

モジュラーホームロボットのためのアームモジュールの自律着脱・独立移動の実現

Implementation of Autonomous Attaching/Detaching and Mobility Functions for the Arm Module of a Modular Home Robot

学 松本 愛 (都市大) 学 関戸 佐知 (都市大) 根井 学 (都市大)
正 佐藤 大祐 (都市大) 正 金宮 好和 (都市大)

Ai MATSUMOTO, Tokyo City University, matsumoto@rls.mse.tcu.ac.jp
Sachi SEKIDO, Tokyo City University
Manabu NEI, Tokyo City University
Daisuke SATO, Tokyo City University
Yoshikazu KANAMIYA, Tokyo City University

The aim of our research is the development of the modular home robot system. This paper demonstrates autonomous attaching/detaching and mobility functions for the arm module which is one of the essential modules of the modular home robot. The arm module has a symmetrical structure and original mechanical interfaces on the ends. These features are utilized to implement the detachable movement and locomotion of the arm module autonomously.

Key Words: Modular home robot, 7-DOF mobile arm module, Autonomous attaching/detaching function

1 緒言

近年, iRobot 社の Roomba などの掃除ロボットの実用化や, Willow Garage が作製した多機能ロボット PR2 による家庭内作業の実現など, ホームロボットの研究開発が行われている。すべてのユーザが求める作業を汎用的に行うには多機能ロボットが必要になるが, PR2 などの多機能ロボットは研究段階であると同時に高価なため一般家庭において普及させるのは困難である。

そこで, 個々のユーザが求める最小機能のロボットシステムを構成可能な, “Multitask” (ユーザが求める複数作業の実行), “Modularization” (ホームロボットの機能やシステムのモジュール化), “Minimalization” (機能, コストの最小化) を柱とする MMM コンセプトに基づきモジュラーホームロボットを開発している [1]。

本稿では, 我々が開発するモジュラーホームロボットの特徴の一つである自律着脱と独立移動が可能なアームモジュールについて, その自律着脱および独立移動を実現するシステムの構築と, 着脱および移動の動作生成を行い, 基礎実験を通して実際の作業動作が可能であることを検証する。

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とは, ホームロボットの構成要素を機能単位でモジュール化したロボットのことを示す。そうすることで, ユーザが求める作業内容に応じてロボットの構成を組み替えることができる。また, 必要に応じて最低限の機能を持つことが可能であり, 価格も抑えられる。

モジュラーホームロボットの主なモジュール構成を図 1 に示す。各モジュールは CAN と USB の通信規格に統一している。また, モジュラーホームロボットを使用する上で家庭内作業を行うために部屋の間取りや家具の位置の情報をロボット側が把握している必要がある。そこで, 大域的な環境情報はユーザが GUI を用いて入力を行うことにより事前

に与えるシステムとなっている。

アームモジュールが独立移動するためにはホイールモジュールと離れる必要があるためモジュラーホームロボットのシステム構成が変化する。モバイルコンピュータとして動作するときの制御装置はベースモジュールであり, アームモジュールとホイールモジュールが分離して動作するときの制御装置はそれぞれ別の制御装置となる。

例えば, アームモジュールを自律的に動作させることで図 2 のようにキッチンでの作業を効率的に行うことができる。大きな移動を要する作業ではなく, 範囲が限定された場所での作業であるならば, アームを天井や壁面, 机の上に固定させて作業させることでユーザが要求する作業は達成可能である。

3 自律着脱・独立移動可能なアームモジュール

3.1 アームモジュール

モジュラーホームロボットの大きな特徴である自律着脱・独立移動可能なアームモジュールを実現するために構築

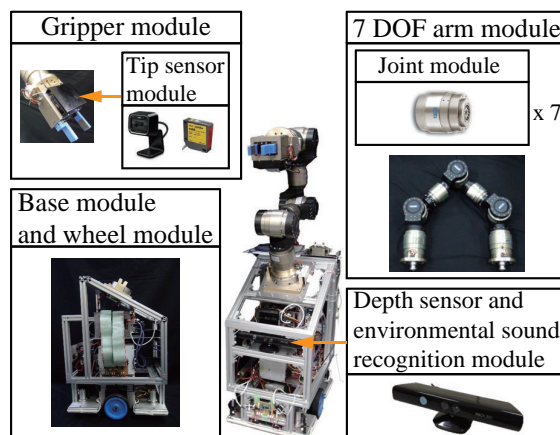


Fig. 1: The hardware system of the modular home robot.

