

手書き地図インタフェースによるナビゲーション

Navigation Instructions Using Handwriting Map Interface

○及川一美*, 大久保重範*

○Kazumi Oikawa*, Shigenori Okubo*

*山形大学工学部

*Faculty of Engineering, Yamagata University,

キーワード: ロボットインタフェース (Robot interface), グラフマップ (Graph map),
人工ランドマーク (Artificial landmark), 行動規範型ロボット (Behavior-based Robotics),
サブサンプション・アーキテクチャ (Subsumption Architecture)

連絡先: 〒992-8510 米沢市城南四丁目三番地十六号 山形大学 工学部 機械システム工学科
及川一美, Tel.: (0238)26-3246, Fax.: (0238)26-3246, E-mail: okazu@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

将来ロボットが福祉施設や一般家庭で利用されることを考えたとき, 実際にロボットを使用するのはケアワーカーや主婦であり, ロボットの専門家ではなく, 専門家以外のユーザーにとっても馴染みやすいインタフェースであれば, 導入から利用するまでのセットアップコストを低くできることが期待できる. その考えから我々は人間同士の目的地指示, もしくは経路指示を行う際に日常的に利用される手書きの地図を, ナビゲーションタスクにおけるロボットとのインタフェースとして利用することを考えてきた^{1, 2)}. 一方, 同様にセットアップコストを低くする目的で, ローカルランドマークとグラフマップを用いたナビゲーション手法も提案してきた³⁾. そこで, 今回は上記のナビゲーション手法に手書き地図インタフェースを適用することで, 手書き地図インタフェースの使い勝手を向上させることを考える. 現時点では開発途中で一般の方が使いやすいインタフェースに

は至ってはいないが, 今日までの途中経過を報告したい. 以下, 対象とする環境及びマップの内部表現について述べ, 手書き地図インタフェース並びにそれを用いたシミュレーション結果を示す. そして, 現在の問題点, 今後の課題を挙げる.

2. マップの内部表現及び作業環境

今回, ロボットが保持する環境の内部表現としてグラフ状のマップ (以下グラフマップと表記) を利用する. グラフマップは絶対座標表現地図と比較して, 情報量が少なく詳細な表現において劣るが, 逆にその理由で大量のメモリを必要とせず詳細な経路を計画しないので計算も軽くすることができる. 特に, ユーザーインタフェースにおいてグラフマップは重要と考える.

従来の絶対座標表現の手法は当然のことながら座標をユーザーと共有しなければならない. しかし, 座標という概念は一般ユーザーには敷居が高い. 例えば目的地指示に座標を用いることは, そ

の手間を考えれば困難且つ面倒である。実用化されているロボットではその解決法として、タッチパネルディスプレイにマップをグラフィカルに表示し、指で目的地を指示するなどユーザーに座標を意識させることなく間接的に座標で指示する。しかし、そのマップを作成するとなると座標を意識しなければならず、専門家に頼ることになりマップ作成にコストがかかる。更に、作業環境が頻繁に変更するような環境であればメンテナンスにもコストがかかる。

ここで人間のナビゲーション及び人間相手の目的地指示について考える。我々が普段ナビゲーションを行う際に詳細な座標は意識しないし、相手に目的地を指示する際も座標は用いない。ほとんどの場合、環境中に存在する特徴点を利用して指示する。また、指示された側も、例外はあるにしても、多くの場合特徴点と特徴点をつなぐグラフ構造の地図を思い浮かべ大まかな計画を立て、アーク上の詳細な計画、行動決定は計画遂行中に行われる。つまり、人間にとってグラフマップは扱い易いと言える。

一方、ロボットにとっては絶対座標表現が扱いやすく、トポロジカルマップと絶対座標表現のハイブリットな手法⁴⁾も重要と考えるが、普段我々が用いているコミュニケーション手段を採用することで、より使いやすいインタフェースになると考える。そこで今回は手書きの自由線で構成される地図を採用し、手書き地図からグラフマップに変換し、それを用いて目的指示及び経路指示を行いナビゲーションを行わせる手法について考える。

