

# トポロジカルマップを用いた自律移動ロボットのナビゲーション

## Navigation of the Autonomous Mobile Robot Using the Topological Map

中嶋崇夫, 大久保重範, 及川一美, 高橋達也

Takao Nakajima, Shigenori Okubo, Kazumi Oikawa, Tatuya Takahashi

山形大学

Yamagata University

キーワード: トポロジカルマップ (topological map), 自律移動ロボット (autonomous mobile robot), ナビゲーション (navigation), ランドマーク (landmark), グラフ (graph)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16  
山形大学 工学部 機械システム工学科 大久保研究室

中嶋崇夫, Tel.: (0238)26-3245, Fax.: (0238)26-3245, E-mail: g03129@di pfr. di p. yz. yamagata-u. ac. jp

### 1. 緒言

本研究ではトポロジカルマップをもとに、ロボットをナビゲーションすることを目的としている。

普段我々が、荷物を搬送する時やお使いに行く時などに、目的地への行き方がわからない場合は地図を見るなり人に道を聞くなりして仕事をこなしている。ロボットに同様のことを行わせようとすると、環境や経路を絶対座表現で与えなければならず、正確な地図が必要となる。しかし、人間の場合は誰かに簡易な地図を描いてもらい、それをもとに目的地にたどり着くことができる。同様に、簡易な地図をもとにし、ロボットを目的地へのナビゲーションすることが本研究の目的である。

### 2. 作業環境

作業環境は、通路と転回点によって構成された街のような通路状環境<sup>(1)</sup>である。通路の行き止まりと転回点には識別を容易にするためにランドマークが用意され、整備された環境となっている。環境を整備することによって、低級な認識技術でも環境を識別することが可能となるが、その手間が利用者の大きな負担となればこの研究の意義がなくなってしまう。そこで、本研究では作業環境にはランドマークのみを設置することとした。

### 3. 自律移動ロボット

#### 3.1 アプローチ方法

自律移動ロボットとは、センサ情報から環境を知覚し、それに応じて行動を選択し環境とインタ

ラクションをとる機械である．自律移動ロボットを実現するためには，以下のようなアプローチ方法がある．

#### ② Model-Based Robotics

ロボットに対して環境を記号や形状などで表現したモデルを与え，このモデルに基づいてプランニングし行動を選択するという方法である．モデルを精度良くつくるのが難しいなどの問題もあるが，正確なモデルを与えることが出来れば効率よくナビゲーションを行うことができる．

#### ③ Behavior-Based Robotics<sup>(2)</sup>

Model-Based Robotics と対する方法で，環境を内部にモデルとして持つことはしない．この方法は，センサ情報に対する反射的な行動を単位としており，この反射行動に切り替え可能な階層構造を持たせ，行動決定規則としている．内部モデルによるプランニングを行わないため，ロボットがすばやく行動を起こせ，また行動規則を追加することが出来るために拡張が容易という特徴がある．

### 3.2 本研究での立場

本研究では，環境地図が必要であるという立場をとる．単に，壁に当たらずに動き続けるロボットを作るのであればモデルは必要ないが，本研究で考えている問題は，目的地到達問題であるため地図は必要である．しかし，自律移動ロボットの一般社会への普及を前提としているので，環境地図は誰にでも作成可能な簡易なものでなくてはならない．

また，本研究では，簡易な環境地図を持つことを前提としているが，Behavior-Based Robotics の考え方も取り入れている．衝突回避などに対しては，Behavior-Based Robotics の手法を取り入れ，効率のよい経路計画はModel-Based Robotics というよ

うに，両方の特徴を利用するべきであると考えている．

## 4. 環境地図獲得手法

人間が誰かにお使いを頼むようなときは，目的地までの簡易な地図を描いてこれを相手に渡すことによって目的地までの道のりを教えている (Fig.1)．本研究の環境地図獲得方法では，人間が普段簡単に道の教示を行っていることに着目し，この方法，つまり簡易な地図による教示を利用して，自律移動ロボットへ環境地図を与えることを考えた (Fig.2)．

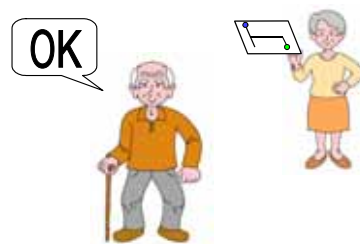


Fig. 1 Human to Human

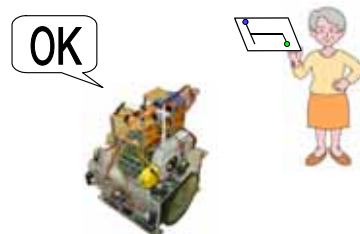


Fig. 2 Human to Robot

### 4.1 お使いタスクの実現

ユーザーへの負担を減らすには環境地図自動生成手法がある．しかし，この手法は地図を獲得するためにタスクをこなす前に作業環境内を少なくとも一度探索する必要がある<sup>(3)</sup>．ロボットが作業する環境が工場やオフィスのように固定され，長時間地図を作り直す必要が無い場合はこの方法で問題ないと思われるが，ユーザーの求めるお使いのようなタスクには対応することが出来ないと考えられる．つまり，お使いのように目的地が次々と

