

オントロジーアライメントに基づくヒューマンロボットインタラクション

Human Robot Interaction Based on Ontology Alignment

小林 昭太郎
Shotaro KOBAYASHI

後藤 あいり
Airi GOTO

山口 高平
Takahira YAMAGUCHI

慶應義塾大学
Keio University

Unlike industrial robots, service robots are required to interact with humans. Therefore, HRI (Human Robot Interaction) is quite important for service robots. However, HRI does not go well because existing service robots do not have sufficient knowledge. In light of this fact, we focus on ontologies, one of the most important factors of the Semantic Web. This paper discusses how to become HRI smarter based on alignment between three ontologies: Japanese Wikipedia Ontology, Robot Action Ontology and Human State Ontology.

1. はじめに

近年、さまざまなサービスロボットが製品化され、将来的にも需要は増え続けると考えられている。サービスロボットは、決められた動作を繰り返す産業用ロボットとは異なり、人間とコミュニケーションをとり、共存することが求められる。それに伴い、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)が非常に注目されているが、現状のヒューマンロボットインタラクションは、ヒューマンヒューマンインタラクションに遠く及ばない。

我々はこの1つの原因をロボットが十分な知識を扱えないためであると考え、これまで、オントロジーを利用し、よりよいヒューマンロボットインタラクションを実現するための研究を行ってきた。具体的には、まず Web 上の百科事典である Wikipedia の優れた語彙網羅性、即時更新性、および半構造化資源であることに着目し、Wikipedia から人間の知識の世界を表現する大規模な【Wikipedia オントロジー】[玉川 10]を半自動的に構築した。さらに、ロボットが実行可能な動作を体系的にまとめ、ロボットの動作の世界を表現する【動作オントロジー】を構築し、それを上記の Wikipedia オントロジーに関連付けた。これにより、膨大な知識に基づく汎用的な対話と、対話から動作へのスムーズな移行を実現するシステムを提案してきた。[Kobayashi 10]

しかし、従来のシステムでは、対話に関しては人間とロボットの間で双方向なコミュニケーションが実現されているが、動作については、ロボットが人間に対して一方的に教示するに過ぎないという問題がある。これを踏まえ、本研究では、人間の姿勢オントロジーに基づいた動作レベルの双方向コミュニケーションの実現と実証実験について述べる。

2. 提案システム

2.1 システム概要

本稿では、新たに人間の動作世界を表現する【姿勢オントロジー】を構築し、ロボットの動作オントロジーに関連付けることにより、Wikipedia オントロジーに基づく対話の中で、動作レベルでも双方向コミュニケーションが可能なシステムを提案する。(図 1)

なお、動作レベルでの双方向なインタラクションには様々なものが考えられるが、ここではロボットのユーザに対する動作のインストラクションを実現する。すなわち、正しい動作を知っている

のはロボットであり、ユーザはロボットに合わせてさまざまな動作を実行するという状況を想定する。

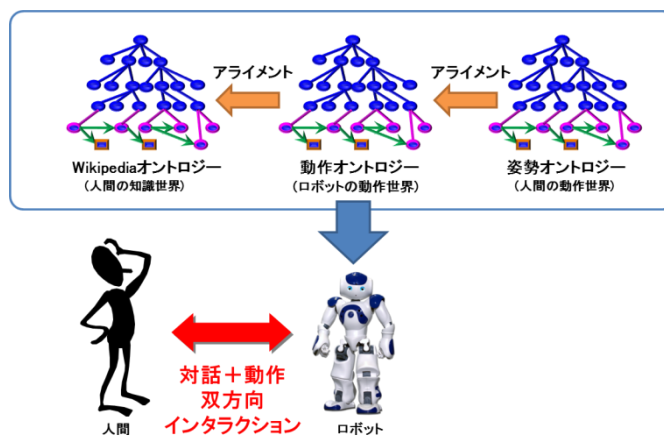


図 1 システム概要

2.2 使用ロボット、センサ

本研究では、Aldebaran 社¹(仏)製のフルプログラマブル人型ロボット Nao, ZMP 社²製 9 軸ワイヤレスモーションセンサ IMU-Z を使用し、システムの実装を行った。Nao は、自由度が 25 あり、非常に複雑な動作が可能である。さらに、GUI により容易な動作設計が可能であるという大きな特徴がある。一方、センサは、ユーザに装着し、動作状況をモニターするために利用する。

