

PF 法を用いた自律四足歩行ロボットの行動決定

Decision Making for an Autonomous Quadruped Robot Using Potential Function Method

村井一誠*, 及川一美*, 大久保重範*, 高橋達也*

Issei Murai*, Kazumi Oikawa*, Shigenori Okubo*, Tatuya Takahashi*

* 山形大学工学部

*Faculty of Engineering Yamagata University,

キーワード : PF 法 (Potential Function Method), サブサンプション・アーキテクチャー (Subsumption Architecture), 脚姿勢切替歩行 (Walking of Leg Posture Switching), 自律四足歩行ロボット (Autonomous Quadruped Walking Robot)

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 大久保研究室村井一誠,
Tel.: (0238)26-3245, Fax.: (0238)26-3245, E-mail: imcom_97@yahoo.co.jp

1. はじめに

我々はロボットに行動規範型手法を用い, その適用方法として Subsumption Architecture(以下 SA) を適用し, 非干渉型 SA にイベント駆動を取り入れ, 自律化, ナビゲーションを行ってきた [2,3].

非干渉型 SA は構造が簡単で, モジュール同士が干渉しないためモジュールの追加削除が容易に行える. しかしながら, モジュールが独立であるため, 互いに異なった行動を出力したとしても, 上位のモジュールが優先され, 全体的な効率とは考慮されない. この固定階層問題は, オブジェクト指向設計法 [2] においても発生し, 内部に非干渉型 SA の構造を有している限り解決できないことを示していた.

そこで我々は, ポテンシャル関数の概念を取り入れ, 重ね合わせによって行動を決定する手法を採用し, この問題の解決を図る.

今回は, 行動規範型手法の適用方法としてポテンシャル関数 (以下 PF)[1] での設計する手法と, それを用いて四足歩行ロボットの自律化, ナビゲーションを行い SA との比較検討したことについて述べる.

2. 導入

導入として, ナビゲーションを行うプログラムを設計の際に必要な各条件と, SA の問題についてここで述べる.

2.1 ナビゲーション環境

ナビゲーション環境は, 廊下のような通路状環境を想定する. ロボットは自己位置が判らないため, 周囲の環境からスタートやゴール地点等を認識する必要がある. このためランドマークとして, 赤外線 LED を用い ID を発信するものを使用する. ランドマークは天井に設置し, 2 種類の指向性の異なる赤外線 LED を

用いることで広範囲とランドマーク真下を認識できるようにする。Fig.1 にランドマークの認識範囲を示す。ランドマークは環境中のT字路, 端点, ゴール地点などに配置する。この ID と, ID と ID の位置関係 (おおよその方角), 起点・終点の ID をロボットに与えてナビゲーションを行う。

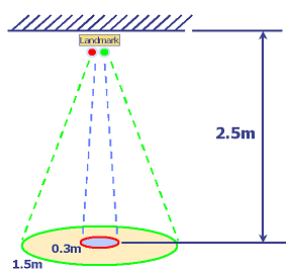


Fig. 1 Range of landmark

2.2 非干渉型 SA の問題点

非干渉型 SA は Fig.2 のように階層型構造による行動決定手法である。センサ毎にモジュールが構成され、センサの値から行動を決定する。各モジュールは干渉することなく、常に上位のモジュールの行動決定が優先され、例えばそれが最適な行動でなくても実行される。例えば、ロボットの前方に障害物がある場合、ランドマークモジュールが左側に目的地があるとして、左側への行動を出力しているが、障害物回避モジュールは前方が塞がれている為左右への回避行動を決定する。この時左に行くかどうかは偶発的ではない。この問題は、イベント駆動による状態遷移を用いて、状況毎に使用するモジュールを変えても、障害物の回避モジュールはロボットの動作中は常に動作しているため、この問題は解決されなかった。

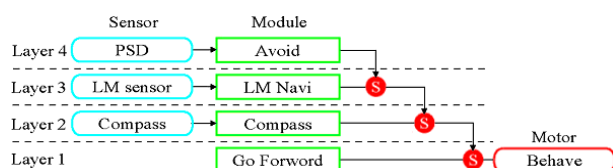


Fig. 2 SA which has independent layers

2.3 四足歩行ロボットの概要

本研究で開発、使用しているロボットの概観を Fig.3 に示す。サイズは、立ち上がり姿勢でおよそ 230 × 300 × 250[mm] で、重量は約 1.8[kg] となっている。

