

# タブーサーチ探索法を用いた自走式ロボットの最短経路問題

2005MM033 倉橋 満

指導教員：高見勳

## 1 はじめに

本研究では最短経路問題の内の1つである出発点 A から目的地 B への最短経路を求める。出発点 A と目的地 B の場所はわかっているが、目標地までの経路が不明な場合を想定し、いくつかの経路を探索する。探索を繰り返しおこない、探索をしながら不明であった MAP を学習していき、その中で最短の経路を見つけ出す事を目的とする。

## 2 実験機

今回使用する「SPUTNIK」は超音波センサーと赤外線センサーにより、随時距離の情報を得ている。赤外線センサーは後ろ左右に各1つあり、前方には4つあり周囲の情報を最大で81cmの距離情報を得る。超音波センサーは前方に3つあり、最大で2m55cmまで計ることが出来る。超音波センサーにより、前方の障害物との接触を回避し、赤外線センサーにより、周囲の障害物の検知をする役割を持つ。移動は前後左右の4方向への移動が可能である。

## 3 自走式ロボットへのタブーサーチ探索法の適用

タブーサーチ探索法 [1] で重要となるタブー集合  $T$  は自走式ロボットに経路を探索させ、前回通った経路へのループをしないようにしなければならない。タブー集合  $T$  の生成は初期実行可能解から近傍と経路を情報として取得するため、その初期実行可能解の経路から1つランダムに選択し、その場所に入ってはいけない領域としてブロックを置くことでループを回避させる。得た近傍をパソコン内で経路を計算し、得た暫定解を自走式ロボットに通らせ、周囲の探索をおこない、得た近傍を再度パソコンに伝え、新たなブロックを置き、経路を計算させ、ロボットに走らせると繰り返すことで探索をさせていく。

### 3.1 初期実行可能解

初期実行可能解を求めるにあたって、開始地点から SPUTNIK を動かす、目的地まで初めて到達したものを初期実行可能解とする。このときの移動には周囲の情報を赤外線センサーから受け取り、移動可能な各方向の情報を取得し方向をランダムに決定し移動させる。取得した情報は近傍となる情報でもあり、同時に MAP の作成をする。初期実行可能解を暫定解として探索をおこなっていく。

### 3.2 暫定解

暫定解の決定は、初めに初期実行可能解を暫定解とした。初期実行可能解を求めるときに SPUTNIK の赤外線センサーからの情報を元に近傍を作成している。この近

傍内の探索は SPUTNIK に探索をおこなわせるのではなく、得られた近傍をパソコンに計算させる。計算していくつかの経路が出力されるので、その中でもステップ数の一番少ないものを暫定解とする。経路の探索を計算するにあたって、暫定解と同じ解を得ることがあるため、タブー集合  $T$  によって暫定解と同じステップになることを回避する。新たな近傍を得るために、計算で得られた暫定解に沿って SPUTNIK を動かす。暫定解に沿ってステップを進んでいるので、ステップ毎に赤外線センサーにより周囲の情報を得て新たな近傍を作る。新たな近傍と以前の近傍とをあわせていくことで探索範囲内の MAP を学習していく。

### 3.3 学習

SPUTNIK が暫定解に従い経路を進み、新たに近傍を作成する。経路を進む時、赤外線センサーから周囲の情報を検出し、障害物の有無を判断し、MAP の学習をする。

### 3.4 タブー集合

タブー集合  $T$  は経路上のタブー座標の集合で表される。

$$T = \{x, y | (x, y) \text{ は暫定解の経路上の座標の1つ} \}$$

初期実行可能解を発見するまでは、

$$T =$$

とする。タブーとなる座標の決定は前世代で求められた暫定解から得る。暫定解の経路上の1つをランダムに選択し、この座標を次の探索でのタブーとする。タブー集合の更新では、タブー集合  $T$  内の任意の1つの要素を除外し、暫定解から新たにタブーを追加し更新する。

### 3.5 探索の終了

1つの暫定解を1世代とする。初期実行可能解は1世代目となり、その近傍を計算により暫定解を出力する。出力された暫定解は2世代目となる。得た暫定解から新たな近傍を作り暫定解を求めて世代を更新させていく。終了の条件は  $N$  世代未満の世代なら、世代を1つ増加させ近傍を探索させる。 $N$  世代まで探索をおこなったら各世代で暫定解だったステップを比べ、その中で最良となるステップを最適解として出力し探索を終了させる。

## 4 シミュレーション

タブーサーチ探索法を用いてシミュレーションをおこない、最短の経路を探索すると同時に探索した MAP も作成する。移動方向の決め方で、2方向以上の距離の経路が発見されたら、進む方向をランダム選択したところ、同じ経路をループしてしまいゴール出来ないことがあった。このことを避けるため下記のルールを加えることとした。

- 一度通った場所への移動は禁止する。

探索開始時 SPUTNIK の得ている情報は、探索 MAP の範囲と出発点と目的地となる場所の 2 箇所のみであり、そのほかの情報は探索にて得ていくものとしている。世代の更新を  $t$  と表しシミュレーションを以下のアルゴリズムで行なう。

$t = 0$  での初期設定として下記を決定する。

- $FirstStep(t)$  : 初期実行可能解の経路。
- $AllStep$  : 探索で得た最良解。
- $nMAP(t)$  : 暫定解経路の近傍。
- $MAP(t)$  : 各世代で得られた近傍との和集合。

$t$  世代

$TB(t)$  : ( $t$ ) 世代の暫定解の経路上に新たに置いたタブーブロックの座標

$Step(t)$  : ( $t$ ) 世代で求められたの近傍内に関し、 $TB(t)$  にブロックを置いた経路を探索して得られた経路。

$IStep(t)$  :  $Step(t)$  世代の最良解の経路

と更新し、 $t$  を 1 つ増加させ次の世代へ探索を繰り返し続ける。

終了条件は、決められた世代数になったら経路の探索を終了する。

上記のアルゴリズムより、図 1 の MAP の開始地点 S を (9, 1), 目的地 G を (1, 9) とし、S から G までの障害物のない経路を 4 世代まで探索させる。図部分の薄く表示されているところはまだ分かっていない場所を表している。少し濃くなっている場所は近傍の外を表している。濃く表示されている部分はタブー集合によって通過できなくなった場所を示す。黒くなっている部分は障害物と探索範囲外の場所、学習によって得られた情報以外の未知の場所を表している。

図 1 を探索し初期実行可能解を求めると、「28」ステップ数となる経路  $FirstStep(1)$  と近傍  $nMAP(1)$ (図 2) を得る。これらを元に図 3 の  $MAP(1)$  を作成する

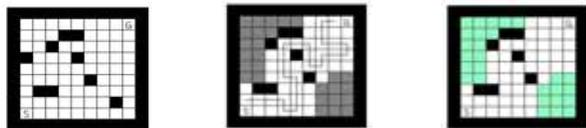


図 1 探索 MAP 図 2  $FirstStep(1)$  図 3  $MAP(1)$

1 世代で得た近傍を元に経路を計算したところ、暫定解が「16」ステップとなり、この経路を元に近傍を新たに作成し、 $MAP$  を更新していく。これを 4 世代まで繰り返した。4 世代での経路の探索を図 4 に示し、探索で学習した  $MAP$  を図 5 に示す。最短の経路は 2, 3 世代目で得た経路が最良のステップであることが分かった。2 世代目での暫定解ステップを図 6 に示す。

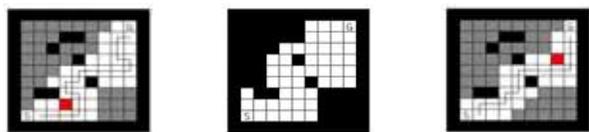


図 4  $nMAP(4)$  図 5  $MAP(4)$  図 6  $nMAP(2)$

## 5 SPUTNIK による実験

シミュレーションで得た結果から自走式ロボットの「SPUTNIK」に同じアルゴリズムで実際に動かして検証する。SPUTNIK に探索させる MAP は、図 7 の探索 MAP でおこなう。開始地点は S(1, 4), 目的地点は G(4, 1) とする。図 7 の MAP を探索したところ「8」ステップの  $FirstStep(1)$  の経路を発見した。 $FirstStep(1)$  の近傍情報から図 9 の  $MAP(1)$  を作成した。

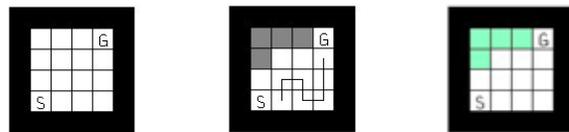


図 7 探索 MAP 図 8  $FirstStep(1)$  図 9  $MAP(1)$

$FirstStep(1)$  からの近傍にタブーとなるブロックを経路上にランダムに置き、暫定解を計算させた。 $Step(2)$  の経路が見付けられ、その中でも最良の「6」ステップとなる  $IStep(2)$  を暫定解とし図 10 の  $nMAP(2)$  に示し、得た情報から図 11 の  $MAP(2)$  を作成した。この MAP での最短のステップは「6」ステップである。



図 10  $nMAP(2)$  図 11  $MAP(2)$

### 考察

自走式ロボットによる実験で経路探索にタブーサーチ探索法のアルゴリズムを加えることで、新しい経路を見付け、最短経路探索と MAP 作成を同時におこなえた。

## 6 おわりに

本研究で得た成果は、

- タブーサーチ探索法を SPUTNIK に組み込むことで経路の探索、不明であった MAP 情報の学習が出来る
- 探索時に SPUTNIK を動かすのではなく、計算として処理をすることで探索時間の短縮が出来た

## 7 参考文献

- [1] 浅居 喜代治：基礎システム工学，オーム社，東京 (2001)。