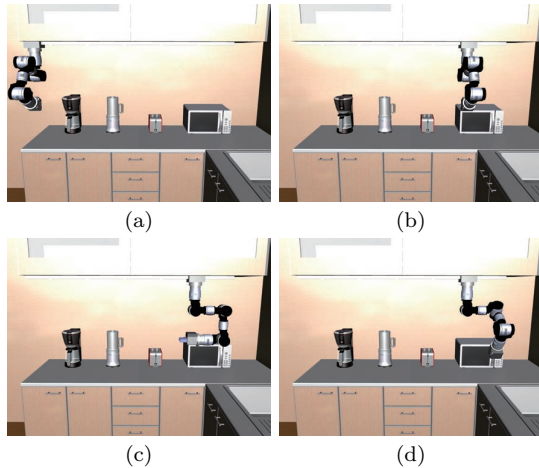


Fig. 2: Sequence of operations of the arm module in the kitchen.

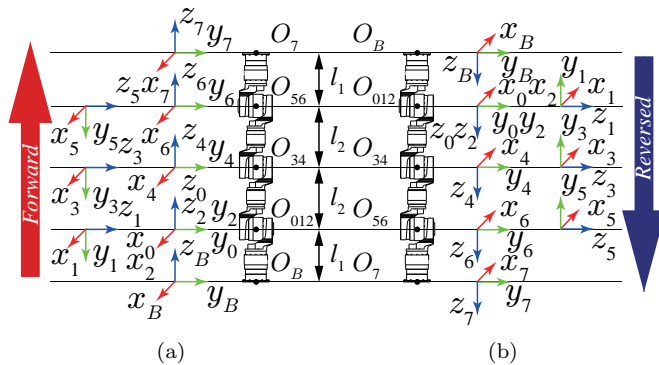


Fig. 3: Coordinate systems of the arm module: (a) forward, and (b) reversed configurations.

したシステムについて述べる．アームモジュールは，ジョイントモジュールとして採用した SCHUNK 社製のモータ Rotary module PRL 80, PRL 100 により構成されている．自由度は人間の腕と同様に 7 自由度であり，構成としては S-R-S マニピュレータとなっている．アームモジュールの座標系を図 3 に示す．図 3 (b) はアームの手先部とベース部が反転して動作する際に定義した座標系である．

また，アームモジュールは，4 番目の関節を中心に対称な構成である．アームモジュールのベース部と手先部が反転して動作しても幾何学的に問題がないような構成となっているため，アームモジュールのベース部と手先部を反転させてアーム単体で独立移動が可能となる．

3.2 フィクスチャモジュールとアタッチメント

我々は，アームモジュールが独立移動して作業するための機構として壁や天井にアームモジュールを固定させる装置（フィクスチャモジュール）を用いる．作業位置に近い場所にアームのベース部を固定して動作させることによって，反動に強く安定した作業動作が可能になる．

フィクスチャモジュールには，SCHUNK 社製のチャック装置 VERO-S を利用している（図 5 (b)）．図 4 に示すようにアームモジュールの両端にアタッチメントというフィクスチャへの接続具を取り付け，図 5 (b) に示すフィクス

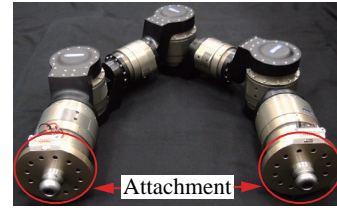


Fig. 4: The overview of the arm module.

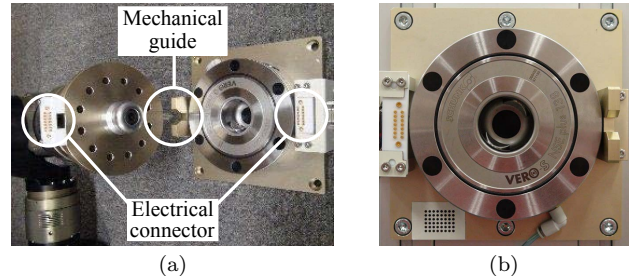


Fig. 5: Mechanical and electrical interfaces for the arm, the fixture module: (a) mechanical and electrical connections between the arm and the fixture module, and (b) the front view of the fixture module and the circles grid board.

