

統合知能アプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS とその 応用事例

PRINTEPS: A User-centric Platform to Develop Integrated Intelligent Applications

森田 武史 *1
Takeshi Morita

萬 礼応 *1
Ayanori Yorozu

小篠 裕子 *1
Yuko Ozasa

西村 良太 *1
Ryota Nishimura

高橋 正樹 *1
Masaki Takahashi

中野 有紀子 *2
Yukiko Nakano

斎藤 英雄 *1
Hideo Saito

山口 高平 *1
Takahira Yamaguchi

*1 慶應義塾大学
Keio University

*2 成蹊大学
Seikei University

We are developing PRACTICAL INTELLIGENT aPPlicationS (PRINTEPS), which is a user-centric platform to develop integrated intelligent applications only by combining four types of modules such as knowledge-based reasoning, speech dialog, image sensing and motion management. PRINTEPS supports end users to participate in AI applications design (user participation design) and to develop applications easily. This paper introduces the architecture and applications of PRINTEPS for robot teahouse and teaching assistant robot where multiple people and robots cooperate.

1. はじめに

現在、知識推論、音声対話、画像センシング、動作計画、機械学習を統合して、開発者ではなく、エンドユーザが容易に統合知能アプリケーションをデザイン・開発できるプラットフォーム PRINTEPS (PRACTICAL INTELLIGENT aPPlicationS) の研究開発を進めている [山口 15]。本稿では、PRINTEPS のアーキテクチャおよびその応用事例として、ロボット喫茶店と教師ロボット連携授業について述べる。

2. PRINTEPS のアーキテクチャ

図 1 に PRINTEPS のアーキテクチャを示す。本節では、[森田 16] で提案したアーキテクチャからの主な変更点として、Information State, マルチ知識ベースエディタ, ビジネスルール管理システムとの連携について述べる。

2.1 Information State

Information State (IS) は、PRINTEPS のサブシステム間でデータを共有するためのデータベースである。PRINTEPS では、mongodb_store*1 を IS を実装するために用いている。mongodb_store は、ROS におけるメッセージを MongoDB に格納したり、MongoDB から取得することが可能な API 群を提供している。PRINTEPS では、知識推論、音声対話、画像センシング、動作計画、機械学習の各モジュール間の入出力データとして ROS のメッセージを用いており、任意の時点において各モジュールの出力結果を IS に格納したり、各モジュールが IS に格納されているメッセージを参照することができる。

2.2 マルチ知識ベースエディタ

[森田 16] では、PRINTEPS においてエンドユーザがワークフローを作成するために、ワークフローエディタを実装し、シナリオエディタとビジネスルールエディタを将来的に提供することを想定していた。

連絡先: 山口 高平, 慶應義塾大学理工学部管理工学科,
〒 223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1, 045-566-1614,
yamaguti@ae.keio.ac.jp

*1 http://wiki.ros.org/mongodb_store

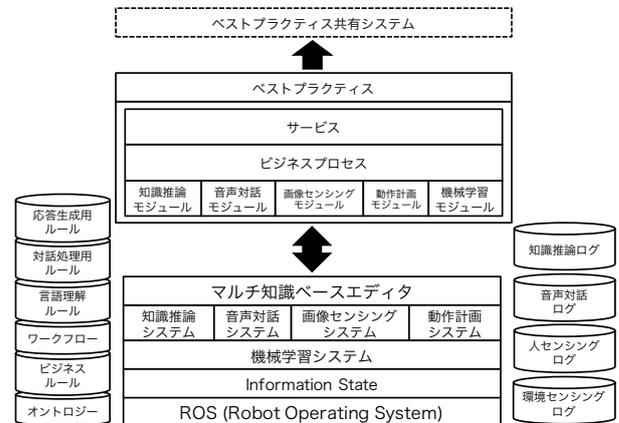


図 1: PRINTEPS のアーキテクチャ

本研究では、マルチ知識ベースエディタとして、ワークフローエディタを拡張し、オントロジーとルールベースをワークフロー上から参照・実行できるようにしている。

マルチ知識ベースエディタは、ワークフローエディタとシナリオエディタを切り替えて利用することが可能である。ワークフローエディタは、サービス、プロセス、モジュールの実行順序を記述可能なエディタであり、[森田 16] におけるワークフローエディタと同様である。

