

## 複数台の移動ロボットのバッテリー残量を考慮した総電力削減手法

基盤システムソフトウェア研究室

指導教員 菅谷みどり

AL13037 寒竹俊之

## 背景

- ロボットの普及の促進[1]
  - 複数ロボットを利用したサービスの拡大
    - 警備、掃除ロボット、救助ロボット
- 複数台ロボットの制御
  - 故障管理、最適配置、全体の電力管理
- 全体の電力管理
  - 重要な課題であるが一部が十分に検討されていない



[1]日本経済再生本部・経済産業省.ロボット新戦略. 2016年

2017/2/14

2016年度卒業発表会

2

## 関連技術

- ハードウェア単体に対する消費電力の削減
  - DVFS(Dynamic Voltage and Frequency Scaling) [2]
  - PWM(Pulse Width Modulation)制御
- 複数ロボットの管理技術
  - 使用されるロボットのバッテリー残量を考慮したタスク分散処理[3]
- 総電力削減技術
  - サーバへのタスク配置がデータセンタの総消費電力に与える影響の評価[4]

複数ロボットに対する総電力削減技術は十分議論されていない

2017/2/14

2016年度卒業発表会

3

## 課題

- 複数ロボットを用いたサービスの課題
  - バッテリー残量の予測が困難
    - 使われる状況によって動作が同一ではない
  - 個体差の存在
    - 同機種の個体でもバッテリーの疲労などによって電力消費の速さが異なる

2017/2/14

2016年度卒業発表会

4

## 先行研究

- 複数台ロボットの省電力[5]
- 消費電力削減方法
  - 下記の個体差を動作時に発見し、仕事の交換により、総電力を削減
    - 差異
      - 個体ごとの消費電力の変化
      - 個体ごとの移動距離の変化
    - 仕事(移動距離)の交換により総電力を削減

[5]清水航平“ロボットの動作特性の差異による電力消費特性の分析”. 芝浦工業大学. 2015

2017/2/14

2016年度卒業発表会

5

## 先行研究の課題

- 先行研究で考慮された消費電力の要因
  - 時間当たりの消費電力
  - 距離当たりの消費電力

実際の動作(速度, 停止からの動作)  
などは考慮していない

消費電力の上昇が個体差によるものか,  
動作によるものかの判別が困難

2017/2/14

2016年度卒業発表会

6

## 目的と提案

- 目的
  - 複数台の移動ロボットを使用した際の総電力削減
- 提案
  - 予測式を元にしたシミュレータを製作
    - 予測式を使用し総電力が最小となる個体と動作の組み合わせを求める手法を検証
  - 実機データを基に予測式を構築
    - バッテリー消費量を消費電力と定義
    - 個体差をより明確に取得する

## 消費電力に影響を与える要因

- 以下の要因が影響を与えると思われる
  1. 移動距離による消費電力の変化  
今回の予測式の要素
  2. 速度
    - モーターの負荷による消費電力の変化
  3. 停止状態からの動作
    - 先行研究で意図的に停止回数を増やした場合消費電力の上昇が確認

## 消費電力予測式

MC <sub>all</sub> [%]	すべてのMC <sub>n</sub> の合計(総電力)
MC <sub>n</sub> [%]	ある個体(n)の消費電力
CP <sub>n</sub> <sup>V</sup> [%]	速度V[cm/s]のある個体(n)の1cm当たりの消費電力
CS <sub>n</sub> <sup>V</sup> [%]	速度V[cm/s]のある個体(n)の1回当たりの停止状態からの動作による消費電力
D <sub>n</sub> [cm]	ある個体(n)の移動距離
SN <sub>n</sub>	ある個体(n)の停止回数

全体の消費電力(%):  $MC_{all} = \sum_i^n MC_i$

個体の消費電力(%):  $MC_n = CP_n^V \times D_n + CS_n^V \times SN_n$

速度毎の移動による距離  
当たりの消費電力の予測

速度毎の停止状態からの  
動作による消費電力の上昇量

CP <sub>n</sub> <sup>V</sup> [%]	1cm当たりの消費電力
CS <sub>n</sub> <sup>V</sup> [%]	1回当たりの停止状態からの動作による消費電力
MC <sub>all</sub> Start[%]	入れ替えていない状態の個体と動作の組み合わせの総電力
MC <sub>all</sub> Max[%]	総電力が最大となる組み合わせの総電力
MC <sub>all</sub> Min[%]	総電力が最小となる組み合わせの総電力

