

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

古滝 達也 (東京都市大学), 田上 大翔 (東京都市大学), 佐藤 大祐 (東京都市大学),
金宮 好和 (東京都市大学)

Module Home Robot Prototype With Lightweight Arm

Tatsuya KOTAKI (Tokyo City University), Daisuke TAGAMI (Tokyo City University),
Daisuke SATO (Tokyo City University), and Yoshikazu KANAMIYA (Tokyo City University)

Abstract— Recently, the practical use of a home robot that can accomplish various tasks in a house is expected. Most of the home robots that have been put to practical use so far perform just a simple task, or are used just as communication tools. We are developing a multifunctional home robot based on the MMM concept (Multitask, Modularization, Minimalization). In this paper, we decide system of home robot prototype and introduce these overview.

Key Words: Home robot, Autonomous mobile robot, MMM concept, Modular robot

1. 緒言

近年, 人間の生活範囲で動作するロボットの研究が盛んに行われており, 家事支援やコミュニケーション, 警備, 人命救助などさまざまな分野で活用できるロボットの開発が求められている. 特に日本では, 高齢化や女性の社会進出による夫婦共働き家庭の増加を背景として, 生活支援を目的としたホームロボットの実用化が期待されている¹⁾. 一般家庭内で家事を行うロボットとして, 床掃除や留守番など単一の機能を持ったロボットは実用化に至っているが, 人間が行うさまざまな家事に対応し, 生活支援を行えるようなロボットは実用化されていない.

本研究室では, 生活支援を行うホームロボットのための開発コンセプトとして, Multitask (多機能化), Modularization (モジュール化), Minimalization (最小化) からなる MMM コンセプトを過去の研究で提案した²⁾. Fig. 1 に MMM コンセプトの概念図を示す. 本稿では, MMM コンセプトに基づいたホームロボットを実現するために製作したモジュール型ホームロボットのプロトタイプについて述べる.

2. ホームロボットのシステム設計

MMM コンセプトに基づいたホームロボットの要求仕様を, 以下に示すように決定する.

- 1フロアの屋内空間であること
- 人間の生活環境内で安全に動作すること
- 複数の家事を行えること
- 搭載する機能をモジュール化すること
- 屋内空間にある家具の寸法などの情報は, あらかじめ与えられること
- ロボットの作業中は人間が立ち入らないこと
- ロボットの作業内容はユーザが指示すること

これらの条件を前提に, ホームロボットのシステム設計をする.

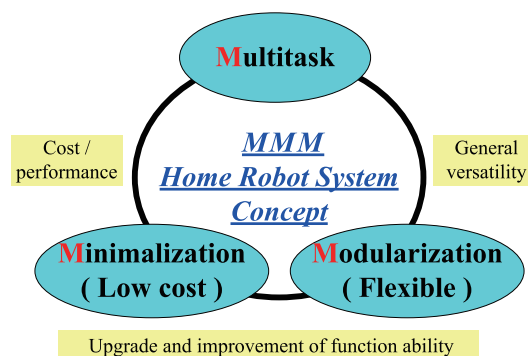


Fig.1 MMM concept for a home robot system.

2.1 制御システムの構成

ロボットシステムを確実に制御するためには, ロボットの実時間制御が必要となる. 実時間制御を行うため, 設計するホームロボットの制御は, ロボットに搭載された制御用コンピュータ (制御 PC) から行う. 制御用コンピュータに実装するリアルタイム OS として Realtime Linux を利用する³⁾.

ホームロボットの操作は, 工学的な専門知識のないユーザが行う. そのため, ロボットの操作はユーザが所有するコンピュータ (ユーザ PC) から, 簡単に操作できる GUI を通じて行うものとする⁴⁾. GUI 上で決定したロボットの作業内容は, ユーザ PC からロボットの制御 PC へ指令値を送信することにより, ロボットに伝えられる.