3. 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、OBCD (Object Based Ontology Categorization) [Johnston 08]を開発し、オントロジーをシンボルグラウンディング問題に利用している。そして、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。

1 <http://www.aldebaran-robotics.com/>

2 <http://www.zmp.co.jp/e-nuvo/jp/imu-z.html>

4. 姿勢オントロジー

本稿では、人間の動作を姿勢の連続的な変化として捉え、その姿勢を体系化することによって、姿勢オントロジーを構築する。宣言的に姿勢オントロジーとしてプログラムとは分離して記述することにより、メンテナンス性、拡張性に優れる。

4.1 クラス階層、クラス-インスタンス関係

図 2 に姿勢オントロジーのクラス階層関係、およびクラス-インスタンス関係の一部を示す。

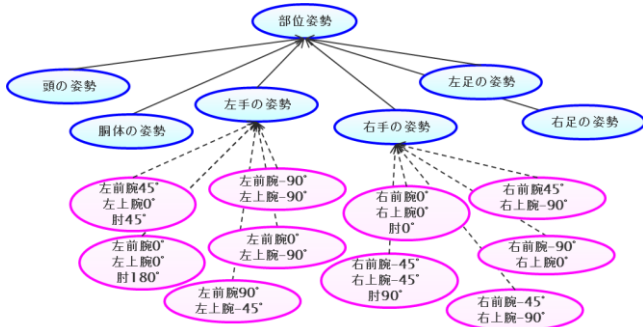


図 2 姿勢オントロジーのクラス階層、クラス-インスタンス関係(抜粋)

図 2 に示す通り、ユーザがセンサを各部位に装着すること、およびプログラムへの対応付けの観点から、右手・左手・右足・左足・胴体・頭という人間の部位を弁別属性として、姿勢オントロジーを構築する。姿勢オントロジーにおけるインスタンスは、センサデータから取得される人間の姿勢に対応する。左手の姿勢クラスの 34 個のインスタンスは、ユーザが左上腕と左手前腕に装着した 2 つのセンサの向きと、地磁気センサから判定される左手の姿勢に対応付けられている。ただし、センサの向きは、加速度センサを利用し重力加速度の値から、水平(0°)・上向き(90°)・下向き(-90°)・斜め上向き(45°)・斜め下向き(-45°)の 5 種類の中で最も近い向きとする。

4.2 動作オントロジーとの関連付け

ロボットから人間への動作のインストラクションを実現するために、ロボットの動作を体系化した動作オントロジーに、姿勢オントロジーを関連付ける。動作オントロジーは、動作を機能ごとに分類するクラスと、ロボットの動作に対応付けられるインスタンスから構成される。また、インスタンスは、1 つの動作ファイルによって実行できる基本動作と、その基本動作を直列、並列に連結することにより実行される複合動作に分類される。このうち、基本動作に姿勢オントロジーを関連付け、ユーザが取るべき姿勢とそのタイミングを記述する。この関連付けの手法について、【手と腕の体操】という複合動作を例に示す。図 3 に、【手と腕の体操】の基本動作への展開と、姿勢オントロジーの関連付けを示す。

本稿では、基本動作の連結と Web サービスの連結の類似性に着目し、セマンティック Web サービスにおける OWL-S を利用し、複合動作を記述する。owls:composedOf は動作の構成要素を表し、owls:Sequence, owls:Split_Join はそれぞれ直列、並列連結を表す。図 3 は下記のことを示す。

【手と腕の体操】は、5 つの複合動作を、【両肘を 90°曲げて降ろす運動】から【両肘を横にあげて降ろす運動】まで順番に行うことにより実行される。このうち、1 番目の【両肘を 90°曲げて降ろす運動】は、【右肘を 90°曲げて降ろす運動】と【左肘を 90°曲げて降ろす運動】を並行して行うことによって実行される。さらに、【右肘を 90°曲げて降ろす運動】は、7 つの基本動作を順番に行うことによって実行される。このうち、【右手の甲を前】という基本動作をユーザが実行する際には、開始から 0.2 秒後に【右前腕-90° 右上腕-90°】という姿勢をとらなくてはならない。同様に、【右肘を 90°曲げる】という基本動作は、開始から 0.6 秒後に【右前腕-0° 右上腕-90°】という姿勢、【右腕を降ろす】という基本動作は、開始から 1.0 秒後に【右前腕-90° 右上腕-90°】という姿勢をとらなくてはならない。