2.1 ローカルランドマーク

さて、グラフ構造を利用するナビゲーションは街中では有効であるが、砂漠や海上では困難であり、星などの作業環境上のあらゆる地点から観測可能なランドマーク、いわばグローバルランドマ

ークが必要となる。一方、街中でグローバルランドマークを必要としないのは、アークに相当する通路に沿うことでノードである特徴点に到達可能であるからであり、この場合、特徴点は近傍の領域でしか観測できないローカルランドマークであるといえる。広い工場ならまだしも施設など屋内環境でグローバルランドマークを用意するのは困難であるが、ローカルランドマークを用意することは可能である。従って、通路状環境であればローカルランドマークを使用することで、グラフマップのみでナビゲーションが可能である。つまり、通路状環境はグラフマップの利点を最大に利用できる環境である。以下、特に断らない限りローカルランドマークをランドマークと呼ぶことにする。

2.2 作業環境

作業環境は前述の通り通路状環境とし、Fig. 1に示されるように交差点やT字路、端点にローカルランドマークが配置される。ローカルランドマークは環境中の任意の特徴物が望ましいが、ロボットに搭載するセンサやマイコンの性能、及び技術的な問題でロボットが検出しやすい特別な人工物とする。ここでは、赤外線を用いてID信号を発信するランドマークを想定しており、ロボットはその赤外線が届く範囲でランドマークのIDを識別することが可能であるとする。

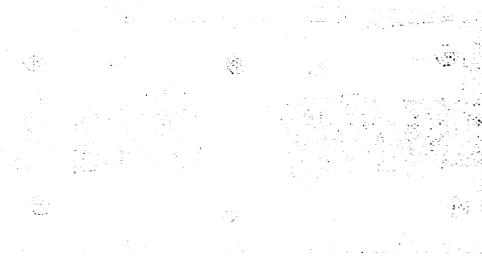


Fig. 1 Corridor environment

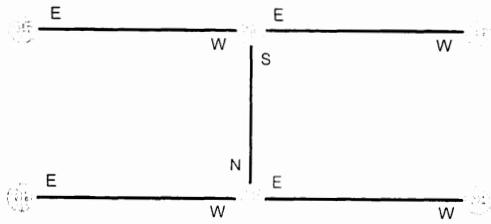


Fig. 2 Topological map

2.3 グラフマップ

Fig. 1に対するグラフマップをFig. 2に示す。このグラフのアーキは通路を意味し、ノードはランドマークを意味している。ノードの次数は最大4とする。これはロボットのセンサの問題により、このような制約を入れた。また、ロボットが交差点やT字路において間違わずに目的の枝路に進入するために、便宜上アーキに方向の情報を与えてある。ただし、その方向は実際の方角と異なっても構わないが、ロボットがこのマップを使用する際には、初期位置でのロボットの向きが地図上でどの向きなのかを教える必要がある。

3. 手書き地図

システム概要をFig. 3に示す。手書き地図を計算機に取り込むデバイスとして、今回はACECAD社のDigiMemo A501を用いた。このデバイスは紙に書いた図形を画像として取り込むデジタルパッドと呼ばれる装置である。特殊な装置になってしまいが、カメラなど光学的な装置を使用しないので、ノイズ処理を省くことができるため採用した。