シナリオエディタは、プロセスとモジュールを実行するアクターの観点に基づいて、プロセスとモジュールの実行手順を記述可能なエディタである。教師ロボット連携授業アプリケーションにおいて、教師自身が授業をデザインする際に、アクターごとに分けて、プロセスの実行順序が記述できた方が授業全体の流れを理解しやすいことから、シナリオエディタの開発を行った。

図 2 に、シナリオエディタのスクリーンショットを示す。シナリオエディタでは、プロセスおよびモジュールは上から下に向かって実行される。シナリオエディタの画面は縦方向にレーンで区切られており、各レーンにはアクターおよび道具を割り

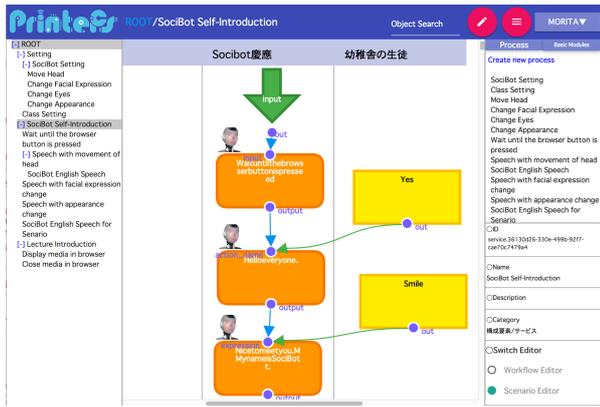


図 2: シナリオエディタのスクリーンショット

当てることができる。レーンに割り当てることが可能なアクターおよび道具は、アクターおよび道具のクラス階層におけるクラスのインスタンスの中から選択する。

PRINTEPS におけるプロセスまたはモジュールには、メタデータとして前述のレーンに割り当てたアクターまたは道具クラスのインスタンスを割り当てることができる。アクターまたは道具クラスのインスタンスを割り当てることにより、該当プロセスまたはモジュールは、割り当てたインスタンスに対応するレーンのみに表示されるように制限をかけることができる。

ワークフローエディタ上では、プログラムから実行可能なロボットやセンサに関連するプロセスまたはモジュールのみから構成されていたが、シナリオエディタでは、教師や生徒のような人間が行うプロセスも表現可能である。これにより、例えば、授業進行における教師の発言をシナリオエディタ上で表現することができ、教師はロボットを用いた授業進行において、どの場面でどのような発言をすべきかを把握しやすくなる。

シナリオエディタはワークフローエディタと互換性があり、ワークフローの別の表現形式と見なすことが可能である。ユーザは、ワークフローエディタとシナリオエディタのいずれかをプロセスごとに選択することができる。

2.3 ビジネスルール管理システムとの連携

ビジネスルール管理システム (BRMS) は、ビジネスルールエンジンを提供し、ビジネスルールを GUI により管理可能なシステムである。本研究では、Drools^{*2} を BRMS として用いる。Drools は、ドメイン特化言語 (DSL) を用いて、自然言語に近い形式でビジネスルールを定義する機能を持つ。

PRINTEPS では、「ルール発火」モジュールにより、Drools 上のルールをワークフローエディタ上から発火させることができる。また、ビジネスルールの結論部において、PRINTEPS におけるモジュールやプロセスを実行することが可能である。

従来の知識ベースシステムとの違いの1つとして、人の属性などの画像センシング結果をビジネスルールにおける条件部に利用できる点が挙げられる。また、ロボットのアクション (発話や移動など) をビジネスルールにおける結論部から直接実行することができる。

知識推論が必要な場合には、ROS におけるメッセージを Resource Description Framework (RDF) 形式に変換し、Semantic Web Rule Language (SWRL) を用いて推論を行う。

