

PRINTEPSにおけるロボット喫茶店の注文に基づく飲料準備の実現と評価

The Integration of Manipulation with Ontologies in PRINTEPS

石井 誉仁^{*2} 中村 高大^{*1} 八馬 遼^{*1} 中山 祐介^{*2} 黒須 純^{*1} 萬 礼応^{*2}
 Takahito Ishii Kodai Nakamura Ryo Hachiuma Yusuke Nakayama Jun Kurosu Ayanori Yorozu

森田 武史^{*1} 高橋 正樹^{*1} 山口 高平^{*1}
 Takeshi Morita Masaki Takahashi Takahira Yamaguchi

^{*1}慶應義塾大学理工学部

Keio University, Faculty of Science and Technology

^{*2}慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

PRINTEPS (PRactical INTElligent aPplicationS) is a total intelligent application development platform that integrates 5 types of sub systems (knowledge based reasoning, speech dialog, image sensing, manipulation, machine learning). This paper shows us how PRINTEPS has been applied to the tasks of Robot Cafe: taking orders and grasping tableware.

1. はじめに

現在、知識推論、音声対話理解、画像センシング、マニピュレーションなどに関連するソフトウェアモジュールを再構成するだけで、人と機械が協働可能な総合知能アプリケーションを開発するプラットフォーム PRINTEPS (PRactical INTElligent aPplicationS) の研究を進めている [1]。本稿では PRINTEPS におけるオントロジーとマニピュレーションの統合と、喫茶店業務（注文と食器の把持）への適用について述べる。

2. オントロジーとマニピュレーションの統合

ロボットの動作は物理パラメータによってどの関節をどのように動かすのかを1つずつ制御することで、人間からみて1つの意味のある動作として構成される。ロボットは人間が扱う言葉を理解することができず、動作を変更するには、再び物理パラメータを設定し直す必要がある。ロボットが人の業務の一部を代替し、人とロボットが協働するという場面を考えると、ロボットの動作計画、実行、確認、修正というPDCAサイクルを何度も行う必要があり、修正をするたびに物理パラメータの変更が生じ大きなコストが掛かる。

本稿では、現状のロボットシステムで行われているハードコーディングによるプログラムを、宣言的知識と手続的知識に分離する。宣言的知識はオントロジー、手続的知識はソフトウェアモジュールとして用意し、それらを統合することで低コストで環境の変化に対応させること、人とロボットの言葉によるインタラクションを可能とすることを考える。宣言的知識はオントロジーにより記述されるため修正が容易であり、手続的知識はソフトウェアモジュールとして用意するため、モジュールの組み換えだけで変更が可能となる。また、人とロボットが言葉によりインタラクションをとることで、ロボットやカメラのセンシングだけでは取得できなかった情報を、人が発話しロボットに教示することで、ロボットのマニピュレーションを変

更させることも可能となる。

3. システム構成

PRINTEPS における多重知識ベースの一部としてロボットサービスを実現するために利用している2種類のオントロジーとそれらの関連付け、そして PRINTEPS のモジュールとして開発した、音声認識・合成モジュール、動作制御モジュール、物体認識モジュール、オントロジー検索モジュールについて説明する。

3.1 カフェオブジェクトオントロジー

カフェオブジェクトオントロジーはロボットが対象とするオブジェクトの情報を体系化した領域オントロジーである。カフェオブジェクトオントロジーは、ロボットが食器や調理器具を視認・把持できるようになることを目的としており、物体の形状を分別属性としてオントロジーを構築した。カフェオブジェクトオントロジーの一部を図1に示す。

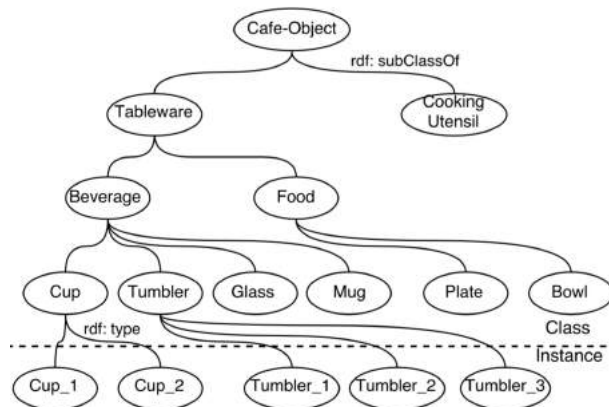


図1: オブジェクトオントロジーの階層 (一部)

また、ロボットは詳細な物理パラメータで制御を行わなければ動作を行うことができない。そこで、インスタンスには食器や調理器具の視認・把持を行う上で必要な詳細なパラメータや