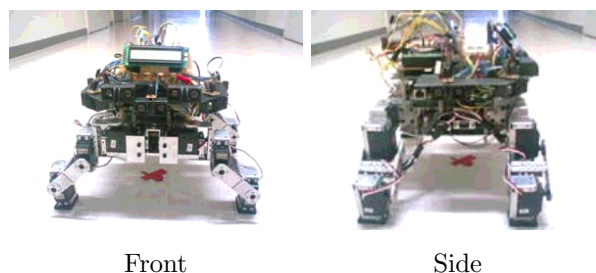


Fig. 3 Overview of the Robot

2.3.1 主な使用デバイス

サーボモータは,FP-S3003(Futaba 社製) を使用する。1 脚 3 自由度で計 12 個のサーボモータを装備している。モータドライバには,HSWB-01(姫路ソフトウェア社製) を使用する。メイン CPU には,L-card+(LASER5 社製) を用い LinuxOS を搭載している。センサ制御部には,H8 マイコンを 2 個使用する。センサは 3 種類で距離センサは GP2D02(SHARP 製) を 8 個, 電子コンパスは RDCM-802(共立電子産業) を 1 個, ランドマークを検出するための赤外線センサは CRVP1738 を 7 個, ロボットの前方を重心的に Fig.4 のように配置してある。

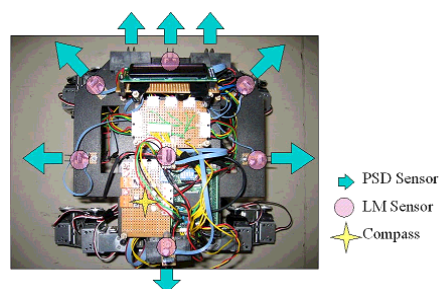


Fig. 4 Arrangement of Sensors

2.3.2 歩行方法

歩行方法としてクローラ歩容と循環歩容を組み合わせた脚姿勢切替歩行 [4] を用いている。クローラ歩容と循環歩容は共に、常時3脚以上が接地し安定性が高く、4脚の接地率の等しい正規歩容であり、静歩行の中でも移動速度が速くできる。また四足歩行ロボットの歩行における歩容の切替の際には、足踏み動作や、逆運動学などの複雑な計算を用いることが一般的であるが、ここで用いる脚姿勢切替歩行は、無駄な動作や、計算に時間をかけず、ナビゲーションへの負荷も少なく、多くの動作を準備することができる。また、パターンの繰り返しで歩行するため、左右それぞれの歩幅が連続的に変化、使用されなくてはならない。歩幅の設定範囲は1から10の10段階としている。

これにより、使用可能な歩行命令は、クローラ歩容では歩幅を最大にしようとする前後進、左右片側の歩幅を小さくしながらの前後進(旋回歩行)、歩幅を変えない前後進、循環歩容では左右への信地旋回歩行の全部で10種の動作命令が使用可能となっている。

また、側方への歩行(横歩き等)はセンサが前方に重心的に配置されているために、横への移動は危険を伴うので用意していない。

3. PF法による行動決定

設計にあたり以下のことを念頭に置きPFによるナビゲーションプログラムを作成する。PF法の簡単な構造はFig.6に示す。SAと同様に各モジュールが独立で動作し干渉しない。SAと同様、イベント駆動を使用し、用いるモジュールを切替る。モジュールからは、Fig.5に示すロボットを中心とした45°ごと8方向の優先度(ポテンシャル)をPFとして出力する。各モジュールから出力されたPFの重ね合わせで行動を決定する。また前方にセンサが集中しているため後方への移動は緊急な場合を除き使用を認めない。

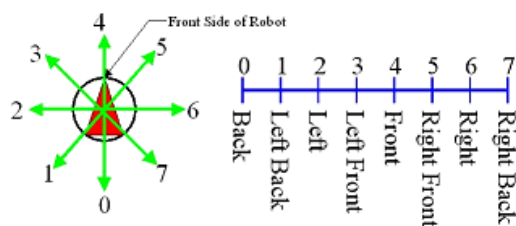


Fig. 5 Direction of Potential Function

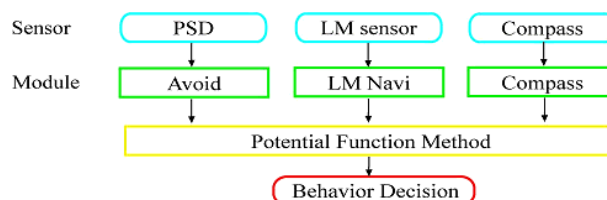


Fig. 6 Control System of PF Method

3.1 モジュールの設計

PFにおいて、負の値は禁止行動とし各モジュールから出力されるPFは-10から10の範囲内で決めることとする。

Avoid Module

距離センサを用いた障害物回避のためのモジュールである。Fig.7に状態遷移図を示す。距離センサは8個使用しているが、それぞれの測定に誤差があるため、約15[cm]までを危険距離、約30[cm]までを近距離、約50[cm]までを中距離、それ以上を遠距離とし、4段階で判断させる。主に禁止行動を設定し、近距離の間なら禁止行動とし、移動を抑止するため負の値をいれている。これはどの状態においても同じものとし、障害物への衝突は必ず避けるように設定する。その他の場合のPFはそれぞれの状態で異なる値をいれていくものとしている。