チャにアタッチメントを差し込むことでアームモジュールと接続する．アームモジュールとフィクスチャの電氣的な接続は図 5 (a) のようになっており，コネクタは CAN と USB, 24 V 電源を備える．また，アタッチメントをフィクスチャに差し込んだ後の固定方法は空圧によるエアロックとなっている．

4 アームモジュールの独立移動動作

4.1 モジュラーホームロボット

我々の開発しているモジュラーホームロボットは，アームモジュール，乗り移り後に物体把持を行うためのグリップモジュール，物体位置を把握するための手先センサモジュール，アームモジュールが乗り移るための固定具であるフィクスチャモジュール，各モジュールの制御装置であるベースモジュール，フィクスチャの設置場所まで移動するためのホイールモジュールから構成されている．

本研究においては対象物や環境の大域的な位置情報（数十 mm の精度）はユーザによって GUI などを利用して与えられることを仮定しているが，アタッチメントを挿入する際には ± 0.2 mm 以下の精度が求められるため，より正確にフィクスチャの位置を把握する必要がある．さらに，フィクスチャの前まで移動する際に発生する移動誤差も考慮するとフィクスチャ前で位置姿勢をオンライン計測し，精度の高い情報を得る必要がある．そのため，手先センサモジュール内に Microsoft 社製の USB カメラ LifeCam HD-5000 を搭載している．位置推定には図 5 (a) の左下に貼られているグリッド数 6×8 のサークルズグリッドを用い，カメラ画像の処理には OpenCV を使用している．

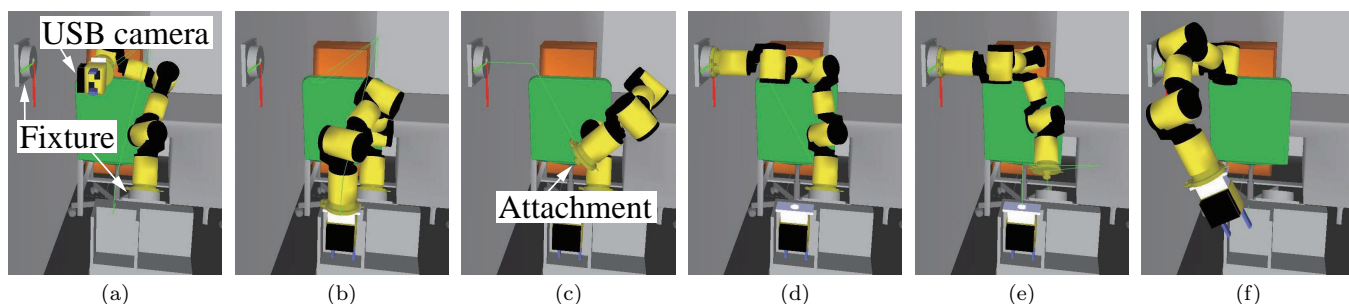


Fig. 6: Simulation sequence of the arm module motion generated by ROS: (a) sensing the fixture by the USB camera, (b) (c) detaching the gripper module, (d) inserting the attachment into the fixture, (e) pulling out the attachment from the fixture on the wheel module, and (f) attaching the gripper module to the attachment.

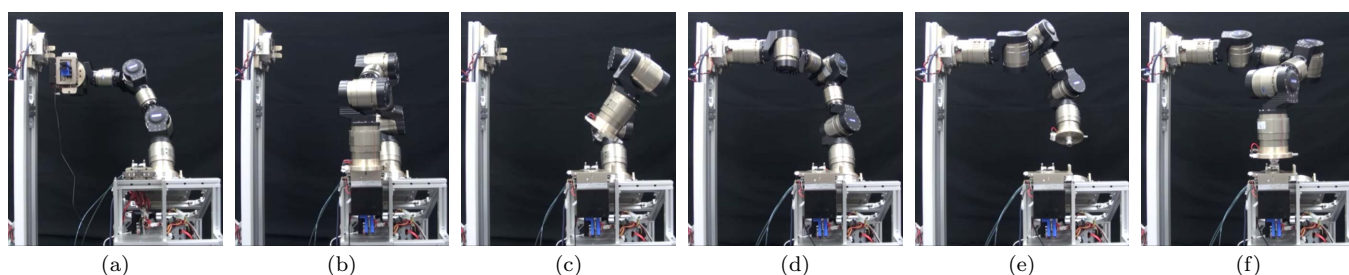


Fig. 7: Sequence of operations on the experiment: (a) sensing the fixture by the USB camera, (b) (c) detaching the gripper module, (d) inserting the attachment into the fixture, (e) pulling out the attachment from the fixture on the wheel module, and (f) attaching the gripper module to the attachment.