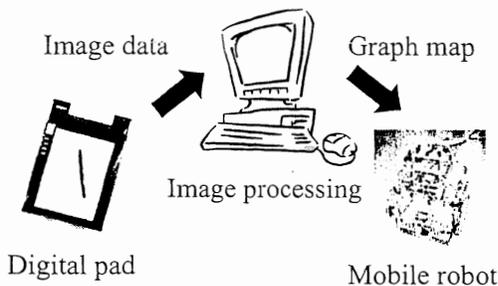


Fig. 3 Overview of the system

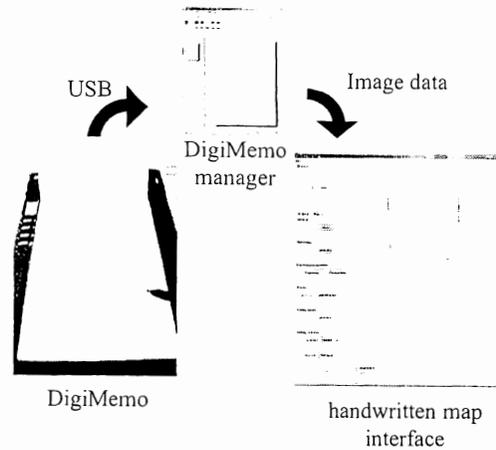


Fig. 4 Handwritten map interface

このデジタルパッドを使って地図を描き、計算機に取り込み画像処理を行いグラフマップに変換する。その変換ソフトをFig. 4に示す。

線画画像からグラフへの変換はラスタベクトル変換を用い、文献⁵⁾を参考にJavaで作成した。今回は以下のプロセスで変換を行った。

- 1) 2値化
- 2) 膨張・収縮
- 3) 細線化
- 4) 特徴点抽出
- 5) 角点抽出
- 6) 直線化

線画からグラフに変換した結果をFig. 5に示す。

Fig. 5にあるように手書き地図からトポロジカルマップに変換直後は、各ノードにはランドマー

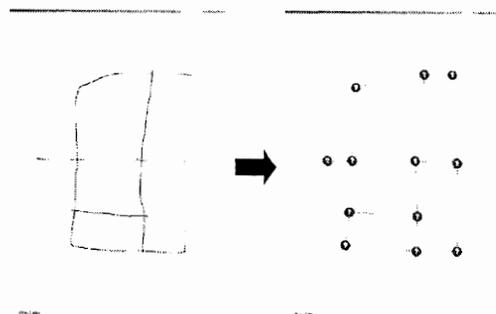


Fig. 5 Raster-to-Vector Conversion

クのIDは設定されておらず（図中“?”），マウスにより設定するノードを選択しキーボードにより設定する．この設定方法は容易なインタフェースとは言いがたいので，将来的には自動化したい．

本ソフトではマウス操作でロボットに指示する経路を与えることができる．本稿での経路とはロボットが通るべきノードの系列であり，スタートとゴールだけでなく途中のノードも与えることができる．経路におけるあるノードの前後はマップ上で隣り合うノードである必要はなく，ロボットは与えられた経路のノードを順に最短アーク数で移動する．

4. シミュレーション

上記の変換ソフトを用いて，ロボットに作業環境の地図と経路を与えナビゲーションを行わせるシミュレーションを行った．

4.1 自律移動ロボット

ここでは実験で使用する実機を想定してシミュレーションを行った．ロボットは独立駆動車輪型移動ロボットで，測距センサを8個，電子コンパスを1個，そしてランドマーク検出センサを搭載している．測距センサの配置をFig. 6に示す．ロボットはデッドレコニングは用いず正確な自己位置はわからないものとする．

