

## 誘導灯を標的とする自律移動ロボット用自己位置計測法

北海学園大学工学部 ○深谷健一 日本アビエーション・ソリューション・サービス 中村英也 中央エンジニアリング 鳴海忍  
 北海道デジタル・イノベーション 坂本泰英 つうけん 羽田芳憲

## 要旨

自律移動ロボット用の自己位置計測法として、廊下設置の誘導灯を自然標的として利用する方法を考案し、計測原理を検証するための実験を行った。その結果、デッドレコニング補正に用いることはできるが、広い計測可能領域と位置精度を同時に満足させることは難しく、画像取り込み時のカメラ制御が必要であることがわかった。

## 1. まえがき

廊下世界を自律移動するロボットの実現に不可欠なキー技術の一つは自己位置の認識である。内界センサによるデッドレコニングでは、ロボットが移動するにつれ誤差が累積し、次第に経路から外れて行く。このため外界センサを用いて、ロボット外部との相互作用による自己位置計測により累積誤差を零にする必要がある<sup>1)</sup>。本報告では、建物の廊下や部屋の壁に設置されている誘導灯を標的に用い、図1に示すように誘導灯表面の模様をロボット進行方向に直角に設置したカメラで捕らえて自己位置を計測する方法を提案する。

## 誘導灯標的の特長

- ①誘導灯は学校、老人福祉施設、病院などでの設置が消防法で義務づけられ、その設置個所と模様が固定しているため、自然標的として利用できる。
- ②誘導灯は昼夜を問わず点灯しており明るさも一定である。このため特に夜間の廊下や部屋の消灯時でも標的として利用できる利点を有する。
- ③自然標的なのでユーザが移動ロボットのために人為的に設置する必要がない。

## 2. 自己位置計測原理

本研究ではたまたま本学廊下で使用されている10W 中型廊下誘導灯(公共施設型番 ST1-FBF10-101)を標的として用いるが、他の型式の誘導灯でも同様の計測が可能である。誘導灯の模様の内、矢印の先端( $P_3$ )、出口の左端( $P_2$ )と右端( $P_1$ )の3点の特徴点(図2参照)を用いて自己位置を計算する。ロボットの自己位置 $O_r(x_r, y_r)$ と特徴点 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ を結ぶ直線のロボット進行方向 $\theta_r$ から反時計回りに計測した角度を $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ とすると、

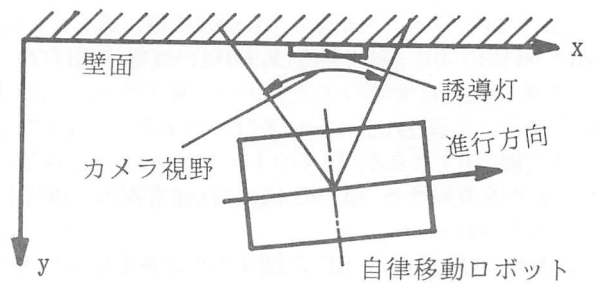


図1 自律移動ロボットの自己位置計測状況

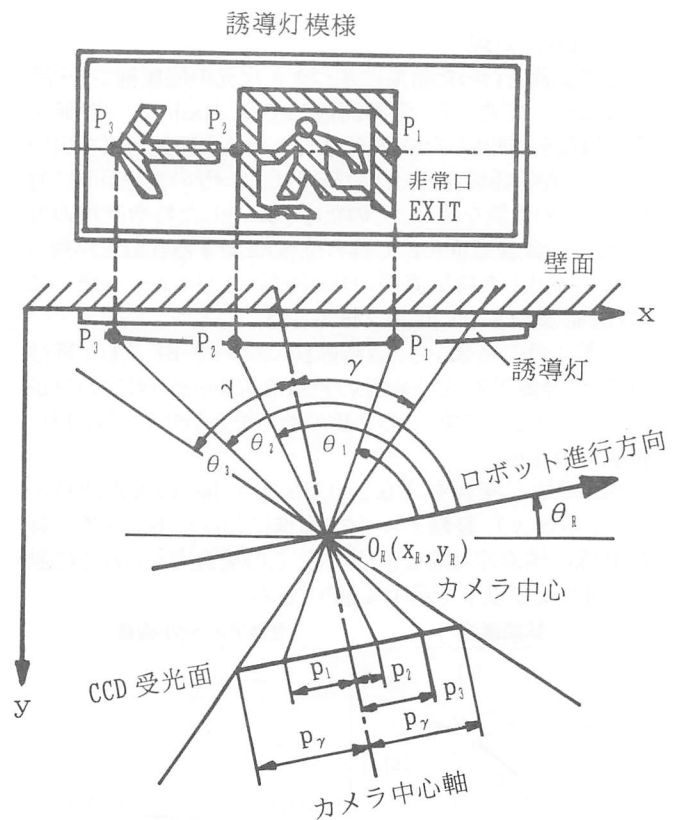


図2 自己位置計測系

次式が成立する。

$$\tan(\theta_1 + \theta_R) = -(y_1 - y_i) / (x_1 - x_i) \quad (1)$$

$$\tan(\theta_2 + \theta_R) = -(y_1 - y_2) / (x_2 - x_i) \quad (2)$$

$$\tan(\theta_3 + \theta_R) = -(y_1 - y_3) / (x_3 - x_i) \quad (3)$$

ここで  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  の座標値  $(x_i, y_i, i=1, 2, 3)$  は予め計測しており既知であり、3本の式は3個の未知数  $x_i, y_i, \theta_i$  に対応する。 $X = \tan \theta_i$  とおき、式(1)～(3)を整理すると、次の  $X$  に関する4次方程式が得られる。

