

知識処理と動作処理を統合したうどん板前ロボットの設計と評価

The design and evaluation of udon robot integrated knowledge processing and operation processing

加瀬太陽[†] 萬礼応[‡] 山口高平^{††}
Taiyo Kase[†] Ayanori Yorozu[‡] Takahira Yamaguti^{††}

[†] 慶應義塾大学 理工学研究科

[‡] 筑波大学 システム情報系 情報工学域

^{††} 慶應義塾大学 理工学部

[†] Graduate School of Science and Technology, Keio University.

[‡] Faculty of engineering Information and Systems, Tsukuba University.

^{††} Faculty of Science and Technology, Keio University.

要旨

本研究では、うどん板前ロボット用オントロジーを用いてロボットから人に栄養情報、カロリー情報、アレルギー情報を用いながら助言・反論を行いつつ、客の要求を動作に反映させるシステム手法を提案する。客の性・年代・身体活動レベルから必要摂取量を算出し、客の具材制約を満たした上で、要求したトッピングを一部変更し、栄養学的により良いトッピングを助言する。また、具材オントロジーを用いて具材ごとに調理器具を選んでトッピングし、動作中における追加トッピングに対しても対応する。2人の被験者に対してうどん板前ロボットの実験を行い、評価した。

1. はじめに

近年、人間の生活支援をしたり、接客対応を行ったりするサービスロボットが普及してきている。例えば中国北京では、ロボットレストランの社会実装も始まっており[1]、人件費高騰を背景に今後市場が拡大していくと見込まれている。しかし現状、ロボットは運搬や一方的な会話など単純なタスクしかこなすことができない。特に、人とのインタラクティブなコミュニケーションを行うことが依然として課題となっており、その実現に向けて研究が進んでいる。

一方、我々は、JST/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」(2014/10-2020/3)において、統合知能ロボットアプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS を研究してきた。[2]PRINTEPS では、記号処理としての知識推論と音声対話、信号処理としての画像センシングと知的動作計画、および、記号処理と信号処理、およびそれらの統合処理の性能を自律的に改善するための機械学習・深層学習という、5種類の要素知能を統合させた、統合知能アプリケーションを開発できるようにした。PRINTEPS の実践として、ロボット喫茶店の実験が進め、2017年10月と2018年10月に、慶應義塾大学理工学部学園祭(矢上祭)において、有料のマルチロボット喫茶店を開店した。

本研究では、ロボットレストランの研究を発展させて、知識処理と動作処理を統合させたうどん板前ロボットの研究に取り組む。

2. 提案システム

図1に提案システムの構成を示す。本システムは、図1 知識処理系のモジュール群とマネジメント系のモジュール群と対話モジュールがある。また動作グループ側にはオーダーを受信するモジュールがある。ここで知識処理系のモジュール群では、カロリー情報や栄養情報またユーザー情報を用いて、客に情報提示や推薦・代替案の提示や反論を行う。マネジメント系のモジュールには、ユーザーからの要求をさばき適切なアクションを促す要求管理モジュールや個別データ管理のモジュール、さらに動作グループ側と連携しつつ注文する注文管理モジュールがある。対話モジュールでは、入出力の細かい対話における違いの部分に対応する。

