

多重オントロジーに基づくセマンティックロボットサービスの設計

Design for Semantic Robot Services Based on Multi-Layerd Ontologies

山口 新平
Shinpei YAMAGUCHI

宮川 智好
Tomoyoshi MIYAKAWA

山口 高平
Takahira YAMAGUCHI

慶應義塾大学
Keio University

As conventional robot cooperation is done just by programming level, it has not flexibility and extensibility to dynamic physical environment. In order to solve the issues, this paper proposes a framework for Semantic Robot Services based on with Multi-Layerd Ontologies. With this framework, heterogeneous robots can cooperate flexibly to the tasks from a user.

1. はじめに

近年、ロボットの機能が多様化してきたことにより、ロボットと日常生活の距離は近づいてきていると言える。だが、一般家庭の人間が日常生活で望むロボットへの役割は、ロボットにとっては高レベル、人間の要求を満たすには程遠い。

そういった現状の対処方法として、RSi[1]などによる複数のロボットを連携させてより高度な仕事をさせる研究開発が始まっている。しかしその目的は通信方式の一元化などに置かれ、プログラミングされた固定的なロボット連携であり、連携においてロボット間で送受信される情報も高度なものとは言いがたい。また、株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)[2]においてもロボット同士の連携作業と言ったような実験が行われているが、やはりプログラミングされた範囲内の連携を行うものであって、既存のロボットから行える連携を判断し、実行するという高度なロボット連携は実現されていないのが現状である。

一方で、人工知能の分野では“ある分野の知識を計算機で処理できるように明示的、論理的に記述し、その知識の共有と再利用を可能にする”、つまり「概念化の明示的な規約」という考えに基づきコンピュータを用いた知識表現のオントロジーという考え方が注目されている。

また、プラットフォームに依存せずにアプリケーションとの統合を可能とする技術である Web サービス[3]を統合し、計算機理解可能な Web サービスの構築を目指す、セマンティック Web サービス[3]と呼ばれる研究が活発に行われている。セマンティック Web サービスは、Web 上に散在し、WSDL 記述によりインターフェース後悔された Web サービスをユーザの要求に応じて発見、連携、実行可能とするものである。セマンティック Web サービスにおいて Web サービスを利用するには、登録、発見、選択、合成、仲介、および実行という一連の手続きが必要である。

ここで「セマンティック Web サービス」における、「一つの Web サービス」を「一つのロボット機能」と見なすと、ユーザの与えたタスクは複数のロボット機能の集合と捉えることが可能である。そして、ユーザの与えたタスクがどのようなロボット機能連係に展開されれば達成できるかを考えることで、これまでの単眼的で固定的なロボット連携ではなく、複眼的で適応的なロボット連携を行うことが出来、よりユーザの要求に応えることが可能になるといえる。本稿ではこのロボット連携によるユーザのリクエスト実現を Semantic Robot Service(以下 SRS と略)と称する。

このような背景を受けて、本研究ではオントロジーの技術に基づいて、ユーザの家庭内動作に対しての要求を低次レベルの

命令群に分解し、その命令群に基づいてロボットを連携させることで、連携結果がユーザの要求に応え、(単眼的で固定的なロボット連携ではなく、)複眼的で適応的なロボット連携を実行するシステムの実現を目指す。本稿ではこのシステムのフレームワークの提案、構築したオントロジー群、オントロジー群の統合に基づいた SRS の可能性について述べる。

2. システムのフレームワーク

本章では SRS 達成のために構築したオントロジーの概要を述べた後、提案するフレームワークの概要について述べる。

2.1 Semantic Robot Service Modeling Ontology

ユーザのリクエストを達成する為のオントロジーを本稿では Semantic Robot Service Modeling Ontology(以下 SRSMO と略)と呼ぶ。SRSMO の対象ドメインはユーザがロボットに望む活動である。そして、SRSMO はユーザリクエストオントロジー、ロボットサービスオントロジー、ロボット機能オントロジーという 3 つのオントロジー群を統合したものである。オントロジー群の作成目的は以下のようなものである。

