

対話と動作の連携を目指したオントロジーに基づく知能ロボット Ontologies-Based Intelligent Robot for Integrating Dialogue and Action

小林 昭太郎
Shotaro KOBAYASHI

樋川 暁
Akatsuki HIKAWA

山口 高平
Takahira YAMAGUCHI

慶應義塾大学
Keio University

This paper proposes a framework for HRI (Human-Robot Interaction) where a humanoid robot can make dialogue and actions well with users and heterogeneous robots cooperate, aligning Japanese Wikipedia Ontology that is a large-scale ontology with 5 million RDF triples from Japanese Wikipedia, Robot Action Ontology that organizes various robot actions and robot control software. Case studies and fieldworks show us the validity of our HRI system. .

1. はじめに

近年注目を集めているコミュニケーションロボットの大部分は、言葉の意味を扱うことができない。この点が HRI(Human-Robot Interaction)が上手くいかない原因になっているという観点から、我々はこれまで、HRI に特化した領域オントロジーである動作オントロジーを、日本語 Wikipedia から自動的に構築した大規模汎用オントロジーである日本語 Wikipedia オントロジー[玉川 11]に関連付けることにより、言葉の世界、動作用語の世界、組込みソフトウェアの 3 つの異なる世界をインテグレーションし、対話と動作の連携を実現するシステムを提案してきた。[Kobayashi 11]

しかしながら、単一のロボットで実行できるタスクには限界がある。ユーザとロボットが対面した環境だけで実現できる HRI は限られており、身体的制約を持つロボットが、多様に存在する生活環境の全てに対応するという事は、非常に困難である。環境やタスクに適した身体的特徴を持つロボットが、それぞれ連携し、タスクを実行する方がより現実的なアプローチであり、多様な HRI を実現できる。本論文では、新たにオントロジーに基づく異機能ロボット連携を実現する。具体的には、日本語 Wikipedia を利用した対話から、異機能ロボット連携による動作インストラクション、具体物運搬へ言葉の意味に基づき展開できるトータルの HRI を実現するシステムを提案する。そして、構築したシステムの有用性についてケーススタディを通して示す。

2. 関連研究

オントロジーは、これまでもロボティクス分野の研究で利用されている。Johnston らは、OBOC (Ontology Based Object Categorization) [Johnston 08]を開発し、オントロジーのシンボルグラウンディング問題への利用を提案し、その有効性をロボカップで検証している。また、Hong Suh らは、オントロジーとルールによりロボットの知識フレームワーク OMRKF (Ontology-based Multi-layered Robot Knowledge Framework) [Suh 07]を構築し、その有用性を運搬タスクによって示している。しかし、オントロジーに基づき、Wikipedia の膨大な情報を利用して人間と対話を行い、さらに、動作レベルでも人間との双方向コミュニケーションを実現する研究はなされていない。本稿では、動作は作りこみであっても大規模になればよりよい HRI を実現できるという観点から、ロボットの動作を動作オントロジーとして事前に体系化した。

3. 動作オントロジー

これまで我々は、人型ロボット Nao が実行可能な動作に着目し、それらを動作の粒度に従い体系化することにより動作オントロジーを構築してきた。しかしながら、動作オントロジーは、ロボットの動作をロボットの機種に依存しない言葉の世界で抽象化しているため、異機種ロボット間で共有し、異機能ロボット連携に利用することが可能であると考えた。このような観点から、本稿では、従来から利用している Nao に加え、2 種類の人型ロボット(DarWIN-OP, Parlo)と 2 種類の移動ロボット(Pioneer3DX, TurtleBot)の 5 種類のロボットを対象として、動作オントロジーを再構成する。