連絡先: 連絡先: 中村 高大, 慶應義塾大学理工学部管理工学科
 〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
 TEL: 045-566-1614
 E-mail: ko.nakamura@keio.jp

オブジェクト情報がプロパティで関連付けられている (図 2)。図 2 において、楕円がインスタンス、長方形がリテラルを示している。

プロパティには、視認に必要な情報である色や点群情報、把持に必要な 3 次元座標や把持方法などの情報が記述されている。視認という観点からすると、物体認識時の環境 (周りの明るさなど) に関連するプロパティも必要であると考えられるが、本研究で使用している物体認識の手法からそのような要素は必要ないと考えられるため、カフェオブジェクトオントロジーには定義しなかった。本稿では、オブジェクトオントロジーを活用することで、ロボットのマニピュレーションに必要な物理信号と人間が理解できる記号を対応づけることによってロボットの知的な振る舞いを実現している。

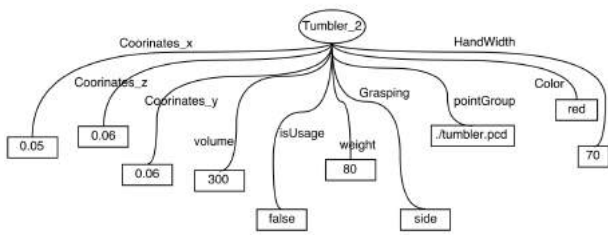


図 2: インスタンスに属するリテラル (一部)

3.2 喫茶店飲み物オントロジー

喫茶店飲み物オントロジーは、ロボットが接客サービスを行うために構築した飲み物に関する領域オントロジーである。

本稿では PRINTEPS の喫茶店業務への適応ということで、ロボットのハンドリングによる制約と実世界での喫茶店で想定されるメニューから飲み物メニューに限定して情報を構造化した。また、クラス階層としては大まかな分類を行うことで、実世界で行われるメニューにどのようなものがあるかといった質問に回答できるように弁別を行った。

3.3 オントロジーの関連付け

前項までに紹介したオブジェクトオントロジーと喫茶店飲み物オントロジーの関連付けについて説明する。2つのオントロジーのそれぞれのインスタンスについて飲み物メニューと対応するオブジェクトが 1 対 1 で UsedTableware というプロパティによって関連付けられている (図 3)。これによってメニューと対応するオブジェクトをロボットが選択することを実現している。また、このプロパティの対応付けは SWRL (Semantic Web Rule Language) で記述されたルールによって対応づけられているため、ルールの書き換えによって容易に変更することが可能となっている。

異なるオントロジーのインスタンス同士をひとつずつ手動で対応付けると膨大な時間がかかってしまう。また、対応付ける容器を変更したい場合や新しいサイズ・容器・メニューを追加したい場合にもおおきなコストが発生する。

SWRL を用いてオントロジーを関連付けることにより、このような場合でもルールの追加・変更のみで対応することが可

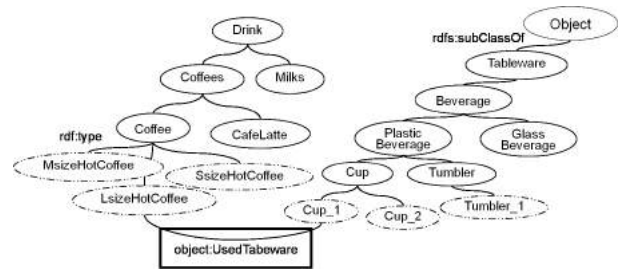


図 3: オントロジーの関連付け

能となり、飲み物と食器の関連付けを容易に変更することが可能となる。

3.4 物体認識モジュール

3次元物体認識モジュールは、実環境でオブジェクトを把持するために必要なロボット座標系からみた 3 次元座標を取得する処理を行う。入力として事前に準備した点群モデルを与え、カメラに映るオブジェクトの中からモデルと一致する点群を取得して、その重心座標を結果として出力する機能を有している。また、本稿で使用するカメラはマイクロソフト社製の Kinectv2 を用いており、点群を扱うために PCL (Point Cloud Library)、画像処理として OpenCV を組み合わせた構成となっている。

3.5 動作制御モジュール

動作制御モジュールは動作計画のオープンソースとして認識されている OMPL (Open Motion Planning Library) を利用して、入力された 3 次元座標に対してアームを移動させるモジュールを構築した。

把持計画としてオントロジーに記述しているオブジェクトの詳細情報を取得し、掴み方やカメラから取得した座標の補正パラメータなどを活用してオブジェクトの把持を遂行する。

