

複数台ロボット向け消費電力量削減手法及びシステムの提案

三宮 夏帆† 菅谷 みどり‡

芝浦工業大学 工学部 情報工学科 基盤システム研究室†

1. 研究の背景と目的

近年、世界中でロボットの活躍の場が工場などの製造業から、医療分野、警備、災害現場、輸送現場など、様々なサービス分野に応用され、より身近なものとなっていく一方、それらのサービスの増加に伴う社会の消費電力の上昇が課題となっている[1]. 寒竹らは、複数のロボットの電力消費をサービス利用とハードウェアの電力量という個体差をモデル化し、そのモデルを元にタスクの割り振りを最適化することで、複数台のロボットの累計電力量の削減されることをシミュレーションにより示した[2]. しかし、消費電力量予測モデルの汎用性および、実環境での評価が不十分で、有効性に課題がある。そこで、本研究ではこれらを解決するため (1)モデルの見直し・改善および、(2)実環境での評価のためのシステム設計・実装、評価を実施し、複数台ロボット制御向け消費電力量削減手法の有効性を示すことを目的とした。

2. 提案

本研究では(1)予測モデルの汎用性の検証、(2)動作割り振りを実際に実現するためのシステムの設計・実装・評価を行う。

2.1 消費電力の定義および汎用性検証

本研究では電力消費予測モデルの改善と既存研究と異なるハードウェアでの実機検証とを行う。先行研究の予測式は、個体差を移動距離と、基礎的な電力消費の2項目に分け、さらに移動と、停止から走行の2つの状態をモデル化した[2].

ある個体 x の消費電力(W)は、 $W=d \times CPD_x + r \times CPS_x$ (式1)の式により求める[2]. ここで d (移動距離)、 r (停止状態から走行状態への移行回数)、 CPD_x (個体 x のある速度における移動距離単位の消費電力量)、 CPS_x (個体 x の停止状態から移動状態への移行回数当たりの消費電力量)である。しかし、移動を直接計測できない場合には、移動時に消費する電力エネルギーで評価した方が、汎用性の高いモデルとなる。そこで、本研究では消費電力量(W)をバッテリーの電圧値の降下量

Improvement of Method for Reducing Total Power Consumption by Considering Individual Differences of Multiple Robots.

† Natsuho Sannomiya ‡Midori Sugaya, Faculty engineering, Shibaura Institute of Technology

で表すものとした。バッテリー電圧： $V(v)$ ，モータードライバにかかる電圧との比率： B ，車輪の直径： $R(cm)$ ，左右のモーターにかかるデューティ比の平均： D ，モーターの最大回転数とその時の電圧との比例定数： X ，動作時間： $T(s)$ を掛けることで個体 x の移動距離： $L_x(cm)$ を求めた。

$$L_x = \sum_{t=0}^T V \times B \times X \times R \times \pi \times D \quad (\text{式2})$$

結果はバッテリーの個体差(充電量、満充電時の電圧値)を考慮し、計測開電圧と比較した差を百分率で示した。また、複数台のロボットを動作させたときの全体の消費電力量を各個体の電圧降下量の割合の和とした。

2.2 予備実験

2.2.1 内容

改善した予測式が、異なるロボット個体でも同様のモデルにより予測が可能であるか検証することが目的とし、小型無限軌道ロボットZumoを用いた実機検証を行う。

Zumoでバッテリーの電圧値を取得し、移動距離(式2)と停止状態からの移行状態の回数を求め、それを10回実施した。その値を元に予測式(式1)に当てはめ、提案モデルにより累計の電圧変化量を求めた。

2.2.2 結果

求めた予測式を、 $d=1000(cm)$ 、 $r=50$ として0.1秒ごとの電圧変化量の総和をシミュレーションした。累計の電圧変化量が小さい順に並べた結果を図1に示した。

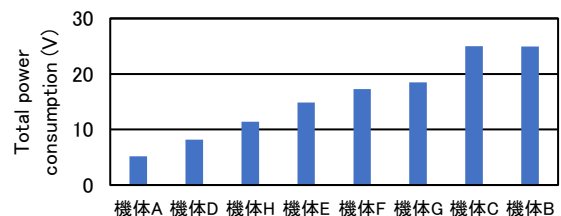


図1: 累計の電圧変化量(V)

Zumoの消費電力量にばらつきの分散は6.78(V)であった。また、Zumoで予測式をあてはめることができ、予測式の汎用性を示せた。

2.3 タスク割り振りによる削減効果の検証

先行研究で行われていなかった、実機による予測式を元にした最適なタスク割り振りを、実

機にて検証する．最適なタスク割り振りは，個々のロボットからデータを収集し，予測式を元に最適な動作割り振りを決定する．具体的には，消費電力が多い個体に少ないタスク，消費電力が少ない個体に多いタスクを割り振る[2]．これらの処理は全体の結果を集計しソートを適用することから，一極集中処理が望ましい．そのため，サーバクライアント形式の非同期分散処理システムを開発するものとした．

