神奈川工科大学

スマートロボティクス研究開発センター

研究報告

第 3 巻

2019 年度

工学教育研究推進機構

目次

・生活密着型ロボット・システムの開発
ロボット・メカトロニクス学科　河原崎徳之、兵頭和人
ホームエレクトロニクス開発学科　一色正男

生活密着型ロボット・システムの開発

研究者名：ロボット・メカトロニクス学科　　河原崎　徳之，兵頭　和人
ホームエレクトロニクス開発学科　一色　正男

１．研究の目的

少子高齢化が加速する日本において，労働力としてロボットが人の日常生活作業を補助することが期待される．このような人間の居住空間においてサービスを提供するロボットの実現を阻む主な要因としては，①多様な環境（段差、階段、障害物）への対応能力の低さ，②システムが複雑であるためトラブル対応が困難，③家庭内の家電機器から独立したシステムであること等が挙げられる．本研究では，これらの問題を解決するために，①居住空間における運動制御機能および環境認識機能，②自己診断機能と遠隔地からのメンテナンス機能，③情報ハブ機能を有する生活密着型ロボット・システムの開発を行うことを目的とする．

上記３点についての解決策を以下に示す．

<u>①居住空間における運動制御および高度な環境認識機能</u>

平面内の移動であっても，新しい環境では床面の摩擦が異なり，安定した 2 足歩行を行うための調整時間が長くかかってしまうため，4 足歩行によって歩行面の情報を学習した後に 2 足歩行へ移行する学習システムと周囲の状況(段差の高さ，階段)によって 2 足歩行と 4 足歩行を切り替える歩容生成システムを開発する．

生活支援ロボットは，日常生活で人が扱う多種多様な形状の物品を認識し，確実に把持する機能が必要である．また，家具など多くの物が置かれている生活空間において，物と衝突することなく目的の場所に正確に到達する機能が必要である．これらの機能を実現するために，周囲環境を早く正確に認識するため機械学習を用いた手法を確立する．

<u>②自己診断機能と遠隔地からのメンテナンス</u>

角度センサ(各関節に設置)，慣性計測センサ(各リンクに設置)によって計測される関節角度，リンク姿勢情報と室内測位システムによって計測される手先，脚先の位置情報を照合し駆動システムに異常の検出，動作ごとの消費電力とバッテリー残量から動作の実行可能性を判断する診断システムとネットワークを介した制御システムの調整を行うシステムの開発を行う．

③情報ハブ機能

HEMS との連携し利用者の行動，健康状態，興味などの特徴を抽出するシステムを開発し，利用者に適した家電製品の制御を可能にする．さらに，対話や身振りによりコミュニケーションを通じて，タッチパネル操作が苦手な世代の利用者に対するインーフェースを提供する．

２．研究の必要性及び従来の研究

ロボットは人手不足や高齢化の問題を解決する切り札として着目されている半面、現在実用化されている分野は産業用、エンターテインメント用、ホビー用とごく限られている状況にある。一方、利用者にとって親和性が高いことから人型のインターフェースを有する情報ハブとしてのロボット(生活密着型ロボット)への期待が高まっている。

人間の居住空間においてサービスを提供する人型ロボットの実現を阻む主な要因としては、①多様な環境（段差、階段、障害物）への対応能力の低さ、②専門のスタッフの付き添いなしでの運用が困難、③システムが複雑であるためトラブル対応が困難である等が挙げられる。

工場等の限られた環境下で人のサポートを行うことを目的とした研究は行われているが、2 足歩行のみでは実現可能な動作が限られてしまうため、4 足歩行も選択肢に含めた行動制御システムの開発が必要である。

ロボット用自己診断システムは車輪型ロボットや小型歩行ロボットを対象としたシステムの開発にとどまっている状況であるが、居住空間においてサービスを提供する人型ロボットが家電製品や自動車の様に普及するためには、自己診断システムの開発が必要不可欠である。

利用者の状況に応じた適切なサービスの提供、見守り、健康維持増進を目的としてクラウド連動するシステムは数多く開発されているが、監視されているという嫌悪感やシステムを利用し続けるモチベーションの低下の問題が生じている状況にある。これらの問題を低減するために、情報ハブ機能を有するロボットの開発が必要である。

