

# 多自由度移動ロボットのナビゲーションのための環境表現

## An Environmental Representation for Multiple DOFs Robots

准 宮下 敬宏 (阪大)      准 細田 耕 (阪大)  
正 浅田 稔 (阪大)

Takahiro MIYASHITA, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka  
Koh HOSODA, Osaka University    Minoru ASADA, Osaka University

**Abstract :** This paper proposes a new environmental representation for multiple DOFs robots. It consists of the information about visual targets and internal sensors outputs. By using it, the robot can move with multi-DOFs actions and improve them. We examine the action reproduction ability of it through basic experimentation with a real robot.

**Key Words :** environmental model, high DOFs, quadruped robot

## 1 はじめに

ロボットのタスクの複雑化に伴い、ロボットに求められる行動の自由度は年々増加している。ロボットの移動タスクにおいても同様に、様々な不整地環境への適応が求められており、従来の車輪式移動ロボット(主に2自由度)では自由度が不足する場合がある。そこで、近年、脚式移動ロボットのような多自由度の移動ロボットが注目されている。

本研究では、視覚を有する多自由度移動ロボットを用いたナビゲーションタスクの実現を目指し、そのために必要な環境表現を考察する。移動ロボットのナビゲーションに関する研究は従来盛んに行われているが、そのほとんどが車輪型移動ロボットを用いた研究 [1, 2] である。それらで提案されている環境表現は、整地平面を移動する車輪式ロボットに適したものであり、移動平面に対するロボットの位置・姿勢の自由度は高々3自由度で表される。これらの従来の環境表現を、不整地を移動する多自由度移動ロボットが利用するには、環境に対するロボットの位置・姿勢の自由度を減少させるための複雑なサーボ系を構成しなければならない。また、支持平面に対する様々な姿勢が重要となる状況においては従来の環境表現を適用することは困難である。

そこで本研究では、ロボットの自由度を減少させることなく、環境中の経路とロボットの位置・姿勢を表すことのできる環境表現を提案する。ロボットに与えるタスクは、まずユーザーが呈示によりロボットに経路を示した後に、示された経路に沿った同様の行動を呈示無しに実現するというものである。提案する環境表現は、呈示による経路移動中に観測される環境中の特徴点とその見え方の変化、及び内界センサ情報で構成される。このデータを元にロボットの行動を制御すれば、支持平面に対して高い自由度を保った制御を実現することが出来る。また、記述した特徴点の位置をばかすことで行動の精製を行うことができる。

本稿では、提案する環境表現について述べ、実機を用いた基礎的な実験によりその有効性を検証する。

## 2 環境表現

### 2.1 環境表現の構成

環境表現を構成する要素は、支持平面に対する移動ロボットの姿勢の自由度、及び取り得る行動の複雑さに依存する。本研究では、移動ロボットとして視覚情報に基づいた歩容が埋め込んである脚式移動ロボットを仮定し、環境に対する位置・姿勢を決定するための情報として、環境中の複数の画像特徴の輝度パターンと位置、及びロボット座

標系での脚先位置、関節角度、遊脚の振り出す方向・大きさを記憶する。

### 2.2 獲得過程

#### 1. 呈示による経路に沿った行動の生成と記憶

移動ロボットには低位のレベルの制御(視覚情報に反応する周期的な適応型歩容)を埋め込み、ユーザーは画像特徴になるもの(手など)をロボットに呈示しスタート地点からゴール地点まで動かすことにより、ロボットを誘導する。このときロボットは、呈示されているもの以外の画像特徴の位置と、関節角度等の内界センサの時系列データを初期段階の環境表現として記憶する。

#### 2. 姿勢・行動の精製

達成しなければならない行動が、呈示時の行動と全く同様である必要がない場合には、ゴールに辿り着ける確率を上げるために、呈示時に生成した不安定な姿勢・行動を精製する必要がある。そこで、内界センサ情報から、移動経路上で不安定な姿勢をとる場所を求め、その部分の環境表現を加工し、姿勢・行動の精製を行う。具体的には、精製を行う部分の画像特徴点の位置に幅を持たせることによって、ロボットの取り得る姿勢・行動に適当なバリエーションを許容する。その中で、姿勢・行動が安定になるものを選択する。この過程で環境表現は、姿勢・行動を正確に表す部分と大雑把に表す部分が混在する表現になる。

## 3 実験

提案する環境表現の検証のために実機を使った基礎実験を行った。

### 3.1 実験システム

本基礎実験のシステム構成を Fig.1 に示す。多自由度移動ロボットとして、ここでは脚式移動ロボット TITAN VIII(4脚, 12自由度)を使用した。TITAN VIIIには、視覚システムとしてカラー CCD カメラ (Sony EVI-330) を1台搭載し、相関演算画像処理ボード(富士通トラッキングビジョン)により画像処理を行った。また、ホストコンピュータには Gateway2000 G6-200(CPU:PentiumPro 200MHz)を使用した。

### 3.2 基礎実験

本基礎実験では、提案する環境表現の一部である画像特徴の時系列データのみ注目する。呈示による行動の際に環境中の特徴点の位置を記憶し、記憶した画像特徴量のみを用いたときの行動の再現性を検証した。