4.2 実験方法

フィクスチャとアタッチメントを用いたアームモジュールの自律的な着脱動作と移動動作の確認実験を行う．本実験ではアームモジュールが壁面に乗り移って行う作業を想定して架台にフィクスチャを設置した．動作の流れを以下に示す．

1. アームモジュール先端の手先センサモジュールに内蔵されている USB カメラを用いてサークルズグリッドを認識することにより，フィクスチャの位置姿勢を計測する．
2. 手先のアタッチメントを壁面のフィクスチャに挿入し手先を固定するため，ハンドチェンジャを利用して，手先センサモジュールを含むグリッパモジュールを取り外す．
3. 手先のアタッチメントを壁面のフィクスチャへ挿入し空圧を利用して固定する．
4. システムの制御方法を切り替え，固定された手先のアタッチメントを新たなベース部として，元のベース部をモバイルベース上のフィクスチャから引き抜く．
5. 元のベース部を新たな手先部とするため，ハンドチェンジャに置かれていたグリッパモジュール（手先センサモジュールを含む）を取り付ける．

本実験においてアームモジュールやモバイルベースなど，ロボットシステム全体の動作生成には Robot Operating System (ROS) を用いたオフライン動作生成システム

を使用している．生成した一連の動作を図 6 に示す．手先部とベース部が同時に固定され，それらが入れ替わる動作および制御の状態遷移を考慮した動作生成システムとなっており，本システムにおける基本動作を確実に実現可能としている．

4.3 実験結果および考察

実機により確認したアームモジュールの自律着脱および独立移動動作の様子を図 7 に示す．手先センサモジュール内の USB カメラと OpenCV を利用した乗り移るフィクスチャモジュールの位置姿勢の計測，ハンドチェンジャによるグリッパモジュールの取り外し，手先アタッチメント部の壁面フィクスチャへの固定，モバイルベース上のフィクスチャからのベース部アタッチメントの引き抜き，ベース部を新たな手先部とするためのグリッパモジュールの装着と，一連の流れを自律的にアームモジュールは実行できた．また，ベース部と手先部が反転する際の制御システムの切り替えも円滑に実現できた．

しかし，フィクスチャへのアタッチメント挿入時に手先が振動していた．壁面のフィクスチャへの乗り移り動作は実現できているが，これにはアームモジュール手先の制御性能に加えて，アームモジュールの機構全体が持つ柔らかさも実現の一因を担っていると考えられ，これ以上手先が大きく振動してしまうことは着脱動作および独立移動の実現には非常に危険である．

この原因としては，アームモジュールを固定する方法としてエアロックを利用しており，ロックする機構としての強度

は十分であるが，空圧装置の重量が非常に大きいことが挙げられる．さらに，エアロックは，産業用ロボットなどでは一般的な固定方法ではあるが，一般家庭で使用することは設備面や騒音面でも避けることが望ましい．本実験結果から，インタフェース機構にはここまでの剛性が必要ではないことが分かったため，軽量かつ確実な新たな固定方法を検討する．

5 結言

本稿では，モジュラーホームロボットの主要なモジュールの一つである自律着脱と独立移動が可能なアームモジュールについて，その自律着脱および独立移動を実現する制御システムを構築し，ROS を利用したオフライン動作生成システム上で着脱および移動の動作生成を行い，実験機による実際の動作実験を通して，本システムの有効性を検証した．

今後の課題は，空圧を利用しない軽量かつ確実な固定方法による新しいフィクスチャモジュールとアタッチメントを設計し，それらを利用してアームモジュールの自律着脱および独立移動動作を改善することである．

文 献

- [1] 宮澤 友規，上野 修平，久米 修平，金宮 好和，“多機能生活支援ホームロボットを実現するためのミニマリストティックモジュラーシステムコンセプトの提案”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会，2007.
- [2] 古滝 達也，田上 大翔，佐藤 大祐，金宮 好和，“Lightweight Arm を搭載したモジュール型ホームロボットのプロトタイプの開発”，第 11 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集，2010, pp. 1174–1177.
- [3] 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. Adv. Intell. Mechatron.*, 2013, pp. 280–285.
- [4] 山本 明弘，関戸 佐知，佐藤 大祐，金宮 好和，“特異点適合法を用いたモジュラーホームロボットによる扉開閉作業の実現”，第 15 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集，2014, pp. 1504–1506.
- [5] 根井 学，畠山 直登，関戸 佐知，山本 明弘，佐藤 大祐，金宮 好和，“ROS を用いたモジュラーホームロボットのためのオフライン動作生成システムの開発”，第 15 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集，2014, pp. 1513–1514.