- ユーザリクエストオントロジー; ユーザリクエストを順序関係のあるサブタスクの集合として記述
- ロボットサービスオントロジー; タスクオントロジーにおけるタスク群や、物の移動や情報提供のような抽象サービスを上位下位概念によって記述。またタスクごとの対象物の記述などによって制約を付加したもの(機能オントロジーとタスクオントロジーの中間ノード)
- ロボット機能オントロジー; ロボット毎の実行可能機能を記述

尚、今回構築したオントロジー群での対象ロボットは現状でホームロボットとして開発数が多いと思われる動物型と人型の 2 種類であり、これらを対象としてオントロジーを構築した。

上述した SRSMO を用いることでユーザリクエストを展開し、ユーザゴールを単一タスクの集合群に分解し、各タスクを複数のサービスと関連付ける。そして、単一サービスをロボットの実行可能機能群と関連付けることで連携案を作成していく。つまり、粗粒度→中粒度→細粒度という用なリクエスト展開によってロボット実行可能動作への対応付けを行う。

この部分の展開イメージ図が図 1 である。

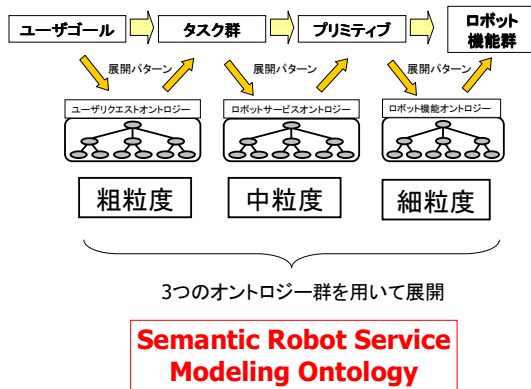


図1 SRSMOでのリクエスト展開

この時、ロボットの大きさ、移動可能速度などを記したロボットデータ群を参照することで複数ロボットが実行可能な動作の際にどのロボットに実効命令を出すかの指標とする。この物理世界の記述やインタラクションはSWSとSRSとの大きな違いといえる。そしてSRSのフレームワークの概要を表したものを図2に記す。

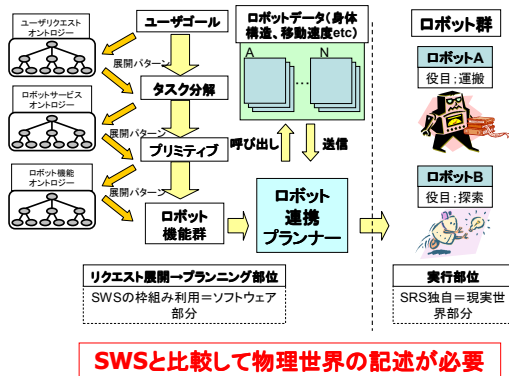


図2 SRSのフレームワーク

3. オントロジー群の構築

本章では2章において述べたSRSMOを構成するオントロジー群について述べる。

3.1 ユーザリクエストオントロジー

本文「ティッシュを持ってくる」や「本を机の上においてくる」と言った、ロボットが行える可能性をもった家庭内活動支援をユーザの要求とし、家庭内活動に関連した語彙として体系化したオントロジーをタスクオントロジーとして記述する。ユーザの与えたゴール(タスク)を達成するために必要なサブタスク群→展開したサブタスクを達成するために必要なサブタスク群といった様に展開していく。したがって概念関係の部分全体関係で、ある概念が部分として上げられる概念全てから成り立っている“has-a関係”で記述をする。そして以下の様な方針の下で、オントロジーを構築した。

- ・ユーザーゴールを達成するために必要な行動と順序を定義
- ・一つのタスクが複数のサブタスクの集合として記述(サブタスクはタスクを達成するために必要な動作群)

・サブタスクがサービスオントロジーで記述可能要素になるまで展開(下層に行くほど粒度を細かくしたもの)

また、このユーザーリクエストオントロジーにおいて最粒度のタスクが、サービスオントロジーのクラスと対応する。図3はユーザーリクエストオントロジーでの展開の例である。

