

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：54401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00947

研究課題名(和文) サービスロボットを目的とした教材開発

研究課題名(英文) Teaching materials development for the purpose of the service robot

研究代表者

藪 厚生 (Yabu, Atsuo)

大阪府立大学工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：90413806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：日本では、少子高齢化対策の一つとして、サービスロボットの普及が期待されている。サービスロボットでは、従来のロボットとは異なる新しい要素技術が使われているため、その普及には、サービスロボットに対応できるエンジニアの育成が必要である。しかし大学や高専で使用できるサービスロボットの教材はほぼない。そのため、サービスロボットを学ぶための教材用ロボットを開発し、それをを用いた実習を実践した。

研究成果の概要(英文)：In Japan, the spread of service robots is expected as one of measures to counter effects of the low birthrate and the aging population. Because new elemental technology unlike the conventional robot is used with the service robot, upbringing of the engineer who can cope with a service robot is necessary for the spread. However, there is not approximately the teaching materials of the usable service robot in a university and a technical college. Therefore, we developed an educational service robot and used it to conduct practical training.

研究分野：ロボット工学、工学教育

キーワード：サービスロボット ロボット教材 脚車輪 ロボット実習

1. 研究開始当初の背景

平成26年6月に「日本再興戦略」改訂2014が閣議決定された。その中の新たに講ずべき具体的施策としてロボットによる新たな産業革命の実現が挙げられている。この閣議決定を受け同年9月には第1回ロボット革命実現会議が開催された。これらの政策では、少子高齢化の中での人材不足やサービス部門の生産性の向上という日本が抱える課題の解決の切り札としてロボットが位置づけられている。また経済産業省が発表している技術戦略マップ2010では、2035年には、サービスロボットと産業ロボットの数が逆転するとされている。このことを裏付けるように、昨今では掃除ロボットが一般家電量販店で購入でき、高度な会話ができるパーソナルロボットも20万円を切る価格で販売された。これらのロボットは、従来の産業ロボットとは異なる要素技術が必要であり、会話だけでなく実作業も実現させ、予測される将来に対応するためには、サービスロボットに対応できるエンジニアの育成が急務である。

一方、現在のロボット教育の一つとして、ロボット競技会が広く知られており、優秀な人材も育ててきているが、著者が参加しているロボカップや高専ロボットコンテストの経験上、競技会への参加には、ロボットの製作などに多大な時間と知識や労力が必要であり、多数の学生を同時に教育するには不向きでもある。そのため教育の効果としては一部限定的なものであると言える。人材の育成としては、競技会などの従来の方法だけでは、将来必要な人員数を供給するのは難しい。そのためより多くの人材を育成するためには、通常の授業として実施する実験実習などでサービスロボットの学習を展開する必要がある。効果的にこれらの学習を行うためには、教材が必要であるが、これまでのロボット教材として、市販されているものは、多くは小学生や中学生を対象としたロボットの基礎技術を学ぶものである。また大学や高専の研究用にサービスロボットにも使用できるロボットが市販されているが、これらは一般に高価であり、通常の実験実習で学生が容易に扱えるものではない。

現状としては、サービスロボットを学習の目的としたロボット教材として通常の授業で使用できるものは、ほとんど無いと言える。より多くの人材育成にはサービスロボットを学ぶことができる教材用ロボットとそのロボットを活用したカリキュラムが必要である。

2. 研究の目的

本研究は、大学および高専などの実験実習で使用できるサービスロボットを目的とした教材用ロボットの開発とそのロボットを活用した実験実習カリキュラムの開発を目的とする。サービスロボットで実現すべき作

業項目が多岐にわたること、またサービスロボットそのものが研究開発の途上にあることから、ロボットには拡張性を持たせ、改良などが容易に行えるものとし、さらに応用的な内容として、現状のサービスロボットでも問題となっている段差乗り越えが可能な機能をもつロボットを開発する。

