

# モジュラーホームロボットによる 環境音を利用した動作計画に基づく朝食準備作業

関戸佐知 黒山佑太 新良貴陽平 佐藤大祐 金宮好和（東京都市大学）

## 1. 緒言

動的環境である家庭内で動作するホームロボットは周囲の状況を把握し、その状況に応じた動作を実行する必要がある。また、家庭内には様々な音が存在し、その一つである環境音、例えば、家電製品の動作音などを認識することによって家電がどのような状態であるかを判断することが可能である。

そこで、本稿ではこの環境音に着目し、事前に予測が困難な作業の状態変化を音を利用することで判断し、リアルタイムにロボットの行動を遷移する動作計画法を提案する。そして、音認識モジュールを備えたモジュラーホームロボットにより、提案する動作計画法に基づいて朝食のトーストやコーヒーの準備作業を実現する。

## 2. モジュラーホームロボット

### 2.1 MMM コンセプト

我々は、実用的なロボットを一般家庭に普及させるためには実現する作業を明確に決定し、それを実現する機能とコストのバランスを考慮したロボットシステムを開発することが重要であると考え、“Multitask（付加価値のある複数の家庭内作業を実現する）”、“Minimalization（ユーザのニーズに合わせて備える機能を最小化し、結果として価格を抑える）”、“Modularization（備える機能の最小化を実現するため、モジュールによりシステムを細分化し、システム構成を変更可能にする）”の三要素からなるMMMコンセプトを提案し、開発を進めている[1]。本コンセプトでは、すべての機能をロボット単体に備えるのではなく、家庭内環境・作業対象・作業条件を限定、住環境への必要最小限の機能追加を許容した上で、機能単位でモジュール化されたホームロボットシステムを利用することによって、ユーザの要求する作業を実現するための最小限の機能を持ち、実用性を確保しながらも汎用型の多機能ロボットよりも低コストな開発を実現する。

### 2.2 モジュラーホームロボットシステム

モジュラーホームロボットは、ロボットシステムを機能ごとに細分化したモジュールから構成されており、それらを自由に組み合わせることで構築することが可能である。モジュールごとの電源電圧は24V、通信規格は、Controller Area Network（CAN）BusとUniversal Serial Bus（USB）に統一している。

### 2.3 作業内容とモジュールの選択

ユーザのニーズとモジュールの選択の関係を単腕と双腕を例に簡単に説明する。ユーザが価格を優先し、作業においてロボットが担うことが不可能な部分を補助することが可能であれば、マニピュレーション機構に

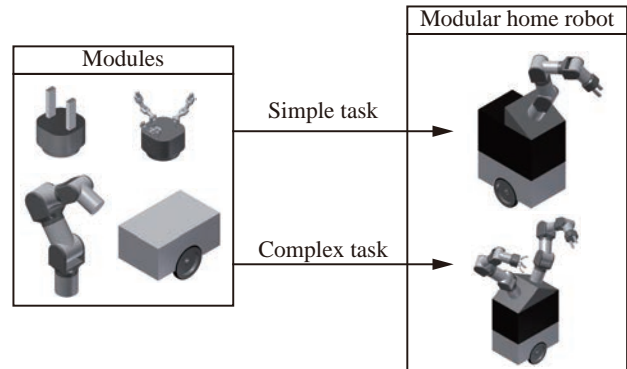


図1 モジュール構成の一例

単腕を選択する。ユーザが高価であってもロボットが自律的に複雑な家庭内作業を行うことを優先し、可能な限り負担の軽減を望むのであれば双腕を選択する。

例えば、トーストやコーヒーなどを用意する朝食準備作業を例とすると、単腕を選択した場合には容器のふたや食品の袋を開けるなどの作業は困難であるため、ユーザがパンやコーヒーの粉などを用意し、単純な操作で作業が達成できるように準備が必要である。一方、双腕を選択した場合はふたや袋を開ける機能を持たせられるため、ロボットを自律的に行動させることでユーザの負担はほとんど不要となる。

またユーザから、可能な限り作業負担は避けたいが、双腕よりも価格を抑えたいというような要望がある場合は、単腕のほかに、グリッパモジュールやハンドモジュールを付加し、ロボットの作業内容の幅を大きくすることができ、さらにユーザのニーズが購入後に変化し、求める作業が新たに増えた場合であっても、機能追加のためにロボット自体を買い換える必要はなく、モジュールの追加によって対応可能であることがモジュラーホームロボットシステムの利点である。