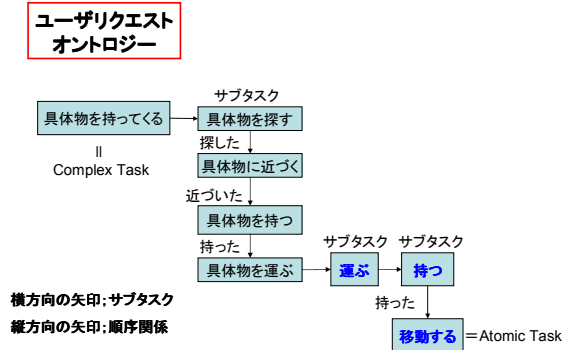


図3 ユーザリクエストオントロジーの展開表現例(部分)

3.2 ロボットサービスオントロジー

上記で述べた、ユーザーリクエストオントロジーと後述するロボット機能オントロジーのみによるユーザーリクエストの展開だけでは、不都合が生じる。それはユーザーリクエストオントロジーではタスクの分解が目的で構築するために、ユーザーリクエストでのオブジェクトについて対処を施していないことである。よって各タスクの対象となるオブジェクトについての制約を表現するオントロジーが必要となる。図3でのユーザーリクエストオントロジーを例に取ると“持つてくる”というタスクに対しては、対象は必ず具体物であって、場所などの抽象的なものであってはいけないということを記述しておく必要がある。

また、動作内容は同一の行為であるがロボット毎の名称が異なるという場合の対処も不十分である。例としては具体物を運搬するというシチュエーションで人型には“運ぶ”と動物型の“押す”という機能は同等の動作として捉えることが可能なケースもあり、候補に2台のロボットが上らなければならないがタスクオントロジーからは判断できない。複数ロボットの同等機能を記述する為のクラス(=サービス)と(インスタンス=各ロボット機能)のグラウンディングの為に中間ノードが必要となるといえる。

つまり、ユーザーリクエストオントロジーにとっては制約などの参照先、機能オントロジーにとっては一つの機能名で複数の役割を果たすことを可能にする為の参照先が必要となるといえる。

上記のような理由により、ユーザーリクエストオントロジーにより展開されたユーザの要求のサブタスク群や、物の移動や情報提供のような抽象サービスを、階層関係を表現するis-a関係で記述したものをロボットサービスオントロジーとする。対象ドメインはユーザーリクエストオントロジーにおけるタスク群である。また、各タスク、サービスごとのドメインとレンジといった制約対象を記述する為、このオントロジー内ではタスクやサービスをプロパティの階層関係として記述する。(プロパティとしてのドメインはロボットとなる)図4はロボットサービスオントロジーの記述例である。

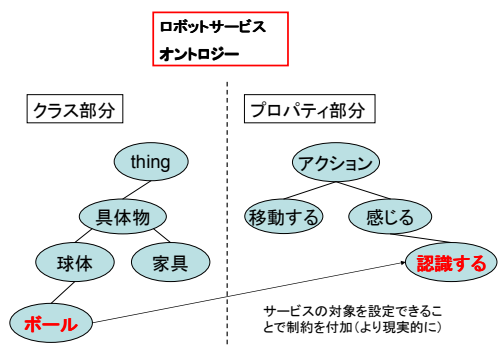


図4 ロボットサービスオントロジーの記述例

また、体系化の際にはオントロジーを半自動構築するツールである DODDLE-J[5]を用いてタスクを単語リストとして入力し、できあがったオントロジーを参考として、階層関係の洗練を行った。(DODDLE では人間の動作として階層関係が構築される為、ロボットの動作にするには若干の変更が必要となる)「探す」などの一つの言葉でレンジが複数ある場合は、その単語の参照する名前空間を作成することで、同一単語とみなされることを解消する。構築は機能オントロジーと同様に Protégé を用いて行った。尚、DODDLE-J は入力に自然言語文を取り、重要単語を抽出し、EDR 概念辞書[6]と WordNet[7]の概念階層を参照してオントロジーを半自動構築するツールである。

3.3 ロボット機能オントロジー

機能をオントロジーにより記述するという試みは来村[13]らによって研究されているが、本稿におけるロボット機能の記述とは、以下にも記述するが、ユーザリクエストオントロジーで記述した抽象サービスを満たすロボットの機能(スキル、アクション)を体系化した記述が目的であり、決して高次元のものではない。

