

オントロジーと SOA に基づくロボット協調サービスシステムの構築 System Architect for Multi-Robot Coordination Services Based on Ontologies and SOA.

樋川 暁^{*1} 小川 雄平^{*1} 森 雄一郎^{*1} 山口 高平^{*2}
Akatsuki Hikawa Yuhei Ogawa Yuichiro Mori Takahira Yamaguchi

^{*1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻
Keio University, Graduate School of Science and Technology, Open and Environmental System

^{*2} 慶應義塾大学理工学部管理工学科
Keio University, Faculty of Science and Technology, Administration Engineering

From view of ontologies, we integrate dialogue knowledge, behavior and built-in software by aligning different level ontologies. To realize totally robot services by multi-robot coordination and multi-modal interaction, we design the multi-layer architecture based on SOA (Service-Oriented Architecture). Service robots achieve whole of service by combinations of processes and each process are executed. Case studies show us how multi-robot coordination services built from our architecture go well.

1. はじめに

これまでに、我々はオントロジーの視点からサービスの構成要素である対話知識、振舞い、組込みソフトウェアの世界を、日本語 Wikipedia オントロジー、振舞いオントロジー、部位オントロジーの複数のオントロジーの連携によって統合し対話と動作を融合した HRI を実現してきた[Kobayashi 11]. 本研究ではマルチモーダルインタラクション、ロボット協調による、トータルなロボットサービスを実現するため、Web サービスシステムアーキテクチャである、SOA (Service-Oriented Architecture) の考え方をロボットシステムに用いた、階層アーキテクチャを設計する。サービスは各ロボットのタスク実行単位である、プロセスの組合せとして構築し、プロセス間ではロボットが他のロボットと連携しながらタスクを実行していくことにより、サービスを達成する。各プロセスの具体的な処理を行うモジュールは移植性、再利用性を考慮し構築する。構築したシステムとロボット協調サービスの有用性をケーススタディを通じて示す。

2. 関連研究

実環境におけるロボットタスクに関連する研究として、KnowRob[M.Tenorth 12]がある。KnowRobではROSを基盤技術として、画像・センサー処理技術を用いた、移動、ハンドリングタスク等を実現している。また、知識処理に関して WordNet, OpenCyc といったオントロジーを利用しているが、対話から動作・サービスの展開は実現されていない。また、ロボットの振舞いの構築に対する関連研究として、インテリジェンス・ダイナミクスがある。本研究は動作に関して、振舞いオントロジーとして予め物理パラメータをロボットに与えたとしても、サービスを実行する上で大規模で、言葉として扱える点が HRI において重要であるという考えである。

3. ロボット協調サービスシステム

以下で本研究におけるロボット協調サービスのシステム構成を述べる。

3.1 使用ロボット

本研究で使用したロボットについて説明する。システム上では人型、双腕上半身型、移動型の3種類、計7種類のロボットが使用可能である。人型ロボットは Aldebaran 社製 NAO、富士ソフト社製 Palro、ROBOTIS 社製 DarwIn-OP が利用可能である。人型ロボットの特徴は人間らしい動作や対話能力に優れる点である。双腕上半身型ロボットは川田工業製 HIRONX を用いた。HIRONX は大型アームとグリッパーを備えており、NAO などと比べて実世界でのハンドリングタスクに優れている。本研究では用いていないが、ステレオカメラ、ハンドカメラを搭載しており、画像処理を加えた制御も可能である。移動型ロボットは MobileRobots 社製 Pioneer3DX, AmigoBot, WillowGarage 社製 TurtleBot である。TurtleBot は搭載された Kinect センサーを通じて人間の骨格データの取得が可能である。また本研究では人型の対話能力と移動型の移動能力を NAO Torso と TurtleBot2 の土台となる Kobuki を組み合わせることで構築し利用している。

なお Pioneer3DX には環境地図作成ソフト Mapper3 が付属しており、ロボットの位置や対象物の座標は Mapper3 で作成した環境地図データから取得する。

ロボットの協調サービスを行う上で、上述のようにロボットの持つ身体性の特徴やプロセスを行うロボットに求められる制約をシステムが理解可能な形で表現する必要がある。そのためこれらのロボットの備える物理的構成要素を部位オントロジーとして体系化する。