## 3. 環境音を利用した動作計画

### 3.1 環境音

日常生活において人が知覚する音には、大きく分けて、音声、音楽、環境音の三つのカテゴリが存在する。音声には、人の会話やロボットに対する指令などが分類され、音楽には、歌や楽器による演奏などが分類される。環境音には、一般の家庭内で発生する音に限定すると、電子レンジのブザー音やボタンの操作音、窓が開いている際の室外音などが分類される。

ホームロボットがこの環境音を認識することによって、作業状態や家庭環境の状況などを把握することが可能となる。例えば、ホームロボットが掃除機をかける作業をする際に、紙づまりの音を認識できれば、状

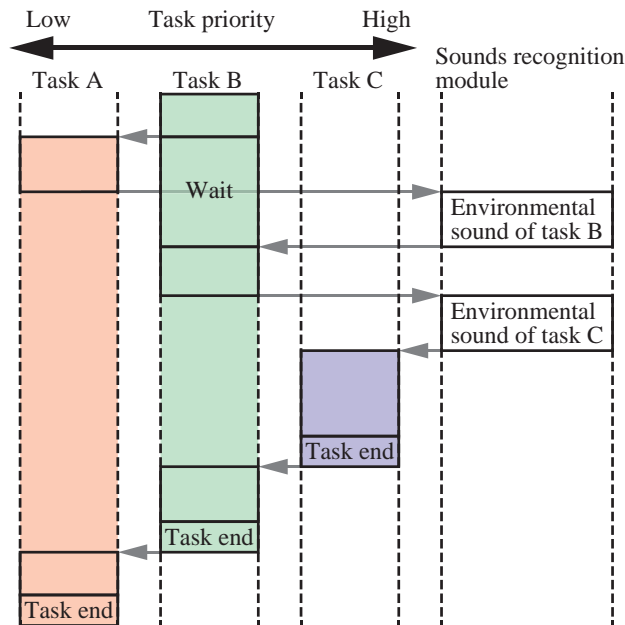


図 2 環境音を利用した動作計画の流れ

況を理解し、状況を回復する動作を行うことができる。そこで我々は、ロボット用オープンソース・ミドルウェアである Robot Operating System (ROS) 上で動作する ROS Open-source Audio Recognizer (ROAR) [2] を利用し、音認識モジュールを追加し、環境音認識による運動制御システムを構築した [3]。ROAR は、機械学習の一つである one-class Support Vector Machine (OCSVM) を用いることで、認識したい環境音に対する学習および認識が可能となり、与えた音に対して識別対象の音であるかを判断する。

3.2 提案する動作計画法

通常、ロボットの動作時間は一定であり、作業動作のタイムテーブルを作成すれば、ロボットはそれに基づき動作可能である。しかし、上記のような各動作は必ず一定時間で終了するという仮定が成立しない場合もある。例えば、ホームロボットが扱う道具には家電製品が含まれ、その中には正確な時間で動作しない製品が存在する。また、家庭内の環境は人が介在する環境であり、ロボットが操作する対象物体の位置がいつも一定とは限らない。

このように、不確定な動作時間や操作物体の位置が未定である場合を考慮することが必要となる可能性があり、ホームロボットの作業動作時間は作業計画時に一意に決定できない場合がある。この条件下でロボットが複数の作業を並列して実行する場合は、より問題が複雑になるため、作業工程やタイムテーブルを再構成する必要がある。そこで我々は、タイムスケジュールと音などのセンサ情報を基に動作を遷移する機能を合わせた動作計画法を提案する。

図 2 にその作業計画の流れの一例を示す。音認識モジュールが各作業で発生する可能性のある音の認識を常に行い、規定の音を認識した際に実行すべき動作に切り替える。よって、動作の待機時間 (Task B) を他の動作 (Task A) に使用することができ、効率的に作業を遂行できる。また、何かが転倒する音、落下する

