

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と実現 Design and Implementations of Semantic Robot Service Based on Multi-Layered Ontologies

山口新平 宮川智好 谷崎浩一 岩永将資 山口高平
Shinpei Yamaguti Tomoyoshi Miyakawa Kouichi Tanizaki Masashi Iwanaga Takahira Yamaguti

慶応義塾大学
Keio University

This paper presents how to implement the framework for Semantic Robot Services integrating multiple ontologies; user request, robot service, robot function, robot structure, object, insertion task, recovery task ontologies. The case studies with intelligent transportation show us that the framework goes well with good robot action plans.

1. はじめに

近年、タイプの異なるロボットが利用可能になってきたことから、異種ロボットを連携させて、人に役立つサービスを生み出すための研究開発が開始されている。例えば、産業界が中心となって設立した組織である RSi(ロボットサービスイニシアチブ)[1]では、ロボットがネットワークに接続するための汎用通信機能と個々のロボットが所持する物理機能を管理するプロファイル上で、ロボットサービスを実現する方法を検討している。しかしながら、現在の RSi では、人とロボットのインタラクションを担うレイヤーが存在しない。これは人とロボットのインタラクションをとるには、人間が処理する漠然とした概念世界とロボットが処理する精緻な物理世界を融合する高次連携機構が必要であり、人工知能技術の導入が必須とあるが、現状のロボットサービス連携ではそこまで対応できていないといえる。

一方、オントロジーの利用方法という観点からはセマンティック Web、情報システム開発の上流工程支援、データベースの統合、Web サービスの連携、知識マネジメントなどがあるが、すべてソフトウェアへの応用であり、ハードウェアの連携にオントロジーを応用する試みは少なくオントロジーを用いて意味を考慮しながらロボットの効果的な連携を考えるセマンティックロボットサービス(SRS: Semantic Robot Services)の研究は萌芽的であると考える。

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 の設計と実現の可能性について述べる。

2. 提案システム

提案システムは次節において説明するオントロジー群を用いることで、ユーザゴールを単一タスクに分解し、そのタスクを複数のサービスと関連付ける。そして、単一のサービスをロボットの可能機能動作に展開⇒環境地図を用いたデータ計算による実行ロボットの選定⇒実行可能動作、対象物データ、目標物データ、実行ロボットとその実行順から構成される連携案を作成し、この連携案に基づきロボットに実行命令を送ることでロボットの連携作業を実現し、またロボットアクション時にエラーが発生した際にロボット内部データとオントロジーを用いた推論に基づくリカバリーを実行するシステムフレームワークを SRS として提案する。概略を図1に示す。

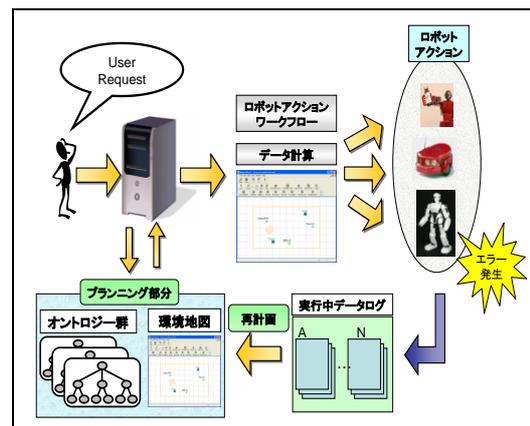


図1 システム概要図

3. 実装したオントロジー群

実装したオントロジー SRSMO (Semantic Robot Service Modeling Ontology)の概要を説明する。オントロジーは Protégé [4]で実装し、ユーザーリクエストをロボット実機能へと展開する多重オントロジーを構成する3つのオントロジーとプラン生成用するとき用いる4つのオントロジーの2群に分かれる。各オントロジーの関連を図3に示す。

・リクエスト展開用オントロジー群

①User Request Ontology

User Request がどのようなサブタスク群に追加できるかを表現している。

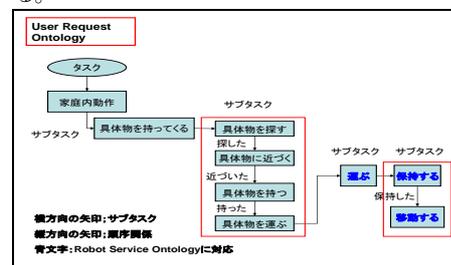


図2 User Request Ontology

図2に示すように、ユーザーの要求をドメインとし、リクエスト=ユーザーの与えたゴール(タスク)を達成するために、リクエスト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形でリクエストを表記したものである。

② Robot Service Ontology

ロボットにとってのサービスを表現している。User Request Ontology によって展開されたユーザーの要求のサブタスク群がロボットにとってどの様な行為(サービス)であるかを表記したものである。

