられる。次に、照明の変化によるノイズが問題点として挙げられる。ノイズの除去は3章で述べた手法により行っており、欠損補完の量や、機器監視の際の誤差値の閾値の調整等を調整する事である程度向上は可能であるが、根本的な解決にはならない。従って、照明変化により強いアルゴリズムを設計する事で解決できると考えられる。また、ユーザの移動や、カメラ付近を物体が通過した時に生じるカメラによる明るさの自動補正等も問題点としてあげられる。これは、現在実験環境において室内の三次元的な中央部分に機器が設置されているため生じる問題であると考えられる。従って天井や、物体があまり近くを通らない場所に全方位カメラを設置する事で解決できると考えられる。また、天井や室内の天井に近い部分に設置する事により、問題点の2点目である照明の変化によるノイズもある程度改善できると考えられる。これは、スポットライト等の指向性の強い光に対して、陰の影響等を受けにくいと考えられるからである。

6.4 定性的評価

本節では、本研究における提案手法を評価する為に、実装したユーザアプリケーション DCIAI を使用してもらう事で、ユーザビリティ評価を行った、評価方針は本研究の機能要件である、実空間上の識別子と現実空間の実デバイスのバインディングへの負荷がいかに軽減できたかについての評価である。これを評価するため、情報家電機器を利用する為の既存の手法と DCIAI をユーザに利用・比較してもらい、アンケートにより評価した。また、全方位カメラが室内に設置されている事に対するユーザのストレスや、情報家電機器認識までにかかる時間についても評価を行った。

6.4.1 実験手法

まず被験者に、情報家電機器の存在や既存の技術とその問題点、本研究のモチベーション、目的について5分程度で簡単に説明を行った。次に、被験者に実際に情報家電機器を実験環境に設置し、携帯端末上で利用する為の設定を行ってもらった。被験者に行ってもらった設定方法は、IPアドレスを調べてWebインターフェースに入力してもらい、設定を行う方法、QRコードを用いて機器のIPアドレスを取得し、設定を行う方法、DCIAIを用いて設定を行う方法の3種類である。この3種類の実験手法で実際に情報家電機器を設置してもらい、アンケートの設問に回答してもらった。設問の項目はまず、情報家電機器の設置、設定において最も負荷が高かったもの、最も負荷が低かった物を選択してもらった。次に、3種類の手法を比較してもらい、DCIAIの有用性を5段階評価で行った。また、DCIAIの実験環境について、カメラが室内に設置されている事へのストレスや、情報取得までにかかった時間へのストレスについても回答してもらった。また、被験者は16人で、年齢は10代後半から20代後半だった。

6.4.2 実験結果

実験結果を、設置、設定における負荷の大きさ、DCIAI の有用性、DCIAI の利用環境について項目別に述べる。

設置、設定における負荷の大きさ

情報家電機器の設置,設定における負荷の大きさについてのアンケート結果を以下の表 6.3 に示す.

設問	IP アドレスを入力する手法	QR コードを利用した手法	DCIAI
実験において			
最も負荷が高かった	12	4	0
実験において			
最も負荷が低かった	0	0	16

表 6.3 設定における負荷の大きさのアンケート結果

アンケートの結果から、実験において DCIAI は情報家電機器の設置、設定において最も負荷が低いという結果が得られ、DCIAI の目的が達成できている事が確認できた。設置、設定、利用までのステップ数を減らす事によって、ユーザの負荷は従来の手法よりも少なくなったと考えられる。しかし、被験者からのコメントとして、実際に情報家電機器にアクセスした実感がないという意見が得られた。情報家電機器の設置、設定をユーザに意識させすぎない事で、逆にユーザに不安を抱かせてしまうという問題点が発見できた。この問題点は、情報家電機器発見及び制御機構を利用したアプリケーションにおいて、設置、設定が完了した事をユーザに通知する手法を改良する事で解決できると考えられる。また、被験者のうち6人は情報家電機器のIPアドレスを調べられなかった。従って、IPアドレスを調べる手法が最も負荷が高い結果となった。