$$f(X) = a_1 X^4 + a_2 X^3 + a_3 X^2 + a_4 X + a_5 = 0 \quad (4)$$

$a_1 \sim a_5$  は  $x_i, y_i, \theta_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) を要素として含むが、 $\theta_i$  を計測すれば定数となり、数値計算で解が得られる。本研究では曲線の接線勾配を用いるニュートン・ラフソン法により  $X$  を求めた。 $\theta_i = \tan^{-1} X$  を式(1)～(3)に代入して  $x_i, y_i$  が代数計算で求まる。

### 3. 特徴点角度計測方法

誘導灯は緑色の表示をしており、カラーカメラのR成分の階調データを元に次の手順で特徴点角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  が計測できる。

- (1)カメラ画像の取り込み
- (2)微分による模様輪郭の抽出
- (3)2値化処理
- (4)雑音除去処理
- (5)特徴点の抽出

縦射影のヒストグラムを作成し、左側から走査すると、最初の開始位置が矢印の先端  $P_3$ 、二つ目の頂点が出口左端  $P_2$  そしてヒストグラム終了位置が出口右端  $P_1$  に対応する。

#### (6)特徴点角度の算出

図2に示すようにCCDカメラ受光面に投影された特徴点  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  およびカメラ画角  $\gamma$  に対応するカメラ中心軸からの画素数をそれぞれ  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_\gamma$  とすると式(5)が成立し、(5)項から求まる  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  を代入して、特徴点角度が算出できる。ここで  $\tan \gamma / p_\gamma$  はカメラ、フレームメモリにより予め決まる係数であり、校正しておく必要がある。

$$\begin{aligned} \tan \gamma / p_\gamma &= \tan(\theta_1 - 90^\circ) / p_1 \\ &= \tan(\theta_2 - 90^\circ) / p_2 = \tan(\theta_3 - 90^\circ) / p_3 \quad (5) \end{aligned}$$

### 4. 実験と計測結果

3回の計測結果の平均と設定値の比較を表1に示す。最大誤差はカメラからの距離が100cmで距離6cm、角度4度であり、距離175cmで距離11cm、角度3度と、誘導灯に対するカメラの傾き角が大きく距離が遠くなると誤差が大きい。おおむね補

正に使用できる値である。

### 5. あとがき

通常のカメラを使用した場合には誘導灯までの距離と角度はロボットが自己位置を計測する地点で決まるので、3点の特徴点が視野に入らなかったり精度が低くなる場合が生ずる。パン、チルトおよびズーム機能付きのカラーカメラ(例えばSony製EVI-D30カラーCCDカメラ)を用いれば、カメラの方向と視野の拡大縮小が出来るため、これらの問題の解決が期待できる。今後この方向への改良を進める。

設定値			測定値の平均		
角度	x座標	y座標	角度	x座標	y座標
度	cm	cm	度	cm	cm
0	80.8	100	-4.2	74.6	97.8
-5	75.3	100	-4.5	75.1	97.8
5	92.8	100	6.1	91.2	97.2
-10	66.4	100	-10.6	65.0	97.5
10	101.6	100	12.3	102.9	96.1
-15	57.2	100	-16.5	56.1	97.0
15	110.8	100	15.3	108.3	98.3
-20	47.6	100	-19.2	50.9	99.8
20	120.4	100	21.1	117.9	97.4
-25	37.4	100	-25.8	39.6	100.6
25	130.6	100	25.0	126.4	100.4
0	84.0	175	1.2	88.7	168.6
-5	68.7	175	-4.1	72.3	169.4
5	99.3	175	5.9	100.6	169.7
-10	53.1	175	-7.4	63.2	170.6
10	114.9	175	11.4	116.2	168.9
-15	37.1	175	-15.7	36.3	169.0
15	130.9	175	17.6	132.5	166.6
-20	20.3	175	-21.3	20.6	169.6
20	147.7	175	19.4	143.7	171.9
-25	2.4	175	-27.4	1.0	170.0
25	165.6	175	22.1	154.0	181.4

表1 実験結果

### 参考文献

- 1) J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng: NAVIGATING MOBILE ROBOTS, Systems and Techniques, A K Peters, 1996.

本研究は道立工業試験場からの委託研究の一環として実施されたことを記し、関係者に感謝の意を表する。