4.3 ユーザの運動能力に即した動作系列の生成

運動能力はユーザによって異なる。特に、介護や医療分野での利用を想定すると、この差異はより顕著に現れる。したがって、ロボットがユーザに動作をインストラクションするという状況を想定すると、ユーザの運動能力に即した動作を提案することが効果的である。しかし、姿勢オントロジーは、いわばユーザが動かせることに着目し構築したオントロジーである。そのため、これを実現するために、肩の開き、肘の開きなどの各姿勢における関節の角度を、データタイププロパティにより各インスタンスに記述する。例えば、姿勢オントロジーの【左前腕 0° 左上腕 0° 肘 180°】というインスタンスには、肩の開き=180°、肘の開き=180°と記述する。このように関節の開きの角度を記述することによって、ユーザがある動作が身体的特徴によって実行不可能な場合に、その波及効果を考慮したインストラクションが可能になる。例えば、あるユーザが、【右肘を 90°曲げる】という動作を肘の怪我により実行できなかった場合を考える。この場合、その動作の肘の開き(上腕と前腕の開きの角度)を取得することにより、同様に肘に負荷がかかる【右肘を横に上げる】という動作も、実行不可能であることを推定し、それが含まれる運動を削除することができる。これにより、個々のユーザの運動能力に即した動作系列を提示することが可能になる。

4.4 ユーザの動作状況を考慮した動作変更プラン

動作オントロジーに姿勢オントロジーを関連付けることにより、ユーザの動作状況を把握することが可能になる。本稿では、ユーザの動作状況を以下の 6 つの結果に分類する。

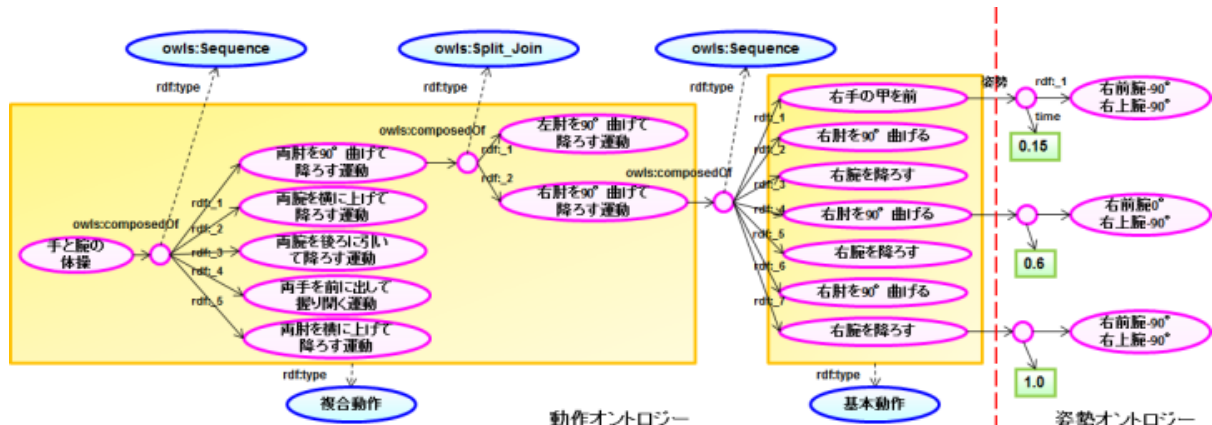


図 3 【手と腕の体操】に関する記述

- 正しい
 - ユーザが、ロボットに合わせて正しく動作を実行
- 早過ぎる
 - ユーザの動作が、ロボットよりも早い
- 遅過ぎる
 - ユーザの動作が、ロボットよりも遅い
- なっていない
 - ユーザがロボットがとった姿勢を1度もとれていない
- 滅茶苦茶
 - ユーザがロボットの動作を理解できず、ロボットと大きく異なる動作を実行
- タイミングがバラバラ
 - ユーザの動作の中に早過ぎる動作と遅すぎる動作が混在

