

ブログアルファ: 生活オントロジを用いた留守番ロボット

BlogAlpha: Home Security Robot using Life Ontology

長 健太^{1*} 溝口 祐美子¹ 長野 伸一¹ 稲葉 真純¹ 川村 隆浩¹
Kenta CHO¹ Yumiko MIZOGUCHI¹ Shinichi NAGANO¹
Masumi INABA¹ Takahiro KAWAMURA¹

¹ 株式会社 東芝 研究開発センター

¹ TOSHIBA Corporation Corporate Research and Development Center

Abstract: BlogAlpha is a home automation system that uses a home automation robot ApriAlpha to integrate the legacy appliances in a home. It provides a blog interface to receive the user's request remotely in a natural language and show the state of the home. A robot works as intelligent glue that connects and automates legacy appliances, allowing users to introduce an intelligent home environment in their home at much lower cost. BlogAlpha uses the ontologies about the commodities in a home, the locations where these are placed and the tasks the robot can achieve. By using these ontologies, the robot can achieve the proper action to respond to a wide variety of user requests.

1 はじめに

ユビキタスコンピューティングの発展につれ、家庭内の機器の自動設定やリモートコントロールを可能にするスマートホームなど、家庭内の人々をコンピュータにより支援することが可能になりつつある。スマートホームにおいては、情報家電がユーザのコンテキストに応じて自動的に調整され、また外出先のPCや携帯電話からそれら家電を制御することが可能となる。スマートホームではユーザのコンテキストを知るためのセンサ群や、ユーザにサービスや情報提供を行うための情報家電、ディスプレイなど多数のデバイスが必要となる。それらのデバイス群は遠隔地から制御可能なようネットワーク接続される。

スマートホームにおける問題はコストである。例えばホームセキュリティサービスを実現する場合、多くのカメラやセンサを導入し、それらを無線もしくは有線ネットワークで接続する必要がある。ホームオートメーションサービスでは、ネットワークに接続可能な冷蔵庫やオーディオ機器などが必要となる。また多くの場合、それら機器を統合し外部からのインターネット経由の操作を可能にするためのホームサーバも必要となる。それらの機器は高価なため、スマートホームを実現するには多くのコストがかかる。

我々はこの問題に対し、ホームオートメーションロ

ットを用いて家庭内の既存の家電を統合するアプローチを採った。ホームオートメーションロボットは状況を把握するためのカメラやマイクなどのセンサ、および家電を制御するためのリモコンを備える。ロボットは環境やユーザの状態を把握するために自律的に動作し、家電の動作をユーザに適応させる。ロボットはネットワークを介して操作することができ、家庭内の機器の遠隔制御を行うことができる。ロボットは家庭内の情報化されていない既存の家電群を置き換えることなくそれらを統合し活用できるため、ユーザはスマートホーム環境をより安価に手に入れることができる。

本論文では、ブログからのユーザの指示に従って家庭内の監視、制御を行う留守番ロボットシステム、ブログアルファについて述べる。ブログアルファはユーザからブログのコメントとして与えられる自然文に従って家庭内で動作し、動作した結果をエントリとしてブログに書き込みを行う。ユーザは携帯電話やPCでブログにアクセスすることで、外出先から家庭内の遠隔監視、制御ができる。ブログアルファはユーザからの指示を解釈するために、家庭環境に関する生活オントロジを備え、自然文から具体的な動作コマンドを生成する。2章においてホームロボットを用いてホームオートメーションサービスを実現する利点について述べる。3章においてブログアルファの実装について述べる。4章で具体例を用いてオントロジおよびブログインタフェースを利用する利点について評価を行う。5章で関連研究について述べる。

*連絡先：株式会社 東芝 研究開発センター
知識メディアラボラトリー
川崎区幸区小向東芝町 1
kenta.cho@toshiba.co.jp

2 ホームオートメーションロボット

近年ホームオートメーションシステムは、パーベシブコンピューティング [1] やアンビエントインテリジェンス [2] [3] の分野におけるアプリケーションとして広く知られている。家庭内に埋め込まれたスマートデバイスが連携することで、遠隔操作、自動制御、セキュリティなどのサービスが実現される。