2.2 アクチュエータの構成

ホームロボットが人間に代わって作業を行うためには, 人間と同等の汎用性を持った機構が必要である. 人間が家庭内で行う作業の多くは腕によって行われる. ホームロボットのマニピュレータに人間の腕と同じ 7 自由度を持たせれば, 人間が行うさまざまな作業を代行することが可能となる. 家庭内の作業における代表的な動作を考えると, 物体を把持し, 任意の場所に移動させる動作と, 物体を押したり引いたりする動作が挙げられる. 家庭内の作業の多

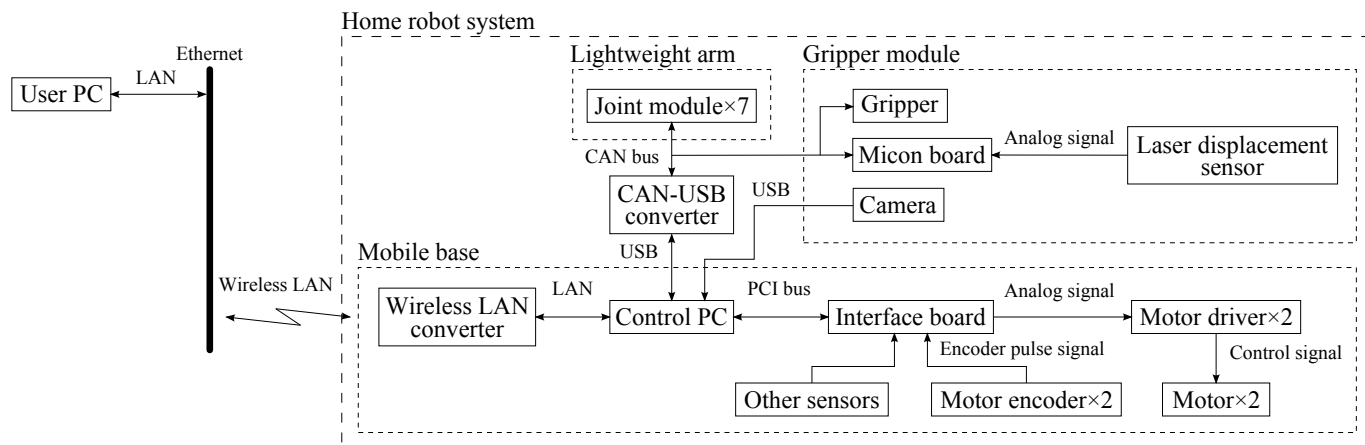


Fig.2 The system diagram of the modular home robot prototype.

くは、これらの動作の組み合わせから成り立っていると考えられるので、人間と同じ二つの腕や、複雑な機構を持った手などを持たせずとも、ホームロボットの多機能化は実現可能である。よって、開発するホームロボットのマニピュレータは、7自由度のロボットアームと2指を持つ平行開閉型のグリッパで構成する。

また、家庭内での作業はさまざまな場所で行う必要があるため、複数の作業を一つのロボットシステムで実現するためには自律移動能力が不可欠である。ホームロボットの移動機構には、作業を行う姿勢の安定性と機構の容易性という観点から、車輪型の移動機構を採用する。よって、開発するホームロボットは、車輪型の移動ベースに単腕のマニピュレータを搭載した機構を持つものとする。

2.3 センサシステムの構成

家庭内の環境で自律移動型のロボットを動作させるためには、周囲の物体の位置情報をロボットに認識させる必要がある。家庭内の環境について考えると、壁や支柱、窓、ドアなどの位置は、部屋の間取りという情報としてロボットに与えることが可能である。また配置されている物体には、普段は大きく位置が変わらない机や棚などの家具がある。これらの位置情報も、あらかじめロボットに与えることが可能である。

以上で述べた情報を GUI を通じて与え、ロボットにエンコーダの測定値による自己位置推定の機能を持たせることで、センサによって環境の情報を検出せずに、目標地点まで移動することが可能である。

ロボットが目標地点まで移動した後は、物体までの距離を測定するためのレーザセンサや、物体の配置や状態などを認識するためのビジョンセンサが必要となる。

2.4 ホームロボットシステム

以上で述べた条件を満たすように設計を行ったホームロボットのシステム図を Fig. 2 に示す。ホームロボットシステムの構成要素については次節以降で詳細に述べる。

3. マニピュレータシステム

3.1 7自由度軽量アーム

ホームロボットに、産業用の大型マニピュレータを搭載することは適切ではない。家庭内の環境で動作することを考慮すれば、軽量のマニピュレータを搭載する必要がある。ホームロボットのマニピュレータを構成するロボットアーム

