手書き地図インタフェースによるナビゲーション指示手法

Navigation Instructions Using Handwriting Map Interface

○正 及川一美 (山形大) 高氏秀則 (北大) 正 江丸貴紀 (電通大)
正 土谷武士 (道工大) 正 大久保重範 (山形大)

Kazumi OIKAWA, Yamagata University, okazu@yz.yamagat-u.ac.jp

Hiddenori TAKAUJI, Hokkaido University

Takanori EMARU, University of Electro-Communications

Takeshi TSUCHIYA, Hokkaido Institute of Technology

Shigenori OKUBO, Yamagata University

We propose a easier way to give a map to a robot using handwriting map interface. To popularize the use of robots in the home and welfare institutions, robots must be easy for anyone to use. In this paper, we discuss the way to give to the robot the graph map corresponding to its environment using handwriting map interface that converts handwriting map composed of lines into the graph map. We expect this interface to relieve us of the bother of making maps. Simulation results applied this interface to corridor environments are shown.

Key Words: Robot Interface, Navigation, Autonomous Mobile Robot, Graph Map, Behavior-Based Robotics

1 はじめに

本稿では移動ロボットに環境地図並びに経路指示を容易に行うための、手書き地図を用いたロボットインタフェースについて述べる。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い。したがって、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]。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 [2]。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。

更に、ナビゲーションにおける行動決定として行動規範型の手法について述べる。ここで述べる手法は我々が提案していたオブジェクト指向設計の SA (Subsumption Architecture) [3] の問題点を解決するために、ポテンシャル関数の概念を採用した手法である。

本稿では、この行動決定手法を搭載したロボットに手書き地図インタフェースを適用し、シミュレーションにより有効性を検証する。

2 作業環境及びグラフマップ

本研究では、ロボットが保持する環境の内部表現としてグラフ表現を採用する。グラフ表現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、人間とのインタフェースにおいてグラフマップは重要であり、我々人間が普段ナビゲーションを行う際に詳細な座標は意識して

おらず、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 (ローカルランドマーク) 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る。そして、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。以上の理由から、本稿でもローカルランドマークが存在する通路状環境を、グラフマップで表現する手法を用いる。ここで、ローカルランドマークとはランドマークの近傍でのみ観測可能なランドマークと定義し、以下、特に断わらない限りランドマークと表記する。

2.1 作業環境

作業環境は前述の通り通路状環境とし、図 1 に示されるように交差点や T 字路、端点にランドマークが配置される。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: Graph map

2.2 グラフマップ

図1に対するグラフマップを図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。したがって、ロボットがこのマップを使用する際には、ロボットの実際の向きと地図上の向きを対応させる処理が必要となる。

3 手書き地図

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うが、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。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。その変換ソフトを図3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[4]を参考にJavaで作成した。今回は、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) 直線化のプロセスを順に行い変換した。線画からグラフに変換した結果を図4に示す。

図4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く、今後の課題とする。

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

Fig. 3: Handwritten map interface

Fig. 4: Raster-to-Vector Conversion

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キ数で移動する。

4 ポテンシャル関数法

非干渉型SAの固定階層問題を解決する手法として、イベントにより階層構造を切り替える手法[3]を提案したが、完全な解決手段とはならず局所的に固定階層問題が現れ、それが無駄な動作として現れていた。また、if-thenによる安易な設計法は速度指令値の妥当性を議論しないものであり、周囲の状況に合わせたスムーズな行動決定が困難であった。特に前者の問題は深刻であり、非干渉型のSAを使用する限り固定階層問題を解決できないことを示している。

一方、ポテンシャル場の概念を用いた手法にファジ理論を応用したファジポテンシャル法[5]が提案されている。この手法は全方向移動可能なロボットに適用されており、本研究で使用している独立二輪駆動型のロボットにそのまま適用することは困難であったことなどから、イベント切替手法にポテンシャル関数の概念を導入し、固定階層問題の解決を図る。