*2 <http://www.drools.org/>

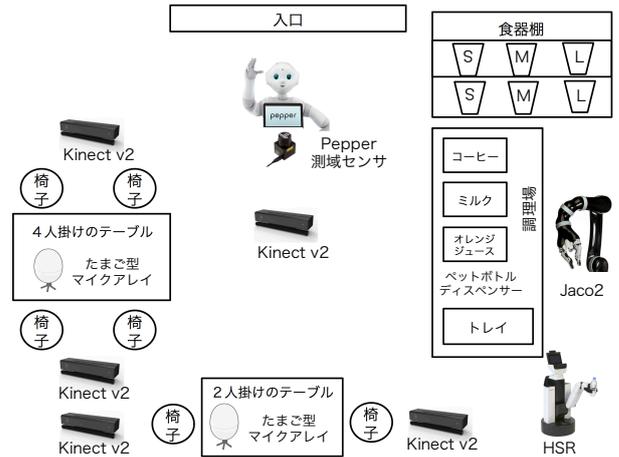


図 3: ロボット喫茶店のシステム構成図

3. 応用事例 1 : ロボット喫茶店

本節では、PRINTEPS の一つ目の応用事例として、ロボット喫茶店の概要について述べる。

3.1 システム構成

図 3 に、ロボット喫茶店のシステム構成図を示す。本研究では、入口、4人掛けのテーブル、2人掛けのテーブル、調理場、食器棚を図 3 のように配置したロボット喫茶店環境を研究室内に構築している。

入口に 1 台、各テーブルに 2 台ずつの Kinect v2 を配置し、人と物の画像センシングを行っている。各テーブルには 1 台ずつたまご型マイクアレイ^{*3} を配置し、注文時における音声認識や発話した客の位置の推定を行っている。調理場には、3 台のペットボトルディスペンサーを配置し、コーヒー、ミルク、オレンジジュース、カフェオレを用意できるようにしている。また、トレイを配置し、最大 5 つまでカップを置くことができるようになっている。食器棚には、S サイズ、M サイズ、L サイズのカップを 2 セット配置している。

接客用ロボットとして Pepper と HSR を^{*4} 用いている。Pepper には測域センサ^{*5} を搭載し、走行時に自己位置を推定できるようにしている。HSR はカップなどの運搬にも用いている。調理用ロボットとしては Jaco2^{*6} を用いている。

Kinect v2 は Windows OS が搭載されたノート PC に接続されており、たまご型マイクアレイは Linux OS が搭載されたノート PC に接続されている。Pepper、Jaco2、HSR もそれぞれ 1 台ずつ Linux OS が搭載された PC に接続されている。その他に、ROS のマスター兼 IS を管理する Linux OS が搭載されたノート PC、知識処理 (BRMS と RDF ストア) と人属性認識を行うための Linux OS が搭載されたサーバを用意しており、計 12 台の PC、Pepper、HSR を ROS の分散ネットワーク環境上に接続している。

3.2 ロボット喫茶店のサービス概要と各要素知能の役割

ロボット喫茶店は、入店時挨拶、座席案内、注文、飲み物の用意と運搬、会計、見送りのサービス群から構成される。以下

*3 http://www.sifi.co.jp/system/modules/pico/index.php?content_id=39

*4 http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/partner_robot/

*5 UST-10LX (北陽電機株式会社)

<http://www.hokuyo-aut.co.jp/search/single.php?serial=16>

*6 <http://www.nihonbinary.co.jp/Products/Robot/KINOVA.html>

では、各要素知能がどのようにサービスを実現するために用いられているのかについて述べる。

3.2.1 知識推論

知識推論では、ワークフロー、ビジネスルール、オントロジーを用いて、ロボット喫茶店における状態の管理やロボットの振舞いの制御を行う。入店時挨拶と座席案内においては、画像センシングにより得られた客の人数や各客の属性情報からグループ推定を行ったり、Kinect のセンシング結果とストリーム推論を用いて入店・退店・退席・空席の検知などを行っている。さらに、ビジネスルールを用いて、喫茶店オーナーの要望を反映したグループごとの接客を行うことを可能としている。注文時においては、ロボット喫茶店におけるメニュー情報（材料、カロリー、金額など）をオントロジーとそのインスタンスとして定義し、音声対話モジュールにその情報を提供したり、注文されたメニューから必要な食器や調理手順を生成し、動作計画モジュールを呼び出すなどの処理を行っている。ロボット喫茶店における知識推論の詳細については、[Morita 16] を参照いただきたい。