として SCHUNK 製 7 自由度軽量アーム (LWA 3) を選定する。LWA 3 は機能の選択・拡張のために構成を変更することが容易なモジュール化されたロボットアームである⁵⁾。LWA 3 は各関節が 1 自由度を持つ独立したモジュールとなっており、それらを組み合わせてアームの構成を設計することが可能である。我々が設計した LWA 3 の外観図を、Fig. 3 に示す。

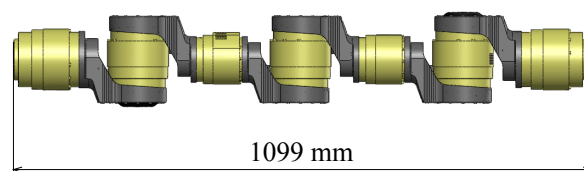


Fig.3 The overview of the Lightweight Arm.

我々が設計した LWA 3 は関節モジュール PRL 80 および PRL 100 を組み合わせて構成する。関節モジュールの仕様を Table 1 に示す。

Table 1 The specification of mobile base.

Module type	PRL 80	PRL 100
Motor power [W]	80	130
Mass [kg]	1.2	2.0
Rated torque [N·m]	20.7	81.5
Repeat accuracy [°]	0.002	0.002
Angular velocity (Max.) [°/s]	25	24
Angular acceleration (Max.) [°/s ²]	100	95
Rated current [A]	3.5	4.0

この構成ではアーム全体の質量は 16.3 kg である。アームの可搬重量は 5 kg であり、グリッパの質量を差し引いても、一般的に家庭内に置かれている物体を移動させるには十分な仕様である。

LWA 3 の制御通信プロトコルには、CAN-bus が利用される。CAN-bus による制御は、信号線が各モジュールに並列接続されているので、一つの制御系で全ての独立したモジュールを扱うことができる。

3.2 グリッパモジュール

マニピュレータのエンドエフェクタとして、センサを取り付けたグリッパモジュールを搭載する。グリッパモジュールは SCHUNK 製グリッパ PG 70 をベースに設計する。

PG 70 は CAN-bus による制御が可能な 2 指を持つ平行開閉型のグリップである．Table 2 に PG 70 の仕様を示す．

Table 2 The specification of PG 70.

Mass [kg]	1.7
Stroke per finger [mm]	35
Gripping force (Max.) [N]	200
Rated voltage [V]	24
Rated current [A]	3.0

グリップの側面に，センサをアタッチメントを介して取り付けることが可能な機構を設ける．これによりセンサシステムの変更が容易となり，センサのモジュール化につながる．センサの出力信号は，マイコンによって CAN-bus の信号に変換し，アームやグリップを含めた一つの制御系で扱う．Fig. 4 にグリップモジュールの外観図を示す．

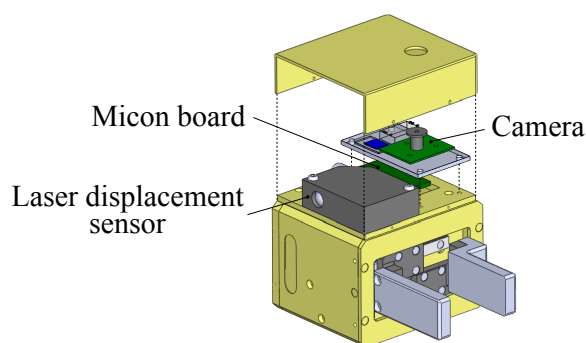


Fig.4 The gripper module with sensors.

4. 移動ベースシステム

4.1 移動ベースの製作

移動ベースには，簡潔な機構と直進旋回の制御の容易性から二輪駆動機構を採用する．移動ベースは PATNA 製自律型移動プラットフォーム Leo-1 の外装およびシステムに変更を加えて製作した．Fig. 5 に Leo-1 の外観を示す．



Fig.5 Mobile robot Leo-1.