DCIAI **の有用性**

既存の2つの手法と比較して、DCIAI が有用であるかについてのアンケート結果を以下の表 6.4 に示す

アンケートの結果から、参加者の多くは DCIAI が使いやすいと感じた事が分かった。しかし、コンピュータに関する専門的な知識を持っている被験者からは、自分で IP アドレスを指定して機器を設定した方がしっくりくるというコメントが得られた。また、IP アドレスを調べる手法より、ビジュアルマーカを利用した手法の方が設置、設定負荷に関するアンケートよりも評価が低かったといえる。これは、印刷の手間等を考慮した結果であると考えられる。

表 6.4 DCIAI の有用性についてのアンケート結果

	1	2	3	4	5	平均
DCIAI lt						
機器の情報を取得するのに有用である	0	0	1	7	8	4.437
IP アドレスを調べる手法より						
DCIAI を使いたい	0	0	3	4	9	4.375
ビジュアルマーカを利用した手法より						
DCIAI を使いたい	0	0	1	4	11	4.625
情報家電機器を設置する際は						
DCIAI を使いたい	0	1	0	5	10	4.5

DCIAI の利用環境

DCIAI の利用環境において、室内空間へのカメラの設置や、情報取得までにかかった時間についてのアンケート結果を以下の表 6.5 に示す。

表 6.5 DCIAI の利用環境についてのアンケート結果

	1	2	3	4	5	平均
室内にカメラが設置されている事は						
気にならない	2	4	6	2	2	2.87
情報を取得するまでの時間に						
ストレスを感じない	1	3	2	6	4	3.562

アンケートの結果から、室内にカメラが設置されている事について気になる被験者が多い事が分かった。近年、オフィスにおける監視カメラや、家庭用ゲーム機等の市販の機器にカメラが搭載されるようになり、生活空間内でカメラが普及しつつある。しかし、生活空間内へのカメラ単独での導入への抵抗はまだ大きいと考えられる。また、情報を取得するまでの時間については、被験者によって大きく分かれた。平均の結果を見ると、被験者は遅くも早くもないと感じたと考えられる。これは画像解析による物体の認識速度を向上する事で、改善可能である。

6.4.3 考察

ユーザビリティ評価の結果として、DCIAIの有用性は確認できた。これにより本研究の機能要件である、エンドユーザに負担をかけない情報空間上の識別子と現実空間の実デバイスのバインディングは実現できたと考えられる。アンケートの結果、主に専門的な知識を持たない被験者から

の評価が高かった。従って DCIAI は専門的な知識を持たないユーザでも簡単に機器の設置,設定が行える事が分かった。しかし、専門的な知識を持っている被験者の中には、従来の方法の方が設定しやすいと考える被験者もいた。これについては、ユーザアプリケーションや利用端末における機器の認識、制御機構を本研究で提案した手法と従来の手法をハイブリッドに実装する事で解決できると考えられる。知識を持たないユーザには DCIAI を提供し、知識を持つユーザには従来の方法を提供する事によって、よりユーザのニーズに適うと考えられる。また、DCIAI を利用する為にカメラを室内空間に設置しなければならないという条件が被験者の負荷になっているという結果も得られた。従って、会議室やオフィスなどのカメラが設置されて然るべき場所ではカメラを利用できるが、家のリビングルーム等のセミパブリックな空間においては、異なるアプローチが必要である。これについては、室内の画像を取得しないレーザーレンジファインダー等で室内の物体検知を行うことが出来れば、解決できると考えられる。

6.5 本章のまとめ

本章ではまず評価方針を明確にし、実験環境について述べた。次に、情報家電機器発見及び制御機構を定量的、定性的に評価し、実験結果から考察を行った。次章で本論文をまとめる。

第7章

結論

本章では本論文の結論を述べる。前章で行った評価実験の実験結果の考察を もとに、研究の今後の展望について述べる。また、今後の展望をふまえて本 論文で構築した手法と評価について結論を述べ、本論文をまとめる。

7.1 今後の展望

本節では、本研究の今後の展望について述べ、結論を述べる.