4.1 概要

非干渉型SAは構造が簡単である一方、モジュール同士が相反する行動を出力しても、全体の効率などは無視して機械的に上層が下層を抑制する。これが固定階層問題の原因である。一方、ファジポテンシャル法(以下FP法)はSAと言うモジュールが出力する行動をポテンシャルメンバーシップ関数(以下PMF)で表現し、これらをファジ演算を用いて統合することにより全体的な決定を行う。つまり、モジュール間に上下関係が無く、全てのモジュールの意思が行動決定に反映される。したがって、前者が封建的行動決定法とするなら、後者は民主的行動決定法と言える。本研究は固定階層問題をこの民主的な概念を採用することで、解決を図るものである。

さて、PMFは横軸が行動の種類、縦軸が優先度を表すファジ理論におけるメンバーシップ関数の形をとる。ところで、ある瞬間において、積極的に行いたい行動と逆に行いたくない行動が同時に存在することは珍しくない。そして、それと同時にどちらでもない行動も存在し得る。これらを同時にメンバーシップ関数で表現する事は困難である。

何故なら、演算と伴って上記3種類の内、2種類を表現する事が可能であるからである。つまり、関数だけでは一意に決まらず、同じ関数の値でも演算によって意味が変わる、寧ろ演算と伴って表現すると言った方が正しい。例えば、AND演算の場合、1の値を持つ行動はどちらでもない行動で0は禁止行動である。OR演算の場合、1は積極的行動であり0はどちらでもない行動である。以上の理由から、本手法ではメンバーシップ関数及びファジィ演算は採用せず、3種類の行動を表現可能なポテンシャル関数（以下PF）を用いて特別な代数和で演算し統合する手法を提案する。

4.2 ポテンシャル関数及び演算

ポテンシャル関数の最大値を10とし、最小値を-10とする。正の値は積極的行動の度合いを意味し、負の値は禁止行動の度合い、0はどちらでもない行動を意味する。

統合における演算は、全てのモジュールの意思を反映させるために多数決を採用し、代数和で演算することにする。但し、禁止行動は自己を護るための重要な決定であり優先されるべきである。したがって、異符号の演算は負の値を演算結果にする。本演算の演算子を $\oplus$ とし、以下に演算方法をまとめたものを記す。

$$A \oplus B = A + B \quad (A \cdot B \geq 0) \quad (1)$$

$$A \oplus B = A \quad (A < 0 \leq B) \quad (2)$$

統合については全てのモジュールに対して上記の演算を行い、最大値を持つ行動が採用される。複数の行動が最大値を持つ場合は後述の方法で1つに絞る。

4.3 移動ロボットへの適用

独立二輪駆動型の移動ロボットが行動するために必要なパラメータは進行方向の速度 v と旋回速度 ω である。これらを独立に決めるために2つPFを用意する。1つは ω を決めるPFで、横軸をロボットからの相対角度、縦軸は優先度とする。統合化されたPFを f とすると、 $f(\theta)$ を最大とする θ を求める。もう1つは v を決めるPFで、横軸は同じく相対角度、縦軸は距離とする。ただし、演算は $\oplus$ ではなく、最小値を求める演算とする。同様にPFを g とすると、 f より求めた θ を用いて距離 $\phi = g(\theta)$ を求める。ただし、 $f(\theta) < 0$ のとき、 $g(\theta) > 0$ であっても $\phi = 0$ とする。

ところで、 f を最大とする θ が複数存在するときは、1ステップ前に選択された角度 θ_{fp} をフォーカスポイントとして、 θ_{fp} に最も近い角度を選択する。この操作でも決まらない場合は乱数で選択する。以上の操作から得られた θ 、 ϕ を用いて、 v と ω は次式で求める。

$$v = K_v \phi \quad (3)$$

$$\omega = K_\omega \theta \quad (4)$$

ここで、 K_v 、 K_ω は比例ゲイン定数である。

4.4 イベント駆動切替手法

タスクを円滑に遂行するためには、状況に合わせて適宜必要なモジュールを選択する必要がある。この仕組みにはオブジェクト指向設計SA[3]で用いたイベント駆動による状態遷移を用いる手法を採用した。