3. 研究の方法

3.1 教材用ロボットの開発

サービスロボットで実現すべき作業項目が多岐にわたること、またサービスロボットそのものが研究開発の途上にあることから、ロボットには拡張性を持たせ、改良などが容易に行えるものとし、できるだけ特殊な部品などを使用せず、一般に入手が容易なものを多く用いることで、メンテナンス性を良くする。またセンサの増設や3Dプリンタで製作したエンドエフェクタの交換などが容易にできるよう構成する。さらに応用的な内容として、現状のサービスロボットでも問題となっている段差乗り越えが可能な機能を持つロボットを開発する。ロボットの大きさは、高さ1m未満、幅0.5m程度を想定している。ロボットは大きいと運用上の安全性に問題が生じ、小さいと拡張性に問題が生じる。また同時にモデルケースをいくつか想定する。開発するロボットは、少なくともこのモデルケースを実現できる性能を持たせる。ロボットのシステムには、タブレットタイプのパソコンやraspberry piに代表される安価でかつ高性能なワンボードコンピュータとコマンド制御方式のロボット用サーボモータを中心に開発を行う。raspberry piでは、I/OやUSBコネクタを持ち拡張性に優れている。もともと教材用に開発された経緯もありこの種のロボットに用いやすいのが特徴である。またコマンド制御方式のロボット用サーボは、現在の角度値の取得やトルクリミットの設定などが可能であり、サーボの配線を数珠つなぎに出来るので、省配線も可能である。ロボットの部品製作には、3Dプリンタを活用することで、運用時の安全確保のためなるべく角を取り除き、丸みを帯びた外装のデザインを目指す。

最初から搭載するセンサとしては、USBカメラ、レーザーレンジセンサなどを想定している。カメラからの画像はopenCVを用いて基本的な画像認識などが可能なようにする。その他には、加速度センサ、地磁気センサなどの搭載を予定している。またこれらのセンサ以外にも搭載できるように拡張用のADやI/O用ボードを用意する。これらにはI2C通信タイプが可能なものを採用することで、必要なチャンネル数も増やせるよう工夫する。

3.2 基本カリキュラムの開発

たとえば、コップに入った水を運搬するなどのモデルケースを設定し、この動作を実現

するためのロボットの各要素の基礎技術からアームの操作およびロボットの移動など基本技術が学べる実験実習の指導書を作成する。

3.3 応用的カリキュラムの開発

応用的な内容としては、段差乗り越えを含むモデルケースを設定し、その動作を実現する。またあらたな作業を学生が考案し、その動作を実現させる。そのための、部品の改良などには3Dプリンタを用いることで、特殊な形状のエンドエフェクタなども製作が可能である。これらを実施する上での問題点や時間数を明らかにし、教材用ロボットが持つべき性能と提案するカリキュラムをまとめる。

4. 研究成果

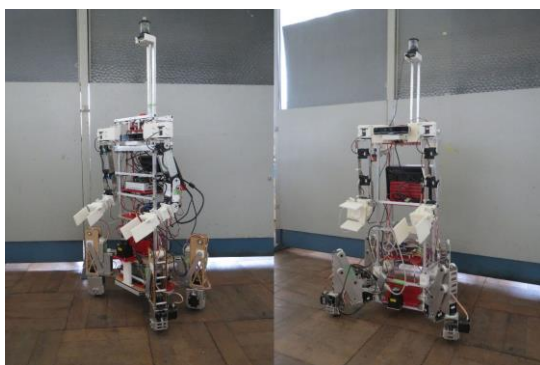
4.1 教材用サービスロボットの開発

4.1.1 ロボットの概要

開発したロボットは入手しやすい部品で構成しており、大学の工学部や高専などで容易に製作ができるものとした。脚部には段差や階段の昇降が可能となるよう脚車輪を採用した。昇降可能な段差は、学校の階段の高さから180mm程度に設定している。サービスロボットの要素技術として、自己位置推定、環境認識、対象物認識の実習が可能のようにRGB-Dカメラ、レーザーレンジセンサ、全方位カメラを搭載する。なおロボットは2台製作した。2号機は少し改良を加えているが、基本的な仕様は、2台とも同じである。開発したロボットの外観を図1に示す。また1号機の仕様を表1に示す。