7.1.1 異種通信プロトコル間における通信の実現

本論文では、仮想 UPnP デバイスを実装し、TCP/IP ネットワーク上で動作させる事で、情報家電機器の監視を行った。しかし、情報家電機器が持ち得るネットワークインターフェースは、TCP/IP 以外にも考えられる。本研究では TCP/IP ネットワークしかサポートしていない。例えば、Bluetooth や赤外線などのネットワークインターフェースを持つデバイスは本研究において認識できない。しかし、異種通信プロトコル間での通信を実現するミドルウェアを作成するという解決方法がある。通信プロトコルが異なる場合でも、統一されたデータフォーマットを用いる事により、本論文における認識機構や、機器連携のコストが低下すると考えられる。

7.1.2 複数の情報家電機器の同時認識

本論文では、複数の情報家電機器が同時に設置される事は想定としていない. 従って、複数の情報家電機器が同時に設置された場合、それぞれの情報家電機器を区別できない. 解決方法として、画像解析によって設置された機器が何であるかを、外見からある程度判別する手法が挙げられる. これにより、機器の外見の情報とネットワークに参加した情報家電機器の情報を比較し、同時に複数の情報家電機器を認識できる. また、情報家電機器の電源等についている LED を利用して可視光通信を行うという解決方法もある.

7.1.3 人体認識による物体検出精度の向上

本論文において、全方位カメラを用いて室内を監視する際、物体と人体とを区別せずに背景差分を用いて物体検出を行った。これにより、人体の動きを考慮して物体を検出しなければならなくなり、高速での物体検出が行えなかった。しかし、物体と人体を別々に認識する事によって、物体検出の速度向上、精度向上が行える。さらに、情報家電機器の追跡精度も向上すると考えられる。また、人体認識を行うことによって、空間内に存在するユーザの位置情報が取得できる。これにより、ユーザの位置情報と情報家電機器の位置情報を利用したアプリケーションも実現できる。例えばユーザ A に一番近いデバイスにデータ A を出力するといったアプリケーションや、ビジュアルマーカを用いないリアルタイム AR アプリケーションが想定できる。

7.2 **まとめ**

本論文では、情報家電機器を利用する際のユーザへの負荷軽減を目的とした、全方位カメラを用いた情報家電機器発見及び制御機構を提案した。従来の情報家電機器利用における問題点は、情報空間上の情報家電機器の識別子と、現実空間の実デバイスのバインディングの手間であった。そのため、専門的な知識を持たないユーザが情報家電機器を利用する際、バインディングを自ら行わなければならない。従って、情報家電機器の設置、利用に加え、機器の情報空間上の識別子の発見、機器の情報空間上の識別子の抽象化、機器への抽象化した情報の付加など、様々な手順を踏まなければならなかった。そのため、情報家電機器の利用はエンドユーザへの負荷が非常に高いと考えられる。そこで本研究では、情報家電機器の情報空間上の識別子と現実空間の実デバイスのバインディングを自動で行うことにより、ユーザへの情報家電機器利用に対する負荷を軽減する事を目標とした。この目標を達成する為に、全方位カメラと、ネットワークの監視を行い、それぞれの情報を利用した情報空間と現実空間のバインディング手法を提案した。

バインディング手法としてまずネットワークを監視し、情報家電機器が新たにネットワークに参加した時にその情報を取得し、ネットワークに参加した時間を取得した。次に全方位カメラを用いた画像解析により、未知の物体が実空間上に出現した時、背景差分を取得してその物体が出現した空間座標及び出現時間を取得した。情報家電機器がネットワークに参加した時間と、未知の物体が出現した時間を参照し、それぞれの時間が近似していた場合、情報家電機器の情報と未知の物体をバインディングした。これにより、ユーザが様々な手順を踏まなくても情報空間上の機器の識別子と、現実空間の実デバイスのバインディングが行える。また、画像解析とネットワークを監視し続ける事により、情報家電機器の位置情報の追跡、情報家電機器の管理手法を提案した。これにより、ユーザが情報家電機器の移動や除去、変更に対して意識しなくても、自動で情報家電機器を管理できる。