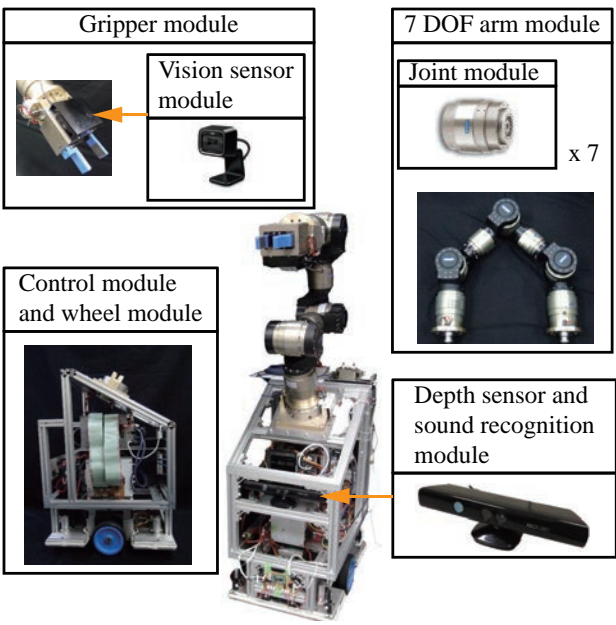


図 3 モジュラーホームロボットのモジュール構成

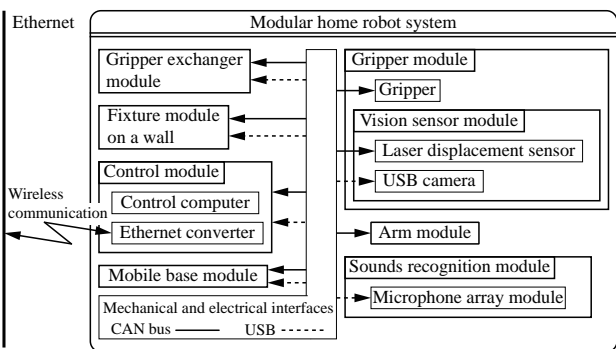


図 4 モジュラーホームロボットのシステム図

音などにも注意することにより、ロボットがエラーを認識し、作業を中断して回復動作を実行する (Task C) ことも可能となる。

さらに、操作する際に音を発する家電製品も存在する。その音を認識することにより操作達成をロボットが認識することができ、操作の際に規定の音が認識できなかった場合のみ、視覚センサなどのほかのセンサを用いて操作確認を行うことで、確認動作回数の減少にもつながる。

4. モジュラーホームロボットによる

提案手法に基づいた朝食準備作業の実現

4.1 作業内容

想定する朝食としてトーストとコーヒーを設定した。トーストの用意作業では、冷凍庫に入れられたパンをロボットが取り出し、ポップアップトースタにセットしてパンを焼き、トーストを作る。コーヒーの用意作業では、あらかじめコーヒーメーカーへコーヒーの粉と水、コーヒーカップの準備をユーザが行い、ロボットはコーヒーメーカーのスイッチを入れ、コーヒーを入れる作業のみを実行する。