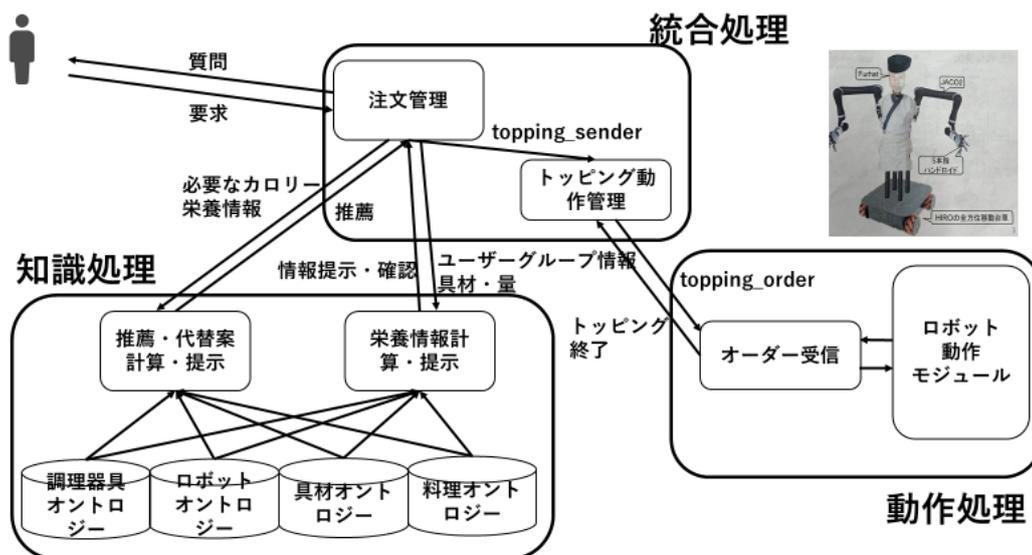


図1 システム構成図

3. ドメインオントロジー

本システムでは、知識処理の段階で4種類のドメインオントロジーを使用した。それぞれ、具材オントロジー、料理オントロジー、ロボットオントロジー、調理器具オントロジーである。なお、使用する接頭辞は表1の通りである。

3.1. 具材オントロジー

具材オントロジーは、食品栄養成分表の情報などを元に、各具材のカロリーや栄養情報を保持している。それらのデータを用いることで、トッピングの推薦やカロリー・栄養情報の提示を行う。具材オントロジーのプロパティは主に、調理器具やハンド型ロボットクラスにつながるプロパティと、具材のデータラベルに関するプロパティである。今回、具材のカロリーや栄養情報は、食品成分表に基づいてオントロジー化した。食品成分表には、ある食品が属する食品群、大分類、中分類、小分類、廃棄率(%), 可食部 100gあたりのエネルギー(kcal), タンパク質(g), 炭水化物(g), 食物繊維(g)など、約130項目の食品分類及びその成分に関する情報が1,891食品についてまとめられている。今回、多くのユーザーグループに対応するために、プロパティとしてカロリー、タンパク質、炭水化物、食物繊維、塩分量に対応する情報を付けた。

3.2. 料理オントロジー

本研究のシステムは、実際のうどん屋を想定している為、料理の参考が必要となる。今回は、うどんチェーン店の「はなまるうどん」のメニューを参考にした。料理オントロジーのプロパティとしては、hasIngredientがある。hasIngredientは、料理に必要な具材を記述するプロパティである。

3.3. ロボットオントロジー

ロボットオントロジーは、アーム型とハンド型などロボットの主な部位に関するオントロジーである。アーム型のロボットとしてはJaco2、ハンド型ロボットとしてはITKハンドロイドを使用した。ロボットオントロジーのプロパティとしては、ハンド型ロボットごとの掴める具材の量に関するプロパティとハンド型ロボットが使用する調理器具に関するプロパティがある。

3.4. 調理器具オントロジー

調理器具オントロジーは、ロボットのハンドでは掴むことが困難な具材を、トッピング可能にする為の調理器具に関するオントロジーである。調理器具オントロジーのプロパティは、調理器具を使用することによって掴める具材の量に関するプロパティがある。

表1 うどん板前ロボットオントロジーの接頭辞

接頭辞	名前空間
cc	{BaseURI} cuisine/class/
cp	{BaseURI} cuisine/property/
ci	{BaseURI} cuisine/instance/
ic	{BaseURI} ingredient/class/
ip	{BaseURI}/ingredient/property/
ii	{BaseURI} ingredient/instance/
rc	{BaseURI} robot/class/
rp	{BaseURI} robot/property/
ri	{BaseURI} robot/instance/
kc	{BaseURI} kitchenware/class/
kp	{BaseURI} kitchenware/property/
ki	{BaseURI} kitchenware/instance/