3.6 音声認識・合成モジュール

音声認識・合成モジュールは、既存のライブラリ等を使用して構築した。認識部分は Google Speech API、合成部分は NAOqi や voicetextAPI など使用するロボットに合わせたものをを用いた。

3.7 オントロジー検索モジュール

オントロジー検索モジュールは、オントロジーから検索をかけてデータを取得する機能を担っているモジュールである。

4. 最適配置設定と喫茶店業務

上で説明したオントロジーとモジュールを使用して、最適配置設定システムと喫茶店業務システムを構築した。本節では、これら 2つのシステムについて説明する。

4.1 最適配置設定

図 4 にシステムの流れを示す。システムの主な役割としては、人間と機械の認識理解の擦り合わせによってオブジェクトをどのように配置することがロボットにとって最適であるのかを見つけることを可能にするというものである。つまり、ロボットが認識したオブジェクトと認識したオブジェクトに対してアームを伸ばせるかどうかを判定して結果を発話することで、人間が配置したオブジェクトをロボットが正常に認識できているのかを人間が共有理解することで動作をすることな

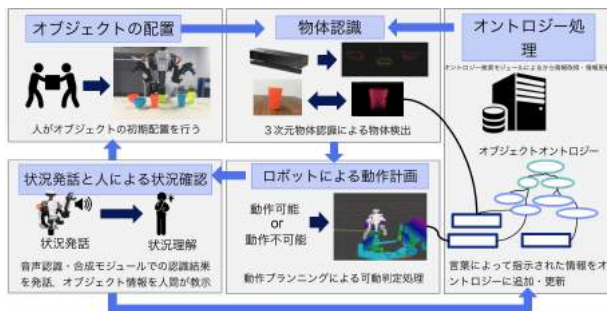


図 4: 最適配置設定システム



図 5: 喫茶店業務システム

くオブジェクト配置の修正箇所を特定して改善することを実現する。これにより、以前のオブジェクトを配置して動作させて修正箇所を特定・改善といったプロセスを踏まえることなく、ロボットの作業環境の設定に関する PDCA サイクルを短縮して回すことができ、オブジェクト配置を設定するコストを削減することを可能にしている。

また、オントロジーを用いることにより機械からの認識理解だけでなく、機械が理解できる共通語彙を利用することで一部ではあるが、人間の理解をロボットに教示するということが実現している。

以下に処理フローを示す。

1. 人間がオブジェクトを配置する
2. オントロジーのすべてのインスタンスに対して PCD パスを取得
3. デプスセンサから点群を取得して平面除去、クラスタリングを行う
4. PCD パスを入力して物体を検出、検出された点群にラベルを関連付ける
5. 検出されたオブジェクトに関してオントロジーからオブジェクトの持ち方情報取得
6. 持ち方を考慮して検出座標に対して動作可能かプランニングを行う
7. 検出し、ラベルを付けられたオブジェクトを発話
8. ラベルが付けられたオブジェクトを発話
9. 人間が発話内容を聞いて、ロボットの認識状況を理解
10. クラスタリングされた個数と実際に配置したオブジェクト数が異なる場合は認識結果を踏まえてオブジェクト配置を変更
11. クラスタリングされ個数と実際に配置したオブジェクトが一致する場合は対話でオブジェクト情報を与えてオントロジーの情報を更新

4.2 喫茶店業務

オブジェクト環境設定タスクの実行によって決められたオブジェクトの配置に対して、喫茶店業務を実現するロボットサービスを行うシステムを構築した。これによりメニューという記号から実際の制御する座標である信号への変換、検出できなかった際の信号から記号である別のオブジェクトという記号への変換といった双方向の変化を実現している。

以下に処理フローを示す。

1. ロボットとの対話によって注文をとる
2. 決定した注文内容データを用いて知識検索にかける
3. メニュー内容と対応するオブジェクトを検出してラベルを与える
4. PCD を用いて、オブジェクトを検出してラベルを与える

5. 検出したオブジェクトのロボット座標系 3 次元座標を計算
6. メニューの分だけ座標を取得できた場合、オントロジーから把持情報取得
7. 検出した座標に対して、アームを制御してオブジェクトを把持する
8. メニューの分だけ座標を取得できなかった場合は、メニューと対応するオブジェクトのサブクラスを参照して代用する
9. 代用によってメニューの数だけ座標を確保できたら、6.7 の要領でオブジェクトを把持

5. ケーススタディと評価

本節では、PRINTEPS として構築した領域オントロジーと環境センシングモジュールの活用によって現実世界のサービスにおいてロボットがどのように働くかをケーススタディで示す。