以上のことより、ユーザリクエストオントロジーで記述した抽象サービスを満たすロボットの機能(スキル、アクション)を体系化したものをロボット機能オントロジーとする。したがって、対象ドメインはロボットの実行可能機能である。このオントロジーはクラスの上下位関係である is-a 関係の記述方法をとっている。このオントロジーにおける最下位概念は、ロボットが実行可能なサービスと対応する。これらを、ロボットサービスオントロジーにおいて記述した概念と対応づける形をとる。図5はロボット機能オントロジーの記述例である。

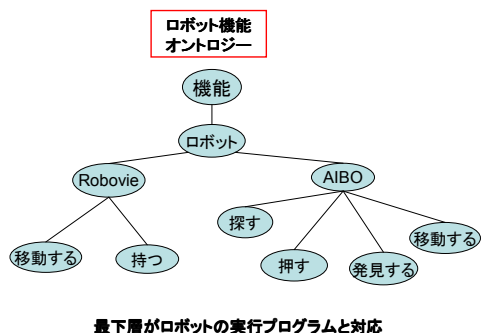


図5 ロボット機能オントロジーの記述例

3.4 構築したオントロジー群の役割と評価

上記で述べた各オントロジー群の SRSMO での役割は以下のようになる。

- ・ユーザリクエストオントロジー;ユーザリクエストをサブタスク群に分解
- ・ロボットサービスオントロジー;他の2つのオントロジーにとっての橋渡しと参照先
- ・ロボット機能オントロジー;ロボット実行可能動作と対応付ける

このオントロジー群を用いた SRSMO によってユーザリクエストはロボットが可能動作の集合に展開され、SRS の実現可能性は示すことができたといえる。

しかし、より現実的なことを考えると現実世界においては何らかの要因によって連携が失敗することも十分に考えられる。よって将来的には連携失敗時の原因やリプランニングも考慮に加えたオントロジー群を作成する必要がある。

現状ではユーザリクエストオントロジー部分を以下のように改良することで実行命令に対して作業可能なロボットがいるかの判別、リプランニング問題に対する対処を考えている。

- ・サブタスクの実行条件の付与
- ・行動に対しての成立条件の付与

サブタスクの実行条件の付与では、各タスクを実行するために必要なロボットの機能を記述し、その機能がロボットの身体機能のデータを記述した“ロボットオントロジー”を作成し、そこを参照するようにする。

例;“もつ”というタスクの実行条件には“has hands”をいう条件を付与し、この“has hands”はロボットオントロジーの“手”を参照し、候補ロボットを作成する

行動に対しての成立条件の付与では、タスクの成立確認の為に必要な機能を付与し、ロボットがタスクを実行できているかどうかの確認をし、実行可能であれば次のタスクに移り、実行が失敗している場合は、リプランニングを行う。

例;“もつ”というタスクの成立条件の付与には“feels weight”という条件を付与し、この条件のパラメータに“sensor”をつける。この“sensor”はロボットオントロジーの“sensor”をもつロボットを参照し、実行可能ロボットを確定する。そして sensor データによって実行されているかどうかを判断し、次に遷移するタスクを選択する

また、2.1でも述べたように、対象としたロボットは動物型と人型の2種類のみであり、現状でもさまざまな形状の種類のロボットが存在することからや、将来的に各家庭で用いられるロボットが全く同じにあるとは考えにくいことから、さらに多種類のロボットにも対応したオントロジーにしなければならないといえる。

4. システムの構築

本研究では、現在、SRS を構築する為に、オントロジー群を JENA[8]を用いて統合するツールを開発中である。また、要求オントロジーをボトムアップ的に充実させていくために、実際に動物型ロボットの AIBO[9]、人型ロボットの Speecys[10]を用いて、連携動作案の充実、考案した連携動作が現実的に実行可能かどうか、新たにロボット機能を作成することで連携可能作業が増加するかなどを検討中である。(この場合、ロボットが実行

可能な機能の組み合わせによって連携案を作成し、達成可能なユーザリクエストのバリエーションを増やすという意味をボトムアップとしている)