Fig. 5: A example of Potential Functions

Fig. 6: Integrated Potential Function

4.5 ナビゲーションタスクにおけるPF

ナビゲーションタスクを実行させるために設計したPFの一例を示し、統合化される様子を説明する。ロボットは本研究室で作成したロボットを想定しており、8個の距離センサ、1個の電子コンパス、1個のランドマークセンサを搭載している独立二輪駆動の車輪型移動ロボットである。

図6にシミュレーションの一場面と、統合後のPFを示す。赤い三角の印が付いたものがロボットとその姿勢を意味しており、数字はランドマークのID及び位置を表している。その周囲の黄色の領域がランドマークを観測できる範囲である。図5に各モジュールのPFを示す。以下、各モジュールについて説明するが、紙面の関係上PFについては詳述しない。

Avoid Module 距離センサからの情報により、障害物の方向及び開空間を求め、障害物回避が可能なPFを生成するモジュールである。例では開空間が正の値となり、障害物の方向には負の値で抑制をかけているのが分かる。

Compass Module 通路を沿う行動を出力するには距離センサの数が極端に少ないために、地磁気を利用して目標

Fig. 7: Corridor Environment on Simulation

の方位に誘導することで、沿い走行を実現するためのモジュールである。ポテンシャルは単純に目標の方位に最大値を与えている。

MapNavi Module 手書き地図インタフェースによって与えられたグラフマップを利用して、指示された経路にしたがって目的値に誘導するためのモジュールである。例では、ランドマークの観測可能領域内に入っていないため、ポテンシャルは全ての方向に対して0を出力している。

統合結果 単純に最大値を選択させると最大方向に目移りするような不安定な動作になるため、前方が選択されやすくなるよう統合したPFの前方を100%、後方を0%とし角度に比例した重みをかけている。以上の結果、この例では $\theta = 45^\circ$, $\phi = 16[\text{cm}]$ が得られる。

5 シミュレーション

上述のように設計したモジュールを搭載した移動ロボットに、手書き地図インタフェースを用いて指示した経路を辿らせるナビゲーションタスクを計算機上で行わせた。図7に作業環境、図8にシミュレーションにあたって描画した手書き地図並びにインタフェースを用いて得られたグラフマップを示す。ロボットに与える経路は $d \rightarrow 11 \rightarrow 19$ とした。

Fig. 8: Handwriting Map and Translated Graph Map

Fig. 9: Simulation Result

図9に得られた結果を示す。この図は、サンプリングタイム50[msec]を1ステップとして4ステップ毎にプロットしてある。環境中には多数の障害物を配置しているが、障害物に衝突することなく目的地に到達している。障害物を回避する際にチャタリングのような小刻みに左右に旋回を繰り返すような動作が見られた。モジュールの設計に改善の余地があると思われる。とは言え、従来の非干渉型SAと比較して、格段に無駄な動作が減っており、民主的な手法の有効性が確かめられた。設計においては、議論のない多数決は封建的な結果と大差なく、設計しながらモジュール間の調整を必要とした。特に障害物回避モジュールと他のモジュールの干渉を解決するための妥協点を探るのに多くの時間が取られた。一方、インタフェースの使い勝手に関しては、地図を詳細に記述する必要が無い手法の利点が見られた結果が得られたと言える。しかし、12個のランドマークのIDをキーボードで設定するのは容易とは言えない。今後は、一部のランドマークのIDを設定し、残りはタスクを実行している間に取得するような手法が望まれる。

6 おわりに

作業環境のマップ並びに経路を指示するインタフェースとして手書き地図インタフェースについて述べた。また、非干渉型SAの問題点を解決するためにポテンシャル関数を用いた行動決定手法を提案した。シミュレーションによりその有効性を確認した。

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] 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.
- [3] 及川一美, 土谷武士, 大久保重範: “サブサンプシオン・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.
- [4] 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.
- [5] 津崎亮一, 吉田和夫: “ファジィポテンシャル法に基づく全方位視覚を用いた自律移動ロボットの行動制御手法”, 日本ロボット学会誌, vol. 21, no. 6, pp. 656-662, 2003.