３．期待される効果

本研究の成果として期待される効果は以下の 4 点である。

①環境変動に自律的に適応する運動制御システム(特に歩行形態の選択)を実現することにより、実験室や事前に環境計測を行ってある会場のみで動作していた歩行ロボットの活躍の場を拡げる点。

②自己診断機能を実現することにより、トラブルシューティング情報を利用者に提供できるようになり、歩行ロボットの普及に貢献できる点。

③情報バブとしてのロボットを実現し、能動的な機器を HEMS に組み込むことにより、使用状況に応じたサービスを提供が可能となるとともに、見守りシステムの問題（監視されている嫌悪感）を低減できる。

④「基礎知識や専門知識を実際に用いて社会・産業の現実問題に応える研究開発や設計を行うことが出来る技術者」を養成するためのプログラムを並行して開発することで、生まれながらにハイテク製品が存在していた世代のエンジニアの育成に貢献できる点。

４．研究の経過及び結果

2019 年度においては、以下の成果を得た。

○計測・制御システムの開発

自律走行を行う際、斜面に対する機体の角度や、走行方向、移動距離を自動で調整しなければならない。そこで図 1 に示す位置に配置した慣性計測センサからのデータを用いた自己位置の推定及び歩行ロボットの行動を制御するシステム（図 2）の開発を行った。

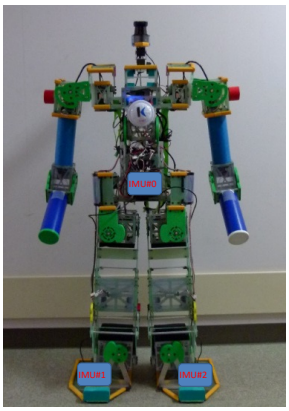


図 1　慣性計測センサ配置図

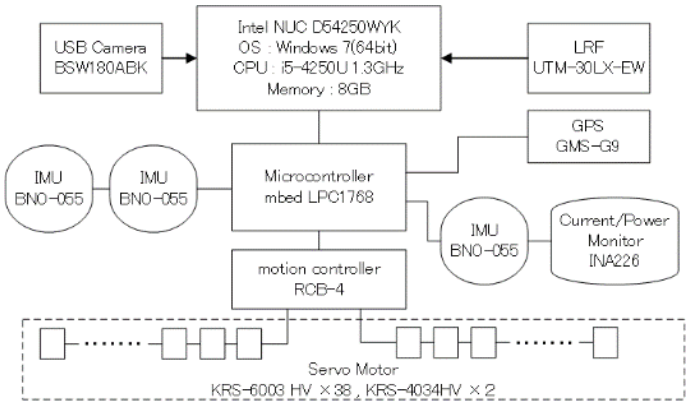


図 2　計測・制御システムの構成図

歩行ロボットでは、車輪型ロボットの様にロータリーエンコーダを用いた自己位置推定を行うことが出来ないため、足部及び腰部に設置した IMU 得られるクォータニオン及び加速度計測値から算出した各脚の線加速度を用いて現在位置の推定を行っている。

各 IMU から得られるクォータニオン$q_j=(q_{iw},q_{ix},q_{iy},q_{iz})^t$, i=0,1,2、及び足部 IMU から得られる加速度 $a_i=(a_{ix},a_{iy},a_{iz})^t$, i=1,2 を用い，次式より遊脚足部の線加速度を算出する。

$$c_j = q_j \begin{bmatrix} 0 \\ a_{jx} - \hat{g}_{jx} \\ a_{jy} - \hat{g}_{jy} \\ a_{jz} - \hat{g}_{jz} \end{bmatrix} \bar{q}_j \qquad j = 1 , 2$$

ここで、$\hat{g}_j$はq_jより推定される重力加速度ベクトル、$\bar{q}_j$はq_jの共役クォータニオンである。

遊脚開始時刻から遊脚終了時刻まで遊脚足部の加速度c_jを 2 重積分することにより、遊脚の移動量の推定し現在位置の推定を行っている。

現在位置の推定精度を向上するためには、環境温度の変動や長時間使用した際のバイアス変動を小さく抑える必要がある。そのため、今年度開発した計測システムでは図 3 に示すように各部位に 4 個の慣性計測センサ(IMU)を配置し計測精度の向上を図った。