4.1.2 ロボット制御部

メインのコントローラには、NUC規格の小型パーソナルコンピュータ（以降PC）を用いた。このPCはRGB-Dカメラを接続できるUSB3.0を備えており、またバッテリーでの使用も可能なためである。サブコントローラとしては、マイクロコンピュータであるArduinoMEGA2560を使用した。Arduinoは、I/Oも豊富でPWM機能やAD変換機能を有しており、市販されている多様なシールドと呼ばれる機能拡張基板を利用できる。



(a) 1号機 (b) 2号機
図1 ロボット外観

表1 ロボット1号機仕様

サイズ(W×D×H)[mm] (全方位カメラを含む高さ)	500×230×780 (H1140)
重量[kg]	10.5
自由度	腕 5×2 脚 3×4
移動速度 [m/s]	0.6
腕の可搬重量[kg]	0.5
可変高さ [mm]	250
メインコントローラ	Intel NUC 6I3SYK
サブコントローラ	Arduino MEGA 2560
サーボユニット(腕,脚)	Futaba RS405CB
サーボユニット(ハンド)	Futaba RS304MD
ステッピングモータ	シナノケンシ P-PMSM-U42D2LP-P
モータドライバ	adafruit MotorShield V2.3
バッテリー(モータ駆動用)	AZ ITZ5S-FP
バッテリー(コントローラ用)	JIT MPB32000
モニター	Century LCD-8000VH2B
全方位カメラ	Viston VS-C14U-33-ST
RGB-Dカメラ	Intel Realsense SR300
レーザーレンジセンサ	HOKUYO URG-04LX-UG01

PCからArduinoへはシリアル通信でコマンドを送る。PCは自己位置推定用の全方位カメラ、環境認識用のレーザーレンジセンサ、対象物の検出と距離測定用にRGB-Dカメラを接続し、画像処理や動作計画を担当する。Arduinoでは、シリアル通信によるコマンドタイプのサーボモータとステッピングモータの制御を行う。センサを用いずロボット本体のみを動作させるだけであれば、Arduinoのみで可能であり、アームや脚を用いた基本的なロボット制御の実習も可能である。

4.1.3 ロボットアーム

アームは、逆運動学が容易になるよう5軸の構成とした。材料には厚さ1.5mmのアルミ板を主に用い肩ピッチ軸、ヨー軸、肘のピッチ軸、手首ピッチ軸の各関節には、高トルクのサーボモータを使用し、アームの可搬重量が最大500g程度となるよう設計している。

ハンド部分のヨー軸とハンド開閉には、学生によるアームの改良などが容易に行えるように小型で安価なサーボモータを用いている。

4.1.4 ロボット胴体と脚

ロボット胴体は、材料にアルミ中空角材を主に用いた。胴体の中にコンピュータおよび小型モニター、バッテリーを搭載した。脚部は、1脚当たり3軸の平行リンク機構を用いた脚車輪とし、これを4脚備えている。脚の各関節はアームと同様のサーボモータを用い4脚全体でロボット本体を屈伸により持ち上げられるようにしている。車輪はステッピングモータにより駆動し、進みたい方向にサーボモータでタイヤの向きを変えることで、全方位に移動可能とした。