ホームオートメーションシステムには満たすべきいくつかの要件がある。文献 [3] はユーザによる実証研究によりそれら要件を調査したものである。本文献によると、最も重要な要件は、ユーザがシステムを常にコントロールできるようになっており、かつ安全であること、2番目に重要な要件は、適切な人々に適切な情報が伝わるようになってきていること、3番目に重要な要件は、システムは家電の機能を統合して動作可能なことと、コストが低く抑えられることであった。この結果を踏まえて、我々は以下に示す2つの要件に注力することとした。

- ユーザの要求に柔軟に応じて適切な情報とサービスを提供する

システムは適切な情報とサービスをユーザに提供する必要がある。適切かつ柔軟な動作を実現するためには、多くの種類のサービスが必要であり、かつシステムはそれらサービス群から適切な選択を行う必要がある。不適切なサービスを提供しないことは、安全の観点からも重要なことである。

- 低いコスト

低いコストでシステムを提供することは、ホームオートメーションシステムを広く普及させるために重要である。

ユーザの要求に従ってタスクを行うためには、システムは家庭内の機器に関する知識を備える必要がある。そのような知識には、機器に関する単語、種別、機能、設置場所などが含まれる。家庭内環境をモデル化する際に、それら知識はオントロジによっても記述可能である [6]。

ホームオートメーションシステムは主に情報家電とセンサから構成されるが、それら機器を大量に配備したシステムはコストがかかる。他の方法としては、ホームオートメーションロボットをユーザおよび家電とのインタフェースとして用いることが考えられる。文献 [4] はロボットから Bluetooth を用いて家電を制御する方式について述べている。

ホームロボットはネットワーク接続や自動設定機能を備えない既存の家電を統合して制御することができる。ロボットは家庭内を動き回り、環境を把握したり家電を制御したりする。また、遠隔地のユーザからの

要求を受け取り、対応するタスクを行うことができる。ロボットが情報家電などで実現されている様々なサービス群を提供することができれば、ユーザはスマートホーム環境を、多くの既存の家電を置き換えることなく、ロボットを導入するだけで得ることができる。

そこで我々は生活オントロジを備えたホームロボットを用いることで、前述の2つの要件を満たすホームオートメーションシステムを実現するアプローチを採った。生活オントロジとは、家庭内の機器や環境などに関する知識であり、ロボットが家庭内で適切な動作を行うために用いられる。ホームロボットは家電を置き換えることなくそれらに自動設定や遠隔制御機能を付加することができるため、ホームオートメーションシステムのコストを低減することができる。

ホームオートメーションシステムに対して指示を行う方法として、Web インタフェースがしばしば用いられる [7]。Web インタフェースを用いることで、ユーザはブラウザが利用できるあらゆる遠隔地からシステムにアクセスすることができる。多くのシステムは専用の UI [8] を備えているが、多様なサービスにアクセス可能にするのであれば、自然文による入力が可能な汎用な UI が望ましい。文献 [9] ではロボットアシスタントと対話によってコミュニケーションし、ロボットの注目する人や物を変化させるというシステムが挙げられている。

我々のシステムではブログシステムをロボットとのインタフェースとして用いた。ユーザはロボットへの指示、要求をブログのコメントとして自然文で入力することができる。ロボットはコメントを解釈し、ユーザの要求は何か、その要求を解決するには何をすればいいかを判断する。ロボットは要求を解決するコマンド列を実行し、その結果をブログのエントリとして投稿する。

近年ブログシステムは広く使われており、コメントやエントリを通じてロボットとコミュニケーションすることは多くの人にとって分かりやすい UI といえる。これらのコミュニケーションは自然文で行われるため、様々な要望をシステムが受け付けることができる。我々は生活オントロジを用いてコメントの自然文の解釈、および要求に対応するコマンド列の生成を行った。

我々はホームロボット ApriAlpha [5] を用いて本システムを実装した。ApriAlpha とブログシステムの組み合わせで実現される本システムを、ブログアルファと呼ぶ。