また、この作業で取得する環境音は、設定した焼き上がり時間に 1 分程度の時間のずれがあるトースタが



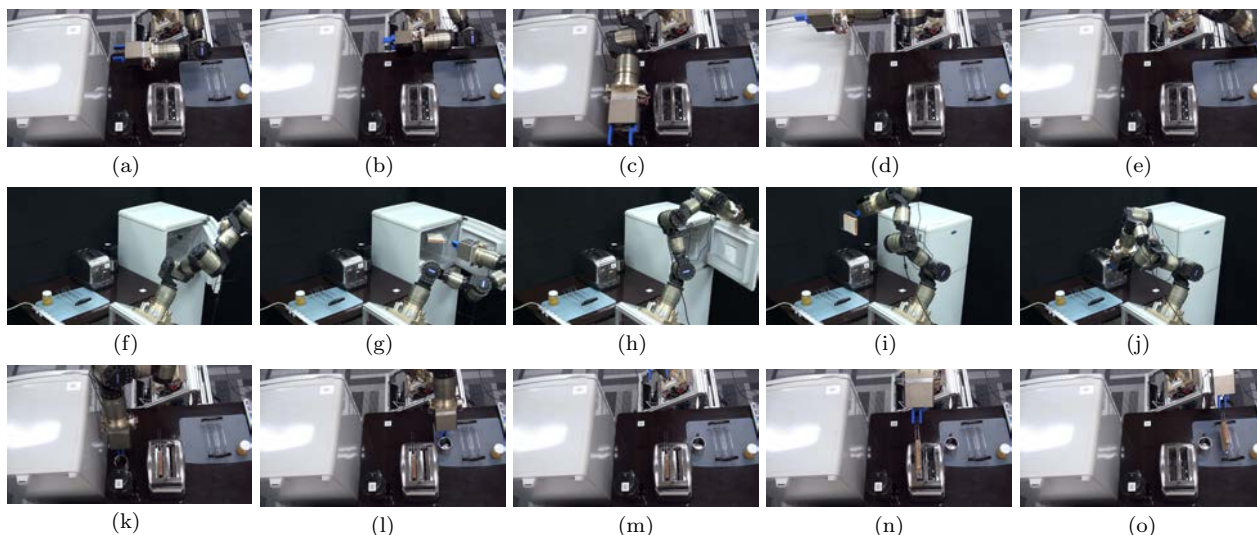


図5 モジュラーホームロボットによる朝食準備作業: (a) テーブルの位置姿勢の検出 (b) トースタの位置姿勢の検出 (c) コーヒーメーカーの位置姿勢の検出 (d) 冷蔵庫の位置姿勢の検出 (e) コーヒーメーカーの電源スイッチを押す (f) 冷凍庫の扉を開ける (g) パンを取り出す (h) 冷凍庫の扉を閉める (i) パンをトースタにセット (j) トースタのスイッチを押す (k) コーヒーを取り出す (l) コーヒーをテーブルに置く (m) トーストが完成するまで待機 (n) トーストを取り出す (o) トーストをテーブルに置く

パンを焼き上げた際に発する動作音とし、ロボットは焼き上げ開始からこの動作音の認識処理を開始する。音を認識するまではコーヒーの用意動作を実行し、認識した際にはコーヒーの用意動作を中断し、トーストの準備動作に移行、実行後に全体の用意動作を達成する。

#### 4.2 モジュール構成

作業に用いたモジュラーホームロボットを図3に、システム構成図を図4に示す。ベースとなる制御モジュール、独立2輪駆動型移動モジュール、7自由度アームモジュール、グリッパモジュール、USBカメラとレーザセンサからなる手先センサモジュール、音認識モジュールの六つのモジュール群から構成されている。

音を取得はマイクロホンアレイを備えるMicrosoft社製のKinect for Xbox360によって行い、制御モジュールで動作するROARが音を識別する。指定した環境音を認識した際には制御モジュールよりそれに応じた全体の動作を生成し、作業を達成する。

#### 4.3 準備作業における仮定条件

本作業を実行する上で、まず、トースタやコーヒーメーカーなどの操作対象となる家電製品、それらが置かれたテーブルなどの室内に存在する物体位置情報は、直接または間接的な教示手法を利用して、あらかじめモジュラーホームロボットに与えられると仮定する。ただし、詳細な教示による位置情報ではなく、また家庭内にはユーザが介在することから、室内の物体位置は動的に変化するものと仮定し、 $\pm 100$  mm 以内の誤差を含む大域的な位置情報とした。また、操作対象物体の形状データも数 mm 単位で計測して既知情報とした。

作業時に必要となる操作対象物体の正確な位置情報は、画像認識による物体位置検出法の一つであるサークルズグリッドを利用し、物体ごとに取り付けられたサークルズグリッドを手先センサモジュールに備えたUSBカメラで認識し、物体位置を取得する。また、2.3節で述べた通り、ユーザは、コーヒーを入れるための

一通りの準備と、冷蔵庫へのパンの準備を事前に行う。

#### 4.4 実験結果

モジュラーホームロボットによる朝食準備作業の様子を図5に示す。本動作実験では、トースタの焼き加減の調節機能の設定状態により、コーヒーの用意動作よりもトースタのパンを焼く時間が長かったため待機時間が発生した。しかし、提案した動作計画法に従いロボットの作業動作を制御することによって、4.1節に示した朝食準備作業が実現できた。

#### 5. 結言

事前には予測が困難な環境や操作家電の変化を音を利用することで判断し、リアルタイムにロボットの行動を遷移する動作計画法を提案した。また、音認識モジュールをモジュラーホームロボットに追加し、提案した動作計画法に基づいて朝食のトーストやコーヒーの準備作業を実現することで、その有用性を示した。今後は複数の家庭内作業を実現するため、作業や環境変化の判断レベルを柔軟かつ正確なものへ拡張する。

#### 参考文献

- [1] T. Tsuchiya, Y. Shiraki, S. Sekido, A. Yamamoto, D. Sato, and D. N. Nenchev, "Modular home robot system based on the MMM concept—design instance with detachable symmetric arm module," in *Proc. IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 280–285, 2013.
- [2] Joseph M. Romano, Jordan P. Brindza, Katherine J. Kuchenbecker, "ROS open-source audio recognizer: ROAR environmental sound detection tools for robot programming," in *Autonomous Robots*, vol. 35, no. 3, pp. 207–215, 2013.
- [3] 夏目彬弘, 関戸佐知, 佐藤大祐, 金宮好和, "環境音認識を用いたモジュラーホームロボットによる朝食準備作業", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集, 1A1-O04, 2014.