3.2.2 音声対話

音声対話では、主に Pepper とたまご型マイクアレイを用いて注文対応を行う。現在、メニューとして、S、M、L サイズのコーヒー、ミルク、オレンジジュース、カフェオレを用意しており、客が様々な表現方法により、これらのメニューを注文した際に、適切に、メニュー名、サイズ、個数を取得し、ROS のメッセージ型に変換し、IS に保存することを実現している。また、知識推論モジュールと連携し、客のグループや属性に応じたメニューの推薦なども可能としている。音声対話の詳細については、[西村 17] を参照いただきたい。

3.2.3 画像センシング

画像センシングでは、主に入口とテーブルのセンシングを Kinect v2 を用いて行っている。OKAO Vision^{*7} を用いて人の年齢、性別、表情を推定したり、入店してくる客と Kinect v2 までの距離データを取得し、知識推論モジュールと連携して入店検知などを行ったり、テーブル上にある物や飲食行動の認識を行っている。入口のセンシングについては [田中 16] を、テーブルのセンシングについては [番原 16] を、飲食行動の認識については [番原 17] を参照いただきたい。

3.2.4 動作計画

動作計画では、環境地図を用いた Pepper や HSR のロボット喫茶店環境内での移動、Jaco2 を用いた飲料準備、HSR を用いた飲料の配膳などを行っている。入口、2人掛けテーブル、4人掛けテーブル、調理場、待機場所など、環境地図上の場所概念をオントロジーとそのインスタンスとして定義し、マルチ知識ベースエディタ上で、指定の場所に移動できるようにしている。また、Jaco2 は、食器棚の中から指定されたサイズのカップを取得し、注文されたメニューに応じて、ペットボトルディスペンサーの前にカップを置き、ディスペンサーのレバーをサイズに応じた時間分引いて、トレー上の指定の場所にカップを配置することを実現している。

ロボットの移動には [Yorozu 16] の研究成果を、ロボットの走行時における自己位置推定には amcl^{*8} を、環境地図の作成には gmapping^{*9} を、それぞれ用いている。

以上の各要素知能について、ROS のサービス、パブリッシャ、サブスクリバとしてモジュールが実装され、マルチ知識ベー

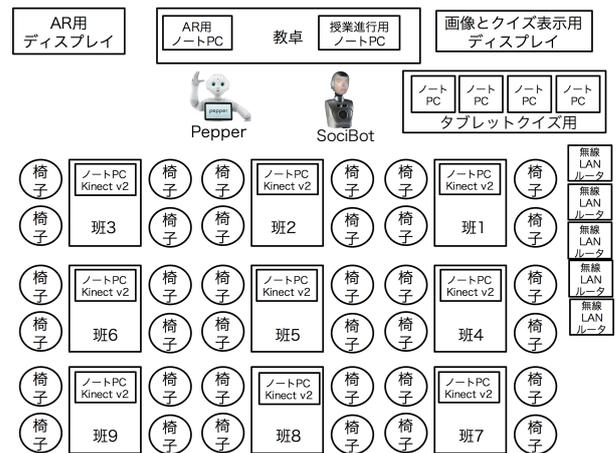


図 4: 教師ロボット連携授業における教室内のシステム構成

スエディタ上でワークフローを構築し、ワークフローから自動生成されたプログラムを ROS 環境上で実行することができるようになっている。

4. 応用事例 2：教師ロボット連携授業

本節では、PRINTEPS の二つ目の応用事例として、教師ロボット連携授業の概要について述べる。

2016 年 12 月 14 日と 15 日に、慶應義塾幼稚舎の小学校 6 年生（4 クラス、1 クラス 36 人、9 班）を対象として、ロボットや各種センサが教師や生徒と連携しながら進行する授業実践を行った。本授業は、理科における「人の体のつくりと働き」という単元において、カエルの解剖実験を行った後に、知識の定着をはかるために座学で振り返る授業である。本授業実践の詳細については [西本 17] を参照いただきたい。