ユーザがロボットに合わせて動作をする毎に、その動作状況を上記の6つの中から判定する。そして、判定された動作状況を踏まえ、適切な動作プランをユーザに提示する。【正しい】であれば、ユーザがその動作を理解し適切に実行できたと判断し、次の動作に進む。【早過ぎる】であれば、ユーザはその動作をさぼったと判断し、再度ロボットに合わせて同じ動作を実行することを提案する。【遅過ぎる】、【滅茶苦茶】、【タイミングがバラバラ】であれば、ロボットの動作が早すぎてユーザがついていけないと判断し、スピードを遅くした同じ動作を再度ロボットに合わせて実行することを提案する。【なっていない】であれば、ユーザが故意に手を抜いたことが原因の場合、ロボットの動作が早過ぎてついていけないことが原因の場合、ユーザの身体的特徴が原因の場合の3通り考えられる。そのため、まず対話により原因を特定する。そして、ユーザが手を抜いた場合には、同じ動作を再度実行することを提案する。早過ぎてついていけない場合には、【遅過ぎる】等と同様に、スピードを遅くして同じ動作を再度実行することを提案する。また、ユーザの身体的特徴が原因である場合には、対話により部位を特定する。そして、その部位に負荷がかかる他の動作を推定し、それ以降の動作系列から削除する。

5. ユーザとのインタラクション

5.1 インタラクションのフロー

Wikipedia オントロジー、動作オントロジー、姿勢オントロジーという3つのオントロジーのアライメントをとることにより実現したユーザとのインタラクションの流れは下記の通りである。

まず Wikipedia オントロジーの膨大なクラス階層、およびインスタンスネットワークを利用し、ユーザと対話を行う。具体的には、ユーザは最初に対話のトピックを決定し、それに基づき Wikipedia オントロジーのネットワークを渡り歩くことにより、ユーザと対話する。対話においてユーザが選択した Wikipedia オントロジーのリソースに、実際のロボットの動作に相当する動作オントロジーが関連付けられていた場合、その関連動作の候補をユーザに提示する。そしてユーザに選択された関連動作を実行する。さらに、実行する関連動作に姿勢オントロジーが対応付けられている場合、ユーザにセンサを装着して一緒に動作することを要求する。前述した通り、本稿では、あくまでもロボットが正しい動作を知っていて、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。まず、ロボットはユーザに動作の区切りごとに見本を見せる。その後、ユーザはロボットに合わせてその動作を実行する。ロボットは動作オントロジーに関連付けられた姿勢オントロジーを取得し、ユーザの動作状況を前項に示した6つのいずれかに判定する。そして、図5に基づき、場合に

よっては対話も交えてその原因を特定し、適切な動作変更プランをユーザに提案する。これを動作が最後まで終わるまで繰り返し、インタラクションを終了する。ただし、ユーザの身体的特徴により実行不可能である動作がある場合には、対話によりユーザがづらい部位を特定し、関節の開きのプロパティに基づき、その部位にそれ以上負荷がかかる動作を削除する。また、動作の途中でユーザが急な身体の異常など何らかの理由で動作の実行が困難になる場合も想定し、ユーザは動作変更プランが提案されたタイミングでインタラクションを終了することも可能とした。

5.2 ケーススタディ

本稿では、ケーススタディとして、【健康法】というトピックにおける対話から、その関連動作である【手と腕の体操】をユーザと一緒に実行するというインタラクションを行った。主にサービスロボットが利用されるのは介護や医療、家庭であることを踏まえ、扱う動作としてユーザが最も高いのは体操・ストレッチ・ヨガなど健康を維持あるいは促進させる動作であると考え、このトピックを選択した。なお、【手と腕の体操】のユーザの動作状況を取得するために、ユーザの両腕に2個ずつ(上腕、前腕に1つずつ)センサを装着し、実験を行った。このインタラクションに関連するオントロジーのアライメントを図6に示す。

次に、ユーザとロボットの間のインタラクションのログを示す。なお、(U)はユーザ、(R)はロボットの発言を示す。

- U 健康法について教えて。
 R 健康法について知りたいの？
 U そうです。
 R 健康法について Wikipedia で調べてみますね。ちょっと待って下さい。
 R 健康法については検索結果がたくさんあるから、5個ずつ言うね。健康法には早寝早起き、日光浴、ラジオ体操、太極拳、禁煙があるよ。この中に何か気になるものはある？それとも、他の検索結果を聞きたいですか？
 U ラジオ体操について教えて。
 R ラジオ体操の何が聞きたいですか？
 U 関連する動作やって。
 R ラジオ体操に関連する動作には、ラジオ体操、手と腕の体操があるよ。この中に何か気になるものある？
 U 手と腕の体操教えて。
 R それでは、手と腕の体操を一緒にやってみましょう。それでは始めます。



図4 【両肘を90°に曲げる運動】

- R この動作の中に、きちんと出来ていない姿勢がありましたよ。さぼっちゃった？それともついていけなかった？それともづらい姿勢があった？
 U づらい姿勢があった。
 R 肘がづらいですか？肩がづらいですか？
 U 肘がづらいです。
 R それでは、この後の動作は肘がつかないように調整しますね。いいですか？
 U いいです。
 R それではやりましょう。



図 5 【両腕を横に上げる運動】

- R 遅過ぎですよ. ついていけなかったですか? スピードを遅くしてもう一度頑張ってみましょう. いいですか?
 U はい.
 R それではやりましょう.



