

複数台の分散移動ロボットの動作と電力消費特性に基づく 管理手法の提案

清水 航平[†] 中山 悟[†] 菅谷 みどり[†]

芝浦工業大学[†]

1. 研究の背景と目的

近年ロボットの活躍の場が、製造業からサービス業へと広がりつつあり、より身近なものとなってきた[1]。ロボットは個体や周辺の外部環境、使われ方により動作特性が異なり、その結果、電力消費特性が異なることが考えられる。特にロボットは電力消費特性を把握し、管理することが安定したサービスの継続上、重要であり、こうした特性を把握し、電力消費を全体として抑える仕組みが必要である。従来ハードウェアレベルで電力消費を抑えるために、軽量化や回路の効率化などの手法は取られていた[2]がこれらは出荷後のサービス特性をもとに変更が不能である。そこで本研究では出荷後であっても、ソフトウェアの書き換えを行うことを前提とした場合の電力消費低減のための手法を提案する。具体的には、(1)複数台のロボットの動作特性の差異に基づく電力、電力消費特性差をクラスタ分析により把握する。(2)制御プログラムを交換することで全体の消費電力を低減する。iRobot Create1, 2 のハードウェア、動作特性をもとに評価を行ったところ、入れ替えにより、入れ替えしない場合と比較して、全体バッテリー消費量が平均 3.82%削減できることが確認できた。

2. ロボットの特性把握

2.1 予備実験

本研究の目的を実現するために、ロボットの動作特性と電力消費特性を調査した。できるだけ実際のデータを利用するために、本学一年生 110 人を対象としたロボット PBL のデータを用いた。これは、20 台のロボット、それぞれに異なる制御プログラムの実装と動作実験を行い、その動作ログの分析を行うものである。ロボットは iRobot Create 1 を 10 台と、iRobot Create 2 を 10 台の計 20 台を用いた。動作ログはプログラムの実行日時、API と引数、センサデータとした。本実験では、動作特性を API の引数から推測した移動距離とし、電力消費特性をロボットのセンサから取得したバッテリー残量とした。

2.2 クラスタ分析

取得したログから、移動距離とバッテリー消費量を特徴量として最短距離法を用い全データに対してクラスタ分析を行った。その結果を図 1 に示す。分析に利用したデータは実験途中に充電を行ったデータを省いた 12 例で行う。データ番号 1~5 は iRobot Create1, 6~12 は iRobot Create2 である。横軸はデータ間の平方距離に基づいている。

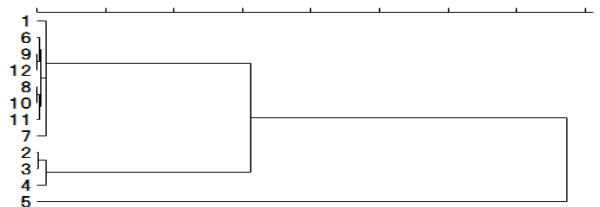


図1 デンドログラム（実験結果）

図1より、各ハードウェア同士が似た特徴を示し、同じグループに属していると考えられる。また、今回の実験では各グループで時間当たりの消費電力に大きな差は見られなかった。これは全チームが同じ課題に着手し、ほぼ同じ動作を行うプログラムを制作したためであると考えられる。

次に、図2にある個体の分析データを示す。

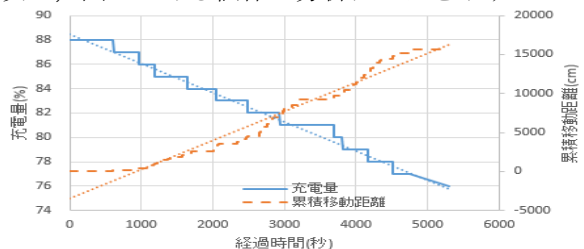


図2 バッテリー消費量と移動距離の相関

図2より移動距離とバッテリー消費量の関係を見るために、相関分析を行った。その結果、高い負の相関がみられた。 $(r = -0.9827)$ ここに掲載していない他データについても同様に高い負の相関と r 値がみられたことから動作特性と電力消費特性の相関に基づく電力負荷の予測が可能であると考えられる。

2.3 動作特性

より厳密に動作特性を分析するために、予備実験2を行った。ロボットが停止状態から動作を始める際、回転動作時よりも直進動作時に電力消費が大きいと予想をたてて実験を行った。iRobot Create 1 を 1 台用いて 3 メートル直進時に 50 セン

「A System for Multi Distributed Robots Based on Characteristic of Moving and Battery Consumption」

[†]Shibaura Institute of Technology

チ毎に1秒停止する場合と停止しない場合、また、同時間回転動作を行う場合の消費電力を比較した。この動作を25往復行い、各30回計測を行った。その結果の平均バッテリー消費量を以下に示す。

