

# 情報家電エージェント協調のためのオントロジーサービスの実現

## Cooperation of Agents for Information Appliances Using Ontology Services

平尾 郁実<sup>\*1</sup>  
Ikumi Hirao

飯島 正<sup>\*2</sup>  
Tadashi Iijima

山口 高平<sup>\*2</sup>  
Takahira Yamaguchi

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学大学院 理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>\*2</sup> 慶應義塾大学 理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University

Information appliances (i.e. home appliances connected to home networks) have become to have more reality, in consequence of growth of technologies in fields of internet and IT devices. Services and supports used from home appliances through the Internet can be provided independently by each company, but there are still many issues (i.e. standards of protocols or know-how can be converted them mutually) related to cooperation among the appliances. Information appliances have challenges to connect easily or to be able to connect them mutually or to be able to make use of them with a sense of security. We propose a framework in which software agents are deployed in information appliances. We used FIPA agents' interaction protocols in order to cooperate devices by interactions among agents on even ground. We also used ontologies that described devices and functions to support them. Adding proper ontology descriptions makes cooperation between old and newly added appliances possible. When Information appliances cooperate with other them, they can work together flexibly each other using ontology. Lastly, we have done an evaluation experiment based on our architecture and confirmed its feasibility

### 1. はじめに

近年の家電機器の高性能化・高機能化, パソコン等情報機器の家庭内への進出, インターネットや家庭内ネットワークの普及に伴い, 家電機器のネットワーク化は家庭の情報化の流れとして自然なものである。現在売られているほとんどの家電機器は, 基本的に単独の利用でしか考えられておらず, ネットワークを利用して全く関係ない機器同士が連携するといったことはできない。これらの家電機器の協調動作, もしくは外部ネットワークからの遠隔操作が可能となれば我々に様々な恩恵をもたらしてくれるはずである。

本稿では, ネットワーク化された家電である情報家電に関連する技術のうち, 情報家電同士の協調動作を対象とする。ここでいう協調とは, 家電機器間の対話により人間にとってより快適な環境を作り出すこと, もしくはそれを支援することである。

情報家電の協調連携に必要な条件として, ネットワークに繋いで動作させるための複雑な設定は, 家電の特徴にそぐわないため, また, 異なるメーカー製の機器間において協調動作させるためには, 協調のためのプロトコルが統一されること, もしくは互いのプロトコルを相互変換できるような仕組みが必要となるため, 次のようなことがネットワーク化する際の問題点(課題)として挙げられる。

【課題 1】維持管理が不要なネットワークや, 機器の接続・離脱動作のための操作を必要としない, 従来の家電のような使いやすさで, 簡単に接続や利用が可能であること。

【課題 2】共通のプロトコル, もしくは違いを相互変換するように, 相互に接続可能であること。

本稿では, 情報家電の相互協調動作を実現するためにエージェントを使用し, 各情報家電機器にエージェントを配置して協調動作を行わせることを提案する。提案した枠組みでは, 機器間の協調動作のためのやりとりをエージェントの相互作用プロ

トコルによって行う。エージェント同士の対話(メッセージのやり取り)をいくつかの典型的なパターンに分類し規定したこの相互作用プロトコルを利用することによって, 機器間の協調動作を機器同士の対話によって行うことを図る。また, 機器オントロジー・機能オントロジーの 2 つのオントロジーを用いることにより, 新たな機器の追加を少ない手間で行うことを可能にし, 協調動作時にはオントロジーを利用することで機器の柔軟な連携をも可能にする。これにより, ユーザが機器を接続・離脱させたり設定したりする際の負担の軽減を図り, 利用者の手間をできるだけ省いた, ユーザにやさしいアーキテクチャを目指す。

続く 2 節では提案やアーキテクチャの詳細に触れる。3 節ではオントロジーサービスについて述べる。4 節ではオントロジーサービスの設計について, 5 節で評価実験, 6 節では今後の課題について述べる。

### 2. 情報家電のためのエージェント間協調

情報家電で協調動作を行うために, 本稿では FIPA[1]の仕様に基づくエージェントを家電機器に配置することを想定する。2.1 節において, 協調動作の概要や提案内容を述べる。2.2 節では, 家電協調アーキテクチャの概要に関して述べる。

#### 2.1 家電間の協調動作

本稿における情報家電間の“協調”動作とは主に次のようなものを指す。

- ① 複数の機器が, 機器間での競合を解消するために, 機器間でのリソースを分け合う動作
- ② ある機器が自分の目的を達成するために他機器の協力を要請して行う動作