4.2 ロボット実習

4.2.1 基本カリキュラムでの実習

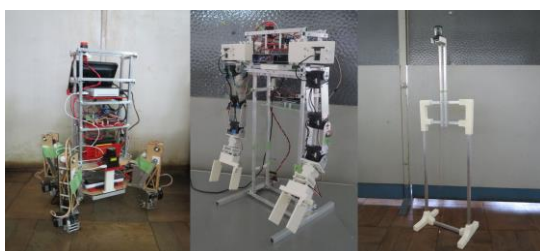
基礎的な内容の実習として、アームの運動学や自己位置推定、画像処理による対象物の

検出を行う。これらについては、授業などでも扱っていない内容もあるため実習前の講義で、その概要について説明を行った。実習では、学生が使い慣れているので、OSとしてWindowsを用いた。またここで実習の対象となる学生は、AIについての授業がないため、思い切ってAIに関しては省くことにした。これによりプログラムを簡潔なものとし、プログラミングに不慣れな学生でも対応できる内容を目指した。プログラムの開発環境はPCではVisualStudio2013でVC++を用い、ArduinoはArduino IDEを使用した。画像処理にはopenCVを用いた。

実習ではロボット2台で最大18名の実習ができるよう図2に示すようにロボットを脚部、アーム部、全方位カメラ部の3つに分けて使用する。学生は2~3名で一つのグループとし、全体で6つのグループとした。2グループずつで、それぞれの実習を行う。実習の時間は1回の実習では180分で、それを3回実施した。実習の項目とポイントは次のとおりである。

- (1) 実習に関する講義 (90分)
 - サービスロボットの概論、アームの運動学、自己位置推定法、HSVによる色検出、センサの概論など
- (2) 実習1 (90分)
 - RGB-Dセンサとアームの制御
 - ・RGB-Dセンサの基本
 - ・アームの運動学と制御
 - ・センサとアームの連携
- (3) 実習2 (90分)
 - 全方位カメラと自己位置推定
 - ・全方位カメラの基礎
 - ・色によるマーカの識別
 - ・自己位置推定の方法
- (4) 実習3 (90分)
 - レーザーレンジセンサと脚の制御
 - ・レーザーレンジセンサの基礎
 - ・脚車輪の制御と移動
 - ・センサと脚部の連携
- (5) 実習4 (180分)
 - 対象物の運搬
 - ・実習1~3の総合化
 - ・ロボットの姿勢と移動
 - ・センサ情報による動作計画

ロボットを動作させるフィールドは3m×3mのフラットな床面を用い、自己位置推定用のマーカを配置した。



(a)脚部 (b)アーム部 (c)全方位カメラ

図2 ロボットユニット

4.2.2 実習1:RGB-Dセンサとアームの制御

対象物として、コップに見立てた直径48mmの塩ビパイプに紫色の色紙を巻きつけたものを用いた。対象物の検出はHSVによる色による検出とした。対象物の位置はセンサに備えられている深度センサを用いている。対象物までの深度をもとにカメラ原点からの3次元座標を計算し、それをアーム座標に変換する。カメラとアームは座標変換を容易にするためにそれぞれの座標軸が平行になるよう取り付けられた。アームの逆運動学は、課題として学生個々に求めさせているが、プログラムは実習時間の都合上、事前に用意したものを使用した。アームの動作は直線補間などの動作はせずに、各関節を順番に動作させる基本的な方法で行った。これはプログラムに不慣れな学生でもプログラムの内容を理解できるよう意図的にシンプルなものとしているためである。

4.2.3 実習2:全方位カメラと自己位置推定

自己位置推定は、マーカ間の角度による自己位置推定法を用いた。マーカはフィールド中心からマーカ間の角度が約120°になるようにフィールドの3辺の外側に配置した。マーカには赤、青、緑の色画用紙を高さ79cm直径30cmの円筒状にしたものを使用した。学生には指定したフィールドの座標に全方位カメラを設置させ、その測定値と指定した座標とを比較させた。角度による自己位置推定法では、マーカが120°間隔になるときが精度がよい。よってフィールド中央で精度がよく、周辺では精度が落ちるこの方法の特性を知るためである。自己位置推定の計算は学生個々に課題として計算させているが、プログラムは事前に用意したものを使用した。