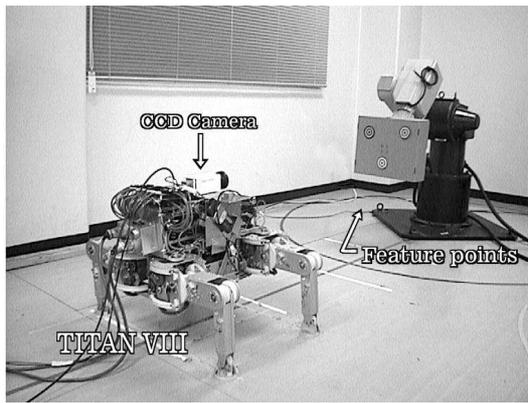


Fig.1 Experimental systems

本実験では移動ロボットに、適応型視覚サーボ系 [3] を用いた揺動をあらかじめ埋め込み、画像特徴量の変化に応じた揺動をカメラキャリブレーションなしに実現する。この揺動における移動ロボットの支持平面に対する自由度は6であり、多自由度ロボットの特性を損なうことはない。揺動を埋め込んだロボットに対して、次のような実験を行った。

1. 提示による行動生成

ロボットに特徴点 (3 点) を提示し、その特徴点を動かすことによって揺動行動を生成する。このとき、環境中に静止している特徴点 (3 点) を追跡し、その位置を時系列データとして記憶する。但し、ここで用いる 6 点の特徴点の初期位置はすべてユーザーが与える。実際には、提示する特徴点の移動にはロボットアームを用い、TITAN-VIII に向かって右側に一定速度で 10cm 動かした後、左側に同様に 10cm 動かす。

2. 記憶した画像特徴量を用いた行動生成

1. で記憶した画像特徴点の時系列データを用いて、行動を生成するための特徴点の目標位置を逐次生成し、1. と同様の揺動行動を実現する。このとき、提示に用いたロボットアームは静止させておく。

3.3 実験結果

ロボットのカメラから得られた画像を Fig.2 に、実験結果を Fig.3,4 に示す。Fig.2 中の四角形の枠で囲まれた部分

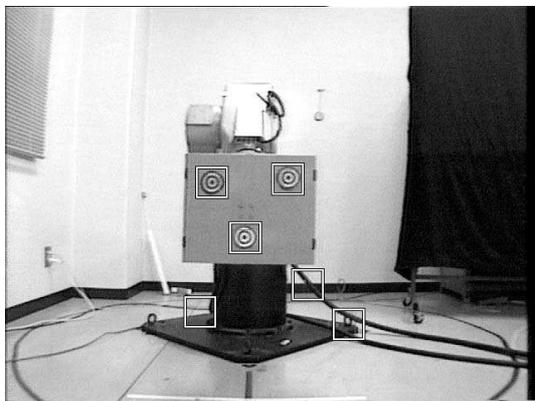


Fig.2 Feature points in the Image

が、実験で用いる特徴点を表している。上部の 3 点は提示による揺動行動生成に用いた特徴点であり、下部の 3 点は環境表現のための特徴点である。Fig.3 は、横軸が時間、

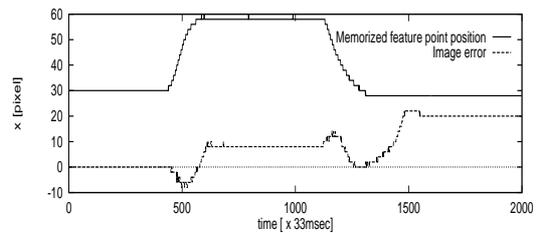


Fig.3 Memorized feature point position and Image error along x-axis

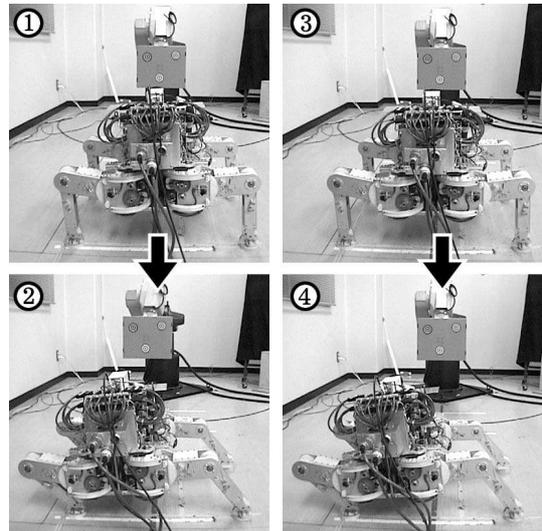


Fig.4 Robot movements

縦軸が画像平面の x 座標の値であり、環境表現として記憶した画像特徴点の位置の x 座標値、及びその記憶に基づいて行動を再現したときの画像特徴量の x 座標値の誤差の時系列データを表している。Fig.4 は、1~2 が提示による揺動行動、3~4 が環境表現を用いた揺動行動を表している。Fig.3,4 からわかるように、揺動のみの場合は特徴点の画像上の位置を記憶するだけで、ほぼ同様の行動を生成することが出来ることが確かめられた。

4 おわりに

本研究では、多自由度移動ロボットのナビゲーションのための環境表現を提案した。この環境表現は、ロボットの持つ高い自由度を損なうことなく環境中での位置・姿勢を表すことができる。本稿では、実機を用いた基礎実験により本研究で提案する環境表現を用いた行動の再現性を検証した。今後は、行動の精製に関する定式化を行い、実機を用いた歩容にこの環境表現を適用する。

参考文献

[1] N. Ayache and O. D. Faugeras: "Building, Registering, and Fusing Noisy Visual Maps," Proc. Int. Conf. Computer Vision, pp.73 - 81, 1987.  
 [2] A. Elfes: "Sonar-Based Real-World Mapping and Navigation," IEEE Journal Robotics and Automation, Vol.RA-3, No.3, pp.249-265, 1987.  
 [3] K. Hosoda and M. Asada: "Versatile Visual Servoing without Knowledge of True Jacobian," Proc. of the 1994 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robotics and Systems, pp.186-193, 1994.