3 ブログアルファの実装

ブログアルファはホームオートメーションロボット ApriAlpha (図 1) とブログシステムから構成される。



図 1: ApriAlpha

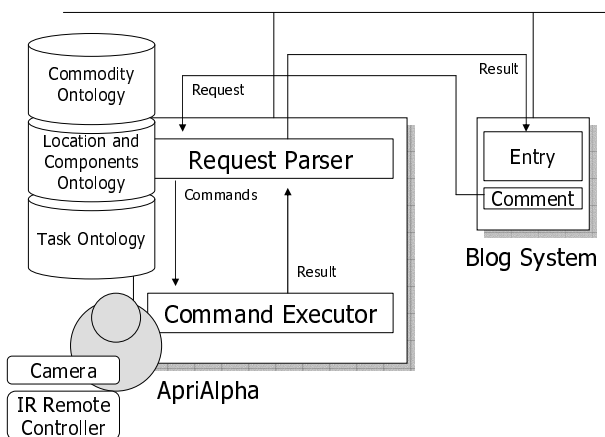


図 2: BlogAlpha Architecture

ApriAlpha はユーザの要求をブログシステムからコメントとして受け取り、その要求を満たすためのコマンド列を実行、その結果をエントリーとしてブログシステムに投稿する。

図 2 はブログアルファのアーキテクチャを示している。ブログシステムを ApriAlpha 内部に組み込むこともできるが、本章ではこれら 2 つのコンポーネントがネットワーク接続されている構成について述べる。

ブログアルファは以下のように動作する。

1. ユーザはブログアルファへの要求をコメントとしてブログから入力する。コメントとしては「テレビつけて」、「猫えさ食べた?」、「ワイン持ってきて」などが挙げられる。
2. コメントは ApriAlpha に送られ、ApriAlpha は

ユーザの要求をオントロジを用いて解釈する。

3. 要求はコマンド列に分解され、ApriAlpha がそれらコマンドを実行する。コマンドは特定の場所に移動する、家電を操作する、写真を撮影するなどの基本的なアクションで構成される。
4. ApriAlpha は実行したコマンドの結果をブログのエントリーとして投稿する。エントリーには ApriAlpha が撮影した写真などが含まれる。

ブログアルファを用いることによって、ユーザは遠隔地からブログインタフェースを介して家庭内の機器をコントロールしたり、家庭内の状況を把握したりすることができる。

3.1 ApriAlpha

ApriAlpha は家庭内を動き回り、家電の制御や環境の把握を行うホームロボットである。ApriAlpha はワイヤレス LAN を備え、他の PC などと接続できる。また自然文解釈のためのモジュールを備え、ユーザの要求を表す文章を受信、解釈する。

3.2 オントロジ

ホームロボットは、適切な情報およびサービスを提供するために、家庭内の機器、日用品および環境に関する知識を備える必要がある。我々はそれら知識を表すために生活オントロジを用いた。生活オントロジは以下に述べる 3 つのタイプからなる。これらオントロジはロボットが家庭環境において動作するための常識として機能する。

- 日用品オントロジ

日用品オントロジは家電や日用品の単語、およびそれら単語間の 'is-a' 関係を表す。それら単語は階層的にクラス分けされる。図 3 は日用品オントロジの木構造の一部である。

- 場所オントロジ

場所オントロジは、日用品が家庭内のどこに置いてあるか、またはビールが冷蔵庫の中にある、スーツがクローゼットの中にあるなどの何の中に収納されているかを表す。場所オントロジは場所に関する単語およびその物理的な位置情報を含む。図 4 は場所オントロジの一部である。