4.1 授業設計

図 4 に、教師ロボット連携授業における教室内のシステム構成を示す。授業を進行するロボットは Pepper または SociBot^{*10} のいずれか 1 台とし、Pepper 版と Sociobot 版の 2 つのワークフローを用意した。いずれの場合においても、カエル解剖振り返りの授業は、1. 授業導入、2. ロボットと Kinect を用いた振り返りクイズ、3. AR 技術を用いた臓器を重畳するコンテンツの提示、4. ロボットと Kinect を用いた振り返りクイズ（続き）、5. クイズの結果発表、6. タブレット端末を用いた復習クイズ、7. まとめの流れで行った。以下では、各概要について説明する。

4.2 授業導入

授業導入では、教師が生徒にロボットの紹介をしたあと、ロボットが自己紹介を行う。その後、授業でクイズを行うことをロボットに説明させ、ディスプレイには解剖で使ったカエルの画像を映し、解剖実験を行ったことを思い出してもらう。ロボットの発話についてはとこところで区切り、教師がその場の状況に応じて合いの手を入れられるようにした。

図 2 に示したようなシナリオエディタの画面上で、教師自身がロボットの発話内容や合いの手の内容を記述した。

4.3 ロボットと Kinect を用いたクイズ

ロボットと Kinect を用いたクイズでは、設計段階ではワークフローエディタにおけるクイズモジュールを用いて、教師が

*7 <http://plus-sensing.omron.co.jp/technology/>

*8 <http://wiki.ros.org/amcl>

*9 <http://wiki.ros.org/gmapping>

*10 <https://www.engineeredarts.co.uk/socibot/>

クイズの内容を入力する。

クイズモジュールは、2択または3択クイズを教師自身が設計できるように用意した PRINTEPS ワークフローエディタにおける組み込みモジュールである。クイズモジュールを用いることにより、授業進行の中で、教師が生徒の理解度をロボットやセンサを用いたクイズにより確認することが可能となる。

教師は、クイズモジュールにおける入力画面より、クイズの ID、問題文、選択肢、正解の選択肢番号を入力することにより、2択または3択クイズを設計することができる。

授業の流れの中では、1班4人で9班に分かれて、各班ごとにノート PC と Kinect v2 を設置し、1 から 3 とマルとバツの回答札を用いて、班別対抗のクイズを行った。

クイズモジュールよりクイズの問題文と選択肢（例：問題文：カエルの皮膚を触って感じられた体温は温かかった？、選択肢：マルまたはバツ）を取得し、ロボットとディスプレイを用いてクイズの出題を行う。その後生徒たちに考えてもらう時間を設けるため一旦フローを止め、各テーブルに置かれているクイズ回答札を生徒たちに立ててもらい、フローを進めると Kinect の画像認識プログラムが動き、各テーブルの回答を取得する。回答が出揃うとロボットが正解発表をし、その後ロボットもしくは、フローを一旦止めた教師が補足説明を行う。ここで Kinect を用いたクイズ回答札認識の詳細については [石川 17] を参照いただきたい。

4.4 AR 技術を用いた臓器を重畳するコンテンツの提示

AR 技術を用いた臓器を重畳するコンテンツの提示では、Kinect の前に人物が立ち、臓器名を音声入力することにより、人物の体に臓器の画像が重畳し、カエルにおける対応する臓器と共に画面上に提示するモジュールを作成した。詳細は [田中 17] を参照いただきたい。