①にあたる例としては, 次のようなものがある。例えば, 電話機で通話する場合, テレビやステレオ機器等が発する音が大きいと相手の声が聞き取りづらい等の問題が起こる。そのような場合に, 機器同士の協調により, テレビやステレオ機器等が自身の音量を下げるといったことが考えられる。電力の場合でも, 足りない電力を他機器が分け与えることにより補い合うといったことが考えられる。

②にあたる例としては, ビープ音などでしかユーザに作業完了等を通知できない機器が, テレビなどの画面表示を用いてメッセージを通知するなどといったことが挙げられる。

連絡先: 平尾郁実, 慶應義塾大学大学院 理工学研究科,  
E-mail: momiji01@ae.keio.ac.jp

以上のような協調動作を扱うために、本稿ではエージェント技術の標準化団体である FIPA の仕様に基づいたエージェントを各家電機器上に配置し、エージェントにその機器を制御させる方式を提案する。各エージェントは、あらかじめ定められている相互作用プロトコルにしたがって対話を行い、機器間の協調動作を行うことを図る。これを実現するためのアーキテクチャについて、2.2節で述べる。

## 2.2 家電協調アーキテクチャの概要

アーキテクチャは、機器に内蔵された機器エージェントと、主に3つのサービスによって構成される。

- ・ タスクサービス
- ・ オントロジーサービス
- ・ ロケータサービス

タスクサービスは協調動作のタスクを生成し、機器に提供するサービスである。オントロジーサービスは、機器の種類や、それらがどのような機能を持っているかなどの情報が保持されているオントロジーを管理し、利用するためのサービスである。ロケータサービスはオントロジーサービスの一部で、機器や人の位置情報などの管理をし、利用するためのサービスである。そして、これらサービスを含めたアーキテクチャの概要図を図1に示す。



図1 アーキテクチャの概要図

本稿では、上記アーキテクチャにおいて【課題1】【課題2】における解決案を提案する。具体的には、家電間の協調を行うために用いるオントロジーの設計と、それを機器エージェントが利用するためのオントロジーサービスの設計を行う。

## 3. オントロジーサービス

機器間で何かしらの依頼を行ったり、リソースを分け合う、もしくは干渉を解消するためにプランニングを行ったりするためには、各機器の提供する機能がどのようなものであるか、そして、それらの機能はどうやって使えるかといったことを知識として保持しておけばよい。したがってここでは、各種機器が持つさまざまな機能を体系化したものである【機能オントロジー】と、各種機器の種類により体系化したものである【機器オントロジー】を考える。機器オントロジー内に記述される各機器について、機器がどのような機能をもっているかを、機能オントロジーのクラスを指し示すことにより表現する。

これらのオントロジーは、オントロジーエージェントを介して用いられる。オントロジーエージェントを介することにより、各機器エージェントがオントロジーの記述に直接アクセスするのではな

く、オントロジーエージェントとの ACL (エージェント間通信言語) による通信でオントロジーにアクセスすること、また、各機器エージェントがオントロジー記述の構文解析等をオントロジーエージェントに任せることなどを可能とする。

オントロジーとしては、ウェブ・オントロジー言語である OWL を用いる。OWL は W3C 勧告となっており、セマンティック・ウェブの標準技術である。標準である技術を用いることは、情報家電のための統一的プラットフォームを構築するのに適しているといえる。

### 3.1 機器オントロジー

機器オントロジー(図2)は、様々な家電機器の種類を体系化したものである。まず、ベースとして家電機器を種類ごとにそれぞれクラスとして定義し、それらを分類し階層化したものを用意する。最上位を【機器】クラスとし、最下位にもっとも具体的なものである機器個別のクラスを記述する。

さらに、機器の持つ各種データ値型プロパティと、機器の持つ機能(後述する機能オントロジー上のクラス)を示すためのプロパティを定義し、機器クラスごとにプロパティ制約を持たせることにより、機器の持つ機能やプロパティを記述する。各種データ値型プロパティで表すのは、機器の各種設定値や、センサ機器の感知する値などである。