提案した手法をもとに、ハードウェア構成、ソフトウェア構成を設計した。設計に従い、全方位カメラ、仮想 UPnP デバイス、情報家電機器発見及び制御手法を実装した。また、本手法から得られた情報を利用したユーザアプリケーションとして iPad を用いて、DCIAI を設計し、実装した。

実装したシステムを用いて、情報家電機器の認識速度、認識精度、追跡速度、追跡精度について、実際に利用するに値するかを定量的に評価した。定量的に評価を行った結果、認識精度、追跡精度ともに実用に耐え得ることがわかり、有用であることを示した。また、情報家電機器を利用する際のユーザへの負荷軽減が既存技術と比較して実現できたかどうか、を DCIAI を用いたアンケートにより、評価した。また同時に、全方位カメラを設置する事によるユーザへのストレスや、定量的評価で得られた認識速度が実用に耐え得る物であるかどうかを評価した。評価実験の結果、本論文で提案した手法が情報家電機器利用の際に有用である事が確認できた。また、定量的評価で得られた認識速度に関しては、ユーザに対してストレスを与えることなく情報家電機器の情報を取得できる事が分かった。従って本研究の目標である、ユーザに負荷をかけずに情報空間上の情報家電機器の識別子と、現実空間の実デバイスのバインディングは実現されたと考えられる。

最後に今後の展望を述べ、本論文で提案した手法の精度、速度向上に対する考察を述べ、本論文で提案した手法の応用アプリケーションと今後の可能性について言及した。そして、情報家電機器利用に対するユーザへの負荷を下げることによる、情報家電機器の普及、情報家電機器制御技術の向上に貢献した。

謝辞

本論文の執筆にあたり、親身になって丁寧に御指導して頂きました、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、應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士、慶應 義塾大学環境情報学部専任講師中澤仁博士には貴重な御助言を賜り、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。特に今枝卓也氏、米澤拓郎氏、伊藤友隆氏には、本論文の執筆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。

また、研究生活を支えてくれた家族、同じ研究会で家族同然に同じ時間を共に過ごした、金澤貴 俊氏、野沢高弘氏、徳田義幸氏、山本純平氏、米澤祐紀氏、研究の日々を共に過ごした ACE 研究 グループに大いに感謝の意を表します。

現役の研究室の仲間だけではなく、修士論文執筆まで研究生活を導いてくれた先輩方である、大 澤亮氏、駒木亮伯氏、鈴木慧氏には多くのご指導と励ましをいただきました。ここに多大なる感謝 の意を表し、謝辞と致します。

2011年1月12日 小川 正幹

参考文献

[1] Hide Tokuda Lab.

http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/

[2] Smart Space Labolatory.

http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/SSLab/

[3] Smart Living Room.

慶應義塾大学, 徳田・高汐研究室. 2004. [4] Genta Suzuki Shun Aoki Takeshi Iwam

- [4] Genta Suzuki, Shun Aoki, Takeshi Iwamoto, Daisuke Maruyama, Takuya Koda, Naohiko Kohtake, Kazunori Takashio and Hideyuki Tokuda. u-Photo: Interacting with Pervasive Services Using Digital Still Images. In *The 3rd International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*, pp. 190-207, 2005.
- [5] Renesas Electronics Corporation. http://japan.renesas.com/
- [6] Jin Nakazawa, Hideyuki tokuda, W. Keith Edwards, Umakishore Ramachandran. A Bridging Framework for Universal Interoperability in Pervasive Systems. In The 26th International Conference on Distributed Computing Systems, pp3-3, 2006
- [7] Georg Klein and David Murray. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. In 6th IEEE and ACM International Symposium, pp225-234, 2007.
- [8] Seong Joon Lee, Yong Hwan Kim, Sung Soo Kim, Kwang Seon Ahn. A remote monitoring and control of home appliances on ubiquitous smart homes. In MOBILWARE '08 Proceedings of the 1st international conference on MOBILe Wireless Middle WARE, Operating Systems, and Applications, 2008.
- [9] AirPrint.