4.2.4 実習3:レーザーレンジセンサと脚の制御

脚部の制御は、脚車輪による移動を学ぶためにロボットの前進後退、左右移動、その場での旋回のコマンドを実習する。次にレーザーレンジセンサを用いてロボットの周辺環境を調べる。実習では、ロボット前方の指定した距離内の障害物の有無をセンサからのデータで判別し、障害物がある場合はロボットの移動を停止させる内容で行った。

4.2.5 実習4:対象物の運搬

実習1~3を総合化し、フィールド上の任意の位置から目標座標まで移動し、対象物を把持する内容で実施した。

4.2.6 応用的カリキュラム

応用的なカリキュラムとしては、ロボットの改良も含めているので、本校専攻科および5年生の卒業研究として実施した。モデルケースとして考えていた段差昇降は、専攻科の特別研究として実施した。はじめは4つの脚

車輪のみを用いて、昇降が可能であることを実験で確認した。しかし脚の動作が複雑になり、昇降に時間がかかる。そこで、補助輪を付加することで、脚の動作が簡単になり、大幅な時間の短縮ができることがわかった。卒業研究では、ハンド部分に感圧センサとマウスの光学センサを付加する改造を行い、ハンドの把持力を対象物が滑り落ちない程度に自動的に調整する機能を開発した。このように教材用サービスロボットはシンプルな構造にしたことで、ハードウェアの改良なども含めたいろいろな課題に対応が可能であることを確認した。

4.3 実習の様子とアンケート

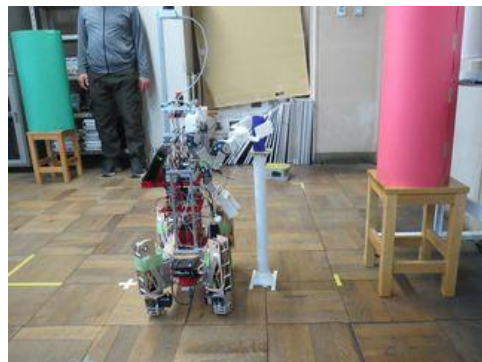
アーム部の実習 1 では若干のプログラム追加や改良などで行えるため、どのグループも問題なく行えていた。しかしアームの逆運動学の計算にはどのグループも予想以上に時間がかかり、実習の時間内には計算できず、持ち帰りすることになった。幾何学的にアームの逆運動学を求めるには、数学的な知識は難しいものではないが、アームの構造を数学モデルで表すことに不慣れであるので、時間がかかったものと思われる。これには説明と演習に時間を追加する必要があると考える。

実習 2 のレーザーレンジセンサと脚の制御では、このセンサが学生にとっては、目新しいものなので、センサの情報がグラフィック画面に表示されると、ロボットの動作に応じて障害物や壁の様子が変化の様子を、興味深く見る学生が多かった。



(全方位カメラによる自己位置推定)

図 3 実習 2 の様子



(対象物の運搬)

図 4 実習 4 の様子

障害物を検出して、ロボットを停止するまでは、どのグループも取り組んでいたが、障害物を回避する実習では、プログラミングを得意とする学生がいるグループでは、問題なくできていたが、そうでないグループでは、センサの情報をもとにロボットの動きをうまく切り替えることができず苦勞していた。

対象物の運搬では、簡単な移動はどのグループも問題なく実施できていた。しかし任意の姿勢から、目標の姿勢にするところでは、うまく近い方向に回転するグループと無駄に 1 回転近く回転するグループなど差が見られた。最終的に任意の位置、姿勢から目的の位置、姿勢にはどのグループもたどり着いたが、対象物を無事に掴むことができたのは半数ほどのグループであった。

ロボットがうまく動作しない理由としては、プログラムが不得意なグループでは、複数の動作を組み合わせ、かつ切り替えていくことができていないようである。また動作の切り替え時の条件が厳しいため、同じ動作を繰り返し次に進めない事例も多く見られた。これらに対応するためには、ロボットの特性を把握し、それをプログラムに反映させることであるが、そのためには、もう少し時間をかけて、演習内容も細かく段階を追ったものにする必要があると考える。