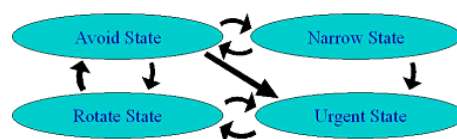


Fig. 7 State Transition Diagram of the Module

図中の各状態において、主に以下のような PF の設定を行っている。Narrow State はロボットの左右に障害物がある状態で、常に前方のポテンシャルを高く設定し、左右への行動は避けるように左右には負の値が入れられる。Rotate State はロボットの前方近距離に障害物があり、通常の旋回では避けるのが難しい状態で、信地旋回を行う左右後方のポテンシャルを高く設定している。Avoid State は通常の回避行動で、前方のポテンシャルは高く設定し、その他は、障害物がないと判断すれば 0 を入れてある。また前方 5 個のセンサが危険領域と判断した場合、Urgent State に遷移し、後方を正の値とし、それ以外を全て負にし、緊急回避行動として認識させる。Urgent State からは Rotate State のみ遷移し一度進行方向を変える。

Compass Module

電子コンパスを用いた目標の方角へ誘導するためのモジュールである。このモジュールは状態遷移は行わず、PF は目標の方角を最大値とし、そこから左右 45° の範囲にプラスの値を与えている。特に禁止行動はないので、負の値を入れることはない。

LMnavi Module

赤外線センサを用いた目標ランドマーク方向へ沿うためのモジュールである。Fig.8 に状態遷移図を示す。赤外線センサは 7 個使用し、1 つでも広範囲のランドマークを検出したら、LM Wide State に遷移し、ランドマーク真下を検出したら、LM Short State に遷移する。どちらの状態でもランドマーク方向へのポテンシャルを最大値とする。ランドマーク真下を 3 個以上のセンサが検出した場合、Goal State に遷移する。この状態では、ロボットを停止させたいため、PF の全てに負の値が入れられる。Goal State の状態をさらに 2 回以上連続で続けた場合、PF とは別にイベントを切替るための ID を出力する。

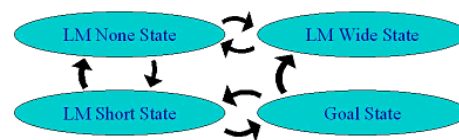


Fig. 8 State Transition Diagram of the Module

3.2 PF の演算と目標方向の選択

PF の演算方法は、同符号の場合は足し合わせ、異符号の場合は負の値が演算結果となる。これを $x \leq y$ と仮定し演算子 \oplus で表すと以下ようになる。

$$x \oplus y = y \oplus x = \begin{cases} x + y & (x \times y \geq 0) \\ x & (x < 0 \leq y) \end{cases} \quad (1)$$

これにより、それぞれの PF を f_A, f_C, f_{LM} とし $i(0 \leq i \leq 7)$ を要素数とすると演算結果は以下のようにになる。

$$F(i) = f_A(i) \oplus f_C(i) \oplus f_{LM}(i) \quad (2)$$

目標方向は単純に F が最大となり、かつ前方に近い方の i_{MAX} をとる。

3.3 イベント駆動型の設計

SA と違い各モジュールが並列であるので、優先順位などが無いため、モジュールの ON・OFF を設定する。イベントは、全て ON の Blindness State、Compass Module のみ OFF となる Found State、LMnavi Module のみ ON にする Arrival State 3 種用意し、状況に合わせ切り替える。それぞれの切替える条件は、Found State にはランドマークを検出している場合に遷移し、Arrival State には LMnavi Module から Goal のイベントを出力している場合に遷移する。ランドマークを検出していない場合は Blindness State で処理を行う。

3.4 四足歩行ロボットへの適用

ロボットは歩幅を連続的に使用するため、例えば前進命令を出したとしても、それまでに旋回を行っていて、

左右の歩幅が違えば旋回して行くこともある。そのため行動は、得られた目標方向 i と左右の歩幅の差から決定される。ただし、その中でも左右の歩幅の干渉を受けない方位がある。その方位は、後斜め左、後斜め右と後方の 3 方位で、それぞれ左信地旋回、右信地旋回、後進を行う。後進は緊急な回避行動が必要な場合のみ使用され、それ以外は常に負の値が入っているため選択されない。

