

5F-5

距離変換画像を用いた移動ロボットの
高速経路生成及び動作生成アルゴリズム

申 東旭

早稲田大学理工学部

1. はじめに

障害物と衝突しない経路を自動的に生成することは自律移動ロボットが備えるべき重要な機能である。これに関しては、多くの研究があるが¹⁾⁻²⁾、例えば、文献¹⁾ではロボットを点に帰着させるなど前処理に膨大な計算時間がかかるという問題点がある。また文献²⁾ではロボットの大きさに応じてクワッドツリー上で探索レベルを制限し、パスグラフを展開することにより経路を高速で求めている。しかし、これには得られた経路が最短経路でないことと、得られた直線の経路をロボットが障害物と衝突しないで移動できるという保証がないので、得られた経路に対して動作を生成する必要がある³⁾。

本報告では、距離変換画像上で直接パスグラフを展開し、高速で最短経路を生成するアルゴリズムを述べる。また、距離変換画像では各点が障害物からの距離値を持っているので、これを十分に生じたロボットの高速動作生成アルゴリズムについても述べる。

2. 経路決定アルゴリズム

まず障害物領域と自由領域で区別された作業空間の2値画像に対して、障害物の領域を値0とする距離変換画像を得る。画像の距離変換にはユークリッド距離・4連結距離・8連結距離・8角形距離の関数がよく用いられているが⁴⁾、操作の容易さで8連結距離関数を用いた。

最短経路生成の際は、距離変換画像上でロボットの大きさの半分に相当する値を持つ点までを障害物領域と見なし、この障害物領域を通過しない経路を求める。これにより幅と奥行きがほぼ同様のロボットの場合、ロボットが得られた経路を障害物と衝突しないで移動できるようになる。また、一つの距離変換画像上で様々な大きさのロボットの経路を求めることが可能になる。

最短経路生成アルゴリズムは文献²⁾と同様に最短経路が障害物領域を回避するまで、その最短経路の選択とパスグラフの拡張を同期的に行

う。初期状態では、始点と終点の二つのノードとこれを結ぶ一つのアークから始める。

パスグラフの拡張では図1. aのように二つのノードP, Qを結ぶアークが障害物領域を通過するとき、アークの両側でそれぞれこのアークから一番遠い点を見つけ、この点からある距離だけ離れたところに新しいノード n_1 , n_2 を生成しパスグラフに追加する。アークが複数の障害物領域を通過する場合は各障害物領域に対して行う。但し、図1. bの n_4 のような前の障害物領域に隠れて見えないノードの拡張は行わない。

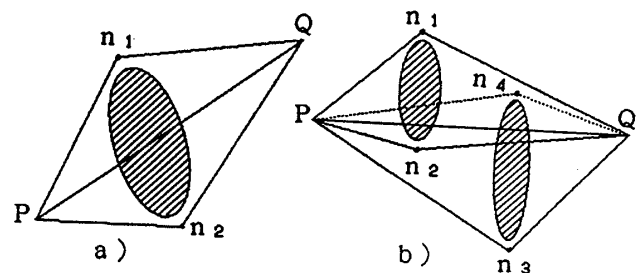


図1 パスグラフの拡張

パスグラフからの最短経路の選択では、パスグラフの各ノードに対して終点までの最短距離とそのノードから終点までの最短距離を構成する経路でそのノードの次にくるノードの番号を記憶しておく。こうすることにより、最短経路は始点から終点まで辿って行くことにより簡単に得られる。拡張処理ではパスグラフの一部を修正するので、この修正により影響を受けるノードに対してのみ最短距離と次ノード番号を更新する。こうすることによりいつもパスグラフ全体を探索することなく高速で最短経路を求めることができる。

上述した処理をもとにし、最短経路は次のようにして得られる。

- S 1) パスグラフから最短経路を求める。最短経路を構成するすべてのアークが障害物領域を通過しないとき、経路探索の処理を終了する。そうでなければ、S 2) に進む。
- S 2) 最短経路を構成するアークの中で障害物領域を通過する長さが最大のアークを選択し、このアークをパスグラフから除去し、上述の方法でパスグラフの拡張を行い、S 1) へ行く。

3. 高速動作生成アルゴリズム

ロボットの幅と奥行き之差が大きい場合、ロボットの大きさを小さい方にして最短経路を求めなければならない場合がある。しかし、これにより得られた経路に対してはロボットが障害物と衝突することなく移動できる保証がないので、移動できるかどうか、移動可能な場合はどのような姿勢で移動すればよいかを求める必要がある。

