

# 移動可能ルート情報の共有による ロボット・アドホックネットワーク協調制御方式

森木 正人<sup>†</sup> 王 彪<sup>†</sup> 大坐島 智<sup>†</sup> 川島 幸之助<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東京農工大学

## 1 はじめに

近年アドホックネットワークに対する注目が高まっており、無線 LAN を備えた可動ロボットを用いる監視ネットワークなどでの利用が考えられている[1]。このような監視ネットワークでは、各ロボットは状況に応じて適切に移動できる。これによって、通信の回復や通信の品質改善を行うことができる。このような場合に、ロボットの移動に目的地の位置情報だけでなく、そこに到達するまでの移動可能なルート情報が有効に働くことが考えられる。本稿ではルート情報を用いたロボット間協調制御方式を提案し、実装によりその有効性を検証する。

## 2 ロボット間協調制御方式

### 2.1 ネットワーク構成

ロボット及び制御 PC は無線 LAN を用いてアドホックネットワークを構成する。ロボット及び制御 PC はあらかじめ同一のマルチキャストグループに所属しており、ネットワークに参加するために自らの位置情報及び IP 情報をマルチキャストグループに対して送信する。受信したロボットは位置情報と IP 情報を返信し、他のロボットへ新しいネットワーク参加者として報告を行う。これらの情報から、ネットワークに参加しているすべてのロボットの位置情報と IP 情報、およびホップ数からなるアプリケーションレベルでルーティングテーブルを作成する。この際、制御 PC に近い方向が上流、反対が下流とする。制御 PC からの入力により、ネットワーク構成を手動で変更可能である。

### 2.2 移動可能ルート情報

ネットワークに参加したロボットは、制御 PC からの命令により移動を行う。移動開始時、ロボットは現在位置と目的地の位置から、保存している移動可能ルートが使用可能か確認を行う。移動可能なルートが見つかった場合には、ルート情報に従って移動する。該当するルートが無い場合、移動開始前の位置と目的位置を記録し、移動を開始する。移動中障害物を検知せず移動を完了した場合、ネットワークに参加している隣接のロボットへ移動可能ルートとして報告する。

移動を終えたロボットは自己の位置情報を他のロボットへ報告する。これによってすべてのロボット及び制御 PC は、同一の移動可能ルート情報を共有する。

### 2.3 通信リンク確認

各ロボットはリンク状態を確認するために、制御 PC から送られてくる Ping メッセージとそれに対する Reply メッセージを監視する。Ping メッセージは制御 PC から、よりホップ数の多いロボット方向へと転送される。Ping メッセージを受けとったロボットは、制御 PC 方向へ Reply メッセージを返す。転送した Ping/Reply メッセージ数を一定間隔で比較し、タイムアウトにより、隣接上下のリンクの接続状態を確認する。

### 2.4 通信リンク回復

リンクの切断を検知した場合、ロボットは切断箇所の回復を行うように移動する。制御 PC からのホップ数が自分よりも大きいロボットとのリンクが切断した場合には、自分とリンクを張っている他ロボットとのリンクが切れない限り、切断したロボットを探すように移動する。制御 PC からのホップ数が自分よりも小さいロボットのリンクが切断した場合には、切断したロボットの位置まで移動しながら他のロボットとの通信を試みる。移動完了後もリンクを回復できない場合は、さらに制御 PC 方向へ移動する。

## 3 実験

### 3.1 実験の概要

無線 LAN カードを搭載した ER1 ロボットキット[2]に、Java を用いて提案方式を実装する。移動可能ルート情報は 250cm 間隔で記録されており、ロボットの最高移動速度は 18cm/s である。また制御 PC からの最大通信範囲は約 15m で、ロボットからの無線通信範囲は約 40m である。

### 3.2 実験結果 1

まず、図 1 の移動開始地点(0, 0)から目的地(500, 250)まで移動する。ER1 ロボットキットの IR(赤外線)センサによる障害回避機能を用いて、移動可能ルートを無視した場合の実験を行った。

図 1 にロボットの軌跡を示す。座標系はロボット内部で保持したものである。移動開始地点から目的地までの移動時間は、移動可能ルート情報を使用した場合が 51 秒、使用しなかった場合は最短で 57 秒となり、移動可能ルート情報を用いた場合の移動時間が若干短くなった。

A study on a robot-network configuration protocol with sharing available route information,  
Masato Moriki, Biao Wang, Satoshi Ohzahata,  
Konosuke Kawashima,  
Tokyo University of Agriculture and Technology

これは、通路の曲り角地点でロボットが壁に接近するためである。IR センサが壁のような障害を検知すると、移動速度が急激に減少し障害物の方向を確認するのに回転を行うためである。

実際に様々な状況で試した結果、移動ルート上に 1m 以上の障害物が存在する場合、移動までの時間が著しく悪化し、移動可能ルート情報を用いた場合よりも移動時間が必要なことを確認した。