これにより、機器がどの機能を備えているかがわかるとともに、特定の機能を持っている機器を探す、といったことも可能になる。

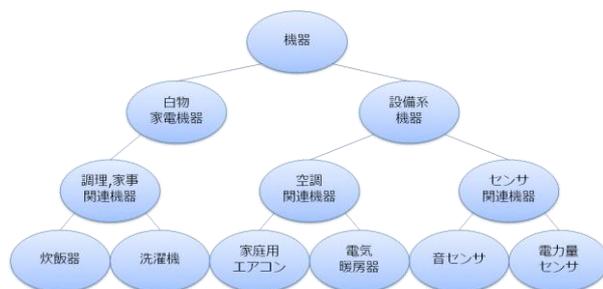


図2 機器オントロジーの一部

### 3.2 機能オントロジー

機能オントロジーは、家電機器の持つ様々な機能を体系化したものである。各種機能をそれぞれクラスとして定義し、最上位のクラスを【機能】クラスとして分類し、階層化する。また、各機能クラスには、その機能が扱うパラメータの型を示すためのプロパティを定義している。

依頼元の機器が、ある特定の機能を使用した協調動作を提案したい場合に、依頼元の機器エージェントが、オントロジーエージェントを介して、特定の機能のパラメータの型を受け取る。その型に適したパラメータを依頼先に送ることにより、依頼先の機器は、パラメータに応じた協調動作を行う。その際に、機器オントロジーを参照し、依頼先の機器の候補を求める。

### 3.3 ロケータサービス

実際の家庭では、利用者が導入するシナリオによっては、機器がどの部屋にあるのか、あるいは人がどの部屋にいるのか、といった情報を頻繁に必要とする。それに対応するためには、家の構造を概念化し部屋の位置情報を表現することによって、機器側に連携・協調を行いたい機器がどこに存在するかという情報をエージェントが利用できる必要がある。

現状では、人や機器の存在場所ならびにその移動を認識する手段として、各人・各機器にそれぞれ固有の RFID タグを装

着し、部屋の出入りに RFID タグを認識できる RFID リーダを設置するものという想定で、実際にタグならびにリーダを用いて実験を行っている。今回行っている実験では、対象環境を表現するためのオントロジーの一種として、一般家庭の家の構造を表現するための【家オントロジー】を構築した。

家オントロジーでは、家はフロアを持ち、フロアは部屋と RFID リーダを持つ has-a 関係や、部屋のサブクラスには、台所や風呂などを記述している。台所や風呂はガスを扱う部屋、書斎は本を読む部屋(静かな環境の部屋)などのような記述を追加することにより、災害時や読書の際に、部屋ごとに情報家電同士を協調動作させることもできる。機器が存在する部屋、人がいる部屋、部屋同士の位置関係などは各家庭固有のインスタンスとして定義し、前述した機能・機器オントロジーとともに利用する。表 1 は property の一部である。

ロケータサービスを提供するのがロケータエージェントであり、ロケータエージェントがすべき役割は 4 節で述べる。

Property	Domain	Range	概要
hasDevice	Room	Device	部屋の中に存在している機器の記述
hasHuman	Room	Human	部屋の中に存在している人の記述
hasRFIDReader	Room	RFIDReader	部屋が所持しているRFIDリーダの記述
isAdjacent	Room	Room	部屋の隣り合わせな部屋の記述

表 1 property の一部

#### 4. オントロジーサービスの設計

機器間の協調で、オントロジーが利用されるべき場面は、

##### 1. 機器の検索時

(必要な機能などを持った機器を求める)

##### 2. 機器の機能を利用するとき

の 2 つである。さらに、オントロジーに記述されていない新しい機器との協調を行うためには、オントロジーに記述の追加を行わなければならない。そのため、

##### 3. 新しい機器に関する記述の追加

ということに関しても考えなければならない。これら 3 つの項目について本節で順に述べ、オントロジーサービスとして必要な機能を設計する。

##### 1. 機器の検索時

次の 2 つの条件に合致する機器を調べる。

- ・必要な機能を備えていること
- ・特定の人物の近くに位置するといった、場所の条件

これらの条件に合致した機器の中で、実際に現存するものの ID を、ロケータサービスを利用して得る。つまり、オントロジーを利用して、機能などにより機器の種類(クラス)を絞り込み、さらに場所により具体的な機器を絞り込む。最終的に得られたもののうち、現存する機器を調べ、その機器のアドレスを得る。これら一連の作業は、ロケータサービスの一つのサービスとしてロケータエージェントが提供する。そこで、ロケータサービスが保持するロケータエージェントに、この作業を行わせる。

具体的な機器の検索は、以下の流れである。

- α. 目的となる機器が持つ機能を条件として、機器オントロジー及び機能オントロジーを用いて条件に合致する機器の種類(クラス)を得る
- β. α で得られた機器クラスのインスタンス群からロケータサービスを用いて、どの部屋にある、誰が同じ部屋にいるなどといった場所の条件を考慮し、それに合致する機器を調べる。