2.4 システム設計と実装

サーバ上での処理は，個々のロボットから収集するデータを元にした予測式の作成，予測式に基づく，割り振りの最適化の2段階で実施する．システムは対象となる複数台のロボットと，サーバにより構成する．

各々のロボットはサーバから送信されたタスク命令を受け取り，指示に従い動作する．1タスクが終了するたび，移動距離，停止状態から動作状態への移行回数，バッテリー電圧の3つのデータをサーバに送信する．

サーバは送られた情報をもとに各ロボットの移動距離，停止状態から動作状態への移行回数，バッテリー電圧を元に重回帰分析を行い消費電力の予測式を算出する．求めた予測式から，ロボットごとの消費電力値をもとに消費電力に基づいた最適なタスクの組み合わせを計算する．最適なタスクは消費電力の少ない順にクイックソートすることで実現する．

ロボットでは，モーターを備えたロボット本体と制御マイコン(Arduino)，通信・制御のためのRaspberryPiで構成する．また，命令とデータをROS(Robot Operating System)による非同期通信により制御するものとして開発した．図2に実装したシステムのブロック図を示す．

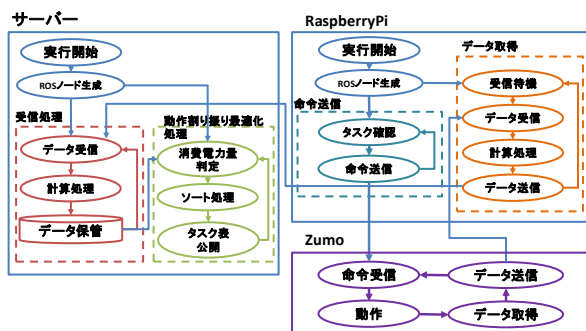
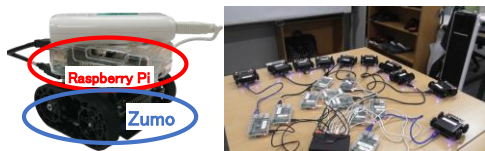


図2：システム設計図

図3：電圧取得基盤とZumo+ラズパイ構成(左) 複数台での実機テストの様子(右)



3. 評価

3.1 概要

予備実験にて消費電力量の個体差の評価モデルをもとに，ROSのpub/subを実装し，開発したシステムでタスク割り振り最適化処理と累計の消費電力量の削減効果を評価する．Zumo10台を用いてタスク割り振り最適化処理を行った時と行わなかった時で累計の消費電力量を比較し，最適化効果の検証を行う．

3.2 実験結果

図4にニッケル水素電池での動作による計測開始から4時間までの累計の消費電力量とその削減効果の割合を示した．

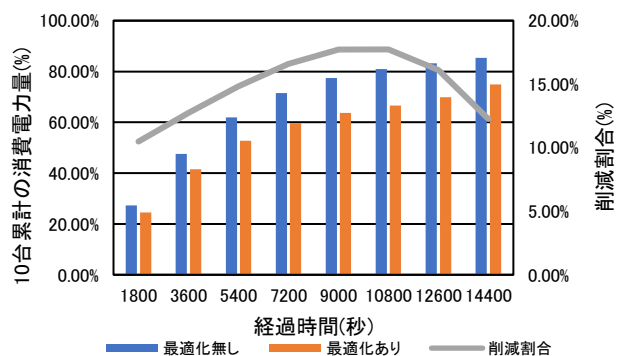


図4：タスク割り振り最適化処理の有無による消費電力量の比較

削減効果の割合は開始から約3時間でピークに達した．一方でピーク後は削減効果が減少した．削減効果は10%強となり，先行研究と比較高い効果を得ることができた．これは，Zumoのハードウェアの個体差が先行研究のハードに比べ顕著であること，また長時間のデータ取得が可能であることによる母数の増加等が関係していると考えられる．

4. まとめと課題

先行研究の課題をもとにZumoを用いた実証実験を実施し，動作割り振り最適化手法に累計の消費電力量の削減効果があることを示した．今後は，無線通信等の実際の複数台ロボットを用いたサービスに沿った動作を要素として追加し，より高精度な消費電力量の予測とそれらを用いたタスク割り振り最適化処理による削減効果の方法の検討を行う．

参考文献

[1] Sachiko Nakagawa “Distributed Task Processing Considering Robot Power Consumption in Cloud Robotics” DICO2013. 2013, 3-10p
 [2] Toshiyuki Kantake antake i Kantake “Distributed Task Processing Considering Rmption of multiple robots” Embedded Systems Symposium 2018 Proceedings. 2018, 108-109p