③ Robot Function Ontology

ロボットの実機能とそれに対応するリカバリー機能の表現をする。ユーザーリクエストが各個体ロボットの機能につながるようなオントロジー群と展開パターンで、現実には存在する各ロボットの機能(スキル、アクション)を体系化したものが Robot Function Ontology である。更にこのロボット実行可能機能概念と対応するロボット動作プログラムには、移動した後に目的地とのずれを補正するといったようなリカバリー行動が含まれているケースが存在する。その場合にはエラーが発生したとしてもロボットが単独でリカバリーを行うことが可能と言え、その部分をシステムでいちいち判断しなくてもよくなり、冗長な推論を行わなくてもよくなると言える。

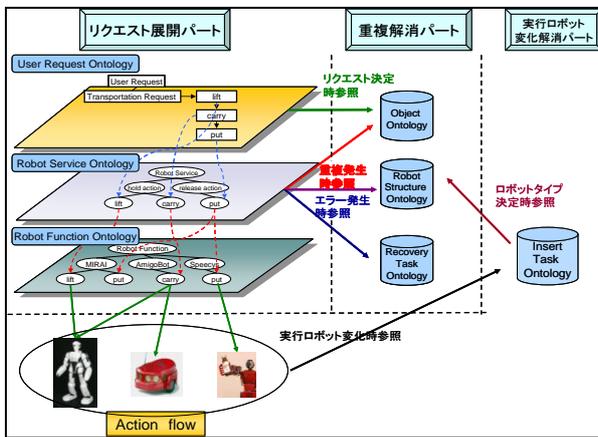


図3 SRSMO

・プラン生成用オントロジー群

④ Robot Structure Ontology

ロボットデータ等を用いてロボットの構造を表記したものが Robot Structure Ontology である。ロボットの構造表記はロボットを構成するパーツ(部品)、ロボットの体を構成する部位、ロボットについてのデータを表記したもの、ロボット; ロボットを身体構造部位構成による分類し表記したもの、の4種類のクラスを作成しこれらの組み合わせによってロボット構造を表記する。

⑤ Object Ontology

オブジェクトデータや物体が担うことのできるロールを表現。オブジェクト(物体)について表記したものである。

⑥ Insertion Task Ontology

実行ロボットの变化によって発生する物体受け渡しタスクを表現。物体受け渡しを一つのタスクとして考え User Request Ontology と同様な方法で表記したものをシステム内で挿入するために、この挿入するタスク(Insertion Task)を表記したものが Insertion Task Ontology である。

⑦ Recovery Task Ontology

現実に連携作業を行うという状態になった際、様々な要因で達成失敗という状況が考えられる。そういった際に場合によっては原因特定によるもう一度リプランを行うことでエラー状況を回復可能となるケースがある。そういった場合のエラーからの回復方法について記述を行ったものが Recovery Task Ontology である。

4. システム展開

本節では、ユーザーリクエストをロボット実行可能機能フローに展開するシステムでの展開方法を述べる。まず展開部分の概要図を以下に図4として記す。

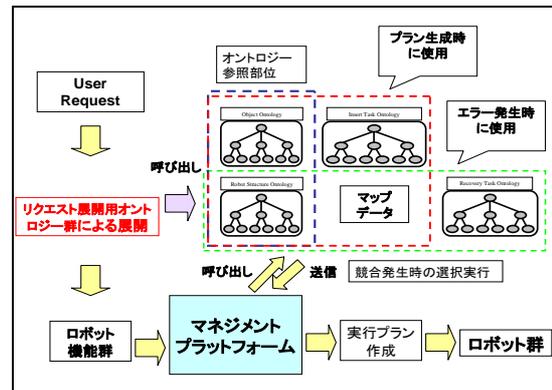


図4 展開システム概略

この部分は大別すると以下の3つに分けることができる。User Request Ontology 部分でのタスクの展開、そして User Request, Robot Service, Robot Function の3つのオントロジー群の対応関係の取得によるロボット実行可能機能フローを作成する。次に対応関係取得後にロボット重複が発生した際の選択を行う。最後にロボット重複解消後の実行ロボットの違いによる Insertion Task Ontology を利用した物体受け渡しタスクの挿入といった流れで、最終的なロボット実行可能動作フローを作成する。以下それぞれの説明を行う。

① ロボット実行可能機能フローの作成

User Request 構成要素を User Request Ontology, Robot Service Ontology, Robot Function Ontology での各概念の対応関係に基づいてロボット実行可能機能へと展開する。