3.2 振舞いオントロジー

振舞いオントロジーはロボットが各プロセスを実行するための動作に必要な物理パラメータを言葉の世界に抽象化し、体系化したロボットサービスに特化したオントロジーである。振舞いを言葉の世界で体系化することにより、上述のロボット間で動作定義を共有することができる。また、本研究とは直接関係しないが、対話を通じてロボットがエンドユーザから新しい振舞いの教示を受けるような使用が可能で、拡張性を持っている。

連絡先:小川雄平,森雄一郎,山口高平,慶應義塾大学理工学部
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
TEL:045-566-1614
{ogawa@z7, blue-red.7x-v@a5}.keio.jp,
yamaguti@ae.keio.ac.jp

振舞いオントロジーはまず、基本動作と複合動作の二つのクラスで弁別されている。基本動作クラスは動作構築の基本単位である単一関節や単一命令<立つ, 座る, 前進など>であり、複合動作はこれらの基本動作の結合<並列, 直列>で記述される動作単位である。基本動作クラスの単一関節屈伸クラスではさらに、振舞いに用いる部位名, 関節角度, 実行速度の順で弁別を行う。例えば、「右肩を普通に横に直角に広げる」であれば、取得される動作情報は、{Behavior:“Bend”, Joint:“RightShoulderRoll”, Angle:“90”, speed:“100”}となる。この情報はロボット間で共通化されているため、各ロボットの制御モジュールでそのまま実行することは出来ない。そのため、各物理パラメータを調整する必要があるが、振舞いインスタンスに関連付けられた部位オントロジーの情報を参照することにより、各ロボットの制御モジュールへのグラウンディングを行う。

3.3 部位オントロジー

部位オントロジーは、振舞いオントロジー同様にロボットサービスに特化した領域オントロジーであり、各ロボットがもつ関節部位やセンサなどロボットを構成要素の観点からロボットの身体性を体系化したものである。各ロボットがもつ部位を体系化することにより、振舞いを実行可能なロボットを事前に抽出することができる。本研究では、プロセス実行に必要なロボットを部位オントロジーを用いて抽出することにより、タスクに適したロボットの選択や競合解消時に利用する。

部位オントロジーは、各ロボットがもつ関節やデバイスを hasParts プロパティを用いて記述する。このような単純な hasParts による記述だけでは物理的構造体であるロボット自体を表現するためには明らかに不十分である。しかし、あるタスクを実行することができるロボットをロボット群から抽出するという点では、hasParts による記述でも有用性がある。また、ロボットの制御プログラムが動作時に必要とするパラメータはサーボを表す関節名であり、サーボの情報が重要である。以下に部位オントロジーの一部を示す(図1)。

3.4 システムアーキテクチャ

本研究ではオントロジーの知識とマルチモーダルな情報を利用し、トータルなロボットサービス実現と、拡張可能なロボット協調サービスを開発するため、システムを SOA(Service-Oriented Architecture)の考えを用いて設計した。以下に示す通り提案アーキテクチャは5つの階層から構成される。これらのアーキテクチャは先行研究および、既存のロボティクスや AI の技術を用いたモジュールやサービスに必要なデータをもつオントロジー、具体的なサービスの内容を構成するプロセスなどを含んでいる。

特に、各モジュールは SOA の特長である再利用性を重視し、ロボットの機種や環境に依存せず、機能を利用する事ができる。

図2におけるアーキテクチャの各層の役割を以下に示す。最上位のサービスにおけるワークフローから下位の階層に従いサービスを実現するためのより具体的な処理に展開される。



図2 システムアーキテクチャ階層図

- サービス層:**
 1台のロボットもしくはロボット連携によりユーザに対して提供されるロボットサービス。サービスワークフローは複数のプロセスをもち、ワークフローに従いプロセスを行うことでサービスが実現される。
- プロセス層:**
 サービスを実現するための具体的なタスクや機能のプロセスを構成する。1台のロボットもしくはデバイスを用いて実現する。プロセスはモジュールのフローをもつ。サービスを実現する構成要素として複数のサービスから利用できる。
- モジュール層:**
 プロセスを実現するための実際の処理単位のソフトウェアモジュール。使用ロボット、デバイス、データ、API、外部機能の利用などソフトウェアの再利用性を考慮した粒度で切り分けをする。
- オントロジー層:**
 ロボット協調サービスおよびユーザとの対話を行うための知識を言葉の世界で体系化しデータを抽象化する。オントロジーの連携により、異なる領域同士に関係性を付与し、サービスを実現する。
- データ層:**
 実際に機械が利用可能なデータ構造。