実習後のアンケートでは、各センサの基本事項やロボットを動作させる基本的なプログラムについては、8 割の学生が理解できたとしている。しかし応用的な障害物の回避や対象物の把持については、少しできない、またはできないと回答したものが半数近くになった。アームの運動学についても同様な結果である。これに対しては、複数の動作を組み合わせたサンプルプログラムを用意することや、また実習の時間を増やすなどの対策が必要と考える。

自己位置推定や環境認識などの技術が今後のロボットに必要なことは、アンケートの結果から十分理解できているといえる。またサービスロボットに興味を持てたかについては、7 割の学生が興味を持てたと回答している。

4.4 まとめ

サービスロボットについて学ぶことを目的に教材用のロボットを開発し、それを用いた実習を実践した。以下に本研究の成果をまとめる。

- (1) 段差昇降が可能な脚車輪をもつ教材用サービスロボットを開発した。
- (2) 自己位置推定、環境認識、物体認識の基本を学ぶ実習を考案し、実践した。
- (3) 応用的な課題として、段差昇降やハンドの改良を行い、実験などでそれが可能であることを確認した。
- (4) 実習の結果から、複数の動作を組み合わせるなどの応用的な課題については、対応できない学生が多く、サン

ルプログラムを増やすなどの対応が必要である。

- (5) ロボットを用いた実習が、サービスロボットの要素技術の理解や興味を持たせることに効果的であることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

(1) Atsuo Yabu, Tadahiro Kaneda, Issei Maeda, Wataru Sakurai, Development of Educational Service Robot and Practical Training, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 30 No. 3 (掲載予定), 2018, 印刷中,

〔学会発表〕(計8件)

(1) 櫻井渉, 藪厚生, 土井智晴, 金田忠裕, 教材用サービスロボットに搭載する物体認識システム, 日本高専学会第23回年会講演会, 米子工業高等専門学校, 2017年, P103.

(2) 前田一成, 櫻井渉, 金田忠裕, 藪厚生, 4脚車輪型サービスロボットの開発と階段認識, 数理科学会第36回数理科学講演会, 東京都立産業技術高等専門学校品川キャンパス, 2017年, C302.

(3) 前田一成, 藪厚生, 金田忠裕, 深津将生, 教材用ロボットの開発と簡易全方位カメラによる自己位置推定, 第17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, 札幌コンベンションセンター, 2016年, 2F3-2.

(4) 櫻井渉, 高松淳, 小笠原司, 藪厚生, 土井智晴, 教材用ロボットに搭載するRGB-Dセンサーを用いた人物の抽出, 第17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, 札幌コンベンションセンター, 2016年, 2F3-1.

(5) 廣田佑馬, 安田晃也, 前田一成, 藪厚生, 金田忠裕, 教材用サービスロボットの開発ー自己位置推定および段差の踏破ー, 数理科学会第35回数理科学講演会, 大阪府立大学, 2016年, B102.

(6) 安田晃也, 廣田佑馬, 櫻井渉, 藪厚生, 金田忠裕, 画像処理を用いたロボットのための移動支援システムの開発, 数理科学会第35回数理科学講演会, 大阪府立大学, 2016年, B103.

(7) 藪厚生, 廣田佑馬, 安田晃也, 中島洸司, 金田忠裕, 教材を目的にしたサービスロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, パシフィコ横浜, 2016年, 2P1-17b5.

(8) 廣田佑馬, 中島洸司, 安田晃也, 藪厚生, 金田忠裕, 深津将生, 教材用サービスロボットの開発ーロボット本体の設計ー, 第16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, 名古屋国際会議場, 2015年, 3I2-1.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藪厚生 (YABU ATSUO)

大阪府立大学工業高等専門学校・

総合工学システム学科・教授

研究者番号: 90413806

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし