

天井設置型形状標的を用いた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

○五十嵐 拓郎、 深谷 健一

要旨

廊下世界での利用を重点に置いた自律移動ロボットの自己位置計測法として、標的画像を用いた廊下幅内でのロボットの絶対位置計測を行える方法を考案し、計測の原理と測定誤差を明らかにするための検証を行った。その結果、自律移動ロボットに用いるには十分な精度を有し、自己位置計測法の一つとして利用できることがわかった。

1. 緒言

自律移動ロボットの実現に必要不可欠な技術の一つは、自己位置の認識である。その代表的なものに、内界センサによるデッドレコニングがあり、これは移動中に誤差が累積し、本来の地図上の位置と狂いを生じるため定期的に補正をしなければならない。この誤差を補正するための手法として、天井設置型ポイント標的¹⁾による自己位置計測法がある。これは走行経路上の真上に幾何模様標的を設置して、カメラで捕らえた画像より計測するものである。しかし、廊下幅にわたる広い領域を走行するロボットの場合、ポイント型標的での計測は困難であり、廊下幅のいかなる場所でも計測できる標的が必要となる。本研究では、廊下幅対応型の単純な幾何模様による標的を考案し、これを高さ一定の天井に設置する。この標的を単眼視のカメラで捕らえて画像処理をし、標的基準点からのロボットの位置及び姿勢情報を計測し、絶対位置を求める。

2. 自己位置計測方法

2-1 標的の特徴

図1に考案した標的の形状を示す。進行方向を判別するため上下対称とし、中心線と斜線との左右端の高さ (H_1 及び H_2)の比が2:1になるようにしている。中心線と斜線を区別するため各々の線幅は、中心線を太く、斜線を細くする。カメラとこの標的との距離は一定であり、レンズ焦点を固定で計測できる利点がある。さらに、天井に設置するので景観的にさほど違和感がなく、廊下使用の障害にならない。標的の3本のうち中心線と1本の斜線の直線の見え方の変化を利用して計測する。つまり中心線と斜線の組が見えるようにカメラ画角を設定する。

2-2 計測原理

図2に計測(座標)系を示す。標的は既知の基準点 $Z_M(x_M, y_M)$ に設置されている。カメラは図2の破線枠のように標的を捕らえた場合、ロボットは標的の中心線に対して θ_R の角度で傾いており、基準点 Z_M から横変位 x_d 、縦変位 y_d の位置にいる。

原画像を2値化・細線化し、得られた細線化画像をフレームのx軸方向に一定間隔で標本化する。採取したx-y座標の標本データに対し最小二乗法を適用し、各々の直線の一次回帰直線を求め、以後の計算に用いる。ここで、中心線の直線を

$$y_c = a_c + b_c x \quad (1)$$

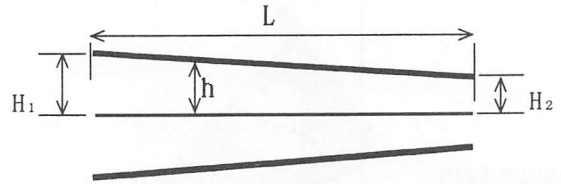


図1 考案した標的の形状

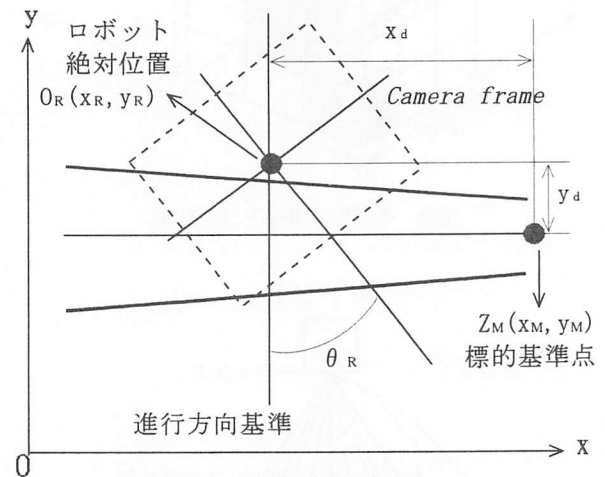


図2 計測(座標)系

斜線の直線を

$$y_s = a_s + b_s x \quad (2)$$

とする。

図2のように回転角度 θ_R は、(1)式の傾き b_c を用いて次式で求まる。

$$\theta_R = \tan^{-1} |b_c| \quad (3)$$

但し、表示角度は範囲 $0^\circ \sim 90^\circ$ の正值で出力するので傾き b_c の絶対値をとる。しかし、 90° 付近では無限大に漸近してしまうため、約 45° 以上のところでフレームの座標を 90° 右回転させ、同様に標本化・回帰直線導出を行い、新たに求めた標的の中心線の傾きを b_c として次式より求める。

$$\theta_R = 90 - \tan^{-1} |b_c| \quad (4)$$

基準点 Z_M からの横変位 x_d 、縦変位 y_d は以下の手順により求められる(図3参照)。

y_d はフレーム中心の垂直線 x_{fc} と(1)式との交点 y_{c1} と、フレーム中心 y_{fc} 間の画素数 p_1 を求め、距離に換算することによって得られる。この値に $\cos |\theta_R|$ を乗じ

たものが y_d の値となる。

x_d については、中心線 y_c の垂線と斜線との距離 h を知るため、まずフレーム中心垂直線 x_{fc} と (1)式、(2)式の交点 (各々 y_{c1} 、 y_{s1}) より画素数 p_2 を求め距離に換算したものを h' とする。この h' より距離 h の値は次式で求められる。

$$h = h' (\cos |\theta_R| + (-1)^n \sin |\theta_R| \tan \theta_d) \quad [n=0, 1] \quad (5)$$