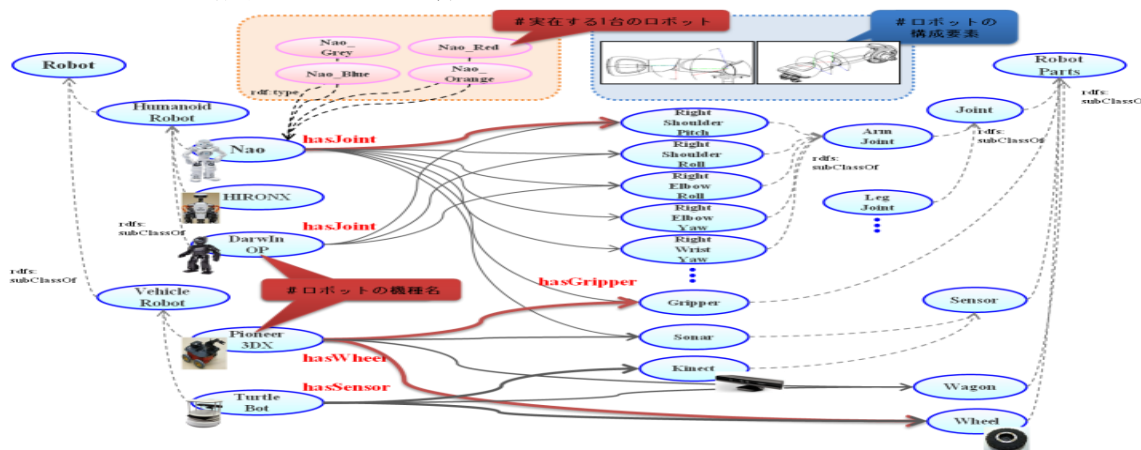


図1 部位オントロジーの構成

本研究では 9 つのプロセスを用いて 3 つのロボット協調サービスを構築した。下記にそれぞれのサービスについて簡潔に述べる。

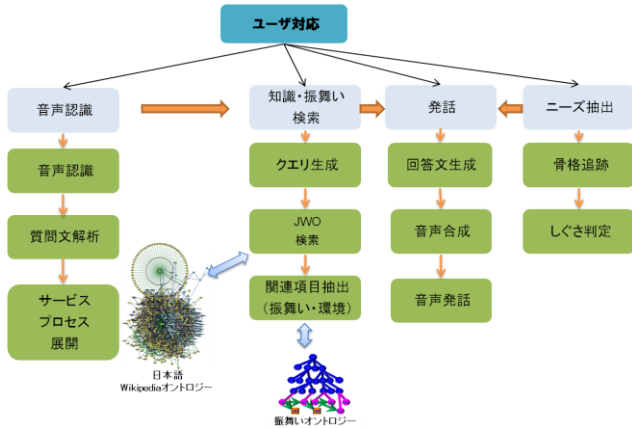


図 3 ユーザ対応サービス構成図

3.5 ユーザ対応サービス

ユーザは日本語音声によりロボットと対話を行う。認識可能な質問文は、【X について教えて】(日本語 Wikipedia オントロジー検索要求), 【X をやって】(振舞い要求), 【X を持ってきて】(具体物運搬要求), または【A の B は何ですか?】などの単純な事実型質問に限定する。認識した質問文は対応する SPARQL クエリの構文に変換され、日本語 Wikipedia オントロジーへ検索が行われる。また、具体的なタスクや振舞いが要求された場合は、別サービスへ処理が展開される。

一方でニーズ抽出テンプレートは、ユーザのしぐさや振舞いを認識し、しぐさの意図や原因に関連する項目を日本語 Wikipedia オントロジーから抽出し、ユーザに提供する。認識可能なしぐさは「手の伸び」、「首をかしげる」等比較的大きな振舞いに限定されている。また、しぐさの意図や原因のすべてを網羅することは不可能なため、ここではしぐさの原因候補をあらかじめリスト化し、ユーザとの対話で同定する。