### シミュレータ

台数Nを入力し設定

CP<sub>n</sub><sup>V</sup>、CS<sub>n</sub><sup>V</sup>に乱数を入力

動作の速度(V<sub>n</sub>)、距離(D<sub>n</sub>)、停止回数(SN<sub>n</sub>)に乱数を台数分設定

個体と動作の組み合わせを設定、基準値(MC<sub>all</sub>Start)を求める

個体(CP<sub>n</sub><sup>V</sup>、CS<sub>n</sub><sup>V</sup>)と動作(V<sub>n</sub>、D<sub>n</sub>、SN<sub>n</sub>)の組み合わせをすべて算出  
総電力の最大値(MC<sub>all</sub>Max)、最小値(MC<sub>all</sub>Min)を求める

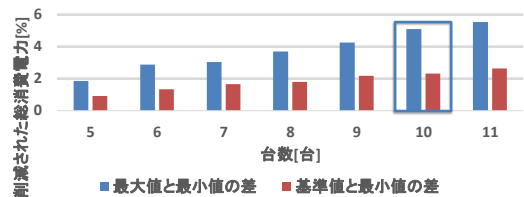
基準値と最小値の差、最大値と最小値の差の二つを求める

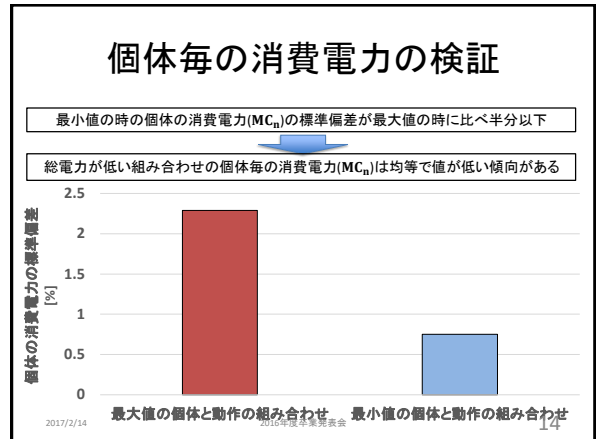
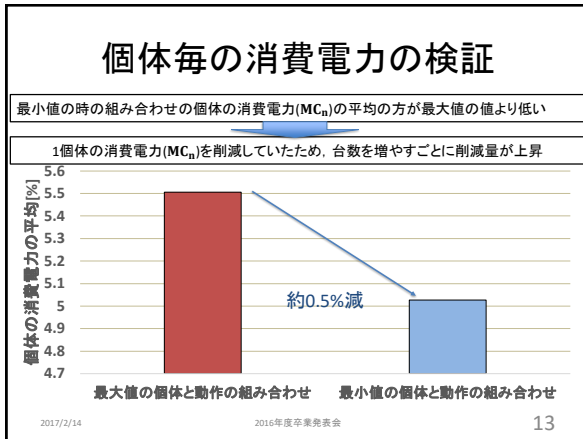
## 検証した値

台数: N	5台 ~ 11台
CP <sub>n</sub> <sup>V</sup>	速度V時の負の標準偏差 < CP <sub>n</sub> <sup>V</sup> < 速度V時の正の標準偏差
CS <sub>n</sub> <sup>V</sup>	速度V時の負の標準偏差 < CS <sub>n</sub> <sup>V</sup> < 速度V時の正の標準偏差
動作の速度: V[cm/s]	5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0
動作の距離: D[cm]	5,000 ~ 10,000
動作の停止回数[回]	300 ~ 800

## シミュレーション結果

- 5台と9台の値を比較すると2倍以上  
→ 台数の増加につれ、削減量が上昇





### 実験

- 目的: 予測式の以下の項目の検証
  - CP<sub>n</sub><sup>V</sup>、CS<sub>n</sub><sup>V</sup>を実機で検証
    - 同一機種での個体差
    - 速度変化(V)の影響 (CP<sub>n</sub><sup>V</sup>、CS<sub>n</sub><sup>V</sup>)
  - 予測式の精度の確認に用いるデータの取得