動作オントロジーのクラス階層、クラス-インスタンス関係の一部を図 1 に示す。動作オントロジーでは、ロボットの動作は単純動作と、それらを組み合わせて構築される複合動作から構成されるという観点から、まず基本動作と複合動作で弁別を行う。複合動作に関しては、基本動作の並列結合、または直列結合の形で記述する。また、図 1 の赤で示した部分がインスタンスを表し、各ロボットの動作制御プログラムへ対応付けられている。これにより動作用語の世界とロボットの組込みソフトウェアを結びつけることが可能になる。複合動作は構成要素である基本動作の結合で記述可能であり、組込みソフトウェアで複合動作の制御プログラムの記述は要求されない。また、動作オントロジーのクラスと Wikipedia オントロジーを手動で対応付け、言葉の世界と動作用語の世界の結び付けを行った。動作実行時にはインスタンスの有無を参照することにより、ロボット群の中からある動作が実行可能なロボットを抽出することが可能である。例えば、【右肘を直角にゆっくり曲げる】クラスには、【Nao_右肘を直角にゆっくり曲げる】【DarWIN-OP_右肘を直角にゆっくり曲げる】【Parlo_右肘を直角にゆっくり曲げる】の 3 つのインスタンスが定義されている。したがって、これらを参照することにより、実行可能なロボットとして、Nao, DarWIN-OP, Parlo の 3 種類の人型ロボットを抽出することができる。一方、【右肘を横にゆっくり向ける】クラスには、【Nao_右肘を横にゆっくり向ける】の 1 つのインスタンスしか定義されていない。これは、関節の自由度の関係上、Nao しか実行することができないことを表す。このように実行可能なロボットを抽出することにより、例えばあるロボットが実行できない動作を他のロボットに委譲することが可能になり、異機能ロボット連携においてメリットが大きい。