変化し、しかも、目的地まで一度到達すればよいというタスクに対しては、長い時間をかけて探索により環境地図を作成するというのがユーザーの意に反するからである。

## 4.2 トポロジカルマップ教示型による特徴

従来の環境地図獲得手法では、ユーザーへの負担の大きさが問題となっていた。しかし、本手法ではトポロジカルマップに着目することにより、専門知識を必要とせず、あたかも人間に地図を教えるかのようにロボットへ地図を教示することが出来る点が優れていると考えられる。また、自動生成型での環境地図獲得方法では、お使いタスクに対応する難しさが問題であった。しかし、本手法では教示型であるためすばやくロボットへ地図を与えることが出来、このことからお使いタスクを実現することが可能となる。

本研究のメリット・重要性をまとめると次のようになる。

- 専門知識を必要とせず簡単に利用することが出来る
- すばやく環境地図を作成することが出来る
- お使いタスクに対応することが出来る

## 5. インターフェイス

### 5.1 処理の流れ

ここでは、ユーザーが描く地図からトポロジカルマップを生成し、ナビゲーション経路を計画するまでの処理手順について述べる。

#### Step 1. ノードオブジェクトの生成

出発地や目的地を含むノードオブジェクトを生成する。ノードオブジェクトにはランドマークが配置される。

#### Step 2. ID 設定

ランドマークに識別番号 (ID) を与える。

#### Step 3. グラフ探索

ノードオブジェクトを展開して目的地を探す。

#### Step 4. 経路計画

出発地から目的地までの経路を計画する。

## 5.2 ノードオブジェクトの生成

生成したノードオブジェクトを  $q_i$  とし、隣接するノードオブジェクトを代入する配列 direction を用意する。配列要素数は4で、隣接ノードオブジェクトがどの方向にあるかによってどの配列要素に代入するかを以下のように決める (Fig.3, Table 1)。

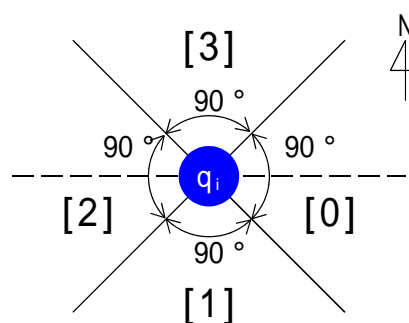


Fig. 3 Node Object

Table 1 Adjacent Node Object

隣接ノードの方向	配列要素
EAST	direction[0]
SOUTH	direction[1]
WEST	direction[2]
NORTH	direction[3]

以上の操作により、グラフが完成する。

### 5.3 ID 設定

ランドマークに識別番号 (ID) を与える。本研究では環境の中でランドマークがIDを発信し、ロ

ロボットがそれを受信することにより自己位置同定を行っている。

## 5.4 グラフ探索

グラフ探索でよく用いられる幅優先探索を利用した。特徴としては、

- è 解があるならば、必ず解を見つける
- è 複数の解がある場合は、最も浅いゴールを最初に見つける

などがあげられる。簡易な地図を利用するため、ノードの深さは問題にならないと考えられる。

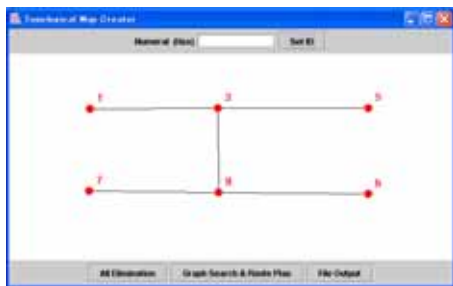


Fig. 4 Graph Search

ランドマークにIDが設定された (Fig.4) 後、グラフ探索を行う。アルゴリズムは以下の通りである。

Step 1. グラフを表す隣接ノードオブジェクト関数をAとする。また、出発地と目的地を決め、出発地を  $q_s$ 、目的地を  $q_e$  とする。

Step 2. 辿ったノードオブジェクトを格納していく配列 trace と待ち行列 queue を用意し、それらを空にする。

Step 3.  $q_s$  を trace と queue に格納する。

Step 4. queue から一番古いノードオブジェクト  $q_0$  を取り出す。

Step 5.  $A(q_0)$  に属するノードオブジェクトで、trace に入っていないものがあれば、それらをすべて trace と queue の両方に格納する。