http://www.apple.com/pr/library/2010/09/15airprint.html

- [10] HP ePrint.
 - http://h71028.www7.hp.com/enterprise/us/en/ipg/hp-eprint3.html?jumpid=reg_R1002_USEN
- [11] Microsoft Kinect.

http://www.xbox.com/en-US/kinect

[12] 中里祐介. ウェアラブル拡張現実感の為の不過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.

- [13] 浜田憲一郎. UPnP 入門. 星雲社, 2008.
- [14] Point Grey Research. http://www.ptgrey.com/
- [15] ARToolkit.

http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/

[16] Universal Plug and Play. http://www.upnp.org/

[17] Bonjour.

http://www.apple.com/jp/support/bonjour/

- [18] Cyberlink for Java. http://www.cybergarage.org/twiki/bin/view/Main/CyberLinkForJava
- [19] Akihiko Torii, Michal Havlena and Tom?? Pajdla. Omnidirectional Image Stabilization for Visual Object Recognition. In *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION*, 2010.
- [20] Charles C. Kemp, Cressel D. Anderson, Hai Nguyen, Alexander J. Trevor, Zhe Xu. A point-and-click interface for the real world: laser designation of objects for mobile manipulation. In HRI '08 Proceedings of the 3rd ACM/IEEE international conference on Human robot interaction, pp241-248, 2008.
- [21] エコーネット. http://www.echonet.gr.jp/
- [22] Jini. http://www.jini.org/wiki/Main_Page
- [23] Scott Oaks, Henry Wong. JINI クイックリファレンス. オライリー・ジャパン, 2001.
- [24] Soko Aoki, Masaki Ito, Junichi Yura, Jin Nakazawa, Kazunori Takashio, Hideyuki Tokuda. u-Photo Mobile: Interacting with Smart Environments via Clickable Photos on Mobile Phones. In Fifth International Conference on Intelligent Environments (IE09), Barcelona, Spain, pp327-334, 2009

付録 A

ユーザビリティ評価用アンケート

以下に本研究で使用したユーザビリティ評価を行う為のアンケートを示す。

DCIA 評価実験アンケート

性別 (男・女) 年齢 ()

1. 3つの手法で情報機器にアクセスしてみた結果、利用負荷が最も高かった (大変だと感じた) もの、最も低かった (簡単だと感じた) ものを丸で囲んで下さい。また、そう感じた理由も記入してください。

最も負荷が高かった

IP アドレスを調べる手法 ・ ビジュアルマーカを利用した手法 ・ DCIA (本手法) 理由 ()

最も負荷が低かった

IP アドレスを調べる手法 ・ ビジュアルマーカを利用した手法 ・ DCIA (本手法)理由 ()

2. DCIA について以下の質問にお答え下さい。

(1:全くそう思わない 2:そう思わない 3: どちらでもない 4:そう思う 5:非常にそう思う)

DCIA は機器の情報を取得するのに有用である	1	2	3	4	5
IPアドレスを調べる手法より DCIA を使いたい	1	2	3	4	5
ビジュアルマーカを利用した手法より DCIA を使いたい	1	2	3	4	5
情報家電機器を設置する際は DCIA を利用したい	1	2	3	4	5

3. DCIA の利用について以下の質問にお答え下さい。

(1:全くそう思わない 2:そう思わない 3: どちらでもない 4:そう思う <math>5:非常にそう思う)

室内にカメラが設置されている事は気にならない	1	2	3	4	5
情報を取得するまでの時間にストレスを感じない	1	2	3	4	5

4. 何かコメントがあればお書き下さい。

ご協力ありがとうございました

図 A.1 ユーザビリティ評価に使用したアンケート