

家庭用掃除ロボットの研究

- 天井カメラ画像を用いた動作指示 -

竹下 勉 (筑波大) 大矢 晃久 (筑波大) 油田 信一 (筑波大)

A Study on House Cleaning Robot -Behavior control using ceiling camera images-

Tsutomu TAKESHITA, Akihisa OHYA, Shin'ichi YUTA (University of Tsukuba)

Abstract— We aim to develop a cleaning robot which working area is pointed out by human user. Its area is difficult to recognize automatically for the robot. We built the system using a camera fixed at ceiling. The path of the robot can be specified by clicking desired points in camera images displayed on a PC, and the robot cleans according to the indication. In this report, the development of this system is described and also some experimental results and prospect are shown.

Key Words: Cleaning Robot, Ceiling Camera Images, Behavior Control

1. はじめに

仕事や子育てに追われる家庭にとって、家事が自動化されることへの期待の声は少なくない。また、近年急速に進みつつある高齢化の波を受けて、自動家電製品の需要は、さらに高まっている。そのような中でも、最も求める声が多いのが「掃除の自動化」であると言われている¹⁾。現時点においても、「掃除ロボット」と呼ばれる製品がいくつか開発・販売されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかし、現在の掃除ロボットには不完全な部分も有り、まだ一般家庭にはほとんど普及していない。そこで、ユーザーはどのような掃除ロボットを欲しいと考えるかを検討し、掃除ロボットが持つべき機能を以下の3つと考えた。

1. ゴミを取る。
2. 自動走行をする。
3. 掃除すべき場所を判断する。

上記の1、2については、現在市販されている掃除ロボットにおいても、ある程度実現されている。しかし、3の「掃除すべき場所の判断」という点については、全自動で実現するのが非常に難しい課題である。そこで、筆者らはこの点に着目し、本研究では掃除ロボットの全てを自動化するのではなく、どこを掃除するかについては人間が指示することで、より現実的な掃除ロボットが実現できるのではないかと考えた。

2. 開発システムの概要

2.1 実現するシステム

本研究で実現しようとするシステムにおける掃除の流れを Fig.1 に示す。また、そのシステム構成を Fig.2 に示す。

まずは、掃除を実行する部屋の床面が映るように天井付近にカメラを取り付けておく。天井カメラから得られた画像は、ユーザが掃除経路を指示するためのPCへと送られる。次に、そのPCのディスプレイ上に表示されている床画像上で、ロボットに掃除して欲しい経路順をマウスで指定する。そのデータはロボットに転送されて、指示された経路に従ってロボットが自走し⁵⁾、掃除が行われる。

このようなシステムの利点として、まず第一に、掃除を行って欲しい部分の掃除はきちんと実行ができ、行って欲しくない部分の掃除は実行しないということがあ

る。また、旅行先などからインターネットを介して掃除を行うこともでき、画像上から部屋の様子を見ながら掃除を行えるので、部屋の汚れや床の状況を確認しながら掃除を行えるという利点もある。

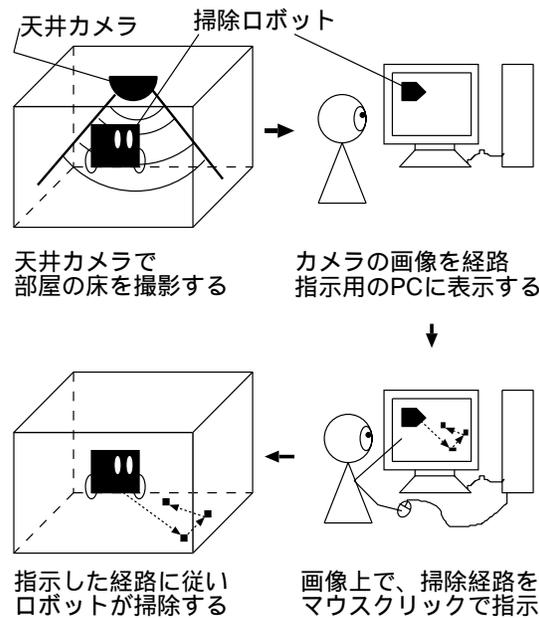


Fig.1 目標システムにおける動作の流れ

2.2 必要な要素技術

前述したシステムを実現するためには、大きく分けて以下の3つの要素技術が必要である (Fig.3)。

まずは、天井カメラで得た画像をPCのディスプレイに表示する必要がある。天井カメラとPCはLANによって接続されているので、TCP/IP通信を使用してデータを受信し、GTK+を用いたソフトウェアにより表示した。