### 3.3 実験結果 2

次に隣接リンクが切断された場合、ロボットのリンク回復動作によってどのような違いがあるかの確認を行った。実験ネットワークは制御 PC 1 台、ロボット 3 台で行う。図 2 のように制御 PC と 1 台のロボット A がリンクを張り、そのロボットに対して 2 台のロボット B, C がリンクを張る環境で実験を行った。

それぞれのロボットはリンクを張っているロボット以外、制御 PC 及び他のロボットの通信範囲外にある。この条件でロボット A を停止させ、リンクの切断が起きた場合に、ロボット B および C が制御 PC とのリンクを回復するまでの時間を測定する。ロボットはリンク回復のため、ロボット A の位置を目指し移動を行う。図 3 はロボットの移動地点を示す。この実験の場合、移動するロボット候補が 2 台存在するため移動ロボットを決定する必要がある。下記 2 つの場合を比較する。

#### ① 移動前に決定する場合 (1 台の移動)

移動開始前に、移動可能ルートをそれぞれのロボットについて検索することで、直線距離ではなく、移動距離の短いものを移動ロボットと選択する。この実験では、ロボット A の位置までの移動距離が短いロボット B が移動ロボットとなる。

移動後、51 秒で図 3 の a 地点で制御 PC とのリンクが回復する。しかし、この地点ではロボット C のリンクが回復していないので、最終的に b 地点まで更に 45 秒の移動時間が必要であった。

#### ② 通信可能時に決定する場合 (2 台の移動)

まず 2 台のロボットはリンク回復のために、ロボット A の方向へ移動する。ロボット A 以外との通信が可能になった場合に、お互いの現在位置情報を交換し、より目的地までの距離が近いロボットを移動ロボットとする。この実験では、図 2 の c 地点で 2 台のロボット間でのリンクが回復する。ここでロボット B が移動ロボットに決定されさらに移動を行い、a 地点で制御 PC とのリンクが回復する。所要移動時間は 51 秒である。

①と②のリンク回復までの時間を比較すると、②の場合の方が小さく有利である。

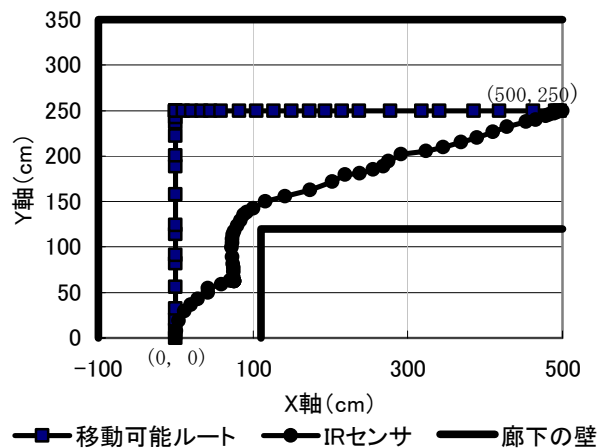


図 1 ロボットの軌跡。

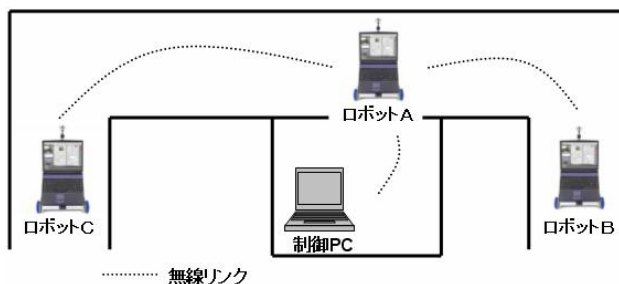


図 2 リンク切断前のロボット位置。

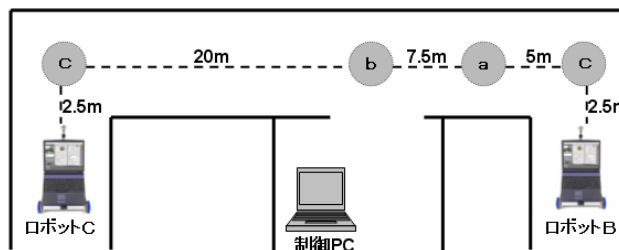


図 3 ロボットの移動地点。

## 4 おわりに

本稿では、無線アドホックネットワークで可動ロボットの移動をスムーズに行うために、移動可能ルート情報を用いた協調制御方式を提案した。提案方式の実装、評価実験により、提案方式の有効性を示した。今後はさらにロボットの台数を増やし、カメラによるオブジェクト認識、及びセンサによる障害物回避機能を拡張し、無線リンクの通信品質の情報を用いた制御に対する研究を行う予定である。

### 参考文献

- [1] 篠田孝祐, 野田五十樹, 國藤進, “人のつながりを利用したアドホックネットワーク環境を用いた災害情報支援,” DICOM02003論文集, pp. 45-48, 2003
- [2] 米国 EvolutionRobotics, <http://www.evolution.com/>