表1 各動作時の平均バッテリー消費量

直進動作(50cm毎に停止)	5. 18%
直進動作(無停止)	4. 05%
回転動作(無停止)	3. 66%

表1よりロボットが停止状態から動作を始める際、回転動作時よりも直進動作時に電力消費が大きいと考えられる。Create2 に関しても同様の実験を行い、Create1 と似た傾向がみられた。このことから、シミュレータ実装においては動作特性を動作開始回数、直進動作量、回転動作量に細分化してクラスタ分析を行うものとした。

3. 提案・設計・実装

3. 1 提案

予備実験から、ほぼ同じ動作を行う場合でも、他の要因で個体により動作特性が異なることが考えられる。そのためロボットの特性としてX軸をグループの移動距離あたりの平均バッテリー消費量(ABCd)、Y軸をグループの時間当たりの平均バッテリー消費量(ABCt)とした場合、4つのグループ(a, b, c, d Group)に分けられる(図3)。ABCdが大きかつABCtが大きい②と、ABCdが小さかつABCtが小さい③の制御プログラムを交換することで、複数のロボット全体としての電力負荷を低減させることが可能であると考えられる。

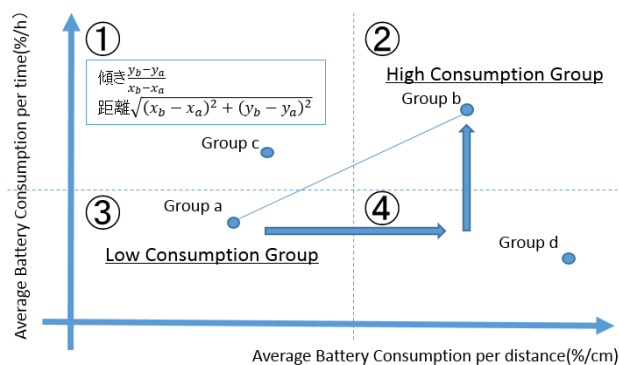


図3 ロボットの特性

今後、②に属すグループをHCG、③に属すグループをLCG、ロボット x の移動距離 x_{dist} とする。

3. 2 システム概要

本提案の有効性を確認するため、シミュレータを製作し、流れは以下の通り。

- (1) ログ・センサデータ取得
- (2) グループ分け (クラスタ分析)
- (3) 各グループの平均バッテリー消費量計算
- (4) 交換対象グループの組み合わせ判定
- (5) 制御プログラム交換
- (6) 全体バッテリー消費量計算

(2)について4つのグループに分ける

(4)について各グループ間の平均 ABCt, ABCd の傾きが正かつ点間の距離が最大であるグループを

探索し、交換対象グループを決定する(図3)。

(5)について HCG で移動距離が大きい個体と LCG で移動距離が小さい個体の移動距離を交換する。

(6)について以下の式で計算を行う。

$$\sum_x (x_{dist_{LCG}} \times BCAd_{LCG}) + \sum_x (x_{dist_{HCG}} \times BCAd_{HCG})$$

4. 実験・評価

4. 1 実験内容

予備実験のデータを用いて、シミュレーションを行う。制御プログラムの入れ替えを行わない場合と行う場合で、複数台のロボット全体での消費電力を比較する。しかし、予備実験のデータでシミュレーションを行ったところ、全体バッテリー消費量が5.43%増加し、本研究の有効性を確認できなかった。そのため、予め用意したデータを用いて実験を行った。

用意するデータは、ロボットの一時間の移動距離とバッテリー消費量である。ロボットの最大速度から一時間で移動できる最大移動距離を1800メートル、最大バッテリー消費量(BC)を10パーセントとし、それを最大値とした乱数をそれぞれ20個生成し、これを100回行った。理想的な結果を得るため、乱数の値域を以下の2つの範囲に限定した。

(1) $0 \leq \text{distance} \leq 900, 0 \leq BC \leq 5$

(2) $900 \leq \text{distance} \leq 1800, 5 \leq BC \leq 10$

プログラム交換前と交換後の全体バッテリー消費量を比較した。

4. 2 実験結果・考察

実験の結果、交換後に全体バッテリー消費量が減少したのは100回中93回、電力が削減された。増加した3回、交換対象グループの組み合わせの判定に失敗した4回に関しては検討が必要である。また、ABCdがABCtに比べて非常に小さい値のため、ABCdがグループ間距離に与える影響が小さくなり、正確に判定できていないことが考えられる。

5. 結論

本研究では、ロボットの制御プログラムを入れ替えることで複数台のロボットの電力負荷を軽減させる手法の提案を行い、その有効性を確認するためのシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、本提案は有効であると考えられる。

サービスロボットはその性質上、カメラやロボットアーム等の機器を搭載する場合がある[3]ため、今後は、機器の影響や、リアルタイムに制御プログラムを入れ替えることを検討する。

参考文献

- [1] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. "NEDO ロボット白書 2014". 2015.
- [2] 乾貴志. "電力再利用可能な蓄電池バランスの試作と性能評価". 情報処理学会研究報告. 2015.
- [3] 長峰貴矩. "見守りロボットの省電力化". 平成24年度芝浦工業大学卒業論文. 2012.