このように、与えられた条件から機器を特定する。この中で、オントロジーエージェントの役割がオントロジーの読み書きであ

るとすると、機器の検索時に、オントロジーエージェントは以下の処理を行うことになる。

- ・ある機能クラスから、それを持つ機器クラスを調べる
- サブクラスはスーパークラスのプロパティ制約などを継承していることを考えると、オントロジーエージェントはこれに加え、サブクラスを調べる機能も必要となる。

##### 2. 機器の機能を利用するとき

実際に機器間で協調動作を行う際には、依頼元が依頼先の機器に対して、どの機能の使用を依頼するかということをもつて伝える必要がある。さらに、それとともに送る必要があるのが、機能に付随するパラメータである。

依頼元の機器は、ある機能に対してどのようなパラメータの型が必要かを知る必要がある。つまり、機能オントロジーからパラメータの型を受け取ったら、依頼先に提案する値を送ればよい。

このためにオントロジーエージェントに必要な機能とは、ある機能に対して、それに関連づけられたパラメータの型を返すものである。表 2 に、オントロジーエージェントの処理と入出力について示す。

処理内容	入力	出力
機器クラスを求める(パラメータの型含む)	機能クラス	機器クラス パラメータの型
新しい機器の記述	URI	-
新しい機能の記述	URI	

表 2 オントロジーエージェントの処理を入出力

##### 3. 新しい機器に関する記述の追加

オントロジーに記述されていない新しい機器との協調を行うためには、適時オントロジーの更新を行う必要がある。そのために、新しい機器の接続時にオントロジーの記述を追加できるようにすることを考える。

新しい機器に関する定義では、その機器のクラス、およびそれに付随するデータ値型プロパティの記述を追加することが必要である。また、その機器が持つ機能でオントロジーに記述されていないものであれば、それに関するクラスとプロパティの記述も追加する必要がある。

このような記述の追加を行うために、オントロジーのマージを行う機能をオントロジーエージェントに用意する。新たに加えるクラスやプロパティの表現、およびそのスーパークラスなどを記述したオントロジーを用意し、それを既存のオントロジーにマージすることで、新たな記述の部分が適切に既存のオントロジーに組み込まれる。この処理に必要な入力、新たに追加する記述を含んだオントロジーであり、URI によってオントロジーのファイルを指定することで利用可能となる。このオントロジーのマージに関する概要図を図 3 に示す。

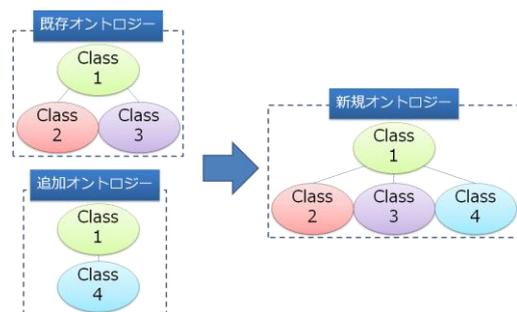


図 3 オントロジーのマージ

## 5. 評価実験

2 節で述べたアーキテクチャの実現可能性を調べるため、また、設計したオントロジーサービスが正しく動作することを確認するとともに、新たな問題点や課題を見つけるために、試作システムの作成を行った。

### 5.1 試作システムの概要

試作システムでは、オントロジーサービスといくつかの機器エージェントをコンピュータ上で作成し、実際の家電間の協調において想定されるシナリオのうち、いくつかを試した。

オントロジーサービスに関するオントロジーエージェント・ロケータエージェントと、実際に協調動作を行う機器として、表 3 の機器に関する機器エージェントを作成した。エージェントは、FIPA 仕様に準拠したエージェントフレームワークである JADE[2]にて作成した。オントロジーの作成にあたっては、オントロジーエディタである Protégé[3]を用いて記述した。

白物家電機器	AV関連機器	設備系機器
炊飯器	テレビ	エアコン
洗濯機	オーディオ機器	電力量センサ
電子レンジ	電話機	人感センサ

表 3 機器エージェントの種類

### 5.2 協調タスク

機器間の協調動作に関しては、現状ではタスクサービスがないため、機器エージェント内にタスクを直接記述したタスク例を次に示す。

1. 電話の発信・着信時、他機器の音量を下げる
2. テレビの画面表示を他機器が借りて、人に何かを伝えるメッセージを表示する
3. 大量の電力を使用する機器を使う際、必要な電力が確保できないならば、他機器に使用電力を下げてもらおう
4. 人がいなくなったとき、機器の使用電力を減らす
5. 書斎に隣接する部屋の AV 機器の音量を下げてもらう