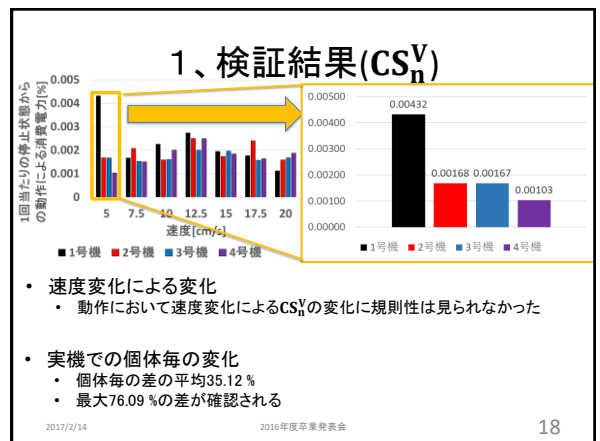
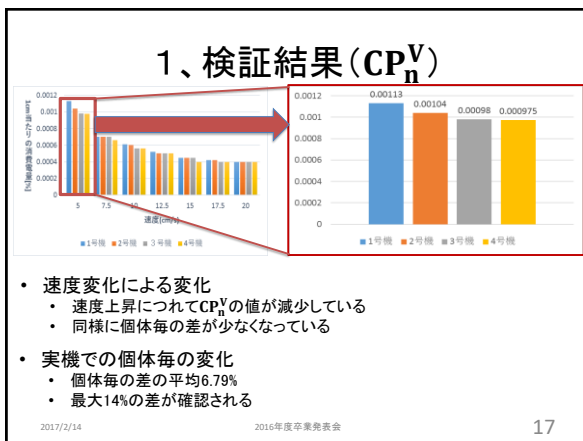
2017/2/14 2016年度卒業発表会 15

### 実験環境

- 使用機材
  - Raspberry Pi 2 Model B 4台
  - iRobot Create1[6] 4台
- 環境
  - 囲いを作りその中で移動を制限させた状態で稼働させる

[6]iRobot Corporation. "iRobot Create OPEN INTERFACE".

2017/2/14 2016年度卒業発表会 16



## 問題点

- 予測式の精度
  - 実測値との比較した所、低速時に誤差が大きい
    - 例 個体:N、消費電力:X 速度:VEL、距離:Dis、停止回数:STN
    - 予測値:  $MC_N = CP_N^{VEL} * Dis + CS_N^{VEL} * STN$
    - 誤差 =  $MC_N - X$
- シミュレータの処理時間
  - 検証する台数を増加
  - 指数関数的に処理時間が増大

2017/2/14

2016年度卒業発表会

19

## 予測式の精度

- 実測値とそれに対応した移動距離と停止回数で求めた予測式の差分

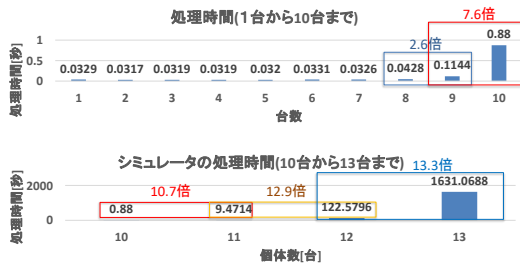


2017/2/14

2016年度卒業発表会

20

## シミュレータの処理時間



2017/2/14

2016年度卒業発表会

21

## シミュレータの処理時間

台数	総処理時間	入れ替え部分
5	0.032	0
6	0.0331	0
全ての組み合わせをもとめているため、組み合わせが増加することで処理時間が上昇		
10	0.88	0.8476
11	9.4714	9.4393
12	122.5796	122.5487
13	1631.069	1631.037

2017/2/14

2016年度卒業発表会

22

## まとめ

- シミュレータ上での評価
  - 提案手法で総電力の削減が可能
- 課題
  - シミュレーションの改良
    - 1動作で複数の速度を用いている動作に対応
    - 処理時間の短縮
  - 予測式の精度の改善
    - 変数の実測値の測定方法の検討
    - 予測式自体の改善

2017/2/14

2016年度卒業発表会

23

## 参考文献

- [1] 日本経済再生本部・経済産業省. ロボット新戦略. 2016年. <http://www.meti.go.jp/press/2014/01/20150123004/20150123004b.pdf> (参照 2017-02-02)
- [2] 高須雅義ら “組み込みプロセッサにおける省電力機構の実機評価”. 2012
- [3] 中川幸子ら “クラウドロボティクスにおけるロボットの消費電力を考慮したタスク分散処理”. 2013
- [4] 菅沼孝二, 山口孝明, 谷口義明, 長谷川剛, 中村奏, 浮田宗伯, 松田和浩, 松岡茂登 “サーバへのタスク配置がデータセンターの総消費電力に与える影響の評価”
- [5] 清水航平 “ロボットの動作特性の差異による電力消費特性の分析”. 芝浦工業大学. 2015
- [6] iRobot Corporation. iRobot Create OPEN INTERFACE.
- [http://www.irobot.com/filelibrary/pdfs/hrd/create/Create%20Open%20Interface\\_v2.pdf](http://www.irobot.com/filelibrary/pdfs/hrd/create/Create%20Open%20Interface_v2.pdf). (参照 2017-02-02)

2017/2/14

2016年度卒業発表会

24

ご清聴ありがとうございました