

# 災害救助ロボットのための MANET を用いた自動エリア探索手法

池嶋 隆史 三好 力

龍谷大学理工学部

## 1.はじめに

東北地方太平洋沖地震によって、広域にわたって建物が倒壊し、多くの人々がその下敷きになった。「72時間の壁」という言葉があるように、このような形で栄養の供給を断たれた人々は迅速に発見されなければならない。そのためには、地震等によってインフラが破壊された地域をロボットが自律的に探索する方法が効率が良いと考えられる。

ロボットにとって未知のエリアを探索する手法として Frontier Based Exploration[1]があるが、この手法ではロボットが何の制限もなく動き回ってしまうため、情報の集約を行う基地局との通信が途絶えてしまう。そこで、上記の手法を、被災地での探索に適用した研究として Martin らの研究がある[2]。この研究では探索エリアにロボット数台を送り込み、基地局と全てのロボットとの通信を維持しながら探索をさせた。結果、ロボット - 基地局間の通信を維持しながら探索をすることは可能となったが、遠方へ探索することができなくなった。

そこで本論文では、全ロボットと基地局との通信を維持しつつ、エリアの遠方まで探索させるために、探索中に中継ノードを設置する手法を提案する。

## 2.提案手法と、そのための基礎手法

探索のためのロボット移動アルゴリズムは Martin らの研究で使われたものを採用する。以下に基礎手法について述べる。

### 2.1 基礎手法

ロボットが探索する地域をグリッドで表示する。従って、ある場所に位置しているロボットにおける次の移動先としては図 1 に示す 9 通り(現在地に留まる場合も含む)がある。

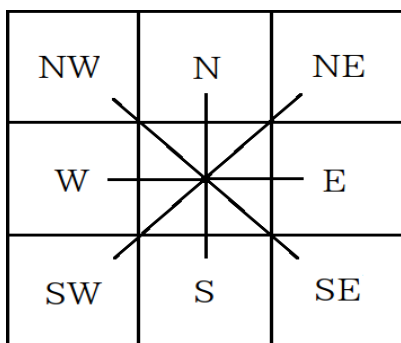


図 1:ロボットが次ステップに移動可能な方向

上記の 9 つの中からロボットが移動するのに適した場所を選択するが、その際に各ロボットのまわりのグリッドに以下のような重み付けをする。

- 100 障害物・複数ロボットと行き先が同じ場合
- 10 基地局との通信が途絶える場合
- 1 前線に向かう場合
- 0 探索された場所に行く・同じ場所に留まる場合

ロボットが複数台いる場合は、全ロボットの重みの和が最大となる移動パターンを採用し、移動させる。

### 2.2 提案手法

探索現場に派遣されたロボットのうち、あるロボットが、ある状況における通信環境では届かない場所まで行こうとした時に、特定の 1 台のロボットが中継ノードを設置する。従ってロボットは、エリアが十分に探索されるか、あるいは指定した時間が経過するまで、中継ノードを置きながら探索を進めることになる。以下に設置手法の異なる 3 つの提案手法を示す。

#### ●提案手法 1

中継ノードを、基地局から最も遠いロボットが、今いる場所に 1 つ設置する。

#### ●提案手法 2.1

中継ノードを、基地局から最も近いロボットが、今いる場所に 1 つ設置する。

提案手法 1 及び 2.1 の中継ノード設置条件は同じものを用いる。以下にその設置条件を述べる。

中継ノードの通信半径を全て同じとし、探索範囲全体を最小の中継ノードで網羅するようにノードを設置した場合、図 2 のように全中継ノード間の距離が等しくなるように配置される。探索においても、全探索範囲を網羅するようノードを配置していくと、図 2 と同様の様相を示すはずである。従って、提案手法 1 及び 2.1 では、中継ノードを設置するロボットが、今通信している中継ノードの通信限界のすぐ内側にいる場合、中継ノードを設置するという設置条件をつける。こうすることで、ノード設置に関する余分な条件を省きながら、探索範囲にノードを配置し、エリアを探索することができる。

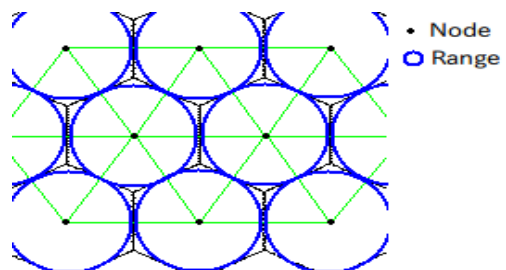


図 2:ノードが均等に配置された様子

#### ●提案手法 2.2

提案手法 1 及び 2.1 では、ロボット同士の距離は考慮されていないため、ロボットが密集していてもノードが設置される場合がある。従って、探索の際に移

動先が重複する可能性があるため、ロボット同士の距離を考慮した提案を以下に示す。

基地局から最も近いロボットについて

1. ロボットが直線状になっているか
2. 基地局から最も近いロボットが、自分の属する中継ノードあるいは基地局の通信限界のすぐ内側に位置しているか

上記の2点をチェックし、2つのチェックがクリアされていれば、ロボットが今いる場所に中継ノードを1つ設置する。図3に提案手法2.2における中継ノード設置条件を満たした状態を示す。