- タスクオントロジ

タスクオントロジはユーザの要求を解決するためのコマンド列を表す。タスクは単語の索引およ

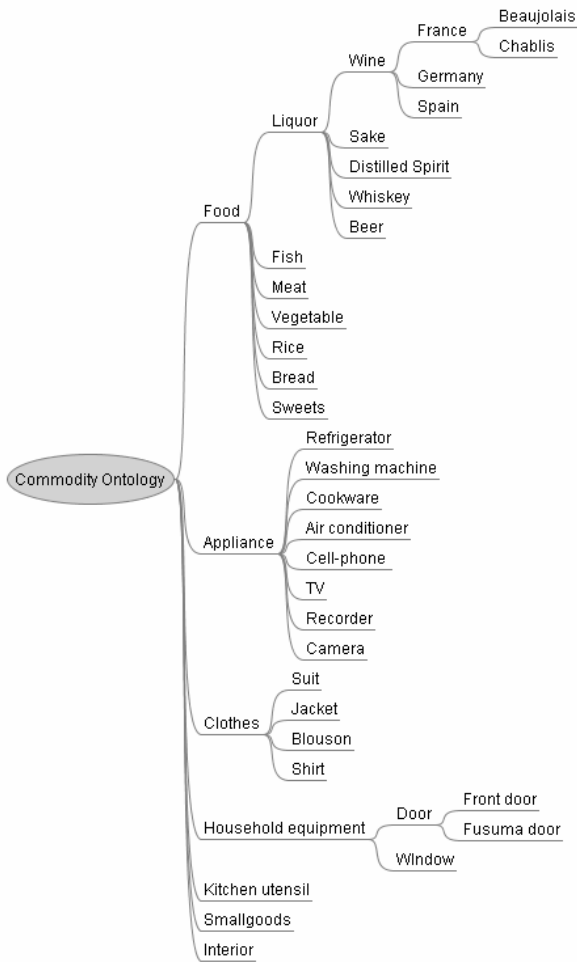


図 3: Commodity Ontology

びコマンド列から構成される。単語の索引はユー

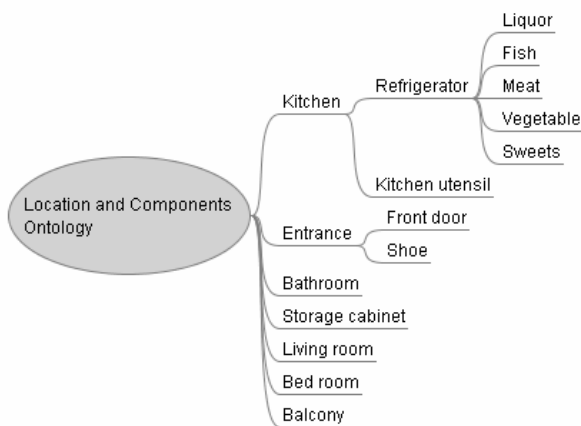


図 4: Location and Components Ontology

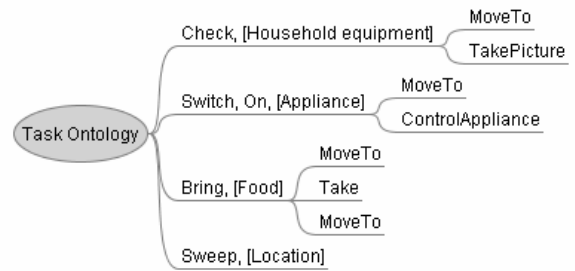


図 5: Task Ontology

ザのコメントを対応するタスクに対応付けるために用いられ、コマンド列は ApriAlpha をコントロールするために用いられる。タスクオントロジによって、ApriAlpha はコメント内のユーザの要求を解釈することができ、解決するための動作を行うことができる。図 5 はタスクオントロジの一部である。

3.3 リクエストパーサ

これらオントロジを用いることによって、ApriAlpha はユーザのコメントに対応するタスクを行うことができる。ApriAlpha はコメントを解釈するためのリクエストパーサを備える。リクエストパーサは以下のように動作する。

1. コメントは形態素解析器によって単語に分割される。
2. それらの単語はタスクオントロジを用いて解釈される。タスクオントロジ内の単語の索引は語句、もしくは日用品オントロジ内のノード、場所オントロジ内のノードのリストから構成される。分割された単語はこのリストと比較され、単語が語句やノードと一致した場合、対応するコマンド列がユーザの要求を解決する動作として選択される。リクエストパーサが単語とオントロジ内のノードをマッチする際には、'is-a' 関係を持つ全てのノードがマッチ対象となる。例えば「お酒をもってきて」というタスクに対しては、リキュール、ワイン、ボジョレーをもってきて、というお酒と 'is-a' 関係の単語を含むコメントもマッチする。
3. タスクを実行するために特定の場所に移動する必要がある場合、リクエストパーサは場所オントロジを参照し、対象の日用品がある場所、もしくは収納されている場所を検索する。