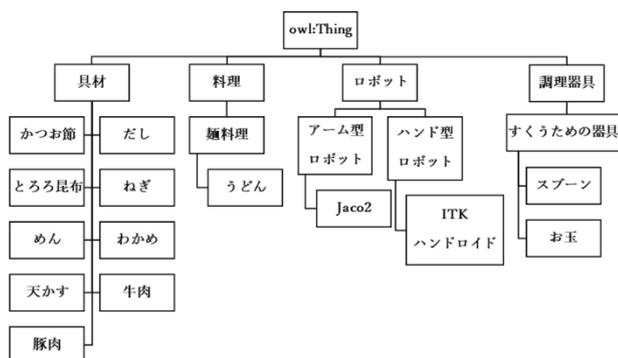


図2 ドメインオントロジーのクラス階層

表2 プロパティ一覧

プロパティ名	定義域	値域	内容
ip:amount	具材クラス	decimal	重量(グラム)
ip:provide_tool	具材クラス	調理器具クラス・ハンド型ロボットクラス	提供器具
ip:provide_tool_num	具材クラス	integer	提供回数
ip:energy	具材クラス	integer	カロリー(kcal)
ip:carbohydrate	具材クラス	decimal	炭水化物量(g)
ip:lipid	具材クラス	decimal	脂質量(g)
ip:protein	具材クラス	decimal	タンパク質量(g)
ip:dietary_fiber	具材クラス	decimal	食物繊維量(g)
ip:salt	具材クラス	decimal	塩分量(g)
ip:wastageRate	具材クラス	decimal	廃棄率(%)
cp:hasIngredient	料理クラス	具材クラス	使用する具材
rp:hashand	Jaco2 クラス	ハンド型ロボットクラス	使用する手先
rp:can_grab_butaniku_amount	ハンド型ロボットクラス	decimal	一回でつかめる量
rp:can_grab_gyuniku_amount	ハンド型ロボットクラス	decimal	一回でつかめる量
rp:can_grab_tororokonbu_amount	ハンド型ロボットクラス	decimal	一回でつかめる量
rp:can_grab_wakame_amount	ハンド型ロボットクラス	decimal	一回でつかめる量
rp:can_grab_katuobusi_amount	ハンド型ロボットクラス	decimal	一回でつかめる量
rp:haskitchenware	Jaco2 クラス	調理器具クラス	使用する調理器具
kp:can_scoop_negi_amount	調理器具クラス	decimal	一回で掬える量
kp:can_scoop_tenkasu_amount	調理器具クラス	decimal	一回で掬える量

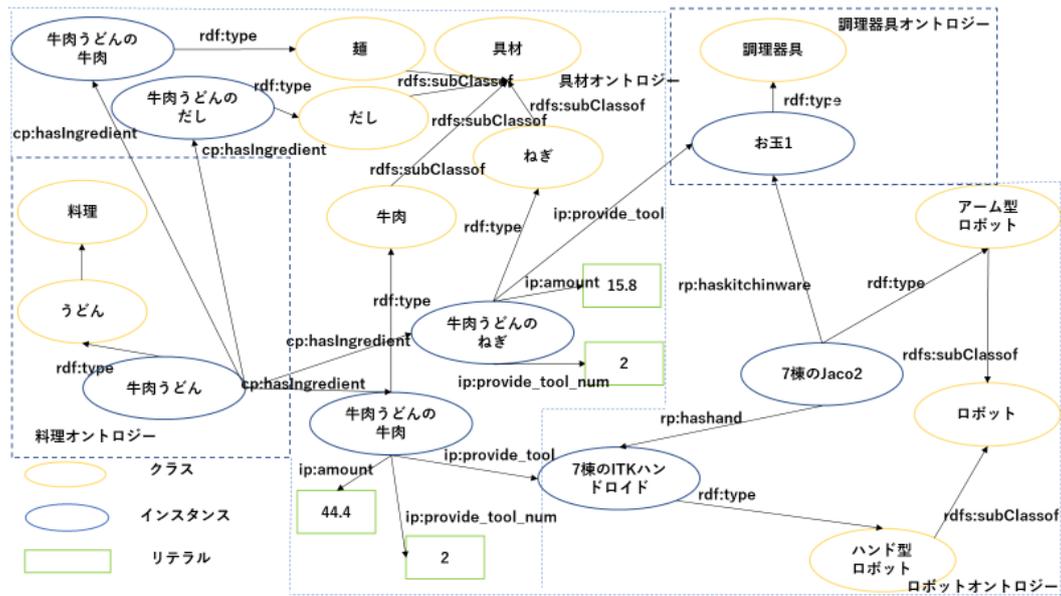


図3 作成したドメインオントロジーのネットワーク図(一部：サブクラス省略)

