

Abstract: One of the key technologies for autonomous mobile robot is self-position measuring. The simple color landmark is mounted on ceiling of corridor. Vision system, facing ceiling, mounted on the robot finds color point A, B and color line C, then can calculate the location and orientation of robot. Experiments show that the proposed method appears to be available for indoor application.

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^{1,2}。本報告では天井に設置した単純なカラー標的を用いる極めて簡便な方法を提案する。

2. 標的

標的は黄色の直線 C(2cm × 38cm)の両端に緑 A(2cm × 2cm)と赤 B(2cm × 2cm)の点がついた形状をしており(Fig.2)、反射率の高い蛍光テープ及び蛍光紙で作られている。これを廊下の通路方向に直角に廊下中心に設置する。標的寸法は実験環境(廊下幅:200cm、移動ロボット[Nomad200]の大きさ:直径 55cm、カメラ視野:横 110cm 縦 84cm)を考慮し、カメラを搭載したロボットが標的の前後 42cm 以内にいれば、視野内に標的のどちらかの端点と直線の一部が入り計測できるように設定した。

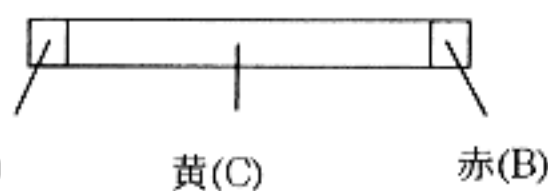


Fig.1 Color landmark

・本標的の特長

①3種のカラーを識別することでロボットの位置、方位が容易に求められる。②天井に標的を設置するので、廊下走行の支障にならない。

3. 自己位置計測方法

対雑音性を強化するためHSV表色系を用いる。RGB表色系からの変換は以下による³。

$V = \max\{R, G, B\}$ 。ここでH, S, Vはそれぞれ色相、彩度、明度を表わす。

- 1) $V=0$ の時 $S=0$, $H=$ 不定となる。
- 2) $V \neq 0$ の時 $v = \min\{R, G, B\}$ とすると $S = (V-v)/V$ 、
 $R=V$ の時 $H = (G-B)/(V-v)$
 $G=V$ の時 $H = 2 + (B-R)/(V-v)$
 $B=V$ の時 $H = 4 + (R-G)/(V-v)$

さらに $H = H/6$ とする。ただし、 $H < 0$ の時は $H = H + 1$ 。

廊下世界の絶対座標系をO-X-Y、カメラの座標系をo-x-yとする。標的の端点A, Bの絶対座標はそれぞれ、 (X_A, Y_A) , (X_B, Y_B) で、ロボットが保持する地図に予め位置が記録されている。カラーカメラを用いてA, B点を見つけ、座標値 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) を計測する。この値は計測した画素数にカメラとフレームメモリのキャリブレーションで与えられる比例定数をかけて求められる。回転角 θ_R は反時計回りを正とする。

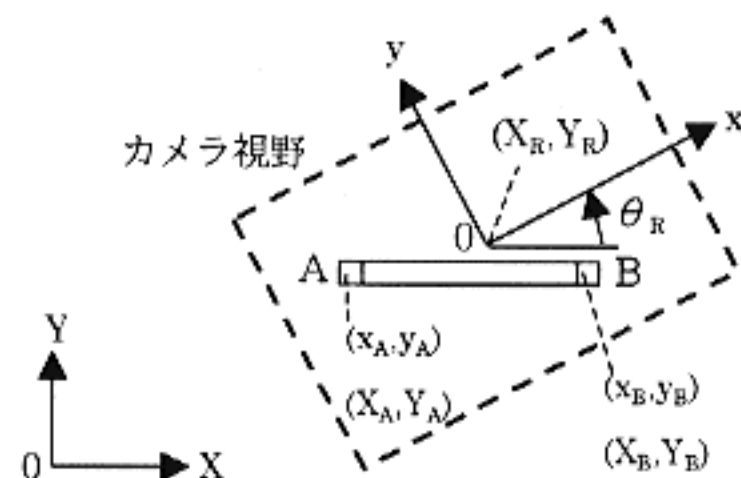


Fig.2 Landmark measurement situation

カメラ座標から廊下座標への変換は次式となる。

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 - x_1 \cos \theta_1 + y_1 \sin \theta_1 \\ &= X_2 - x_2 \cos \theta_2 + y_2 \sin \theta_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= Y_1 - x_1 \sin \theta_1 - y_1 \cos \theta_1 \\ &= Y_2 - x_2 \sin \theta_2 - y_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (2)$$