4.5 結果発表

クイズの結果発表では、IS に保存しておいた各班のクイズ回答結果を全て取得し、各班の正解数をディスプレイに表示し、最上位の班をロボットが発表した。

4.6 タブレット端末を用いた復習クイズ

授業の最後では、タブレット端末を生徒全員に配布し、オントロジーとルールベースに基づくタブレットアプリによるクイズを実施した。ここで、オントロジーとして、クイズ構造オントロジーとドメインオントロジーを構築した。クイズ構造オントロジーは、クイズの設問、選択肢、正解などを構造化するために定義されたオントロジーである。本授業におけるドメインオントロジーは、カエル解剖オントロジーであり、主に「カエルの身体部位および包含関係」、「解剖手順」、「理由」、「関連メディア」から構成される。ルールエンジンとして Drools を用いて、ルールベースによりタブレットに提示するクイズやメディア（動画または画像）の状態を管理する。クイズ問題文、設問、解答解説時に提示する関連するメディアなどは、SPARQL クエリによりオントロジーに基づくインスタンスデータから取得できるようにしている。タブレットクイズの詳細については [西本 17] を参照いただきたい。

5. おわりに

本稿では、PRINTEPS のアーキテクチャと応用事例として、ロボット喫茶店と教師ロボット連携授業について述べた。

今後は、実際の喫茶店でロボット喫茶店の実証実験を行った。他の複数の小学校に教師ロボット連携授業アプリケーションを展開していく予定である。

謝辞

PRINTEPS マルチ知識ベースエディタの実装に協力いただいた、ノースグリッド社に感謝する。

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的想像研究推進事業 (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

- [Morita 16] Morita, T., Sugawara, Y., Nishimura, R., and Yamaguchi, T.: *Integrating Symbols and Signals Based on Stream Reasoning and ROS*, pp. 251–260, Springer International Publishing, Cham (2016)
- [Yorozu 16] Yorozu, A. and Takahashi, M.: Obstacle avoidance with translational and efficient rotational motion control considering movable gaps and footprint for autonomous mobile robot, *International Journal of Control, Automation and Systems*, Vol. 14, No. 5, pp. 1352–1364 (2016)
- [山口 15] 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, 人工知能学会全国大会 (第 29 回) 論文集, 114-2 (2015)
- [森田 16] 森田 武史, 西村 良太, 山口 高平: ROS に基づく総合知能アプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS のアーキテクチャ, 人工知能学会全国大会 (第 30 回) 論文集, 4C4-1 (2016)
- [西村 17] 西村 良太, 眞鍋 麟太郎, 中野 有紀子: ROS アーキテクチャに基づき情報統合・共有を行う音声対話システムの開発, 第 79 回 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会 (SIG-SLUD), Vol. B506, No. 15, pp. 79–84 (2017)
- [西本 17] 西本 智浩, 赤柴 駿介, 高橋 尚也, 森田 武史, 柘原 礼二, 桑山 美冨, 山口 高平: PRINTEPS による教師ロボット連携授業アプリの開発, 信学技報, Vol. 116, No. 462, pp. 63–68 (2017)
- [石川 17] 石川 礼, 小篠 裕子, 斎藤 英雄: PRINTEPS における教師ロボット連携授業のためのクイズモジュール, 信学技報, Vol. 116, No. 462, pp. 69–74 (2017)
- [田中 16] 田中 康浩, 中山 祐介, 齋藤 俊太, 斎藤 英雄: 実践知能アプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS のための RGB-D カメラによる来場者検出と属性判定, 第 78 回全国大会講演論文集, pp. 233–234 (2016)
- [田中 17] 田中 康浩, 小篠 裕子, 斎藤 英雄: PRINTEPS における教師ロボット連携授業のための AR モジュール, 信学技報, Vol. 116, No. 462, pp. 75–80 (2017)
- [番原 16] 番原 常公, 中山 祐介, 齋藤 俊太, 斎藤 英雄: 実践知能アプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS のための RGB-D カメラによるテーブルトップ作業空間の状況認識, 第 78 回全国大会講演論文集, pp. 231–232 (2016)
- [番原 17] 番原 常公, 八馬 遼, 家永 直人, 小篠 裕子, 斎藤 英雄: 画像による物体検出を用いた飲食行動認識の検討, 信学技報, Vol. 116, No. 461, pp. 95–98 (2017)