各部位ごとの 4 個の IMU は同相ノイズをキャンセルするために図 4 に示す配置とした。部位ごとの姿勢角は次式で算出する。

$$\begin{cases} roll = \quad roll_0 - roll_1 - roll_2 + roll_3 \\ pitch = pitch_0 + pitch_1 - pitch_2 - pitch_3 \\ yaw = \quad yaw_0 + yaw_1 + yaw_2 + yaw_3 \end{cases}$$

ここで$roll_i$、$pitch_i, yaw_i$は IMU#i の姿勢角とする。

また、上式で算出される姿勢角と各 IMU で計測した姿勢角を比較することにより故障した IMU の特定を行うことも可能である。

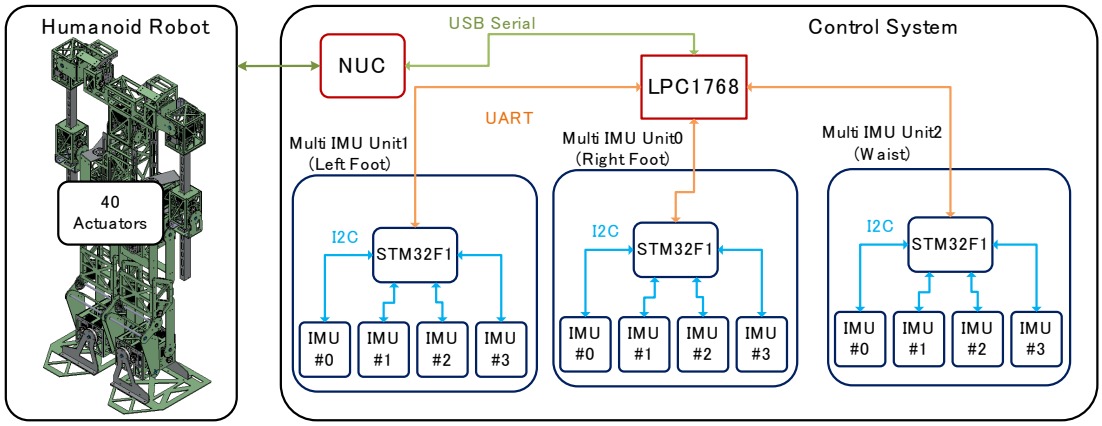


図３　慣性計測センサ(IMU)の多重化

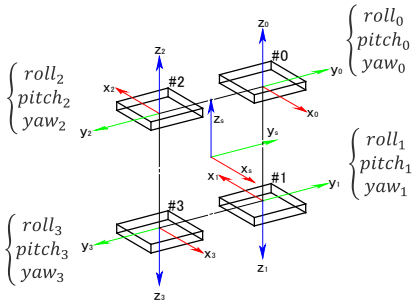


図４　IMU の配置

開発したユニットの温度変化に対する誤差、長時間使用時のバイアス変動は表 1 に示す性能であり、環境温度の変動や長時間使用した際のバイアス変動を約 1/8 に抑えることに成功している。

表１　開発した計測ユニットの誤差特性

	従来の計測ユニット	開発したユニット
温度変化に対する誤差率	0.08[deg/°C]	0.01[deg/°C]
時間変動	2[deg/h]	0.3[deg/h]

○障害物回避システム

居住空間での移動を行う際、家具や利用者の持ち物を回避する必要がある。回避する対象の位置変化に応じた回避行動を実行するためには、ロボット自身が移動経路や動作の変更を行う必要がある。そこで、レーザーレンジファインダ（LRF）及び IMU を用いた実内用自己位置推定システムと移動経路生成システムの開発を行った。

開発したシステムでは、ポテンシャル法(図 5)を用いてロボットの移動経路を生成してい

る。本システムでは LRF によって得られた距離データから障害物の輪郭を抽出し、障害物の場所に斥力、目的地に引力を設定したポテンシャル関数から算出される勾配ベクトル方向へロボットを移動することにより、障害物を回避する軌道の生成を行っている。