② ロボット重複解消

複数ロボット機能によって同一サービスを達成できるケースが多々起こる。図5に示すような流れでチェックを行い競合を解消する。

②-① 重複したロボット実行可能機能と対応するロボットサービスに対して、問い合わせを行いサービスが実行可能かどうかを判断するための指標を取得する。“置く”というサービスを例に取れば、このサービスを実行するためにはまずロボットの最大持ち上げ重量が物体の重量よりも大きくなければならないが、これをまず Robot Service Ontology に問い合わせをし、比較内容がロボットの最大持ち上げ重量と物体の重量だということを取得し比較を行う。

②-② ロボット安定度に基づくチェック

ロボットがどれだけ安定してアクションを行えるかを表す指標である。安定度は、あるロボットのアクションが他のロボットの同じアクションと比べて安定しているかいないか、という相対的な大小関係のみを表す値を記述している。

②-③マップデータ内での距離測定に基づくチェックを行う。最終的な行動ロボット決定のために各ロボットの行動時間を比較する。例えば「移動する」というアクションならば、地図上のロボットと目標物との距離を求め、ロボット構造オントロジーの移動速度との比較によって移動に要する時間を算出し、行動時間の最も短いものを最終的な行動ロボットに決定する。

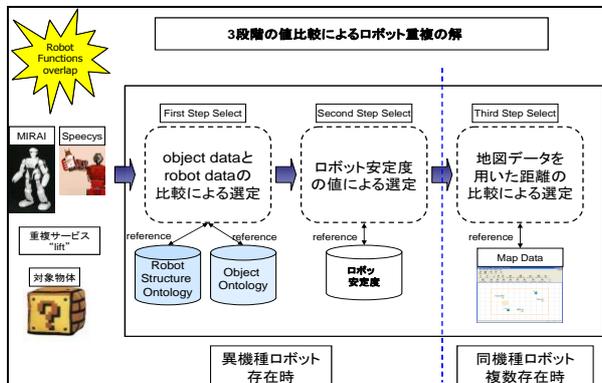


図5 ロボット重複解消フロー

③Insertion Task Ontology を利用した物体受け渡し、タスクの挿入するここでは展開されたロボット実行可能機能フローを実行するロボットが異なる場合には図5のように、発生するロボット間物体受け渡しタスクの作成を行う。

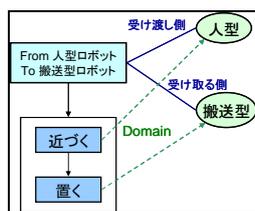


図6 Insertion Task Ontology

多重オントロジーによる User Request のロボット可能実行機能への展開、重複発生時の選定を経て、User Request がロボット可能実行機能フローの集合へと展開されたわけだが、まだこの時点ではプラン生成は終了したとはいえない。なぜならば一つの User Request を単一ロボットによって実行を行わない場合、実行ロボット同士での物体受け渡しという作業が発生するからである。

Insertion Task Ontology では渡す側のロボットと受け取る側のロボットの形式によってタスクフローを作成していく。よって、ロボット実行可能機能フローにおいてまずロボットの名前を取得し、それが Robot Structure Ontology 内でどのようなタイプのロボットであるかを問い合わせ、取得する。そして取得したタイプを用いて Insertion Task Ontology のどのロボット間における受け渡しタスクを選ばよいかを判断し、ロボット実行可能機能フローへと展開し、それを作成したフローに挿入をしていく。

以上によって、ロボット重複の解消を含めたロボット実行可能動作フローを作成し、フロー順にロボット機能(exe ファイル)を呼び出し、ロボットを動かしていく。

5. 実証実験

研究室の室内を実験環境として整備し、動的な障害の存在しない屋内という仮定の下、実験を行いシステムの有用性を示すことができた。

実験: 人型ロボットと運搬方ロボットの連携作業による運搬クエスト達成実験。

実験に使用するロボットは Speecys (SPC-003) 大型人型ロボット、MIRAI-RT (SPC101-C) 小型人型ロボット、AmigoBot 運搬ロボット、の3台である。環境地図作成には Mapper3 という MobileRobots 社が開発した環境地図作成用のソフトウェアを用いた。その座標の値は現実世界のミリメートルに対応しており、障害物をあらわす直線、ロボットの移動の目的地、ロボットの初期位置等を記述できる。作成した環境地図および、実験場の様子は図7および図8に示す。

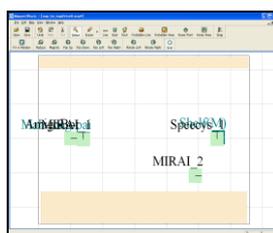


図7 環境地図



図8 実際の実験場

本実験においては、ロボットを使用する部屋の環境地図をあらかじめ作成しておくことによって、ロボットの行動プラン生成に利用する。シナリオを簡単に説明すると、MIRAI が運搬物を持ち上げ搬送ロボット AmigoBot の上に乗せ、AmigoBot が目的地まで運搬し、最後に Speecys が AmigoBot の上の運搬物を持ち上げて高台の上に置くことでタスクの達成とする。実験場としたのは、研究室内である。研究室の中には、AmigoBot、MIRAI 1台、Speecys、運搬物である麻雀牌のぬいぐるみ、運搬の目的地である棚が配置してある。