θ_d は H_1 、 H_2 、 L より既知であり、 n は図4の条件で決まる。

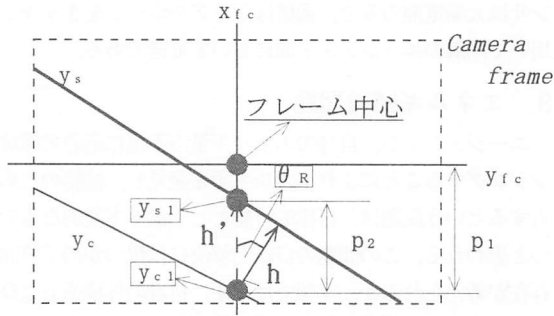


図3 画素数 p_1 、 p_2 及び距離 h' と h の関係

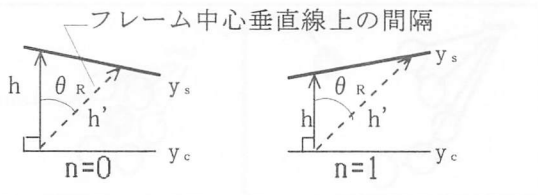


図4 (5)式の n 決定条件

高さ h_1 と (5)式の高さ h の比較より x_d は次式により求められる。

$$x_d = \left(\frac{2h}{h_1} - 1 \right) L + (-1)^m y_d \cdot \sin |\theta_R| \quad [m=0, 1] \quad (6)$$

但し、ここでの m はフレーム中心と標的中心線との同一垂直線上での上下関係 (各々 a 、 b とする) 及び回転方向の関係で決まる。これらを以下にまとめて示す。

$m=0$: [右回転- a (上), b (下)] or [左回転- a (下), b (上)]
 $m=1$: [右回転- a (下), b (上)] or [左回転- a (上), b (下)]

回転方向の判別は直線 y_c とフレーム中心から左右等間隔の位置にある垂直線との交点 y 座標の比較で行う。進行方向の判別は同じくフレーム中心から左右等間隔の位置での斜線と中心線との間隔の比較で行う。中心線と斜線との区別は各々の線幅で認識する。

以上で求めた x_d 、 y_d はともに図2の計測系に合わせるよう補正された値である。つまりこの2つの値と既知の基準点 Z_M の位置関係により絶対位置 O_R を求めることができる。

2-3 計測可能条件

カメラフレーム内に標的は、必ず中心線と1本の斜線が見えていることが絶対条件である。しかし、2-2節で記した計測原理により、フレームの四隅であろうと、いかなる姿勢でも、必ず中心線と斜線の組が見えていれば、計測可能である。この時、標的の欠損が多いと標本数の不足で計測不可能になる。

3. 実験

3-1 実験手順

カメラで標的原画像を読みとり、2値化、細線化処理を施す。中心線、斜線判別には2値化画像データを用いる。他の計測には細線化画像データを使う。計測は、 H_1 、 H_2 を10cm、5cm、 L を100cm、天井とカメラの距離を110cmに設定、図5に示すように格子状に実施し、回転角度を標的の一点上で 5° 毎に $0^\circ \sim 90^\circ$ まで計18個、横変位は10cm毎に $0 \sim 100$ cm まで行い、縦変位は横変位の各点上に垂直に0cm、5cm、9cmとして、計30個の計測値を取る。基準点 Z_M は簡単のため (0, 0) とする。

3-2 計測結果

計測結果を表1に示す。回転角度はほぼ設定値と近値で、誤差は約 1° 以内である。横変位は、60cmまでは誤差約1cm以内で70cm以降は1.5~3cm程度の誤差が発生している。縦変位は約1cm以内の誤差である。これらの誤差要因としては、フレーム中央から両端にかけて「歪み」があり、距離換算時に影響していると思われる。しかし、角度、変位とも自己位置認識用には十分な精度を有している。

4. 結言

今回の標的の利点は、天井設置型なので通路のじまにならず、一点の標的でないので、廊下の横方向のどこからでも自己位置を計測できることである。さらに、廊下幅に合わせて標的の長さを調節できるので、廊下世界の自律移動ロボット用の自己位置計測法として、十分使用可能である。

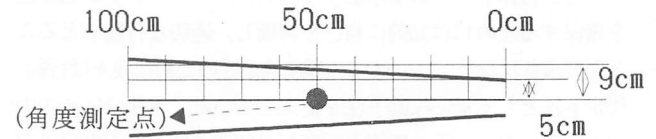


図5 計測点

<回転角度 θ_R > ($x_d=50$ cm, $y_d=0$ cm)

設定値 (deg.)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
計測値 (deg.)	0.1	5.01	10.02	15.14	20.21	25.03	29.33	34.98	39.28	45.25
設定値 (deg.)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
計測値 (deg.)	49.49	54.49	60.55	65.05	69.48	74.55	79.81	84.69	89.44	

<横変位 x_d > ($\theta_R=0$ deg.)

設定値 (cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
計測値 (cm)	0	10.2	20.8	30.9	40.8	50.6	60.6	68.6	78.9	88.4	96.9

<縦変位 y_d > ($\theta_R=0$ deg.)

横変位 (cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
縦0cm計測値 (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5cm "	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.6	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8
9cm "	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.3	8.4	8.3

表1 計測結果

参考文献

- 1) W. D. Holcombe, et al.: Advances in guidance systems for industrial automated guided vehicles, SPIE Vol. 1007, Mobile Robots III, pp. 288-297, 1988.
- 2) 深谷、関口、岩崎: 標的画像を用いた自律移動ロボット用自己位置計測、1996年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集、304、pp. 25-26、1996.