4. 選択されたコマンド列，およびそれに関連する日用品や場所に関する情報が，コマンド実行器に送信される．

3.4 コマンド実行器

コマンド実行器はリクエストパーサから送られるコマンド列を実行する．それぞれのコマンドはコマンド名およびパラメタから構成される．ApriAlpha は以下のコマンドを実行することができる．

- MoveTo
指定された場所に移動する．コマンド実行器は ApriAlpha を指定の位置に誘導するための経路情報を備える．
- TakePicture
カメラを用いて写真を撮影し，その画像を結果として返す．
- ControlAppliance
家電を赤外線リモコンを用いて操作する．
- Talk
パラメタに書かれた自然文を発声する．

現在，ApriAlpha は以上のコマンドのみ実行できるが，将来的にはホームロボットは物を持ち運んだり，家電を物理的に操作したり，といった動作が可能になると考えられる．そこで我々は，以下のコマンドが将来の ApriAlpha においては実行可能になると想定した．

- Take / Release
アームを用いることで，軽量の物体を持ったり，置いたりする．
- ControlAppliancePhysically
アームを用いて家電やドアや窓などの住宅設備を操作する．

コマンド実行器はコマンドの動作結果を自然文の形で返し，その結果をブログシステムに送信する．

3.5 ブログシステム

ブログシステムはブログアルファのユーザインタフェースとして用いられる．我々は既存のブログシステムに ApriAlpha とのブリッジを追加した．ブリッジはユーザからのコメントの入力を感知し，その内容を ApriAlpha に送信，ApriAlpha はコマンドの実行結果をエン

トリとして投稿する．ユーザが家庭内の状態を確認したい場合などは，エントリにカメラから取得された写真も含まれる．

4 評価

本章では，ブログアルファがユーザの要求に対して適切なサービスを提供するための柔軟性に関して評価を行う．我々は，システムの柔軟性を調べるためにブログアルファにおける典型的な動作例を採り上げ，ブログアルファにおいてユーザの要求を適切に扱うためにオントロジが重要な役割を担っている点を確認した．

4.1 動作例

ブログアルファはブログインタフェースを介して遠隔地から家庭内環境の監視や制御を行うなどの，ホームセキュリティサービスを実現できる．以下にその典型的な動作例を示す．

1. 会社からブログアルファのブログにアクセスし，「鍵どうなってる？」というコメントを入力する．
2. リクエストパーサがコメントを受信，日用品オントロジおよび場所オントロジを用いて「鍵」は「玄関」の「扉」に備わっているものであることを認識し，玄関の位置を取得する．位置情報とタスクオントロジを用いて，リクエストパーサは「玄関に移動」「写真を撮る」というコマンド列を生成する．
3. ApriAlpha はこのコマンド列を実行し，玄関の施錠状態を示す写真を撮影する．その写真を含むエントリが，ユーザのコメントへの応答として投稿される．
4. ユーザは鍵がかかっていることを確認したが，念のため家の中にだれかがいるかのように見せかけるようテレビのスイッチをつけようと考え，「テレビつけて」というコメントを書き込む．
5. ブログアルファは場所オントロジを用いて TV の場所を取得，ApriAlpha はその場所へ移動し，赤外線リモコンを用いて TV をつける．

ブログインタフェースを用いることで，ユーザおよびその家族はブラウザを用いて遠隔地から家庭内の環境を知ることができる．全ての要求およびその結果はコメントおよびエントリとして記録され，あとでその内容を見返すことも容易である．