連絡先: 小林昭太郎, 山口高平, 樋川暁, 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

{s_kobayashi, yamaguti}@ae.keio.ac.jp, akatsuki@a2.keio-1-jp

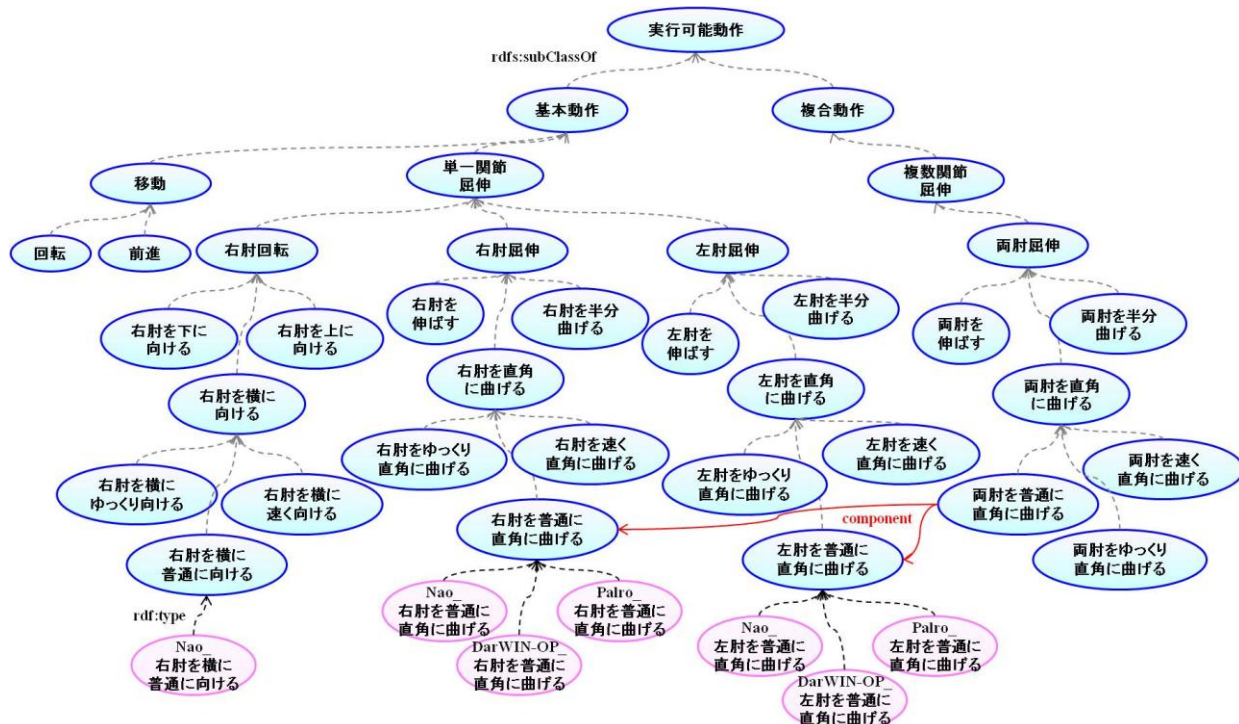


図 1 動作オントロジーの概要

4. 提案システム

本稿では、日本語 Wikipedia を利用した対話から、異機能ロボット連携による動作インストラクション、具体物運搬へ言葉の意味に基づき展開できる HRI システムを実装する。図 2 にシステムモジュール構成図を示す。

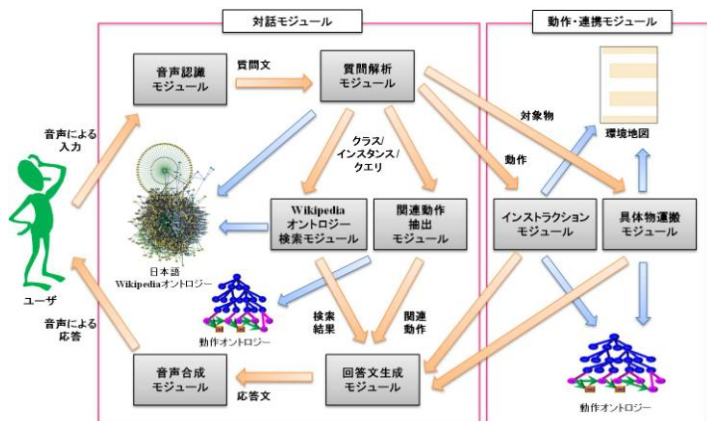


図 2 システムモジュール構成図

図 2 に示したように、提案システムは、大きく対話モジュールとロボット連携モジュールの 2 つのサブモジュールから構成される。下記に、それぞれのサブモジュールについて簡潔に述べる。

4.1 対話モジュール

ユーザは日本語 Wikipedia オントロジーに基づく対話を人型ロボット Nao と行う。対話モジュールの主な流れとしては、まず、ユーザがロボットに話しかけた音声を音声認識し、質問解析を行う。ただし、本提案システムでは、質問解析に関しては、【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】(動作要求), 【X を持ってきて】(運搬要求), または

【A の B は何ですか?】などの単純なファクト型質問に限定する。日本語 Wikipedia オントロジー検索要求の場合には、まず日本語 Wikipedia オントロジーを参照し、検索対象が日本語 Wikipedia オントロジーのクラス、インスタンス、プロパティのいずれに相当するかを判定する。クラスの場合には、それに属するインスタンス、インスタンスの場合には記述されているプロパティ、プロパティの場合にはプロパティのバリューを取得する。さらに、動作オントロジーを参照し、関連動作も取得する。なお、ファクト型質問の場合には、予め用意した質問パターンと SPARQL クエリのマッピングを参照し、クエリに変換した上で検索を行う。これらの検索結果に基づき、回答文を生成し、最終的に音声合成を行い、ユーザに音声の形で返す。また、動作要求、運搬要求の場合には、次に示すロボット連携モジュールに展開される。

4.2 ロボット連携モジュール

ロボット連携モジュールは、動作インストラクションモジュールと運搬モジュールから構成される。

動作インストラクションモジュールは、ロボット連携を通して、ユーザに動作のインストラクションを行う。なお、本稿における動作インストラクションは、人型ロボット Nao が正しい動作を知っており、それをユーザにインストラクションするという状況を想定している。動作インストラクションモジュールでは、まずユーザの動作を判定するロボットの選択を行う。ここでは、まず移動(前進、回転)、およびユーザの動作取得が可能なロボットを、動作オントロジーを参照し、候補ロボットとして抽出する。その中で、環境地図を参照し、ユーザまでの距離が最短であるロボットを抽出する。(環境地図に関しては事前に構築しておく必要がある。) 選択されたロボットをユーザの前までナビゲーションした上で、ユーザの動作状況(各関節角度の時系列データ)を取得する。この関節角度に基づき、ユーザの動作状況を 5 つに判定し、判定結果に基づき動的に動作を変更する。動作状況の判定結果と、動作プランを図 3 に示す。