目標方向によって、歩幅の差は 5 段階に分けられ、段階ごとに違う行動決定をだす。PF の目標方向と決定行動との対応表を Table 1 に示す。この表において、この状態は歩幅の差が無い場合のもので、右の歩幅に比べ左の歩幅が大きくなると PF Direction の隣となる Decision Behavior で 1 段階もしくは 2 段階上にあるものを選択し、右が大きくなると下にあるものを選択する。歩幅の差は、左が大・左が少し大・同歩幅・右が少し大・右が大の 5 段階に分けているので、目標方向から上下共に 2 段階まで選択できる。例えば PF 法で得られた目標方向が Front のとき、左の歩幅に比べ右の歩幅が大きい場合、Decision Behavior で Go Forward から下に 2 段階移動し、決定される行動は Left Turn となる。

Table 1 Decision Behavior

PF Direction	Decision Behavior
Right	Right Rotate
-	Right Rotate
Right Front	Right Turn
-	Go Hold
Front	Go Forward
-	Go Hold
Left Front	Left Turn
-	Left Rotate
Left	Left Rotate

4. 実機による実験

4.1 比較対象となる SA

以前までの問題で示した非干渉型 SA を文献 [3] の手法で設計する。優先順位は Fig.2 で示したものを維持し、PF 法と同様の ON・OFF による状態遷移でイベント駆動型を適用する。

4.2 実験環境

実験環境は廊下を使用し障害物を Fig.9 のように配置した。ランドマークは Fig.1 と同様なものを用いている。自律化に伴い無線化しているため、電源以外は無線で実験を行う。

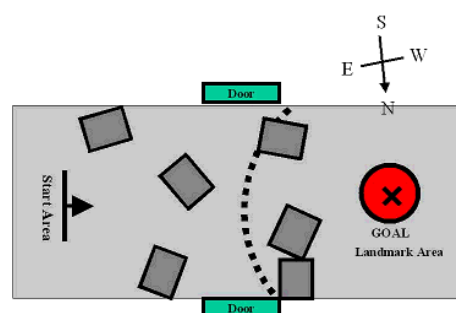


Fig. 9 Experiment Environment

4.3 実験結果

実機によるナビゲーション実験を行い、そのビデオから判断して描いた手書きの軌跡を Fig.10, Fig.11 に示す。Fig.10 は SA によるナビゲーションの実行結果である。Fig.11 は PF 法によるナビゲーションの実行結果である。

5. 考察

SA による実験結果は始めの障害物を回避してから真直ぐ行ってしまふのに比べて、PF 法は障害物を避けながらも、ランドマークに向かっていくのが判る。しかしながら、どちらもナビゲーション時間に大差は

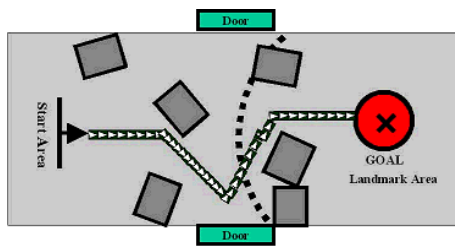


Fig. 10 Experiment tracks by SA

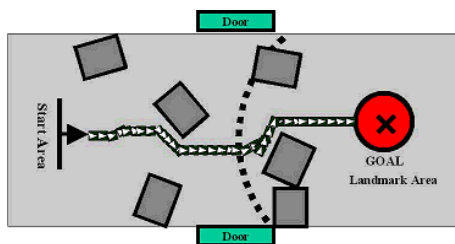


Fig. 11 Experiment tracks by PF Method

なかった. これは GOAL 付近の障害物で PF 法の時はロボットが行ったり来たりしていたため, Avoid Module に問題があるものと思われ, 今後改良を加える必要がある.

今回の実機でのナビゲーション実験では, PF 法の SA に対する大きな優位性は見られなかったが, PF 法の有効性は見てとれた.

6. おわりに

今回は SA の問題に対し提案された PF 法で, 四足歩行ロボットによる比較実験を行った. 今後は, PF 法のモジュールの改良と共に, センサ及びモジュールの追加等, ナビゲーションがスムーズなものとなるよう, ハードウェア・ソフトウェア両面から改良を重ねていきたい. また, もっと複雑な環境による実験を行い比較検討を深めていきたい.

参考文献

- 1) 及川一美 他：手書き地図インタフェースによるナビゲーション指示法, ロボティクス・メカトロニクス 講演会'06 講演論文集, 2P2-E04(DVD-

ROM)(2006)

- 2) 及川一美 他：サブサンクション・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.6,697/705(2005)
- 3) 大沼俊一 他：四足歩行ロボットのナビゲーション, 計測自動制御学会東北支部, 第 224 回研究集会 (2005.10.14), 資料番号 224-1
- 4) 村井一誠 他：自律四足歩行ロボットのための脚姿勢切替歩行, ロボティクス・メカトロニクス 講演会'06 講演論文集 No.06-4, 2A1-C32(DVD-ROM)(2006)