

CMOS イメージセンサを用いた自律移動型ロボットの追従制御 Tracking control of an autonomous moving robot with CMOS image sensor

○学 高瀬健次郎 (長岡技大院), 正 川谷亮治 (福井大学), 金戸康弘 (新電元)

○ Kenjiro Takase, Ryoji Kawatani, Yasuhiro Kaneto

Key Words: CMOS image sensor, Autonomous moving robot, Tracking control, Method of least squares

1. はじめに

近年、生産現場で活動していたロボットの活躍の場が、家庭やオフィスなどの人間の活動する場に広がりだしている。そのような場所で行動する自律移動型ロボットを考えた場合、ロボットの行動決定法の一つとして、何かを追従する、ということが挙げられる。本研究で議論するのは、この追従制御問題である。本研究の特徴の一つが、ロボットに搭載するセンサとして、一般的に使われる CCD カメラではなく CMOS イメージセンサを用いた点である。これにより CCD と比べ、画像処理にかかる負担が軽減されるとともに高速処理が可能となる。ロボットが追従すべきものとして、本研究では床に貼られた線や移動体などを取り上げる。

2. CMOS イメージセンサ

CMOS イメージセンサの特徴としては、並列処理を生かした画像処理機能が内蔵されていることである。これにより、マイコンでの制御が容易になり、また画素数が少ないため扱うデータ数が少なく高速処理を行うことができる。そのため CCD カメラよりもコンパクトなシステムの構築が可能である。またフレームレートに関しては CCD に比べ、数 10 倍程度で行うこともできる。

本研究で用いた CMOS イメージセンサには人工網膜 LSI (三菱電機製) 128×128 画素版の M64283FP を用いた。

3. ロボットの構成

本研究で使ったロボット (Fig. 1) にはロボット全体の制御や画像処理を行う Master CPU と画像取得を行う Slave CPU の 2 つの CPU が搭載されている。画像処理と画像取得を並列で処理することにより高速な画像処理が可能になる。また、赤外線投光器 (Fig. 2) を前方に付け照射させることにより画像取得の際の蓄積時間を短縮させサンプリングタイムの向上を図った。

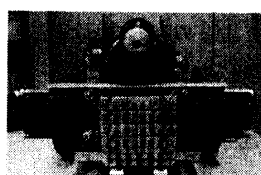
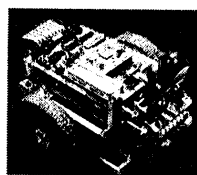


Fig.1 Autonomous Moving Robot

Fig.2 Infrared Rays Projector

4. 自律移動型ロボットの経路追従制御

一般的なラインレースロボットでの経路追従制御では、床に貼られた線を複数のフォトセンサによって認識し、センサの反応パターンによって経路を追従走行する。本研究ではこのフォトセンサの代わりに CMOS イメージセンサを用いた。

本研究では CMOS イメージセンサから得られる経路情報の利用方法として通常の走行にはロボットの 100mm 前方の情報を利用し、また 300mm 前方の情報を後述する経路生成用として利用した。

4.1 ロボットの視野

ロボットに搭載した CMOS イメージセンサの取り付け位置は

150mm で姿勢角は 20° である。そのためロボットの視野は Fig. 3 に示すように前方 400mm までの範囲となる。

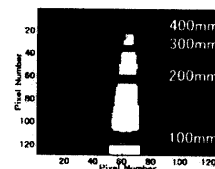
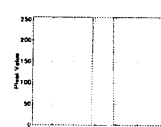
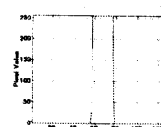
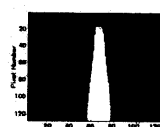


Fig.3 CMOS Image Sensor View

4.2 経路の認識

経路の認識方法について述べる。Fig. 4(a)に経路を撮像した一例を示す。経路の中心座標を探索する方法として、取得した画像から 1 行だけのデータ (Fig. 4(b)) を取り出した。

ここで、取り出したデータをしきい値 100 で 2 値化 (Fig. 4(c)) することにより、経路のデータだけを取り出すことができる。これにより経路の中心座標を探索することができる。



(a) Positive Image

(b) Line Data

(c) Two-level quantization

Fig.4 Sample Image

4.3 経路追従制御

経路追従制御の経路またはロボットの動作は屋内を想定しているため、以下のような仮定のもとで経路追従実験を行った。

- (1) 経路は不連続である。
- (2) ロボットの速度は Max40cm/s とする。
- (3) 曲率変化点では経路は連続である。

この仮定を基にして Fig. 5 に示す経路を使い経路追従実験を行った。不連続区間は R300 の個所に 100mm、直線個所に 100mm 設置した。また、今回製作したプログラムにおいてサンプリングタイムは 40ms である。これはロボットの速度が Max40cm/s、線の幅が 19mm であることから妥当な値といえる。

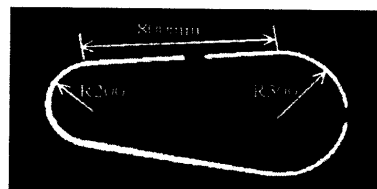


Fig.5 Route

4.3.1 最小 2 乗法を用いた経路生成

本研究では不連続な経路を良好に追従させることを目的としている。文献 1) では単純で連続な経路について実験を行っているが、本研究のような不連続な経路においては経路情報をセンサから得ることができなくなる場合が存在するため、経路を良好に追従させるこ