更に、これらの複数ロボットへの命令実行システムも作成することで、オントロジー面とロボット面の両面からのシステム開発アプローチをとっている。

現在、物の運搬において、動物型ロボットが物を運搬し、人型ロボットが物を持ち上げて机の上に置く、という役割分担をして実行するシナリオを、ロボット命令実行システムを用いて、AIBO と Speecys で実行可能であると示すことができた。その実行シーンの一例を図7で示す。



図7 連携実験中のスナップショット

これにより、オントロジーによるロボットが連携しユーザリクエストを達成することが可能であるといえるだろう。ただし、3.4節でも述べたようにリプランニングや達成条件などについては、考慮していないため対処をした上で実行可能であること示す必要性があるといえる。

図8はロボット命令実行システムの実行画面を示したものである。

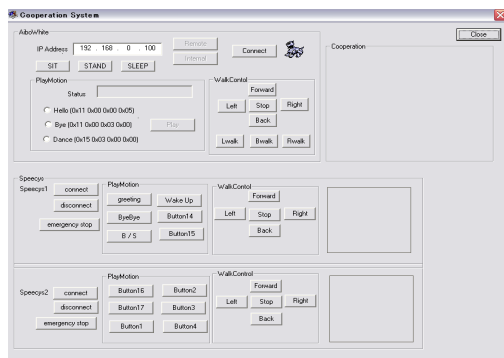


図7 システムの一部

5. おわりに

3章のオントロジー群の構築(SRSMO)によってユーザリクエストはロボットが実行可能な動作群に分解でき、SRSの実行可能性を示すことができた。

本稿ではオントロジーの技術に基づいて、ユーザリクエストを複数ロボットによって達成するSRSのシステム実現の為のシステムフレームワークの提案をした。そして構築したオントロジー群の役割と、どのようにユーザリクエストがロボットの実行可能動作に分解されるかについて述べた。

今後の課題としてはオントロジー群の洗練、統合に加えて、ユーザリクエストオントロジーに“サブタスクの実行条件の付与”、“行動に対しての成立条件の付与”をした際に、複数ロボットが実行可能となった場合の判断指標の作成を考える必要があるといえる。また、提案したシステムの作成についてであるが、構成ロボットの変化、ロボット機能の追加、オントロジーの再構築にも迅速にも対応できるシステム構成を検討する必要があるといえる。

参考文献

- [1] Robot Services initiative <http://www.robotservices.org/>
- [2] ATR(株式会社 国際電気通信基礎技術研究所) <http://www.atr-robo.com/product/m2/robo-m2.html>
- [3] Semantic Web Services: <http://www.daml.org/services/>
- [4] Protégé: <http://protege.stanford.edu/>
- [5] 森田武史, 山口高平: 日本語概念を対象にした領域オントロジー構築支援環境 DODDLE の機能拡張, 電子情報通信学会, 信学技報(知能ソフトウェア工学研究会), KBSE2006-1 (2006.5)
- [6] National Institute of Information and Communications Technology : EDR Electronic Dictionary Technical Guide, URL http://www2.nict.go.jp/kk/e416/EDR/ENG/E_TG/E_TG.html.
- [7] C.Fellbaum ed: "WordNet", The MIT Press, 1998.
- [8] Jena: <http://jena.sourceforge.net/>
- [9] AIBO: <http://www.jp.aibo.com/>
- [10] Speecys: <http://www.speecys.com/>
- [11] 菊池悠, 津田雅之, 富岡淳樹, 長沼武史, 倉掛正治, モバイル環境下におけるサービス利用のためのタスク知識記述および実行環境, 人工知能学会研究資料 SIG-SWO-A302-03,2004.
- [12] 笹島宗彦, 來村徳信, 長沼武史, 倉掛正治, 溝口理一郎, タスクオントロジーを用いたサービス利用のためのモバイル環境下消費者行動知識の記述, 2005年度人工知能学会全国大会予稿集,2005.
- [13] 來村徳信, 溝口理一郎, オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み, 人工知能学会論文誌, vol.17, no.1, pp.61-72,2002.