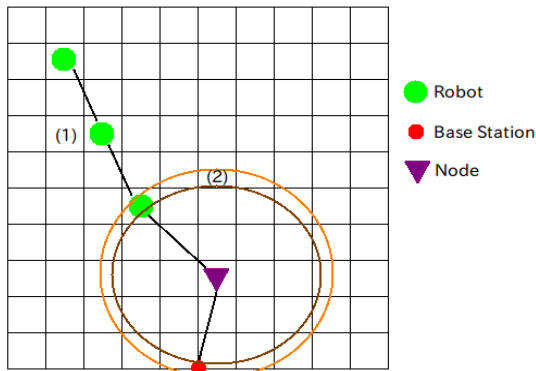


図3:提案手法2.2における、中継ノード設置の条件を満たしている状態

### 3. 実験

各提案手法の探索効率を比較するため、表1の設定で実験を行った。全手法それぞれ100回探索を実行した。なお、ロボット及び中継ノードの通信半径は等しい値を用いることとする。

表1:実験条件

探索領域	20×20
障害物の数	4
通信半径	3
ロボットの台数	3
終了条件	10000ステップ経過するか、全体を探索し終わる
中継ノード数	上限なし

### 4. 結果と考察

実験によって得られた各提案手法におけるデータの上端下端及び平均を表2に示す。また、Martinらの既存手法及び各提案手法における探索のスピードを図4に示す。

表2:提案手法における100回分の試行結果

	提案手法1	提案手法2.1	提案手法2.2
カバー率 (max/min)(%)	100/58	100/84	100/77
平均カバー率(%)	94	98	93
カバー率の分散	52.79	9.983	37.58
使用ノード数 (max/min)(個)	39/14	40/22	40/22
平均使用ノード数(個)	32	33	29
使用ノード数とカバー率との相関係数	+0.758	+0.656	+0.801

### 手法毎の探索スピード

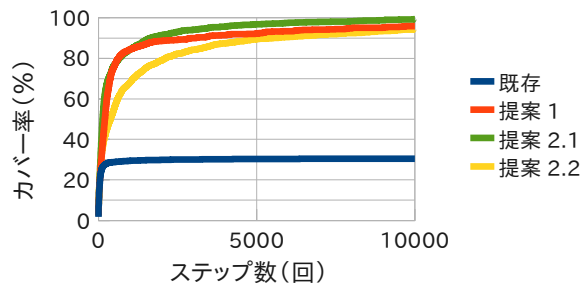


図4:既存及び各提案手法における探索スピード

提案手法ではいずれも、Martinらの既存手法(約30%)よりも高いカバー率(約90%)を得ることができた。

提案手法2.2は、他の提案手法と比較すると探索中の無駄な行動が多かったため、探索スピードが遅くなっている。探索ではスピードが重視されるので、今回の実験では提案手法2.1が最もスピードが早かったため、この手法が最も実用的だと考えられる。

### 5. おわりに

ロボットに自律的に探索させるアルゴリズムを災害現場用にアレンジした研究としてMartinらの研究がある。彼らは「ロボットと基地局との通信維持」を重視し、複数のロボットを用いて2次元のフィールドを探索させた。結果、通信の維持を保ちながら探索させることに成功したが、一方で探索範囲が狭くなるという欠点が明らかになった。

そこで我々は、探索中に中継ノードを設置することによって、ロボットと基地局との通信を維持しながら探索範囲を拡大できると考え、3つの探索手法を提案し、シミュレーションによって手法の調査を行った。その結果、全提案手法において平均して90%以上のカバー率が達成できた。災害現場での探索では迅速性が重要であり、その観点からすると、提案手法2.1が最も探索が早かったため、この手法が提案手法の中で最も実用的なものであると考えられる。

今後の課題として、高さを考慮した3次元空間についてのシミュレーション、バッテリーを考慮したアルゴリズムの提案、探索領域をより多様にした場合の考察、そしてロボットの行動の効率化と無駄な探索の削減を目指すための探索アルゴリズムの見直しが考えられる。

### 参考文献

- [1] Brian Yamauchi: A Frontier-Based Approach for Autonomous Exploration.
- [2] Martin N. Rooker and Andreas Birk: Combining Exploration and Ad-Hoc Networking in RoboCup Rescue.