協調タスクはプランに沿って、相互作用プロトコルを用いて行われる、例として、上記 5 のプランを取り上げる。

書斎に隣接する部屋の AV 機器の音量があまりに大きくなると、そもそもの書斎としての機能を低下させてしまう。書斎で人が読書していると認識した時に、隣接する部屋の AV 機器エージェントに音量を一定値に下げてもらおうシナリオである。図 4 に JADE での試作システム実行中の画面例を示す。

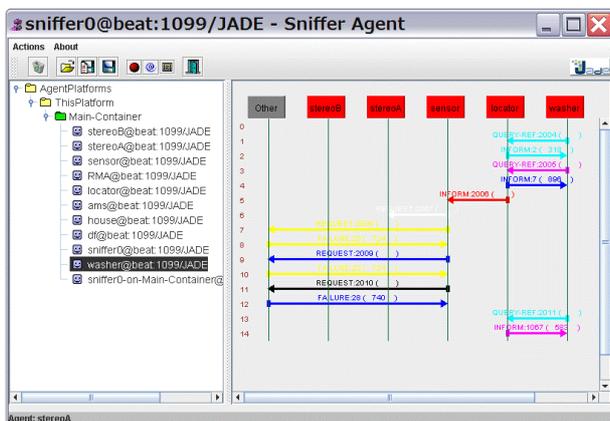


図 4 JADE での試作システム実行中の画面例

### 5.3 検証と考察

機器の検索や協調タスクの実行、新機器への対応に関し、作成したシステムの範囲内では正常に動作し、問題点として挙げられた【課題 1】、【課題 2】は、本システムで十分に対応することができた。

オントロジーを利用した機器の検索の有効性と、オントロジー記述の追加により新しい機器と既存の機器の間での協調が行えることを確認でき、アーキテクチャの基本的な有用性を確認できたと言える。また、分散エージェント・プラットフォーム JADE をミドルウェアとして使っているため、各エージェントは別々の PC に分散配置することもプログラムの変更なしに行うことができる。

実験により発見された課題として、

1. 機能による設定値の表現方法
2. 機器間の対話における語彙などの課題があげられた。
  1. 例えば AV 機器の音量を下げる場合、音をどれだけ減らすのか、という入力パラメータが必要となる。この表現方法には「～db 減らす」「～db まで減らす」「一段階減らす」など、様々な表現方法が考えられる。現状では、一種類の表現方法で定めるのが難しい。このような表現を可能にするためには、何らかの別の表現方法や拡張した手法をとる必要がある。
  2. エージェント間の対話により、リソース配分の調整や、タスク間の衝突などにおける際の調節などを行うが、現状では機器の検索、機能の利用のとき以外に利用するための語彙(オントロジー)は設計していない。今後、より汎用的なドメインオントロジーの必要性も考えられる。

## 6. おわりに

本稿では情報家電機器の協調動作を行うためのアプローチとして、エージェントによる協調動作を試みた。FIPA 準拠のエージェント環境における仮想家電機器を用いて、エージェントによる情報家電間の協調の実現可能性を示した。

しかし、アーキテクチャとしては、プラン記述やオントロジーの洗練など、解決すべき問題や改良すべき箇所がまだまだある。また、こういった機器同士が単に協調するだけのサービスから、外部環境に応じた機器の協調に関する、環境の変化におけるサービスの実現方法も考慮していかねばならない。現在、外部環境や特定の人に応じた協調動作をするアーキテクチャを構築中である。それにより、情報家電としてさらなる可能性が広がるはずである。

### 参考文献

- [1] FIPA – The Foundation for Intelligent Physical Agents (<http://www.fipa.org/>)
- [2] JADE – Java Agent Development framework (<http://jade.cse.lt.it/>)
- [3] Protégé (<http://protege.stanford.edu/>)
- [4] Jena (<http://jena.sourceforge.net/>)
- [5] ECHONET CONSORTIUM (<http://www.echonet.gr.jp/>)
- [6] 本位田真一, 飯島正, 大須賀昭彦:「エージェント技術」, 共立出版, 1999
- [7] 斎藤信男, 萩野達也:「セマンティック Web のための RDF/OWL 入門」, オーム社, 2004
- [8] 溝口理一郎:「オントロジー工学」, オーム社, 2005
- [9] 丹康雄:「ホームネットワークと情報家電」, オーム社, 2004