4. システム詳細

4.1. 推薦・代替案提示

4.1.1. トッピング推薦

本モジュールでは、客の要求したトッピング材料の組み合わせを基に栄養バランスのよいトッピングの代替案を提案する。性・年齢・身体活動レベル別食事摂取基準量を基に栄養バランスやカロリー等を考慮して不足している栄養素を満たすようなトッピングを推薦する。ドメインオントロジーを用いて、客が要求したトッピング材料の種類と量から栄養情報が算出し性・年齢・身体活動レベル別食事摂取基準量をもとに、今回は基準値を満たす場合は1ポイント、満たさない場合は0ポイントとし、これらのポイントの総計をスコアとした。基準値は、その栄養情報によって異なる。今回、カロリー、タンパク質量、食物繊維量は下限のみ、脂質量、炭水化物量は上限と下限、塩分量は上限の合計8項目を設定した。その後、客が選んだトッピングに類似した上で、よりスコアが高いトッピングを推薦する。今回は、客が選んだトッピングの内、1回分のトッピングを減らし、代わりに他のトッピング材料を1回増やすことによって、よりスコアが高いトッピングの組み合わせを作る。推薦されるトッピングを全探索した後に、新たに満たされる栄養素の量が多い順にソートをした後、一番上位にあるものから推薦を行う。

4.1.2. 栄養情報提示

本モジュールでは、食品成分表を基にメニューやトッピング及びその量を基に、ユーザーグループに応じた栄養情報計算を行う。計算の際、トッピング材料とトッピング材料以外ではunitが異なる。トッピング材料では、ロボットの一回のトッピングを1単位とし、トッピング材料以外は、g単位で量の情報を保持する。食品成分表から取得した廃棄率は百分率(%)により廃棄率が記載されているため、ここでは、0.01をかけて小数点に直した値をWRとする。トッピング材料については、ユーザーグループに応じた求めたい栄養情報をNI、ロボットのトッピング回数をTGN、ユーザーグループをUG、トッピング一回あたりのカロリーやgをNIPG、廃棄率をWRとすると次のような式で栄養情報が求められる。

$$NI(UG) = TNG \times \frac{NIPG(UG) \times (1 - 0.01WR)}{100} \quad (1)$$

トッピング材料以外の材料では材料の重さをIW、100g当たりの材料のカロリーやgをHNIとすると

$$NI(UG) = IW \times \frac{HNI(UG) \times (1 - 0.01WR)}{100} \quad (2)$$

4.2. トッピング追加

うどんロボットが、トッピングをしている最中に追加でトッピングの量を増やすことができる。その際、すでにあるタスクの後に、追加トッピングを行う。

5. 実験と評価

5.1. 実験環境

今回は、うどん板前ロボットが客の要求するうどんのトッピングの注文を受け付け、盛り付けする業務を行う。

表 3 実験概要

実施日	2020年1月24日
実施場所	慶應義塾大学矢上キャンパス 07-304
使用ロボット	Jaco2 2台, Furhat, ITK-ハンドロイド2台
被験者数	2名



