

災害現場における最短経路探索システムの構築

都立産業技術高等専門学校 電気電子工学コース 笹岡早姫

1. はじめに

日本では、地震をはじめとした自然災害が後を絶たない。災害はいつ起きるか分からず、発生した場合には早急な対応が求められる。災害時に一人でも多くの命を救うために重要であるのは迅速な救助活動である。しかし、火災などで人が踏み込めない場合もあり救助が遅れるといった問題も懸念される。多くの被害者を出さないためにも、時々刻々と変化する災害状況に対応出来る災害救助システムの構築が必要とされている。

迅速な救助活動に重要な役割を果たす要素として最短経路探索が挙げられる[1]。また、災害救助ロボットの技術的な課題として協調作業の問題がある[2]。

そこで、本研究では最短経路探索と協調作業に着目し、被災者を探索するロボット、及びそのロボットが被災者を目的地まで誘導するためのマーカークと呼ばれる表示灯を配置して最短経路を表示させるシステムを提案する。そして、マーカークを通じて複数のロボットが協力した被災者救助についても検討を行う。



図1：災害現場での流れ

2. 最短経路探索アルゴリズム

本研究で用いる最短経路の探索のアルゴリズムとしてダイクストラ法を適用する。ダイクストラ法とは最短経路問題を効率的に解く、グラフ理論に基づくアルゴリズムである。この手法により、スタートからゴールまでの最短距離とその経路を求めることができる。図1に導出された最短経路の例を示す。

ダイクストラ法の導出方法は以下の通りである。まず最短経路探索の始点を定め、始点から始点への距離は0として確定、それ以外のノードを未確定とする。次に最短距離が確定していないノードが無いか調べる。まず始点から繋がるノードをピックアップし、そこまでの距離を仮の最短経路として保持する。各ノードに仮の最短距離が保持されたら、新たにそこから繋がるノードをピックアップし、同様に仮の最短距離を保持する。ここで注目するのは仮の最短経路が2つ以上見つかった場合である。既に保持されていた値と新たに保持された値を比較し、小さい方の値を最短距離として保持させる。

これを繰り返し行い、未確定なノードが無くなるまで行う。本研究で提案する始点から全てのノードへの最短距離が確定される。

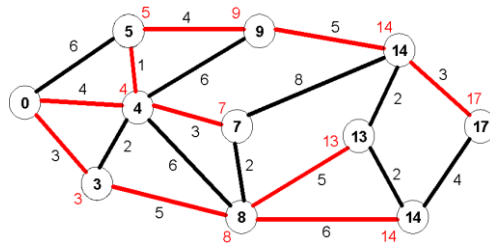


図2：ダイクストラ法による最短経路導出例

3. 提案システム

3.1. システム概要

本節では本研究が提案したシステムの流れを説明する。まず、一定量のマーカークを災害現場に配置する。同時に本部より放たれたロボットは対象となる被災者を目指して探索を開始する。

マーカークのルールは、自身から特定範囲内にあるマーカークをピックアップし2章で述べたダイクストラ法により最短経路を求め、値を更新していく。ロボットのルールは、被災者を探索し、発見すると本部から配置していったマーカークを点灯させる。その後ロボットは点灯しているマーカークを通り被災者を追従させる形で本部へ誘導する。その後再度被災者探索に戻る。図3にシステムの流れを示す。

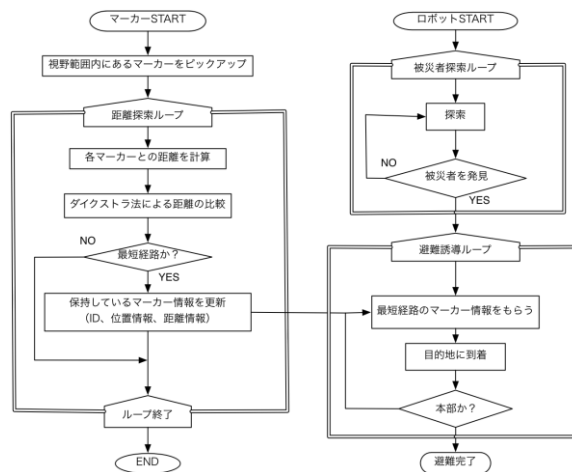


図3：システムの流れ

3.2. 動的環境

本節では動的環境を組み込んだシステムについて説明をする。災害現場では火災や建物の倒壊などにより時間とともに状況が変化する。この動的環境はエージェントへの外的要因であり、本研究では火事を想定した。設定としては、火種をランダムに配置した後、ステップが進む毎に威

