

マルチロボットセンサネットワークにおける 駆動系の電力特性を考慮したデータ転送手法

松原 俊太郎[†] 鈴木 亮平[†] 岩井 将行^{††} 瀬崎 薫^{†††}

東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻[†] 東京大学生産技術研究所^{††}

東京大学空間情報科学研究センター^{†††}

1 はじめに

近年、組み込み技術やセンシング技術、ロボット技術の発展により、移動によるセンシングやデータ配送を可能とする移動ロボットをセンサノードとして用いた無線ネットワークシステムの実現可能性が高まっている。我々は、自律的に動作する移動ロボットによって構成されるネットワークを Multi-Robot Sensor Networks (MRSN) と呼ぶ。MRSN においては、センサデータを宛先へ転送する手段として、無線通信と物理的移動の 2 つを利用する事ができる。これらを状況に応じて組み合わせる事で、柔軟かつ強固なネットワークを構築できる。特に、利用可能な移動ロボットの数が限られる状況下においては、無線通信によるデータ転送よりも移動によるデータ配送の割合が多くなり、ロボットの移動にかかる電力消費を抑える事がネットワーク性能を維持する上で重要な課題となる。本稿では、移動ロボットの駆動系、すなわち、モータの電力特性を考慮した移動ロボットの最適データ転送手法を提案し、シミュレーションによる評価結果を示す。

2 マルチロボットセンサネットワーク

MRSN におけるデータ転送には、既に RFC 化されている Mobile Ad hoc Networks (MANET) のルーティングプロトコルを利用する事が可能である。しかし、MANET のルーティングプロトコルはデータ送信時に送信元から宛先までの無線経路が保証されている必要がある。MRSN においてはノードの移動制御が可能であり、移動制御を積極的に利用する事で、データ送信時に宛先までの経路が保証されていない場合でも、バッテリレー方式等を利用し、データ配送を行う事が可能となる [1][2]。しかしノードの移動制御を利用した既存のデータ配送手法では、移動ロボットの駆動系にかかる電力消費を考慮した設計がされていない。

3 駆動系の電力消費

駆動系の電力消費量の算出については、[3] で提案された手法を利用する。[3] では停止状態からのモータの負荷トルクや移動予定距離を考慮した最適なモータ角速度 (移動速度) の決定を行っている。本稿では、[3] を拡張し、停止状態だけでなく移動中 (初速度が 0 でない場合) においても、最適速度の決定を行う。互いに宛先の異なるデータを保持した移動ロボットが出会った時、従来の手法ではデータを交換する事によって移動距離の短縮が可能ならば、データ交換を行う。しかし、データ交換によって、宛先までの移動距離が変わってしまうため、再び、最適な速度に達するまでには加速あるいは減速を行う必要があり、移動距離は短縮されたが、加減速に伴うオーバーヘッドが移動距離短縮による電力消費量の削減分を上回ってしまう場合がある。そこで本稿では、駆動系におけるオーバーヘッドを推定し、それを踏まえ、データ交換を行うか、行わないかの決定を行う。

4 提案手法

本稿では、複数台の移動ロボットが存在する環境下における最適データ転送手法として、Energy Efficient Data Delivering Algorithm (EEDDA) を提案する。以下に、想定する環境と提案アルゴリズムの概要を示す。

4.1 想定環境・前提

本稿では、固定のシンクノードと移動ロボットによって構築されたネットワークを想定している。シンクは外部ネットワーク等に接続され、移動ロボットがセンシングしたデータを収集する。また、シンクは複数存在し、各々が異なる種類のデータを収集、あるいは異なるネットワークに収集したデータを送り出す。移動ロボットは、無線通信と自己位置同定の機能を持った車輪駆動型とする。全ての移動ロボットは、全シンクの位置情報を初めから知っているものとし、周囲に存在する他の移動ロボットについては、定期的なビーコンによって発見する事ができる。

Optimal Data Delivering Method of Mobile Robot Considering Motor Characteristics in Multi-Robot Sensor Networks.

[†]Shuntaro Matsubara, [†]Ryohei Suzuki, ^{††}Masayuki Iwai, ^{†††}Kaoru Sezaki.

[†]Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo.

^{††}Institute of Industrial Science, The University of Tokyo.