次に実験中の運搬シナリオにおける行動プラン生成とロボットアクション実行を示す。このシナリオの場合、「持つ」が Speecys と MIRAI、「運ぶ」が Speecys と MIRAI と AmigoBot、「置く」が Speecys と MIRAI という関係が取得される。以下に、詳細を示す。

①タスク1:「持つ」ロボットの決定

「持つ」ことが可能なロボットとして、Speecys と MIRAI だという結果が取得される。次にロボット動作安定度を参照すると、MIRAI の安定度のほうが高い為、MIRAI が選択される。この際、運搬物と MIRAI が離れていた場合、環境地図から距離を算出し運搬物に近づいた後、運搬物を持ち上げる。最後に、環境地図上の MIRAI の位置を、現実世界の MIRAI の位置に書き換える。

②タスク2:「運ぶ」ロボットの決定

「運ぶ」ことが可能なロボットとして、Speecys と MIRAI と AmigoBot だという結果が取得される。この場合、ロボット最大運搬可能重量と物体重量が取得される。そしてロボット構造オントロジーの最大積載量と、オブジェクトデータの運搬物の重さを比較すると、すべてのロボットが行動可能であると分かる。そこで、各ロボットのロボット動作安定度を比較すると、AmigoBot が「運ぶ」のが最も適切であると判断されるので、AmigoBot の運搬用アクションを呼び出す。「運ぶ」動作が終了した後、地図上の AmigoBot の位置を書き換える。

③タスク3:「置く」ロボットの決定

「置く」ことが可能なロボットとして、Speecys と MIRAI だという結果が取得される。この場合、ロボット最大持ち上げ可能重量と

物体重量、ロボットの運搬可能高度と物体の高さの2種類の比較情報が取得される。この場合、重量で決定できないのでロボットの運搬可能高度を物体の高さを比較する。これによって重複が解消される。

④タスク①～②, ②～③: 物体の受け渡し

運搬シナリオを実現させる今回の実験ではタスクは「持つ」「運ぶ」「置く」という3つのアクションに分けられ実行され、この3つのアクションを担当するロボットは全て異なるために、それぞれへの実行命令間において、ロボット間での物体の受け渡しイベントが発生する。運搬物は「持つ」のアクションを行う MIRAI から「運ぶ」のアクションを行う AmigoBot へ、そして「置く」のアクションを行う Speccys へと受け渡される。この受け渡しというタスク部分を Insertion Task Ontology に問い合わせをすることによって取得し、各タスクの間で使用ロボットの変化があった場合に自動で挿入を行う。

以上の①～④タスク群によって、「棚に物を乗せる」というユーザーリクエストが達成された。

また、本実験ではそれぞれのタスクが失敗したときにはリカバリー行動が用意されている。MIRAI や Speccys であれば、ロボット内部のサーモ情報から、物体を上手く持つことが出来なかった場合にはモノを持つことができなかったと判断をして、アクションを中断する。(現状ではもう一度“持つ”といったリカバリー行動は出来ない)。次に AmigoBot 移動アクションであれば、内蔵されているソナーと環境地図との情報から、目的地の座標とのずれが大きかった場合にはリカバリー動作で再度目標に接近する行動をとり、また環境地図に無い障害物が存在した際には障害物をよけながら目標地に行くというリカバリータスクを内包したアクションとなっている。

6. 結論

本研究では、ロボット連携システムの構築においてオントロジー技術をもちいることで、意味的な高次元なロボット連携を達成することを目的とし、“具体物を持って来る”というリクエストが、7つのオントロジーを用いたタスク展開によって、ロボットへ指令を送って実行させることが可能であるということを示した。これによってロボットの意味的な高次連携によって単体では行うことの出来ないサービスを行うことができる可能性を示すことが出来たと言える。

今後の展望としては、シナリオからの連携パターンを表示するシステムの作成や、研究に用いるロボットの機能を更に充実し、展開可能なタスクオントロジーや各オントロジーの語彙数を増やしていくことなどが必要であると考えられる。また、サーモやソナーのような内部情報だけではなく外部情報を取得してのリカバリー行動を可能にし、シナリオが変わったとき(運搬物が変わる、物を落とした等)にダイナミック連携方法が変わるといった汎用性をシステムに持たせることなどが挙げられる。

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-robot.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] 山口新平, 宮川智好, 山口高平: オントロジー統合に基づくロボットサービス連携の実現と評価, 第21回人工知能学会全国大会, 1D3-5