5.1 使用ロボット

本稿で使用するロボットの説明をする。今回のシステムでは、ハンドリングに優れている大型のアームとハンドグripperを備えた川田工業製の双腕上半身ロボットである HIRONX を使用した。ロボットの本体仕様としては両腕 6 軸、首 2 軸、腰 1 軸の合計 15 軸の関節自由度を有しており、ハンドグripperの最大可搬重量は 1.5kg までとなっている。

5.2 シナリオ概要

シナリオは喫茶店業務を題材として、開発した PRINTEPS の利用による注文から食器を選択して運搬するまでの振る舞いを実際に確認した。具体的には以下の 2 つのタスクを行った。

5.2.1 人とロボットが対話を通じて作業環境を整備

<< 人がオブジェクトを適当に作業台に置く >>

HIRO 「左手前に黄色いカップがあります。認識できなかったオブジェクトは何ですか。」

人 「赤色のタンブラーが倒れている状態です。」

HIRO 「了解しました。」

<< 事前に教えた状態によって把持方法を取得し動作実行 >>

5.2.2 注文による対応オブジェクトの把持

<< 作業環境を整備した後のオブジェクトの配置 >>

HIRO 「注文をどうぞ。」

人 「M サイズホットコーヒーを 1 つ下さい。」

<< メニューと対応するオブジェクトを検出・把持動作 >>

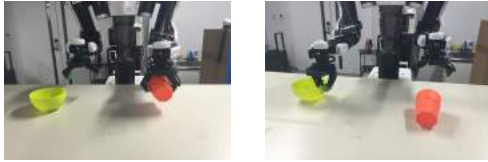


図 6: 事前に教示した情報情報による把持方法



図 7: メニューに対応するオブジェクトの配置

5.3 評価

本研究で開発したシステムの有用性を示すため、熟練者と初級者が同じ動作の構築を行い、その開発時間を計測した。熟練者はすべての動作をハードコーディングで構築し、初級者は本研究で作成したモジュールを繋ぎ合わせることで動作を構築した。

表 1: 開発時間の比較

	開発時間	把持できた個数
熟練者	1 時間 07 分 33 秒	3
初級者	19 分 04 秒	2

その結果を表 1 にまとめた。

表 1 に示すように、開発時間が 1/3 以下に短縮され、モジュールプログラミングの効果が確認できた。特に、モジュール結合によって構築したオブジェクトの最適な配置を人間と協働して設定できるシステムを利用することで、オブジェクトをロボットがどのように認識しているのか、ロボットの可動域の判定を人間とロボットが共有することができる。これにより、認識できないオブジェクト配置、ロボットのアームが届かないオブジェクト配置を設定しなくなるので、「動作を実行して確認し、オブジェクトを再配置する」といったプロセスを排除することが可能になるために、オブジェクトの配置を設定するコスト削減とともに、アプリケーション実行時に把持する精度に効果をもたらしたと考えられる。把持精度については、熟練者によってハードコーディングされたアプリケーションの方が 3 個を正確に把持できたのに対して、初級者のアプリケーションでは 1 つ把持できなかった。これはロボットの把持動作に関してオントロジー側で定義した物理パラメータの定義が最適ではなかったことと、画像認識モジュールによる物体認識の結果が悪くなったことが原因として挙げられる。本研究で構築した動作計画モジュールでは、把持できなかったオブジェクトに対して、オントロジーに定義している物理パラメータを変更することで容易に動作させる位置を微調整することが可能であるが、ロボット開発初級者がオントロジーの変更をすることは現実的ではないために実験では物理パラメータの変更は行わなかった。しかし、このような微調整が簡単に行えるような仕組みを導入しているためにオントロジーを変更する方法を理解すれば、把持することも可能であったと考えられる。

6. おわりに

本稿では、PRINTEPS の喫茶店業務というタスクに焦点を当てて、構築した多重知識ベースと環境センシングの組み合わせによって、実世界の情報から取得される物理信号と知識による記号を相互に対応づけるシステムを設計した。また、ケーススタディでは人と協働して実世界におけるロボットの作業環境を設定し、ロボットによるマニピュレーションのサービス実現までを確認し、PRINTEPS の有効性を示した。

今後の課題としては、ハンドリングに関する情報を記述したマニピュレーションオントロジーや作業タスクの情報を構造化したタスクオントロジーの構築などによる作業タスクの変更に応じたより知的な振る舞いの実現などが考えられる。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「実践知能アプリケーション構築フレームワーク PRINTEPS の開発と社会実践」の支援によって実施した。

参考文献

- [1] 山口高平, 中野有紀子, 斎藤英雄, 森田武史, 青木義満, 萩原将文, 斎藤俊太: 知能共進化のための実践知能アプリケーションプラットフォーム PRINTEPS, 第 29 回人工知能学会全国大会, 114-2, 2015