図 6 【両腕を横に上げる運動】(ゆっくり)

- R 良く出来ていたよ. 次の動作に進みますね. いいですか?
 U はい.
 R それではやりましょう.



図 7 【両腕を後ろに引く運動】

- R 良く出来ていたよ. 次の動作に進みますね. いいですか?
 U はい.
 R それではやりましょう.



図 8 【両腕を前に上げて手を握り開く運動】

- R 良く出来ていたよ. 次の動作に進みますね. いいですか?
 U はい.
 R 次の動作はつらい姿勢になるので飛ばしますね. これで動作は終了です. お疲れ様.



図 9 削除された動作【両腕を横に上げる運動】

5.3 実験結果に関する考察

5.2 では, Wikipedia オントロジーに基づく対話から, 関連動作として動作オントロジーへ展開し, さらに, 動作オントロジーのインスタンスに関連付けられた姿勢オントロジーを利用することにより, 動作レベルでもユーザとの間で双方向インタラクションを実現できることを示した. また, 【両肘を 90°に曲げる運動】においてユーザが肘を十分に動かさないことを考慮して, 同様に肘

に負荷がかかる【両肘を横に上げる運動】を動的に削除することにより, ユーザの運動能力に合った動作系列を提案できることも示した. しかし, これについては, 現状では実行するか削除するか二択でしかない. 中間的な場合についても適切に処理できるようにすることにより, よりユーザの運動能力にマッチした動作を提案できるようになり, リハビリなどへの応用もできるようになると考えられる. 例えば, 【両肘を 90°に曲げる運動】においてユーザが肘を 30°しか曲げられなかった場合に, 単純に【両肘を横に上げる運動】を削除するのではなく, ユーザが動かせる範囲に簡易化するということが効果的であろう. さらに, ユーザ毎の特徴をユーザオントロジーという形でモデル化し, それを随時更新していくことも, ユーザをよく理解する上で有効であると言える. また, インタラクションのフローも改善の余地がある. 現状では, Wikipedia オントロジーに基づく対話から動作の世界にインタラクションが移行し, それでインタラクションが終了してしまう. そのため, 例えば, 動作を実行した後にその動作に関する知識を Wikipedia オントロジーを利用しユーザに教え, 頭で理解した上で再度動作に戻るといったように, 対話と動作を繰り返せるようにすることが必要である. また, ロボットと人間の関節の可動域が異なるという問題はあるが, ロボットから人間へ動作をインストラクションだけに限らず, 人間からロボットへインストラクションすることも, よりよいヒューマンロボットインタラクションを実現する上で必要であると考えられる.

6. おわりに

本稿では, 人間世界の知識を表現する Wikipedia オントロジー, ロボットの動作世界を表現する動作オントロジー, 人間の動作世界を表現する姿勢オントロジーという 3 つの異なるオントロジーのアライメントをとることにより, Wikipedia の知識に基づく対話と, 動作レベルの双方向インタラクションが実現できることを示すことができた. 今後は, ケーススタディから明らかになった課題に取り組むと共に, モーションキャプチャや脳波センサを利用し, 運動スキル獲得, 感情獲得, 知識獲得を融合し, ユーザとより高度なインタラクションをとれるシステムを構築していく予定である. また, 異機種ロボットを意味的に連携し, さらにアバターを加えたヒューマンロボットアバターインタラクション(HRAD)の実現についても検討していく予定である.

参考文献

[玉川 10] 玉川奨, 桜井慎弥, 手島拓也, 森田武史, 和泉憲明, 山口高平: 日本語 Wikipedia からの大規模オントロジー学習, 人工知能学会論文誌, Vol.25 No.5 pp.623-636 (2010).
 [Kobayashi 10] Shotaro Kobayashi, Susumu Tamagawa, Takeshi Morita, Takahira Yamaguchi: Intelligent Humanoid Robot with Japanese Wikipedia Ontology and Robot Action Ontology, Proceedings of the 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp.417-424 (2010).
 [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).