アルゴリズムは文献³⁾の方法をそのまま利用しているが、この方法ではロボットの両側に障害物が存在する場合左右に振動しながら進む傾向がある。本報告ではこれを解決するためにこの文献³⁾のアルゴリズムの前で遠距離移動モードを設けた。これは、まずロボットの現在の位置でロボットの姿勢が障害物からの距離が最大になるような姿勢にする。この姿勢で図2のようにロボットの中心と中間目標点(点Q)を結ぶライン l_1 に対するロボットの横幅 L を求める。その後ライン l_1 と同じ傾きを持ち、ロボットの横幅の中心($L/2$)を通るライン l_2 を求める。このライン上で距離値が $L/2$ より小さい値を持つ点を見つけ、その点から $L/2$ 前までロボットを進める。これは距離変換画像の各点が障害物からの距離値を持っているので、可能となり、ロボットの周りをすべて調べなくてもよいので、処理時間の短縮と上述の振動の問題を減らすことが可能になる。

4. 実験結果

図3、図4は文献²⁾³⁾で用いた画像で(256x256)、ロボットの最小幅をロボットの大きさとしたとき求められた最短経路とロボットの動作を示す。処理はPC9801で行い、処理時間は表1のようである。

表1 実験結果

	距離変換	経路探索	動作生成
図3	6 sec	2 sec	7 sec
図4	5 sec	1 sec	1 sec

5. まとめ

本報告では、距離変換画像上で機能する高速経路生成及び動作生成アルゴリズムを提案した。

経路生成では、従来の方法²⁾に比べノードの数は増えるが、パスグラフから最短経路を求める際、本報告で提案した簡単なアルゴリズムにより高速で最短経路を得ることが可能となった。

また、動作生成アルゴリズムでは距離変換画像でのみ可能な遠距離移動モードを設けることにより、従来の振動の問題の解決と処理時間の短縮が可能となった。

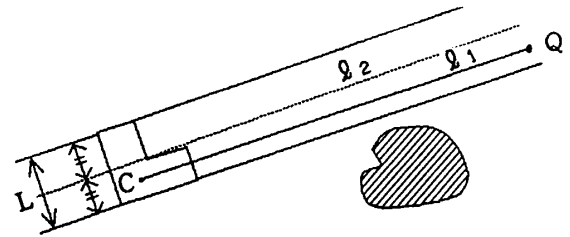


図2 遠距離移動モード

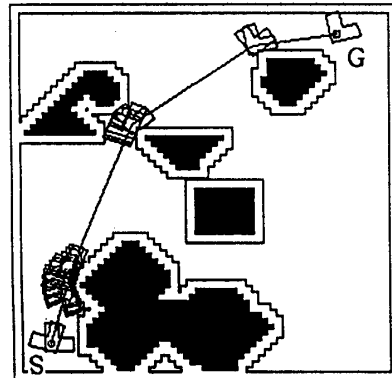


図3 実験1

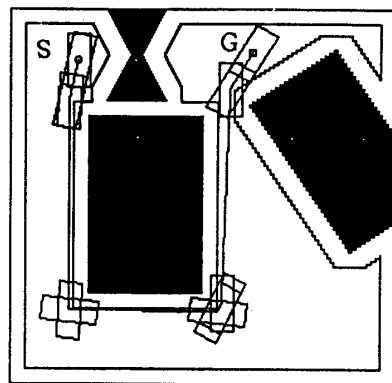


図4 実験2

謝辞

本研究をご指導下さいました早稲田大学理工学部の大照完先生と東邦大学理学部の橋本周司先生に深く感謝致します。

参考文献

- 1) T. Lozano-Perez et al., "An Algorithm for Planning Collision-Free Paths among Polyhedral Obstacles", Commun. ACM, Vol. 22, pp. 560-570, 1979
- 2) 登尾他, "クワッドツリーを利用した移動ロボットの高速経路生成アルゴリズム", 日本ロボット学会誌 7 巻 5 号, pp. 3-13, 1989
- 3) 登尾他, "クワッドツリーを利用した移動ロボットの高速動作生成アルゴリズム", 日本ロボット学会誌 7 巻 5 号, pp. 14-24, 1989
- 4) 間瀬他, "可変近傍系列を用いた一般化距離変換における逐次型アルゴリズムについて", 電子情報通信学会技術報告PRL79-40, pp. 1-10, 1979