

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II

北海学園大学工学部 ○深谷健一 日本電気通信システム 高橋克成 北海道リコー 村澤芳人

要旨

廊下設置の誘導灯を自然標的として利用する自律移動ロボット用自己位置計測法を考案したが、カメラを制御することで、広い計測可能領域と位置精度を同時に満足させられ、デッドレコニング補正に有効である。

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⁾。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、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した。固定型カラーカメラによる実験を実施し、その有効性と固定視野では計測可能領域の拡大と計測精度の向上は相容れない問題点を指摘し、解決のためにカメラ視野のフィードバックの必要性を明らかにした²⁾。この改良案に沿い、可変視野型のカラーカメラ(ソニー: EVI-D30)を用いて、カメラ視野制御により問題点の解決を図った。

2. 自己位置計測原理

誘導灯の模様の内、矢印の先端(P_1)、出口の左端(P_2)と右端(P_3)の3個所の特徴点(図1参照)を用いて自己位置を計算する。ロボットの自己位置 $O_1(x_1, y_1)$ と特徴点 P_1, P_2, P_3 を結ぶ直線のロボット進行方向 θ_1 から反時計回りに計測した角度を θ_2, θ_3 とすると、次式が成立する。

$$\tan(\theta_1 + \theta_2) = -(y_1 - y_2) / (x_1 - x_2) \quad (1)$$

$$\tan(\theta_1 + \theta_3) = -(y_1 - y_3) / (x_1 - x_3) \quad (2)$$

$$\tan(\theta_2 + \theta_3) = -(y_2 - y_3) / (x_2 - x_3) \quad (3)$$

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_1, y_1, θ_1 に対応する。 $X = \tan \theta_1$ 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。

$$f(X) = a_4 X^4 + a_3 X^3 + a_2 X^2 + a_1 X + a_0 = 0 \quad (4)$$

$a_1 \sim a_4$ は $x_i, y_i, \theta_i (i=1, 2, 3)$ を要素として含むが、 θ_1 を計測すれば定数となり、数値計算で解が得られる。ニュートン・ラフソン法により X を求め、 $\theta_1 = \tan^{-1} X$ を式(1)~(3)に代入して x_1, y_1 が代数計算で求まる。

3. 計測手順

図2にカメラ制御の状況を示す。

- (1) 視野内の誘導灯重心がカメラ視野中心に一致するまで、カメラを横移動させる。この時、視野は最大にして、誘導灯の一部でも映るようにする。
- (2) 画像の面積に応じて誘導灯画像を拡大し、距離によらず一定の大きさとする。
- (3) 誘導灯の3個所の特徴点を抽出し、 X, Y 座標とカメラ角度を求める。
- (4) 横移動と画像拡大の補正をする。

カメラの制御にはRS-232Cインタフェースを介し、ソニーのVISCA(Video Control Architecture)プロトコルを用いた。(3)の特徴点抽出の詳細は

①微分による模様輪郭の抽出

②2値化処理

③雑音除去処理

④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_1 、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_3 に対応する。

⑤特徴点角度の算出: 図1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 γ 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_γ とすると式(5)が成立し、④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。