次に、画像上で指示を行うために、マウスで指定した位置の座標を得る。しかし、実際にロボットに掃除を行わせるには、ロボットが走行をする床の座標を得る必要がある、そのために天井カメラ画像上の座標を床の座標へと変換しなければならない。

最後にロボットに掃除を行わせるために、1つはロボットを走らせること、もう1つは掃除機を駆動する



Fig.2 本システムのハードウェア構成

ことが必要である。ロボットの走行については、本研究で用いるロボットには与えられた目標座標まで走行する機能が有るので、それを利用する。また掃除機の駆動については、電源はロボットのバッテリーを使用し、モータの制御はロボット上のコントローラから行うこととした。

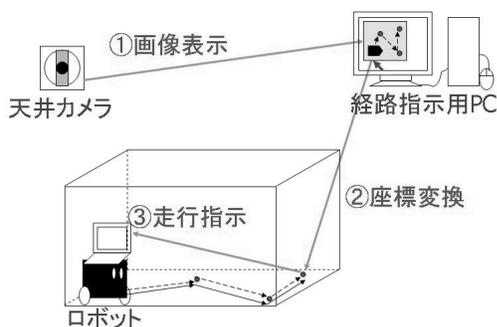


Fig.3 システムの実現に必要な要素技術

3. 座標変換

天井カメラの画像上座標系と、ロボットが走行する床面上座標系との関係式は、透視投影行列を用いて以下のように表すことができる⁶⁾。

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

X_w, Y_w は床面上の座標、 u, v は天井カメラ画像上の座標、 $P_{11} \sim P_{23}$ は天井カメラのパラメータをそれぞれ表している。天井カメラのパラメータは焦点距離などを表す内部パラメータと、床面上座標系に対する天井カメラの座標・角度を表す外部パラメータに分けられる。内部パラメータについては歪み補正により、予めそ

の影響を取り除いた。しかし、外部パラメータについて、実際に天井カメラを設置し掃除を行うときに、天井カメラの座標や角度を正しく測定するのは困難なため、本研究では次に述べるような方法によりパラメータ値を直接求めることにした。

まず Fig.4 に示すようなシートを用意し、シート上の点に対して床面上座標 (X_w, Y_w) を設定する。そのシートを床に敷き、天井カメラで撮影する。次に、天井カメラ画像上でシートの各点 (今回は 29 個の点) をクリックして画像上座標 (u, v) を取得する。これらの値を式 (1) に代入し、最小二乗法を使用して $P_{11} \sim P_{23}$ を求めた。この方法なら、天井カメラの設置場所を変えても、その都度同様の操作をすることによって、対応する座標変換式を容易に求めることができる。



Fig.4 座標変換パラメータ推定に使用するシート

4. ロボットの走行制御

4.1 掃除ロボット

本研究ではロボットとして、筆者らが開発している自律型移動ロボット「山彦」を使用した。このロボットは、前述したように目標座標位置まで走行する機能を持っている。本研究では山彦に新たに掃除ユニットを取り付けることで、Fig.5 のような掃除ロボットを構成した。掃除機のモータ制御は、ロボットに搭載したモータコントローラにより制御することとした。これにより、ゴミの多い場所ではユーザがモータの回転数を上げて、パワーを強くするなどの操作も行えるようになった。