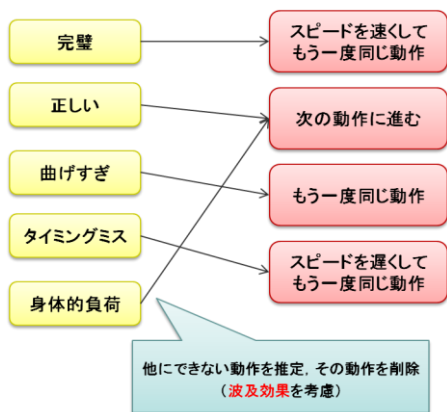


図3 判定結果とプラン決定

一方、運搬モジュールは、指示された具体物を回収し、ユーザまで運搬する。運搬モジュールでは、まず動作インストラクションモジュールと同様に、運搬を行うロボットを選択する。ここでは、動作オントロジーと環境地図を参照し、移動と物体の取得が可能なロボットの中から、対象物までの距離が最短であるロボットを選択する。選択されたロボットを対象物の位置までナビゲーションし、対象物を回収してからユーザの位置まで再度ナビゲーションすることにより、運搬タスクを実現する。

5. ケーススタディ

5.1 実験環境

本稿では、MobileRobots の Mapper3 を利用し、あらかじめ実験環境の環境地図を構築する。にケーススタディで利用する環境地図を図4に示す。

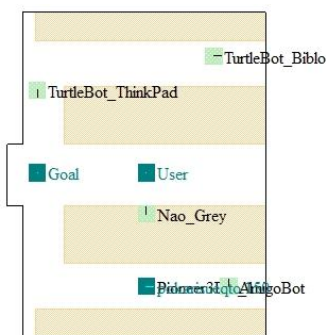


図4 構築した環境地図

5.2 ケーススタディ

本稿では、ケーススタディとして、スポーツ競技に関する対話から、関連動作のインストラクションし、さらに具体物の運搬に展開するシナリオの流れを示す。なお、(U)はユーザ、(N)は人型ロボット Nao の発話を示す。

N 何について聞きたい？

U 健康になりたいから、スポーツ競技について教えて。

N じゃあ、スポーツ競技について調べてみるね。

<< 日本語 Wikipedia オントロジーのスポーツ競技クラスを検索 >>

N スポーツ競技には、トライアスロン、ラクロス、太極拳、エレ

クトロニクススポーツ、ムエタイがあるよ。ほかにもあるけど、もっとほかの例を聞きたい？

U ほかのを教えて。

N スポーツ競技には、テコンドー、アイスホッケー、フィットネス、新体操、スノーカイトがあるよ。ほかにもあるけど、もっとほかの例を聞きたい？

U フィットネスについて教えて

N じゃあ、フィットネスについて調べてみるね。

<< 日本語 Wikipedia オントロジーのフィットネスインスタンスを検索 >>

<<動作オントロジーからフィットネスの関連動作を抽出 >>

N フィットネスについては、属するクラスが分かるよ。ほかにも聞きたいことある？あと、フィットネスの関連動作では、手と腕の体操、海軍体操ができるよ。どれかやってほしい？

U 手と腕の体操をやってみよう

対話から動作インストラクションへの展開

<動作オントロジーから手と腕の体操クラスのメンバを取得>

N 手と腕の体操では、普通の手と腕の体操、速い手と腕の体操、ゆっくり手と腕の体操ができるよ。どれをやってみよう？

U 普通の手と腕の体操をやってみよう

<<動作オントロジーと環境地図を参照し、ユーザの動作を判定するロボットとして TurtleBot を取得 >>

N じゃあ、教えてあげるから普通の手と腕の体操と一緒にやろう。僕は判定できないから、TurtleBot に動作を判定してもらおうね。

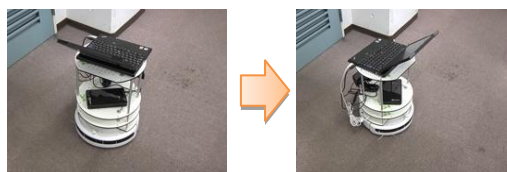


図5 TurtleBot のナビゲーション

N 最初は、普通に両肘を直角に曲げて伸ばす体操だよ。それでは始めるね。



図6 普通に両肘を直角に曲げて伸ばす体操の判定(1回目)