自己位置計測の手順は、以下の通りである。

- ①カラーカメラによりRGB画像を取り込む。
- ②RGB表色系からHSV表色系へ変換する。
- ③予め学習したHSV設定値により端点A、Bと直線Cを抽出する。
- ④5×5 正方マスクを用いて端点A、Bを探索する。
- ⑤直線Cに最小2乗法を適用し、回転角度を算出する。
- ⑥式(1)、(2)を用いて廊下座標での自己位置へ変換する。この方法では端点のどちらかと直線の一部が見えれば位置と回転角を求められる。

4. 自律移動方法

ロボットが保持する地図に、廊下世界の絶対座標系O-X-Yで壁や標的の位置が予め記録されている。標的間は、エンコーダの誤差により壁に衝突する危険があるので、超音波センサを用いて廊下壁までの距離を計測し廊下中央を走行する。

自律移動の手順は、以下の通りである。

- ①スタート地点にある標的を用いてロボットの初期位置と姿勢を修正する。
- ②超音波センサを用いて自律移動する。
- ③標的のある場所で停止し、自己位置を計測補正する。
- ④②～③を繰り返し、ゴール地点まで移動し自己位置を修正後、停止する。

自己位置補正では θ_R が一定値以上ずれている場合カメラ画像の歪みのため精度が悪いので、ロボットを標的中心へ移動させて再測定する。

5. 実験と計測結果

考案した方法を検証するため、計測精度を調べる実験とロボットを走行させる実験を行った。標的の真下に上方にカラーカメラを向けたロボットを置き、設定値と計測値を比較した結果の一例をTable1～3に示す。回転角度誤差は6度以内、位置誤差は3cm以内である。またロボットを実際に廊下を走行させた実験の一例をFig.2に示す。

回転角度 θ_R (度) $X_R=0, Y_R=0$							
設定値	0	30	60	90	120	150	180
計測値	0	36	65	91	116	145	181
設定値	210	240	270	300	330	360	
計測値	216	245	270	296	325	360	

Table1 Experimental result (rotation angle)

位置 X_R (cm) $\theta_R=0$						
設定値	0	5	10	15	20	25
計測値	1	6	12	17	22	27
設定値	-5	-10	-15	-20	-25	
計測値	-3	-8	-14	-19	-23	

Table2 Experimental result (X_R displacement)

位置 Y_R (cm) $\theta_R=0$							
設定値	0	5	10	15	-5	-10	-15
計測値	1	6	12	18	-6	-12	-18

Table3 Experimental result (Y_R displacement)

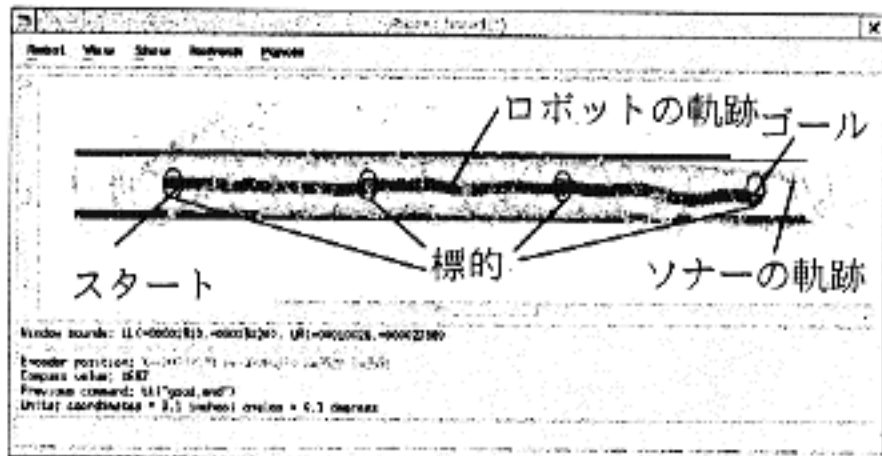


Fig.3 Experimental situation

6. あとがき

考案した方法は廊下世界での簡便な自己位置計測法として利用できる。端点A、Bと直線Cの色の組み合わせを変えることで標的の絶対識別も可能である。

参考文献

- 1) J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng: NAVIGATING MOBILE ROBOTS, Systems and Techniques, A K Peters, 1996
- 2) 五十嵐他: 天井設置H形状標的を用いた自律移動ロボット用自己位置計測法、第30回SICE北海道支部学術講演会論文集、91/92(1998)
- 3) 高木、下田監修: 画像解析ハンドブック、485/487、東京大学出版会(1991)

謝辞

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。また、北海学園大学ハイテクリサーチセンター研究費の支援を受けて行われたことを付記する。