Leo-1 の制御は，ルネサス・テクノロジー製の制御器 SH7054 (SH-2) が搭載された制御ボードによって行われる．Leo-1 の動作設定は，コマンドによる処理に依存されており，シリアル通信によってメイン制御 PC，制御ボード間のデータ送受信を行う必要がある．これによって，動作変更を行う度にデータ通信とコマンドの文字列処理を行うため 実時間制御が困難という問題が挙げられる．この問題によって制御性能が十分に得られないので，モータドライバの指令電圧，エンコーダの出力を制御 PC の PCI バ

スに取り付けたジャストウェア製インターフェースボード JIF-171-1-B によって制御する．また，モータドライバにはジャストウェア製 TITech Driver を用いる．これらのシステム変更によって移動ベースに任意の制御則を適応することが可能となる．

4.2 バッテリシステム

ロボットが自律移動を行うためには，内部電源としてバッテリーが必要である．バッテリーの搭載によってロボットを無線化することが可能となり，ケーブルによってロボットの移動が妨げられることがなくなる．開発するホームロボットにはリチウムイオンバッテリーを搭載する．リチウムイオンバッテリーはエネルギー密度が高く，他のバッテリーよりも軽量化を行うことが可能である．また，他のバッテリーと比較してメモリ効果が少ない特徴があるため，継ぎ足し充電によるバッテリーの劣化が少ない．

4.3 筐体の形状決定

移動ベースの筐体の形状は，家庭内に配置されている家具の寸法とホームロボットの作業空間から決定する．ホームロボットに頻繁に行わせる動作の一つとして，テーブル上に配置された物体の把持および操作を行う動作が挙げられる．よって，テーブル上での作業空間が広がるようにマニピュレータの取り付け位置を決定する．

一般的なテーブルの高さは 700 mm であるので，床面からマニピュレータの取り付け位置までの高さは 700 mm とする．マニピュレータの取り付け角度は，傾斜 30° とする．これによりホームロボットの前方方向におけるテーブル上の作業空間が広がる．また，この取り付け角度は，床に置かれた物体に対するアプローチが可能となる．また，マニピュレータを鉛直方向に伸ばした際，グリップが到達可能な高さは床面から 1914 mm であり，人間が家庭内で家事を行う範囲を，ホームロボットの作業空間内に収めることが可能であると考えられる．ホームロボットの作業空間を Fig. 6 に示す．

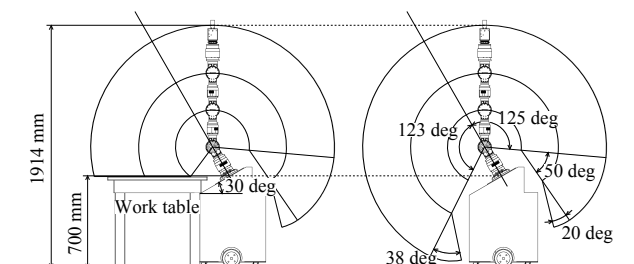


Fig.6 The manipulator workspace of the home robot.

この取り付け角度で移動ベースの筐体を設計することにより，家庭内のさまざまな作業を行うための範囲にマニピュレータのエンドエフェクタを移動させることができるので，ホームロボットの多機能化を実現するために有効である．

4.4 移動ベースの仕様

移動ベースの仕様を Table 3 に示す．

5. センサシステム

家庭内に配置されている物体には，皿やコーヒーカップなど，作業を行うごとに移動させる必要のある操作対象物

Table 3 The specification of mobile base.

Dimensions (W×D×H) [mm]	390×550×761.5
Mass [kg]	40.7
Payload [kg]	24
Motors rated torque [N·m]	3.0
Rated voltage [V]	24
Power consumption [W]	200

が含まれる．これら进行操作したり，テーブル上の定められた位置へ置いたりするためには，テーブルと操作対象物の正確な位置情報をロボットが認識し，座標系を取り付ける必要がある．

操作対象物の初期位置は，あらかじめ位置情報として与えることができるので，ロボットは操作対象物の近くまで移動できる．

5.1 カメラ

ロボットと操作対象物の状態や位置関係を検出するために，カメラを用いる．カメラを用いて物体の全体像を検出することで，操作対象物が転倒している場合や，あらかじめ指示された場所に操作対象物が存在しない場合などに対応することができる．カメラは，Logicool 製 USB ウェブカメラ C600 を用いる．C600 のセンサ解像度は 200 万画素（1600×1200），フレームレートは最大 30 fps である．