この例では，システムはユーザからの要求によって動作を開始したが，ブログアルファではユーザの要求

なしにエントリを投稿することも可能である。例えば、家電がなんらかの不調を感知した場合、その内容を赤外線リモコンなどで ApriAlpha に送信，ApriAlpha がその不調に関する情報をエントリとして投稿することで家族に伝える，といった動作が考えられる。

将来的にプログラファが 3 章にて述べたコマンド群全てが実行できるようになると，システムは多様化するユーザの要求を解決するためにさらに多くの単語を理解する必要がでてくる。以下に述べる動作例は将来のプログラファにおいて実現されるであろう例である。この例では ApriAlpha の音声認識エンジンを用いることを想定する。

1. ユーザは ApriAlpha に「ビール持ってきて」と言う。
2. リクエストパーサはタスクオントロジを用いて「ビールのある場所に移動する」「ビールを取る」「ユーザの所へ移動する」というコマンド列を生成する。タスクオントロジにはどのような種別の日用品がアームで運搬可能かという知識が含まれている。「冷蔵庫を持ってきて」といった要求は，日用品オントロジの冷蔵庫に対応するノードが，対応するタスクオントロジ内に含まれていないため，実行されない。

ビールがある場所は場所オントロジを用いて得られる。プログラファはビールは冷蔵庫の中に収納されており，冷蔵庫はキッチンに置いてある，ということ認識する。

3. ApriAlpha はキッチンに移動し，ビールを取り，ユーザのところへ持っていく。

日用品オントロジ，場所オントロジ，タスクオントロジを用いることで，プログラファは様々なユーザの要求を理解し，システムがその要求を解決することができるかどうかを判断，可能ならば解決するためのコマンド列を生成することができる。

より詳細に考えると，「ビールを取る」というコマンドは「冷蔵庫のドアを開ける」「ビールを取る」「ドアを閉める」といったコマンドに分解する必要がある。将来的にはコマンドの種別や対象の日用品に応じてコマンドを分解するプランニングを行う必要がある。

5 関連研究

従来から家庭内環境をモデル化するためのオントロジを定義する試みがある。DomoML [10] は人と家庭内環境の相互作用をモデル化するためのマークアップ言語である。DomoML は家庭内環境リソースオント

ロジである DomoML-env，機能構成オントロジである DomoML-fun，リソース間作用オントロジである DomoML-com から構成される。DomoML-env [11] は家庭内環境の物理的リソースを定義するための語彙であり，プログラファの日用品オントロジと似た構造を持っている。プログラファのタスクオントロジはロボットの制御に特化した内容であるが，タスクを DomoML-fun や DomoML-com のような機能と日用品間の相互作用でモデル化することで，より汎用的に家庭内のタスクを記述できる可能性がある。

オントロジは，アンビエントインテリジェンス環境において，リソースの可搬性判定やサービス発見 [12]，自然言語による実世界サービスの検索 [13] にも用いられている。自然言語処理において，オントロジは自然文におけるあいまいさを解消するために用いられている [14] [15]。プログラファのリクエストパーサにおいて行われている自然言語処理は現状簡潔なものであるが，日用品オントロジおよび場所オントロジが，ユーザの要求におけるあいまいさを解消することで，要求に対応する適切なタスクを導出することができた。

6 おわりに

我々は，ホームオートメーションロボット ApriAlpha を用いて既存の家電を統合するホームオートメーションシステム，プログラファを提案した。プログラファはプログインタフェースを備え，家族は遠隔地から自然文により ApriAlpha に指示を与えることができ，家庭内の状態を知ることができる。プログラファは家庭内の日用品，それらの設置場所，ロボットが実行可能なタスクに関するオントロジを備え，様々なユーザの要求に対してそれを解決するコマンド列を生成，実行することができる。

今後の課題としては，各家庭それぞれで異なる知識，例えばペットがどう呼ばれているかなどをいかにシステムに簡単に設定可能にするかということが挙げられる。プログインタフェース上の家族とロボットの対話において，システムが知らない単語が現れたときに，その単語を日用品オントロジの適切なノードに対応付ける動作などが必要になると考えられる。