ここで、日本語認識及び発話プロセスはロボットのライブラリに依存しないため、スピーカとマイクを備えるすべてのロボットで利用可能である。Kinect センサはロボットから独立しているため、すべてのロボット間で共通である。

3.6 具体物運搬サービス

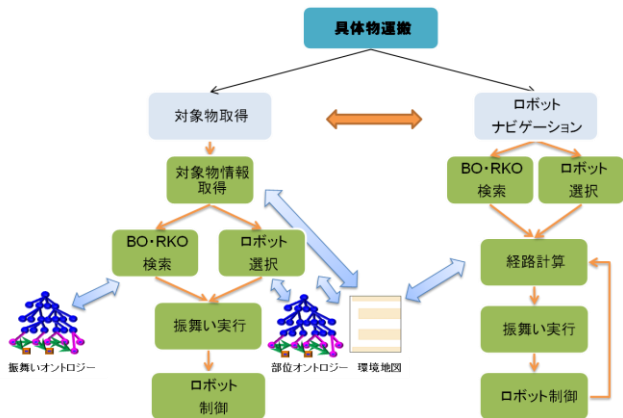


図 4 具体物運搬サービス構成図

具体物運搬サービスでは、対話からロボット連携により、環境内にある対象物を取得し、ユーザの位置まで運搬を行う。従って具体物の運搬では「取得」と「移動」の二つのプロセスにより実現される。ここでサービスが要求された場合、それぞれのプロセスにおいて、実行するロボットが選択される。ここでは対象物を取得するための Gripper を持つロボットと、対象物を載せて移動するための Wagon を搭載したロボットがそれぞれ抽出される。実行可能ロボットが複数存在する場合は環境地図上で作業位置まで最短距離のロボットが選択される。

3.7 動作教示・模倣サービス

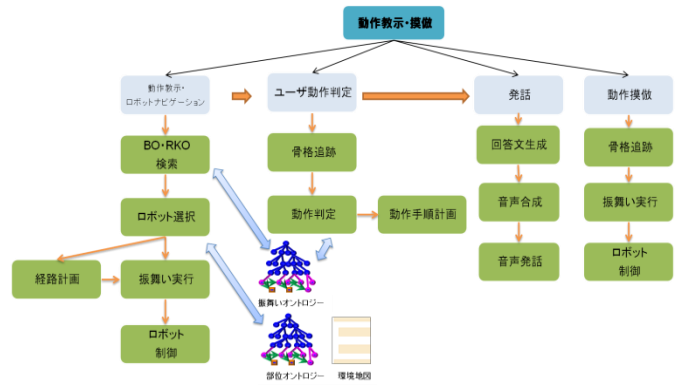


図 5 動作教示・模倣サービス構成図

動作教示・模倣サービスは人型ロボットを利用して振舞いオントロジーに含まれる動作を利用して、ユーザとの動作レベルのインタラクションを実現する。対話の中で関連動作が要求された場合には、その動作をロボットがユーザに教示する。まず、ユーザがロボットが実行する動作をロボットと同時に実行する状況を想定し説明する。動作教示プロセスにおいては、骨格追跡(スケルトントラッキング)を行うための Kinect および同等の機能をもつ XtionPro を備えた移動ロボットの中でトラッキングを行う位置への距離が最短であるロボットが選択される。本研究では、太極拳などの高度な動作を除き、ユーザの動作状況を考慮した双方向動作インストラクションを実現する。(判定できない動作の場合には、ロボットが単独でパフォーマンスを行う。)人間の動作判定は骨格データから取得した各関節座標の時系列データから各関節角度を求め、基本動作・複合動作の順で判定結果を統合する。ユーザの動作状況に応じて次回実行する動作計画を変更したり、削除するなど、動的に変更する。なお、複合動作は振舞いオントロジーで共有されているため、実行に必要な関節を持つ異機種ロボットを用いて、教示プロセスを代替させることができる。

また、双方向動作インタラクションの延長として、人間の骨格データを用いたロボットの動作模倣も可能である。これは現時点ではユーザの関節角度をロボットの関節角度へ調整し、制御モジュールを通じて実行しているだけだが、今後ユーザの動作から直接動作定義を行えるようになれば、より拡張性が高まるため、重要なテーマであると考えられる。

4. ケーススタディ

4.1 実験環境

本研究では、ケーススタディとして、構築したサービスを利用してロボットが一般ユーザを対象にカフェ業務を行いサービスを提供する。環境地図は上述の Mapper3 を利用して構築した。な