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

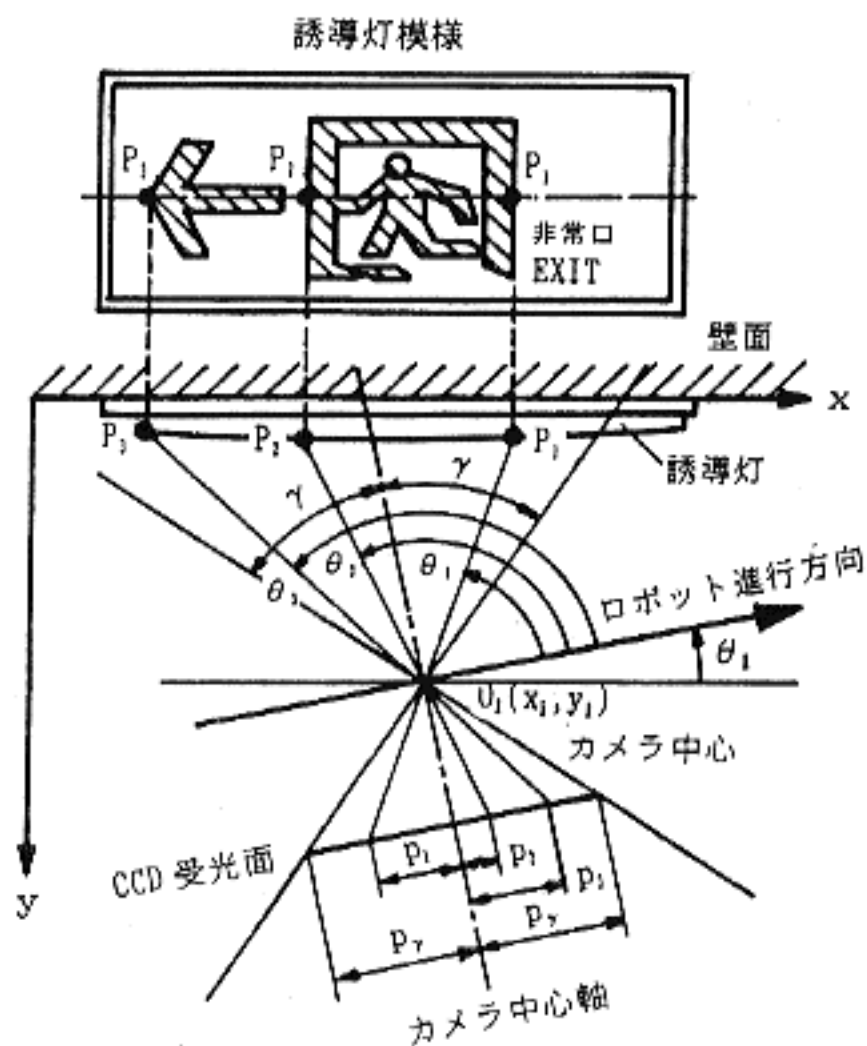


図1 自己位置計測系

4. 実験と計測結果

図2に両方のカメラによる計測可能領域を示すが、約4倍程度に領域が拡大しており、内界センサの誤差が大きい場合にも自己位置を計測でき、カメラ視野の制御可能なカメラを用いることの有効性が確認できた。ズーミングにより一定の大きさに画像を拡大しているため、表1に示す可変視野型カメラによる計測精度はカメラから誘導灯までの距離（壁からの距離）に影響されない。一方、表2の固定型カメラによる計測誤差では壁からの距離が遠くなると誘導灯画像が小さくなり誤差が増加している。廊下壁に平行な変位Xとカメラ角度の誤差が小さいのに比べ、壁に垂直な変位Yの誤差が大きい。これは使用カメラの拡大倍率の非線形性が影響しており、倍率に応じたカメラ校正を行うことで改良可能と考えられる。

参考文献

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

2) 深谷他：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、1998年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集、102、pp8,9、1998.

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。

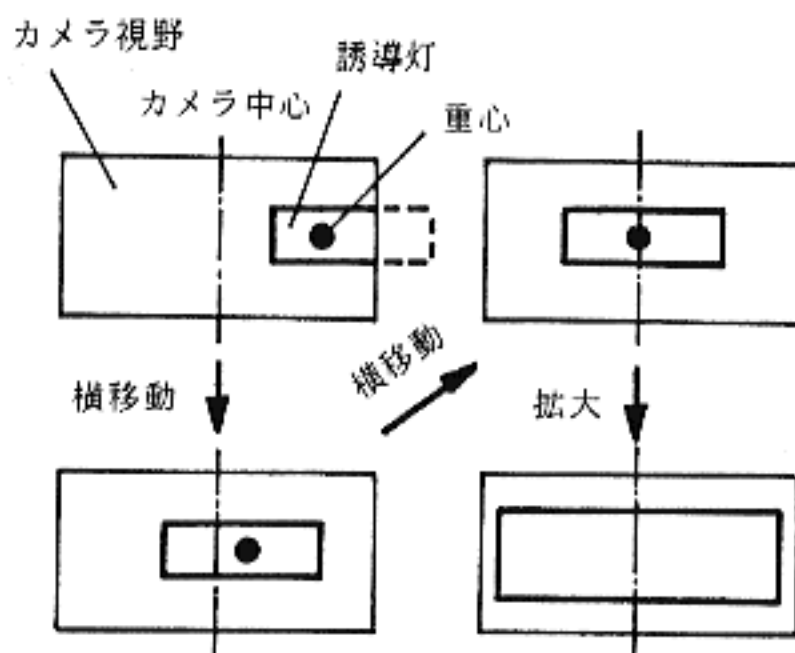


図2 カメラ制御

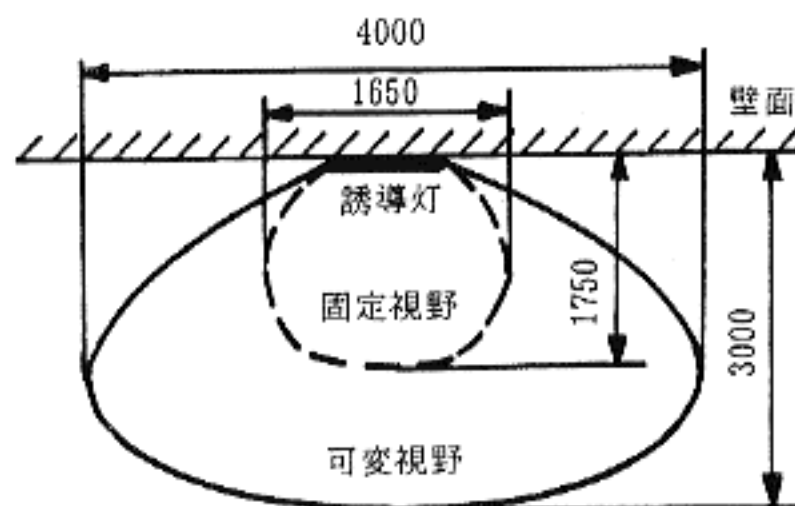


図3 可変・固定視野カメラの計測可能領域

壁からの距離	平均誤差		
	X座標 (cm)	Y座標 (cm)	カメラ角度 (deg)
100	0.6	5.7	1.9
125	0.9	7.9	1.6
150	2.9	5.0	1.3
175	2.4	3.3	2.1
200	2.1	5.7	1.5

表1 可変視野型カメラによる計測誤差

壁からの距離	平均誤差		
	X座標 (cm)	Y座標 (cm)	カメラ角度 (deg)
100	2.4	2.0	1.2
125	3.5	3.5	1.4
150	2.1	4.1	1.1
175	4.0	4.8	1.7

表2 固定視野型カメラによる計測誤差