Step 6. trace に  $q_e$  が格納されたら探索終了。そうでなければ Step 4 へ。

## 5.5 経路計画

グラフ探索アルゴリズムの Step 5 に以下のアルゴリズムを追加する。

trace と queue の両方に格納することが出来た  $A(q_0)$  を  $C(q_0)$  とし、 $q_0$  を親ノードオブジェクトとする。

以上により、目的地から出発地まで親ノードオブジェクトを辿れば経路を計画することが出来る。

## 6. ナビゲーション方法

ナビゲーション方法は以下の通りである。

Step 1. 環境地図と経路をロボットに与える。

Step 2. 現在向いている方向を次のランドマークのある方向と設定・記憶し、その方向へ前進する。

Step 3. ランドマークのIDを認識した時に、計画通りのIDが確認する。

Step 4. 環境地図により、次に向かうべきランドマークの方向へロボットが向きを変え、Step 2 へ。もし目的地ならナビゲーションは終了。

## 7. シミュレーション結果

シミュレーションにて本手法の実現可能性と有用性を検証する。作業環境として Fig.5 に示すものを与え、ランドマークは天井に配置されているものとし、IDは16進数にて与えた。出発地はID7で、目的地はID5である。

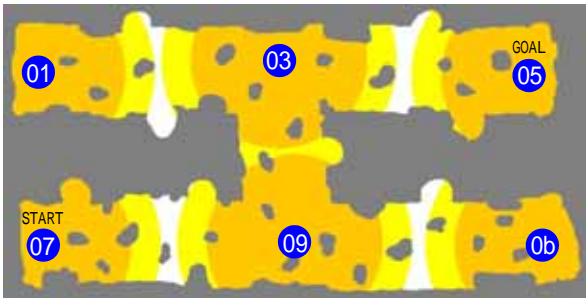


Fig. 5 Work Environment

Fig.6に示すような環境地図を与えた場合、経路はID7 ID9 ID3 ID5である。シミュレーション結果をFig.7に示す。

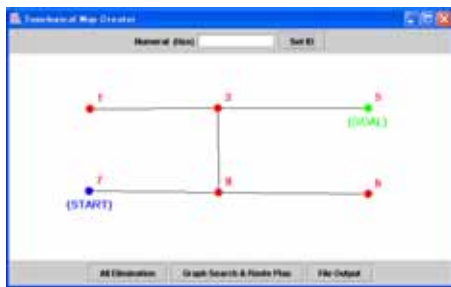


Fig. 6 Topological Map

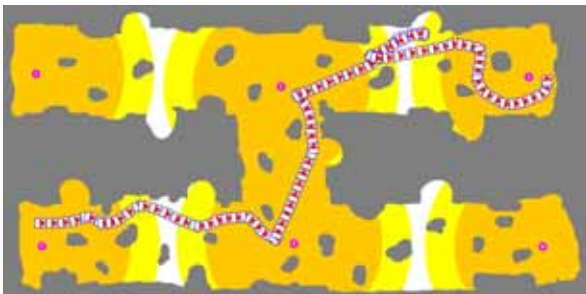


Fig. 7 Simulation Result

今回は作業環境全体の環境地図を与えたため、ナビゲーションを行うことが出来た。しかし、ユーザーの手間がより少なくなればそれに越したことはない。

現在のままでも、環境地図を簡略化し、一部分のみを与えてナビゲーションを行うことは可能である。しかし、未登録IDを検出した時のエラーリカバリーが未実装であるため、Fig.8に示す環境地図を与えた場合、ID1やIDbなど他のランドマークへ向かってしまった時には対処が出来ない。こ

の問題をいかに解決し、ユーザーの負担を減らしてナビゲーションを行うかが今後の課題である。



Fig. 8 Simple Topological Map

## 8. 結言

今回は環境地図としてトポロジカルマップを与え、自律移動ロボットのナビゲーションを行った。シミュレーション結果より本手法の有用性を検証できたが、課題も浮かび上がってきた。また、今回はシミュレーションのみで、実際にロボットに環境地図を与えてナビゲーションを行ったわけではない。今後は問題点を解決していくとともに、実機にてナビゲーションを行って行きたい。

## 参考文献

- 1) 及川一美:自律移動ロボットのためのトポロジカルマップを用いた環境表現,計測自動制御学会東北支部第190回研究会講演資料,資料番号190-6(2000)
- 2) Rodney A. Brooks: A Robustlayered Control System For A Mobile Robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.RA-2, no.1, pp.14-23 (1986)
- 3) 寺林賢司: 手書き地図による自律移動ロボットのためのトポロジカルマップ作成インターフェイス, 北大卒業論文, pp.13-15 (2001)