お、本ケーススタディではユーザと対話を行う移動型 NAO, 動作教示を人型 NAO, 具体物運搬を HIRONX, TurtleBot, Pioneer3DX が要求されたタスクを分担して実行する。

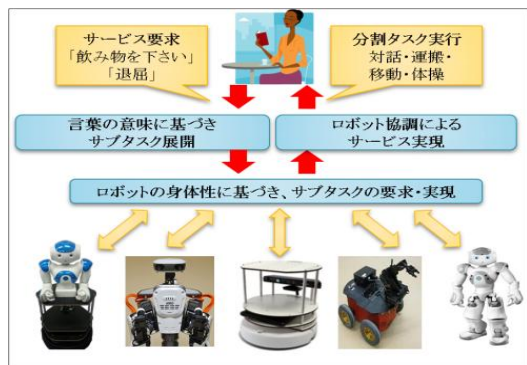


図 6 ケーススタディシナリオ

4.2 ケーススタディ

下記に、実験シナリオの一部である夏目漱石に関する対話から、具体物運搬への展開の流れを示す。なお、U)はユーザ、N)は NAOTorso の発話を示す。

- N) 何か聞きたいことある？
- U) 夏目漱石の代表作は何？

<<質問文解析により、日本語 Wikipedia オントロジーの夏目漱石インスタンスを検索>>

N) 夏目漱石の代表作は、“坊っちゃん”、“明暗”、“門”、“草枕”、“行人”、“吾輩は猫である”、“三四郎”、“こゝろ”、“それから”だよ。あと、関連する物で、“坊っちゃん”、“こゝろs”を持っているよ。どれか持ってこようか？

U) 坊っちゃんを持ってきて。

<<環境地図から“坊っちゃん”の位置を取得し、実行可能ロボットを抽出>>

N) 分かりました。Pioneer3DX に、“坊っちゃん”を持ってきてもらうね。

<<Pioneer3DX が“坊っちゃん”を取得し、ユーザの位置へナビゲーション>>



図 7 Pioneer3DX の具体物運搬作業

次にしぐさの認識から原因の推定と日本語 Wikipedia オントロジーの関連項目への展開についての流れを示す。ここではしぐさの情報から言葉の情報へとインタラクションを展開する。

<<ユーザの伸びのしぐさの認識>>

- N) 今、「伸び」をしたね。どうして「伸び」をしたの？
- U) 疲れたから。

<<原因である「疲れ、疲労」の関連項目を日本語 Wikipedia オントロジーから検索>>

N) 疲労の関連項目には、“睡眠”、“スポーツ”、“ストレス”、“嗜好品”があるよ。何か聞きたいものあった？

U) スポーツについて教えて。

<<同様にスポーツについて日本語 Wikipedia オントロジーを検索>>



図 8 しぐさの認識から対話への展開

5. おわりに

本稿ではロボット協調サービスを実現するシステムとして SOA の考えを取り入れたアーキテクチャを設計した。アーキテクチャの中で各サービスは各ロボットのタスク実行単位であるプロセスの組合わせてとして構築することにより、サービス全体としてロボットの協調が実現される。また、HRI においてもオントロジーの知識に加えて、マルチモーダルな情報を利用することで、よりトータルなロボットサービスが実現されることを示した。今後の課題として、ロボット選択における競合解消の精度と実環境における作業タスクのロバスト性の向上が必要である。

参考文献

- [Kobayashi 11] Shotaro Kobayashi, Susumu Tamagawa, Takeshi Morita and Takahira Yamaguchi: Intelligent Humanoid Robot with Japanese Wikipedia Ontology and Robot Action Ontology, HRI2011 (6th International Conference on Human-Robot Interaction), pp. 417-424 (2011).
- [玉川 13] 玉川 奨, 香川 宏介, 森田 武史, 山口 高平, "日本語 Wikipedia オントロジーの Linked Open Data への取り組み", 人工知能学会全国大会(2013), 1N4-OS-10b-3.
- [M.Tenorth 12] Moritz Tenorth, Michael Beetz, "Knowledge Processing for Autonomous Robot Control", AAAI Spring Symposium on Designing Intelligent Robots: Reintegrating AI, (2012).