N ちょっと曲げすぎだったよ。同じ体操をもう一回やってみよう。それでは始めるね。



図7 普通に両肘を直角に曲げて伸ばす体操の判定(2回目)

N とてもうまくできていたよ。じゃあ次に進むね。次は、普通に両肩を横に広げて降ろす体操だよ。それでは始めるね。



図 8 普通に両肩を横に広げて降ろす体操の判定

N とてもうまくできていたよ。じゃあ次に進むね。次は、普通に両肩を前に上げて降ろす体操だよ。それでは始めるね。



図 9 普通に両肩を前に上げて降ろす体操の判定

N あんまりうまくできていなかったよ。次からは負担がかかる動作はやめるね。次は、普通に両肩を前に出して両肘を直角に曲げる体操だよ。でも、次の動作は身体に負担がかかりそうだから飛ばすね。
 N これで普通の手と腕の体操は終わりだよ。お疲れ様でした。疲れた？
 U 少し疲れたからポカリスエット持ってきて。

動作インストラクションから運搬タスクへの展開

<< 動作オントロジーと環境地図を参照し、運搬タスクを実行するロボットとして Pioneer3DX を選択 >>

N Pioneer3DX に取ってきてもらうね。



図 10 Pioneer3DX でポカリスエットのペットボトルを運搬

上述のケーススタディの結果は、構築したシステムが日本語 Wikipedia オントロジーに基づいてユーザと対話を行い、そこから異機能ロボット連携による動作インストラクション、具体物運搬に展開できることを示している。

6. おわりに

本稿では、日本語 Wikipedia から構築した日本語 Wikipedia オントロジーに動作オントロジーを関連付けることにより、言葉の世界、動作の言葉の世界、動作ソフトウェアの 3 つの世界をインテグレーションし、対話と動作の連携、および異機能ロボット連携を実現するシステムを提案してきた。そして、実際に対話から、異機能ロボット連携に基づく動作インストラクション、具体物運搬に展開できるトータル HRI を実現するシステムを構築し、ケーススタディ、フィールドワークを通してその有用性を示した。

今後の展望としては、対話能力の向上と共に、洗練された振る舞い(掴む、取る、置く、押す(スイッチなど)、引く...)を実現することが必要である。そして、より高度な Dialogue,

Behaviour, Task Interaction を実現していくことを目指していくつもりである。

参考文献

[玉川 11] 玉川 奨, 森田 武史, 山口 高平, "日本語 Wikipedia からプロパティを備えたオントロジーの構築", 人工知能学会論文誌 特集論文「近未来チャレンジ」Vol. 26 No. 4 pp. 504-517 (2011)
 [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)
 [Winograd 72] Winograd, Terry: Understanding Natural Language, Academic Press, (1972). (Revised version of Procedures as a Representation for Data in a Computer Program for Understanding Natural Language. AI-TR-17, Cambridge, Mass: MIT AI Lab., 1971.)
 [Johnston 08] Benjamin Johnston, Fangkai Yang, Rogan Mendoza, Xiaoping Chen, Mary-Anne Williams: Ontology Based Object Categorization for Robots, Proceedings of the 7th International Conference, Practical Aspects of Knowledge Management, pp. 219-231 (2008).
 [Suh 07] Il Hong Suh, Gi Hyun Lim, Wonil Hwang, Hyongwon Suh, Jung-Hwa Choi: Ontology-based Multi-layered Robot Knowledge Framework (OMRKF) for Robot Intelligence, Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 429-436 (2007).