5.2 レーザセンサ

テーブルや操作対象物までの正確な距離は，レーザー変位センサによって測定を行う．検出動作によって物体の角などの特徴点と物体の面を検出し，物体の位置と姿勢を計算する．データベースとして物体の形状の情報をロボットに与えておけば，物体の位置と姿勢から，座標系を取り付けることが可能である．これらによって，ロボットは対象物进行操作するための軌道を計算することができる．レーザー変位センサは，山武製長距離レーザー変位センサ HLA-D250A を使用する．HLA-D250A の仕様を Table 4 に示す．

Table 4 The specification of HLA-D250A.

Sensing range [mm]	50 ~ 250
Resolution [mm]	0.3
Scan type	Diffuse scan
Supply voltage [V]	DC 18 ~ 28
Current consumption (Max.) [mA]	120
Laser beam diameter [mm]	2
Response time (Max.) [ms]	10

6. ホームロボットのプロトタイプ製作

設計したホームロボットシステムに基づいて，ホームロボットのプロトタイプを製作した．Fig. 7 に製作したホームロボットのプロトタイプの正面図および側面図を示す．Table 5 にホームロボットの仕様をまとめる．

7. 結言

本稿では，MMM コンセプトに基づいたホームロボットの設計と，コンセプトを実現するために製作したモジュール型ホームロボットのプロトタイプについて述べた．

今後の課題として，グリップモジュールやロボットアームを移動ベースから着脱可能なモジュールにし，よりモ

ジュール化されたロボットシステムへ改善することが挙げられる．

また，製作したホームロボットのプロトタイプに家事の一つとして朝食の自動準備を行わせ，最小化や多機能化というコンセプトに適したホームロボットのシステム構成について研究を進める．

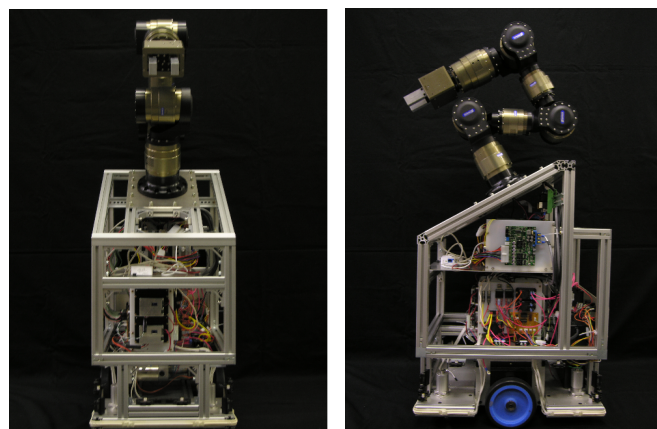


Fig.7 The front and side views of the prototype.

Table 5 The hardware specification of the home robot.

Dimensions (W×D×H) [mm]	390×550×1192
Height (Max.) [mm]	1944
Total mass [kg]	58.7
Total payload [kg]	8.0
Manipulator's payload [kg]	3.3
Gripping force (Max.) [N]	200
Mobile base's motors rated torque [N·m]	3.0
CPU	Core™ 2 Duo 2.8 GHz
System memory	DDR2 667 MHz, 2GB×2
Total power consumption [W]	760
Battery	Lithium ion battery
Continuous operation time [min]	40 ~ 60

参考文献

- 1) 稲葉雅幸：“少子高齢化社会と人を支える IRT 基盤の創出プロジェクト”，第 10 回システムインテグレーション部門講演会講演概要集，pp.1151-1152, 2009.
- 2) 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モジュール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 '07 講演論文集，1A1-O06, 2007.
- 3) 羽鳥裕樹，加藤龍，白井伸明，佐藤大祐，金宮好和：“プロセスアフィニティを考慮した Realtime Linux によるロボットの実時間制御”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '10 講演論文集，2P1-A18, 2010.
- 4) 諸橋充，宮澤友規，佐藤大祐，金宮好和：“3M Concept に基づいたホームロボットのための GUI の開発”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '08 講演論文集，2P1-I02, 2008.
- 5) (2010, Oct. 14) SCHUNK modular robotics [Online]. Available: <http://www.schunk-modular-robotics.com/>