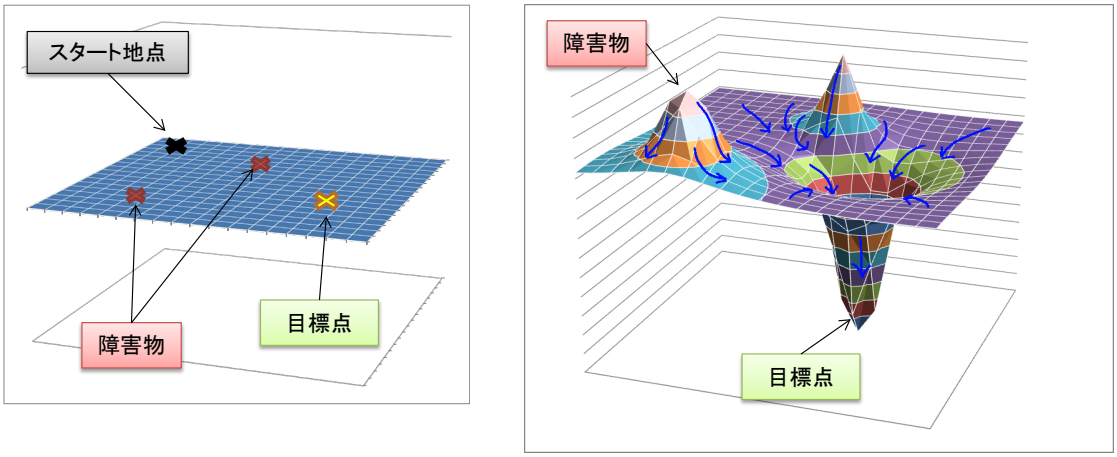
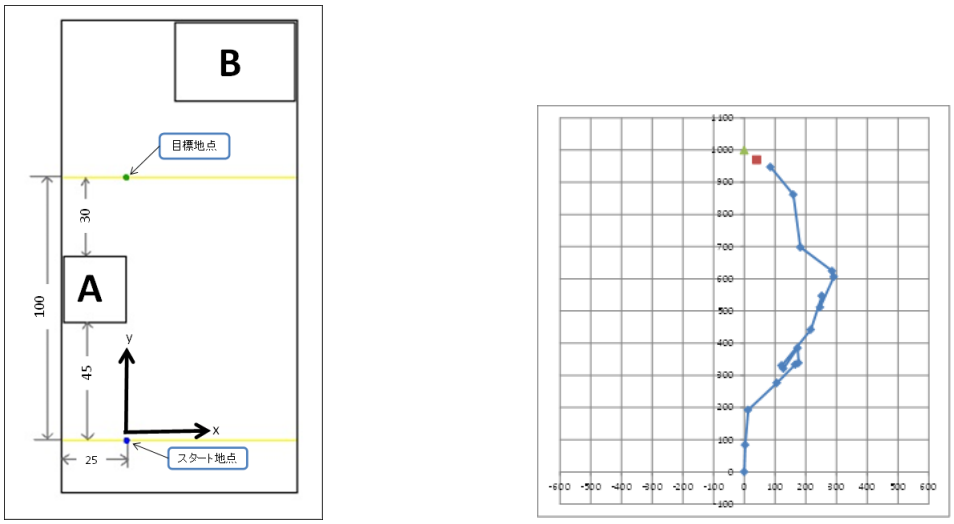


図 5　ポテンシャル法

ポテンシャル関数の更新を行う際には、ロボットと障害物の相対位置の更新が必要である。開発しシステムでは ICP(Iterative Closest Point)を利用したパターンマッチングを用いて相対位置の更新を行っている。2 足歩行ロボットでは頭部に付けた LRF の揺れの影響によって相対位置推定値の精度が低下するため、本システムでは IMU によって推定される姿勢データ及び足跡データと併用することによって移動前後の距離データの共通部分(同じ物体に対応する距離データ)の抽出を行い、相対位置の推定精度の向上を図っている。

図 6 に開発した障害物回避システムの実験結果を示す。同図(a)に示すように目標地点(緑色の▲)、障害物を設定し実験を実施した。同図(b)は歩行ロボットが推定位置(青色の◆)と実際の停止位置(赤色の■)を示している。



(a)　　(b)

図 6　障害物回避実験

マーカー等ロボット外部の環境への下準備を必要とせず、ロボットに搭載したセンサだけで、起動の生成を行いながら、最大 14[cm](ロボットの幅の 1/2)の誤差で自己位置を推定する事が可能であることを確認した。