ロボットの行動決定規範は絶対座標を利用しないため行動規範型を採用するが，我々が提案して

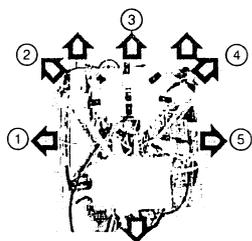


Fig. 6 Arrangement of PSD

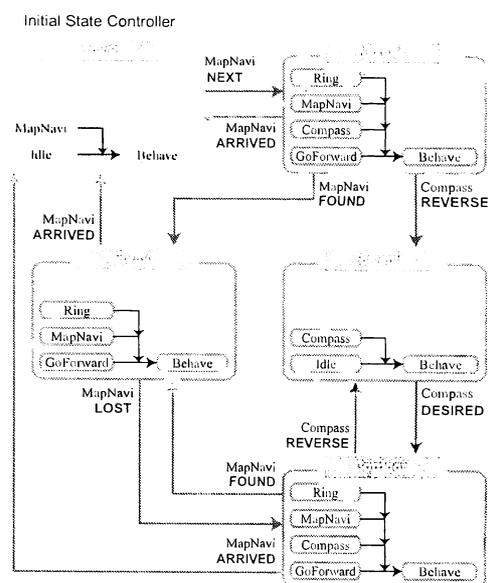


Fig. 7 State transition diagram of event-driven layered control changer

いるオブジェクト指向型設計のSA⁶⁾を用いる．

Fig. 7に状態遷移図を示す．図中の各層のモジュール名と意味は，

Ring Module: リング状の測距センサを用いて障害物回避行動を発現する層，

MapNavi Module: トポロジカルマップを利用してナビゲーション行動を発現する層，

Compass Module: 電子コンパスを利用して指定の方向を維持して移動する行動を発現する層，

GoForward Module: 前進行動のみを発現する層，

Idle Module: 停止行動のみを発現する層，

である．そして，各状態の名前と意味は，

Arrived State: ランドマークに到達したときの状態，

NextLM State: 次のランドマークに向かう状態（方向を初期化），

Found State: 次のランドマークを発見した状態．

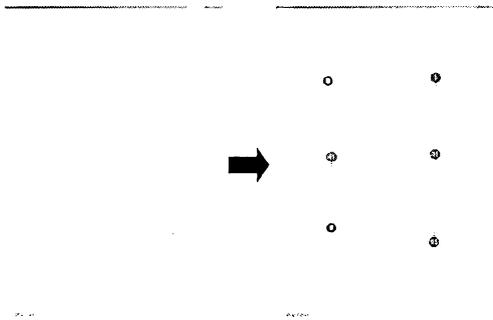


Fig. 8 Handwritten map

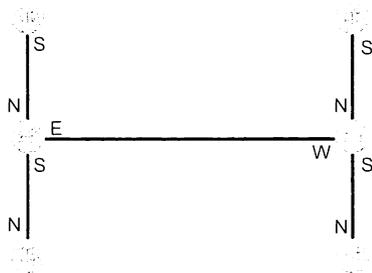


Fig. 9 Graph map

Corridor State: 次のランドマークに向かう状態
(方向は初期化しない),

Reverse State: 反対方向を向いている状態,
である.

4.2 作業環境とグラフマップ

作業環境はFig. 1に示される通路状環境であり、Fig. 8の手書き地図をラスタベクトル変換で得られたグラフのノードにID番号を付加して、最終的に得られたマップをFig. 9に示す。

4.3 結果

タスク 1 目的地のみを与えた場合.

今回作成した手書き地図インタフェースを使用して、得られたマップをロボットに与え、次のような目的地のみの経路を与えた。

順番	1
ID列	03

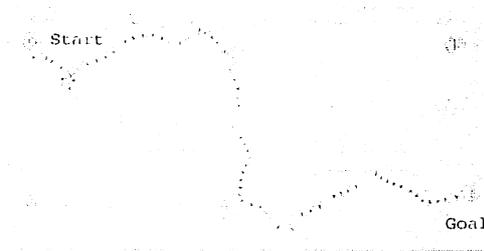


Fig. 10 Simulation result of 1st task

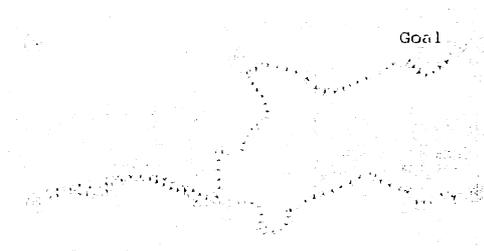


Fig. 11 Simulation result of 2nd task

初期位置をIDが05のランドマーク付近として、ロボットの向きが05→31の方向であることを教えた。

以上の設定を行ってナビゲーションを行った結果をFig. 10に示す。結果から分かるようにロボットは05をスタートし、31→41→03と移動しタスクを達成した。

タスク 2 出発地と目的地を与えた場合.

次に、上のタスクを達成した状態から、下の経路を与えた。

順番	1	2
ID列	0b	15

初期位置のロボットの向きは一度与えれば十分なので、このタスクでは教えていない。ナビゲーションを行った結果をFig. 11に示す。このタスクでは初期位置と出発地が異なっているが、ロボットは03をスタートし、41→0bと出発地まで移動し、その後0b→41→31→15と移動しタスクを達成した。

タスク 3 更に長い経路を与えた場合.