7 謝辞

本研究は総務省ネットワークロボットプロジェクトの一部として行われた。

参考文献

- [1] E.M. Petriu, N.D. Georganas, D.C. Petriu, D. Makrakis, and V.Z. Groza, Sensor-based information appliances, *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 3, pp. 31-35, Dec. 2000.
- [2] Ceccaroni L., and Verdaguer X., Agent-oriented, multimedia, interactive services in home automation, In proceedings of the Second European Workshop on Multi-Agent Systems (EU-MAS 2004), Barcelona, Spain, 2004.
- [3] C. Rucker, M. Janse, N. Portolan, and N. A. Streitz, User Requirements for Intelligent Home Environments: A Scenario-Driven Approach and Empirical Cross-Cultural Study, In proceedings of the Smart Objects and Ambient Intelligence Conference, (SOC-EUSAI), Grenoble, France, pp. 111-116, October 12-14, 2005.
- [4] Ho Seko Ahn, Jin Young Choi, Home Automation System using Intelligent Mobile Robot in Ubiquitous, URAMI (International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence), 2005.
- [5] Yoshimi T., Matsuhira N., Suzuki K., Yamamoto D., Ozaki F., Hirokawa J., Ogawa H., Development of a concept model of a robotic information home appliance, ApriAlpha, In proceedings of Intelligent Robots and Systems, 2004 (IROS 2004), Sept 28-Oct 2, 2004.
- [6] Tao Gu, Xiao Hang Wang, Hung Keng Pung, Da Qing Zhang, An Ontology-based Context Model in Intelligent Environments, In Proceedings of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, San Diego, California, USA, January 2004.
- [7] F. Mohd-Yasin, S. Noori, R. Roy, C. Wilson, S. Ahmadi, C. E. Korman, M. E. Zaghoul, Distributed Wired and Wireless Sensors for the Home of the 21st Century Project, International Conference on Industrial Electronics, Technology and Automation (IETA) at Cairo, Egypt, December 19-21, 2001.
- [8] R. Agis, R. Carrillo, V. Moran, A. Gonzalez, C. Morillas, F. Pelayo, J.L. Bernier, Monitoring a mobile robot using a web interface, In Proceedings of the 3rd International Conference on Multimedia and Information and Communication Technologies in Education (m-ICTE2006), November 29-December 2 2006.
- [9] I. Tóptsis, S. Li, B. Wrede, G. A. Fink, A multimodal dialog system for a mobile robot, In Proceedings of Conf. on Spoken Language Processing, vol. 1, Jeju, Korea, pp. 273-276, 2004.
- [10] Francesco Furfari, Lorenzo Sommaruga, Claudia Soria, Roberto Fresco, DomoML: the definition of a standard markup for interoperability of human home interactions, In Proceedings of the 2nd European Union symposium on Ambient intelligence (EUSAI '04), 2004.
- [11] Lorenzo Sommaruga, Antonio Perri, Francesco Furfari, DomoML-env: an ontology for Human Home Interaction, In Proceedings of SWAP 2005, the 2nd Italian Semantic Web Workshop, Trento, Italy, December 14-16, 2005.
- [12] Davy Preuveneers, Jan Van den Bergh, Dennis Wagelaar, Andy Georges, Peter Rigole, Tim Clerckx, Yolande Berbers, Karin Coninx, Viviane Jonckers, Koenraad De Bosschere, Towards an Extensible Context Ontology for Ambient Intelligence, Ambient Intelligence: Second European Symposium, EUSAI 2004.
- [13] K. Hiramatsu, J. Akahani, T. Satoh, Querying Real World Services Through the Semantic Web, 3rd International Semantic Web Conference (ISWC2004), LNCS 3298, pp.741-751, 2004.
- [14] K. Mahesh, S. Nirenburg, A Situated Ontology for Practical NLP. In Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Montreal, Canada, 19-20 August, 1995.
- [15] Dominique Estival, Chris Nowak, Andrew Zschorn, Towards Ontology-based Natural Language Processing, RDF/RDFS and OWL in Language Technology: 4th Workshop on NLP and XML (NLPXML-2004), ACL 2004, Barcelona, Spain, 2004.