○生活支援ロボットシステム

人の日常生活の作業を助ける生活支援ロボット KAIT-SMART を設計製作した。本ロボットは World Robot Summit(フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ種目)への出場を目指したものであり，この競技会では棚に置かれた物品を並べ直したり、廃棄したりする作業を行う．そのため，製作した KAIT-SMART は、四輪駆動台車と双腕のマニピュレータからなる。図７に KAIT-SMART の外観を示す。全方向に移動できるよう、各車輪２自由度の４輪構造とした。また、コンビニエンスストアの棚の高さが多段であるため、腕の部分が上下に移動する構造とした。さらに、競技会で把持する対象物（ペットボトルや弁当）にあわせて、ハンド部分は三角形のフレキシブル構造とした。図８に生活支援ロボット・システムの構成を示す。本システムは，開発した生活支援ロボット KAIT-SMART，制御用 PC，視覚センサ，マイクロプロセッサから構成されている．マイクロプロセッサは KAIT-SMART 内部，視覚センサは KAIT-SMART のアーム部の先端に搭載する．視覚センサで得た情報を元に対象物（おにぎり）を認識し，ロボットのハンドで把持する．

図７　生活支援ロボット KAIT-SMART

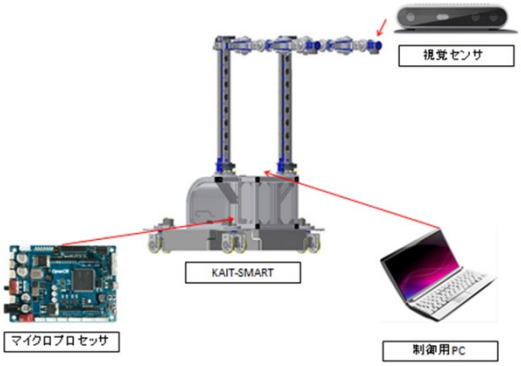


図８　生活支援ロボット・システム

本研究では物体認識のシステムとして，機械学習による物体認識の手法の１つ YOLO(You Only Look Once)を用いた．YOLO の特徴は，物体と思われる領域を検出することと，その領域が何の物体かの判断を行う識別処理を同時に行うことができ，処理時間を短くすることができる．まず，公開されている YOLO を用いたパッケージである darknet をダウンロードする．本研究では機械学習を行うにあたり，教師データ作成のために対象物が映った画像を約 100 枚用意し，その画像データにフィルタをかける，画像の向きを変えるなどの加工を行い，画像データを約 4000 枚に増やした．学習を行うにあたり，Google Colaboratory

を利用した．Colaboratory とは，完全にクラウドで実行される Jupyter ノートブック環境である．学習で使用するデータをアップロードし，Colaboratory 上で機械学習を行った．

対象物へのアプローチ動作実験を行った．フューチャーコンビニエンスストアチャレンジの規定で定められた陳列棚を用意した．背景が映りこまないように棚の背面に白いシートを覆った．KAIT-SMART と棚との距離を約 800mm の位置，対象物を棚の最上段に配置した．今回の実験では，対象物の配置を４パターンに分けた．アーム部に取り付けられた視覚センサの正面，右にずれた位置と左にずれた位置の３パターンと，対象物の向きを 90°回転させた横向きでセンサ正面に配置する１パターンである．実験風景を図９に示す．実験より，１つの対象物の認識成功率は平均 96%，２つの対象物の認識成功率は平均 55%，対象物へのアプローチ動作実験の平均成功率は 66%であった．

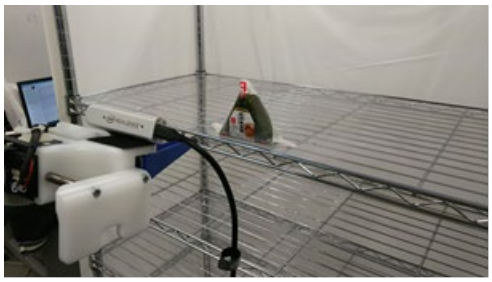


図９　対象物へのアプローチ動作

５．　今後の計画

残された課題は以下のとおりである。

①自己診断機能の開発、HEMS 及びクラウド AI 処理機能との連携機能の開発、見守りを目的としたコミュニケーション機能の向上。

②プロジェクト内で準備した開発案件を題材に大学生参加型開発の実施、連携企業からの依頼案件を題材に大学生参加型開発の実施

玉乗りロボット(教材)の開発と玉乗りロボット競技会の企画、ATSUMO 様と連携

③地域利用実験の実施