表 4 トッピング1回当たりの重量

材料名	1回のトッピングの重量 (g)
天かす	6.9
牛肉	22.2
ねぎ	7.9
わかめ	16.9
豚肉	22.2
かつお節	1.7
とろろこんぶ	5.0

図 4 うどん板前ロボット

また、それぞれのトッピング具材に対して、事前に1回のトッピングあたりの重量を計測し、その値を栄養情報やカロリーの計算に使用した。

5.2. 実験内容

うどんロボットによる、うどん提供に関する実験のワークフローを図4に示す

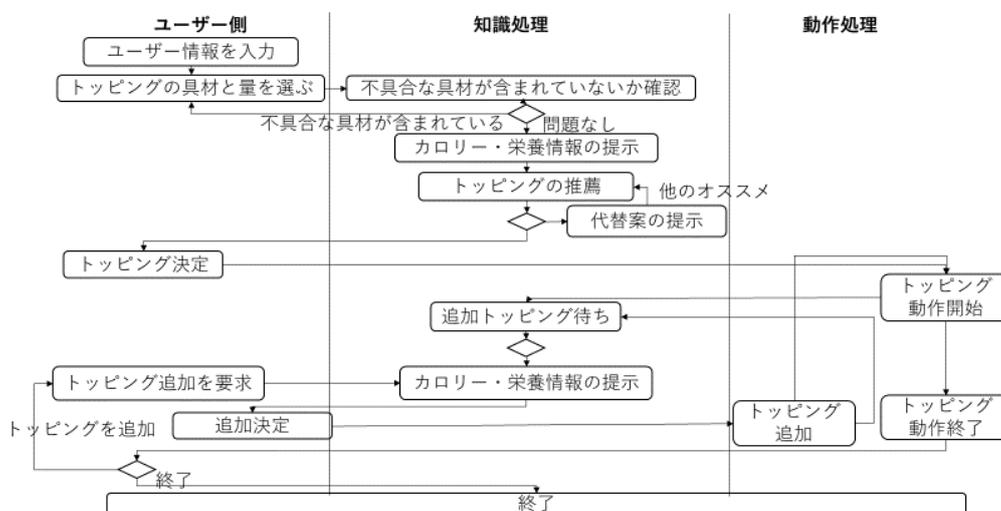


図 5 実験のワークフロー

トッピング推薦の為に、性別、年齢区分、身体活動レベルの情報を取得し、次にアレルギー食材等含めてはいけない具材の要求を受け付ける。その後、トッピングに関して、各トッピング材料について多めや少なめ、普通を選択することができる。ここでは、「多め」や「増やして」など特定の単語とその単語の前に出ている具材を対応付ける。例えば、「牛肉多めにして、わかめは少なめでお願いします。」などの要求をすると、牛肉が多め、わかめを少なめにする事ができる。この際、客が事前に指定していた嫌いな具材やアレルギー具材が入っていた場合、反論を行う。問題がない場合は、客が選んだトッピング具材を元に、栄養学的により良いトッピングを推薦する。その際に、どのトッピングを減らして、どのトッピングを増やすとどの栄養素が取れるかを伝えることにより、客を説得する。ここで、客が代替案を求めた場合、代替案を提示する。トッピングする具材が決まった場合ロボットがトッピングを開始する。ロボットがトッピングをしている途中で客が注文をしようとした場合にも対応する。なお、トッピングを開始してからは、追加のトッピングのみ要求できる。

5.3. 評価

実験を行った結果について、評価・考察を行う。カロリーや栄養情報による推薦や反論及び、トッピングがあとから追加できる点はインタラクティブなやり取りを意識して設計した。本システムで設計・実装した、推薦及び反論の部分や、注文後にトッピング追加できる点が実際に高い評価を得ているかを検証する。評価が高かった点としては「推薦されたトッピングは良いと感じた。」「トッピングの追加に対応してくれるところが便利であると感じた。」「トッピングの推薦部分が分かりやすい。」が挙げられる。また、ロボットとのやり取りで良かった点に関するコメントとしては「途中で割込みに対応してくれたから」や「量の追加について何度も聞いてくれたから、意思決定のチャンスが多かったから」が挙げられた。一方、悪かった点としては「対話のやり方が分かりにくい」「ロボットとのコミュニケーションを心地よいと感じなかった」が挙げられた。また、ロボットとのやり取りで悪かった点に関するコメントとしては「動作が遅い、動作中黙っているのがちょっと怖い」「同じ材料を複数回トッピングするときに～を掴みますという発言がいらなと感じた」が挙げられた。

悪かった点として「対話のやり方が分かりにくい」「ロボットとのコミュニケーションを心地よいと感じなかった」「同じ材料を複数回トッピングするときに～を掴みますという発言がいらなと感じた」が挙げられたことから、本システムは客に推薦や反論をカロリーや栄養情報に基づき様々な選択肢を提案できる反面、口頭伝達量が多く、発言も冗長な印象を与えたと考えられる。対処方法の一つとしてディスプレイと口頭による伝達の組み合わせを考慮することができる。例えば大まかに伝えるのは口頭で、詳しい情報はディスプレイを使用するなどが考えられる。

6. おわりに

本研究では、うどん板前ロボット用オントロジーを用いてロボットから人に栄養情報、カロリー情報、アレルギー情報を用いながら助言・反論を行いつつ、客の要求を動作に反映させるシステム手法を提案し2人の被験者に対してうどん板前ロボットの実験を行い、評価した。今後の展望としては、追加のトッピングの注文だけではなく、トッピングをされていないトッピング具材のキャンセルや、その対話のわかりやすさを高めるために口頭伝達量を減らし、ディスプレイなど視覚伝達量を増やすことが考えられる。

参考文献

- [1] 中国初となる「ロボットレストラン」を開店 注文から配膳まで全行程をロボットにより自動化, PRTIMES, 2018.11, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000038.000034149.html>
- [2] JST/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」, 2015.3, <https://printeps.org/>
- [3] Takeshi Morita, Naho Kashiwagi, Ayanori Yorozu, Hideo Suzuki, Takahira Yamaguchi, “Evaluation of a Multi-Robot Cafe based on Service Quality Dimensions”, The Review of Socionetwork Strategies, Springer, Vol. 14, Issue 1, pp. 55-76 (2020)