とが困難である。走行中の経路データを保存しそれを用いることにより最小2乗法で式(1)による経路の近似を行った。これにより不連続区間の経路を生成した。

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (1)$$

4.3.2 制御則

駆動輪に与える操作量は以下のように決定した。白線の中心とロボットの偏差を計測し、その偏差 e にゲイン k をかけることにより補正速度を求め駆動輪に適切な操作量を与えた。制御則として比例制御を用いた。また、ゲイン k は実験の結果決定した。

$$V_{out} = V_{base} + \Delta V \quad (\Delta V = ke) \quad (2)$$

V_{out} : 指令速度
 V_{base} : ベース速度
 ΔV : 偏差による補正速度

4.3.3 経路追従制御実験結果

経路追従制御実験はFig. 5の経路で行った。経路を生成するためのデータとして、4回の撮像ごとに保存した経路情報を利用した。Fig. 6は画像処理ソフト HALCON を用いてロボットの動作軌跡をプロットしたものである。そのときの経路中心座標の変化をFig. 7に示し、また最小2乗法で求めたパラメータ a_2 をFig. 8に示した。

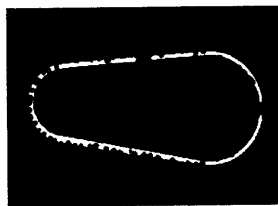


Fig. 6 Tracking Experimental

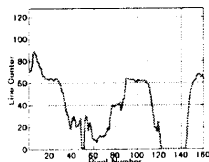


Fig. 7 Line Center

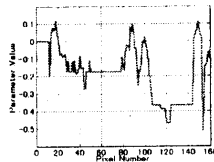


Fig. 8 Parameter Value (a_2)

4.4 まとめ

Fig. 6 からロボットが不連続区間においても経路を良好に追従していることがわかる。この経路追従実験の結果から最小2乗法で不連続区間の経路を生成することができ、不連続な経路に対しても自律移動型ロボットの経路追従制御を行わせることができた。

5. 物体追従制御

前節までは、経路追従を主として研究・実験を行ってきた。本節では移動体の物体の追従について研究を行った。実験の環境をFig. 9に示す。移動物体として球状の物体を用いた。

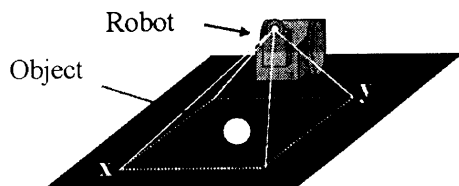


Fig. 9 Experimental Environment

5.1 移動物体の認識ならびに距離の取得

球状の物体を認識し、物体までの距離を求めるために以下の方

な方法を用いた。まず CMOS イメージセンサから正画像Fig. 10 と射影画像Fig. 11 を取得する。

次に、射影画像から物体の x 方向の中心座標を探索する。探索方法は経路追従と同じ方法を用いた。求められた x 座標を基準にして正画像から物体の y 方向の中心座標を求めた。これにより物体中心の x, y 座標を求めることができた。

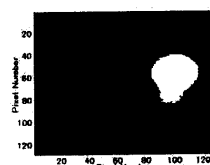


Fig. 10 Positive Image

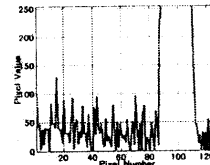


Fig. 11 Projection Image

物体までの距離は、先に求めた物体の中心位置と比例関係にある。つまり物体までの距離と物体の画像上での位置との関係を求めておくことにより、物体が移動しても物体までの距離を求めることができる。物体までの距離と、物体の y 方向の中心座標の関係を最小2乗法を用いて求めた。この関係を式(3)およびFig. 12に示す。

$$y = 0.0043x^2 - 0.985x + 66.8966 \quad (3)$$

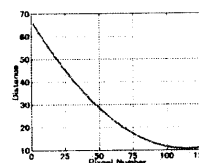


Fig. 12 Relation between Pixel Number and Distance

5.2 移動物体追従実験結果

実験としてロボットは固定しロボットの前方で十字方向に物体を動かした。物体認識した結果をFig. 13に示す。

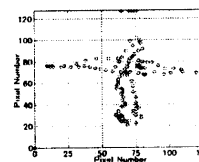


Fig. 13 Object Servility Sample

5.3 まとめ

実験の結果から物体が十字方向に動いていることがわかる。これにより CMOS イメージセンサで良好に物体認識を行うことができた。本研究ではロボットは固定の状態で行ったが、本実験結果からロボットと物体の距離を一定に保ちながら物体を追従させることができると考えられる。

6. 結言

本研究では、経路追従制御ならびに物体追従制御について実験を行った。その結果から不連続な経路に対しても良好に追従することができ、また物体認識を行うことができた。

以上のことから、CCD カメラのような高い分解能の必要でない分野に関しては、CMOS イメージセンサを用いることにより簡単なシステムを構築することができることがわかる。

7. 参考文献

- [1] 金戸 康弘: CMOS イメージセンサを用いたフィードバック制御系の構築 長岡技術科学大学大学院 (2001)