力が高まり近隣の可燃物に燃え移り、炎を広めていく。また、この炎は近くのマーカーを焼失（機能停止にする）させる。

3.3. ロボットの協調作業

実際の災害救助では被害の状況によりロボット 1 台では被災者の救助が不可能な場合も想定される。本節ではその際に行うロボット間での協調作業について説明する。

協調作業の流れは以下の通りである。ロボットが 1 台では救助不可能と判断した被災者を発見した際に協力要請をマーカーを使って他のロボットに伝える。このとき協力要請を受けたマーカーは救助の基準となり、本部までの経路とは別の基準となるマーカーまでの経路を示す。他のフリー状態のロボットはその基準となるマーカーまでの経路を辿って協力要請をしたロボットまで移動する。その後互いに協力して被災者を救助する。以上の機能をマーカー・ロボットのルールとして組み込む。

4. 検証結果

4.1. マーカーの有無

本研究の特徴であるマーカーに注目し、その必要性について検証する。マーカーを配置しない場合（以下システム A）とマーカーを配置した場合（以下システム B）を比較した。図 4 は 100 回試行した場合で全ての被災者を救助するまでにかかったステップ数を示したグラフである。図を見るとシステム B は 1500 ステップ以内に終了しているが、システム A は 6000 ステップ以上もかかっている。また、表 1 は実際に各シミュレーションを 100 回行ったときの平均ステップ数である。表 1 のようにシステム B がシステム A よりも数倍以上平均ステップ数が短くなっていることがわかる。この結果で、マーカーがないシステム A は災害状況がわからずランダムに誘導するのに対し、マーカーを配置しているシステム A は配置されているマーカーが最短距離を素早く提示し、ロボットが迷うことが少ないためステップ数が少なくなったためである。

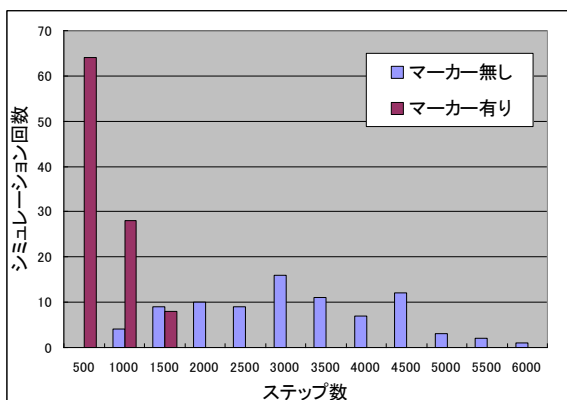


図 4：救助にかかったステップ数のヒストグラム

4.2. 動的環境への対応

これまで安全な経路が火事により遮断された場合、新たな最短経路をマーカーが再計算できるか検証した（システム C）。炎エージェントを導入した結果、火事によってマーカーが焼失した。それにより最短経路が遮断された後、最短経路の再計算が行われ、新たな最短経路が構築されたことを確認した。

また、表 1 のようにシステム C の平均ステップ数はシステム B の 3 割増程度で、これによりシステム C の最短経路探索システムは問題ないことがわかった。

表 1：各シミュレーションの平均ステップ数

	システム A	システム B	システム C
平均ステップ数	3635	487	636

4.3. ロボットの協調作業

2.3 で説明した協調作業について検証した。ロボットが協力要請を出し、マーカーがその地点までの経路を表示することを確認した。また、他のロボットが経路に従い集合・協力して被災者を誘導することを確認した。しかし、協力要請を認識せず、見当違いの場所に移動してしまったり、協力要請を出したロボットの所へほぼ全てのロボットが集まってしまうなどで処理しきれなくなったりと不具合も多くみられた。

5. おわりに

本研究では、迅速な災害救助を実現する為に、ロボットとマーカーを配置したシステムを提案した。マーカーによる最短距離探索、動的環境への対応やロボットの協調作業などを検証した。その結果マーカーを使って火事などの動的環境に対応し、最短距離を求めることができた。そして、マーカーを使いロボットが他のロボットに協力要請することまでを確認できた。これにより、実際の災害現場を想定した刻々と変化する無限定な環境において最短経路を探索し被災者を救助システムの構築に一步近づいた。

今後はロボットによる協調作業のシステムの完成と被災者の状態による避難状況の違いなどのより現実に近い災害救助システムの構築が課題として挙げられる。

6. 参考文献

- [1] 田所論、レスキューロボットの現状と未来、電気情報通信学会誌、2009、92(3)、p. 208
- [2] 米田慎吾、梶川嘉延、野村康雄、地震災害環境下における経験を用いた経路探索法の検討、IEICE technical report、2004、103(623)、p19-24