4.2 走行経路指示実験

以上のようにして開発した掃除ロボットの動作実験を行った。実験方法を以下に示す (Fig.6)。

- 実験は研究室にて実行した。
- 天井カメラは床から高さ約 2m の位置に設置した。
- 床にはゴミに見立てた胡麻を 30 粒ほど、3ヶ所に設置した。
- マウスで胡麻の付近 3ヶ所をそれぞれクリックし、掃除を開始させた。

実験の様子を Fig.7 に示す。結果として、指示経路通りの走行を行って胡麻を取り残し無く吸うことができ、良好な結果を得ることができた。今回の設定目標はほぼ実現され、操作も簡単で初めて使用する人でも容易に使用可能なシステムが構築できた。

5. まとめ

本研究では、ロボットによる自動認識が困難な「掃除すべき場所」を人間が教える自動掃除ロボットシス

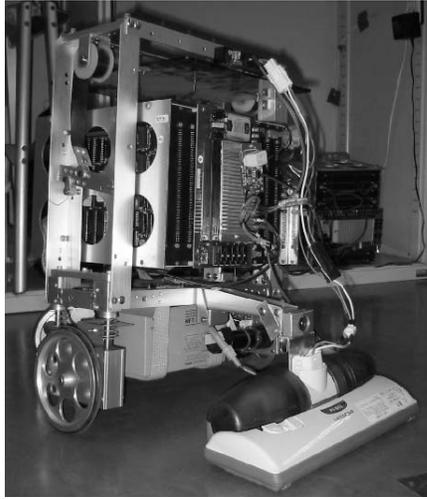


Fig.5 掃除ユニットを取り付けた移動ロボット

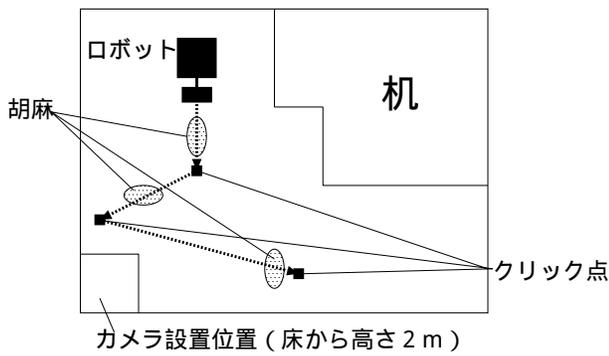


Fig.6 走行経路指示実験開始時の状況 (上から見た図、点線矢印はロボットの走行予定経路)

テムの開発を目指している。本システムを開発するための要素として、指示を行うための天井カメラ画像の表示、指示した経路の床面上座標への変換、ロボットや掃除機の制御等について述べた。

今後は、ロボットにLEDを取り付け、その位置を天井カメラ画像中から計測することで、走行中に自己位置の修正を行ったり、座標変換式のパラメータを推定する方法について検討する⁷⁾。また、カメラが一つでは死角が多いため、カメラの個数を増やすなどの措置も考えていく予定である。

参考文献

- 1) HITACHI ニュースリリース:
http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/hl_030529.html
- 2) ロボット掃除機ルンバ販売センター:
<http://www.mrock.net/roomba/>
- 3) Electrolux by TOSHIBA ロボットクリーナー:
<http://www.toshiba.co.jp/webcata/ebyt/trilobite/index2.htm>
- 4) 松下電機ニュースリリース:
<http://matsushita.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn020325-2/jn020325-2.html>
- 5) 前山 祥一、油田 信一、原田 昭: “遠隔地の美術館内を鑑賞するための移動ロボットの操作方式” 第16回日本ロボット学会学術講演会, vol.3, pp.1003-1004, 1998
- 6) 透視投影:
<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/members/hashimoto/Lecture>



Fig.7 指示経路走行実験 (上から下に時間が経過、左側はディスプレイ上に表示された画像中での動き (点線は指示経路)、右側は実際のロボットの動き)

/Pattern/2001/16.pdf

- 7) 渋谷典之、梅田和昇: “画像情報を用いた移動ロボットの自己位置同定 -各列の平均・標準偏差による画像の圧縮-” 第21回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J16, 2003