続いて下の経路を与えた。

順番	1	2	3	4
ID列	05	0b	03	15

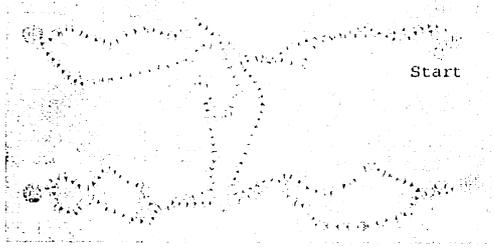


Fig. 12 Simulation result of 3rd task

ナビゲーションを行った結果をFig. 12に示す。図では分かり難いが、ロボットは15をスタートし、31→05と出発地まで移動し、その後05→31→41→0b→41→03→41→31→15と移動した。

5. 考察及び今後の課題

本稿で述べた手書き地図インタフェースによる、ロボットへの作業地図及び経路指示の方法は、地図を作成することに対して特別な知識を必要とせず、また正確に作業環境内を測定し地図に表す必要がないため、ユーザーへの負担を軽くすることが期待できる。シミュレーション結果からも手書き地図インタフェースにより、ロボットにナビゲーションを指示することが可能であることが分かった。しかし、まだ開発段階であり、多数の解決しなければならない問題点がある。

文献³⁾ではトポロジカルマップはテキストファイルでこのロボットの特別な形式でユーザーが用意していたため、まだユーザーフレンドリーとは云いがたかったが、今回、簡単なマウス操作でトポロジカルマップを自動生成するため、ロボットにマップを与える操作は格段に容易になった。与える経路もマウス操作で行えるため、パソコンを普段使い慣れている方には使いやすくなったと考える。

ただし、手書き地図から変換されたグラフのノードのIDを設定するのに、キーボードを使用するのが煩わしい。それだけでなく、今回は6個と少数であるため余り問題を感じないが、更に広い作業空

間で大量のランドマークが存在するような場合は、全てのIDを設定しなければならないのは容易なインタフェースとは云えない。例えば、タスクを達成するのに重要なノードのみ設定して、タスクを達成中にロボットが実際の環境からIDを取得し地図に情報を加えるような工夫が必要であると考えている。また、ノードのIDを手書き地図上に書き込み文字認識を行う機能も、今後検討したいと考えている。

本手法の大きな問題は通路状環境にしか使用できないことである。トポロジカルマップは情報や必要な処理が減るため有用であり、通路上では積極的に利用した方がよいと考えるが、広い空間では座標の方がロボットにとっては有用であり、適宜切り替えられるような仕組みが今後必要であると考えている。

6. おわりに

ロボットの専門家以外の方でも容易にロボットにナビゲーションを指示する方法として、手書き地図インタフェースを用いてフリーハンドで作成した地図から、ロボットに作業環境のトポロジカルマップを与える方法について述べた。また、シミュレーションにより本手法の可能性を示した。今回はセンサの問題で実験結果が得られなかったが、今後はセンサを検討しなおし実験による検証を行いたい。

参考文献

- 1) 及川一美, 土谷武士: “手書き地図を用いた通路状環境のオフライン教示”, 日本ロボット学会誌, vol. 17, no. 5, pp. 704-713, 1999.
- 2) 寺林賢司, 江丸貴紀, 及川一美, 土谷武士: “手書き地図インターフェースを持つ自律移動ロ

ボットのナビゲーション”, 第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2002.

- 3) Kazumi Oikawa, Hidenori Takauji, Takenori Emaru, Shigenori Okubo and Takeshi Tsuchiya: “Navigation Using Local Landmarks in a Corridor Environment,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 17, no. 3, pp. 262-268, 2005.
- 4) 友納正裕, 油田信一: “不確かさを許すマップと単眼ビジョンによる物体認識に基づく移動ロボットの屋内ナビゲーション”, *日本ロボット学会誌*, vol. 22, no. 1, pp. 83-92, 2004.
- 5) 酒井幸市: *Visual Basic & Visual C++によるデジタル画像処理入門*. CQ出版, 2002.
- 6) 及川一美, 土谷武士, 大久保重範: “サブサンプル・アーキテクチャのオブジェクト指向設計”, *日本ロボット学会誌*, vol. 23, no. 6, pp. 697-705, 2005.