^{†††}Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo.

```

1:  $D_1 \leftarrow (x, y)$  coordinates of destination
2: if BeaconReply message received then
3:    $E_1 \leftarrow (x, y)$  coordinates of current (encounter) position
4:    $E_2 \leftarrow (x, y)$  coordinates of corresponding node's current (encounter) position
5:    $D_2 \leftarrow (x, y)$  coordinates of corresponding node's destination
6:   if  $\{|Dist(E_1, D_1) + Dist(E_2, D_2)\} - \{|Dist(E_1, D_2) + Dist(E_2, D_1)\} > 0$ 
        $\{Dist(E_i, D_j)$  is distance from position  $E_i$  to position  $D_j\}$  then
7:     if  $\{E(Dist(E_1, D_1), \omega_{mit,1}) + E(Dist(E_2, D_2), \omega_{mit,2})$ 
           $- [E(Dist(E_1, D_2), \omega_{mit,1}) + E(Dist(E_2, D_1), \omega_{mit,2})] \leq 0$ 
           $\{\omega_{mit,i}$  is node $_i$ 's current angular velocity. $\}$  then
8:       send: DataRelayingREJECT message to corresponding node
9:     else
10:      send: DataRelayingACCEPT message to corresponding node
11:    end if
12:  end if
13: end if
    
```

図 1: Energy Efficient Data Delivering Algorithm

4.2 アルゴリズム

図 1 に提案手法のアルゴリズムを示す。データ配送中の移動ロボット同士が出会った際、無線通信によって、自己の位置と移動速度、保持データの宛先位置の情報を相手と交換する。相手の情報を受け取った移動ロボットは、両者の現在位置から双方の宛先までの距離を算出し、データ交換する場合としない場合での合計移動距離を求める。データ交換する事で移動距離が短縮可能ならば、データ交換動作に伴うオーバーヘッドを加味した駆動系の電力消費量を推定する。それをもとに、データ交換を行うかどうかを判定する。交換する方が低消費ならば、移動ロボットは互いのデータを交換し、新たな宛先へ最適速度で移動を再開する。

5 評価

提案手法の有効性を評価するために、2 台の移動ロボットが遭遇する状況に対し、駆動系の電力消費量についてシミュレーションを行った。シミュレーションには、2 台の移動ロボットのスタート地点と、宛先となるシンクに対応した 4 点からなるシナリオを用いた。一定範囲内に各点をランダムに配置し、双方の移動経路が交差するケースを 100 通り抽出した。これらのシナリオに対して、移動距離の短縮が可能な場合は必ず

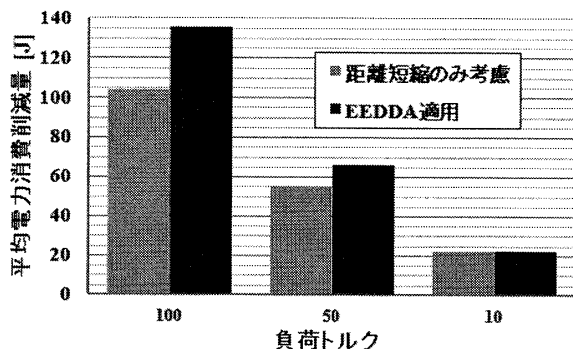


図 2: 平均電力消費削減量

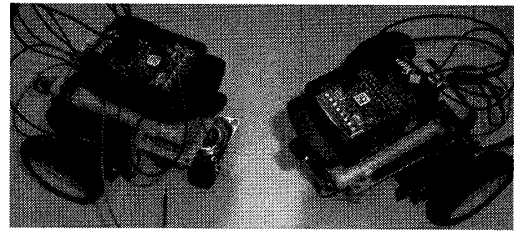


図 3: プロトタイプロボット

データ交換を行う方法と、提案手法 EEDDA を適用し、各シナリオにおいて 2 台の移動ロボットが消費する電力量の合計を算出した。更に、データ交換を行わない場合の電力消費量を基準として、各シナリオにおける各手法の電力消費削減量を求めた。全シナリオの削減量から平均値を算出し、図 2 に示す。

今回、3 段階の負荷トルクについて同様のシミュレーションを行った。負荷トルクが少ない場合には、あまり差が見えないが、負荷がある程度大きい状況においては、EEDDA を適用する事で、従来の手法よりも電力消費量を削減できる事がわかる。実環境において、移動ロボットは必ず自己および環境から負荷を受けるため、駆動系には相応の負荷トルクがかかると予測される。故に、実環境においても EEDDA が十分に有効であると考えられる。

6 まとめ

本稿では、マルチロボットセンサネットワークにおける移動ロボットの電力消費量を削減する方法として、駆動系の電力特性を考慮したデータ配送手法を提案し、その概要とシミュレーションによる評価結果を示した。今後の予定として、SunSPOT を用いたプロトタイプロボット (図 3) を製作し、実験を行い、実環境において移動ロボットが受ける影響の測定を行う。

謝辞

本研究の一部は、科研費 (20-10136)、また、International Communications Foundation (ICF) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] W. Zhao, M. Ammar and E. Zegura. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks. In Proc. of MobiHoc 2004, May. 2004.
- [2] WISER project, <http://old.u-netlab.jp/wiser/>
- [3] Guiling Wang, M. Irwin, P. Berman, Haoying Fu, and T. La Porta. Optimizing sensor movement planning for energy efficiency. In Proc. of International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED 2005), 2005.