

要旨

自律移動ロボットの自己位置計測法として、簡便な標的画像を用いる方法を考案した。計測の原理と誤差および計測可能条件を明らかにし、実現可能性を検証するための実験を行ったが、限定された状況では自己位置計測法として使用可能なことを確認した。また問題点を明らかにし、その改良方法を提案した。

1. まえがき

自律移動ロボットのキー技術の一つは自己位置の認識である。ロボットの内界センサによるデッド・レコニングでは、移動するに従い位置偏差が累積し、次第に経路から外れてゆく。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。ここでは設置する標的の位置、方位を予め地図上に記録しておき、ロボットがそこに近づいてカメラを標的に向けて単眼視計測することで自己の絶対位置と方位を知る状況を想定している。

2. 自己位置計測方法

2.1 計測原理

図1に考案した標的を示す。これは上下2本の平行線(高さ H)と1本の斜線(0度で高さ H_1 、360度で高さ H_2)を円筒(半径 r)に巻きつけたもので、標的との距離、方位により3本の線の見え方が変化することを利用して、自己位置を計測する。図2に標的をロボットに設置したカメラから見た場合の計測系を示す。標的を既知の $O_t(x_t, y_t)$ 点に、またカメラを標的の上下線の中心高さに一致するように設置する。カメラ(ロボット)は $O_R(x_R, y_R)$ 点で θ_R の方位を向いている。

標的がカメラ視野内に入ると標的の左右端A,Bの角度 θ_A 、 θ_B は次式で求まる。

$$\theta_A = \frac{360}{h_1 - h_2} (h_1 - h_A), \quad \theta_B = \frac{360}{h_1 - h_2} (h_1 - h_B) \quad (1)$$

$$h_1 = \frac{h}{H} H_1, \quad h_2 = \frac{h}{H} H_2$$

したがって標的中心の方位角は

$$\theta_t = 0.5(\theta_A + \theta_B) - 180 \quad (2)$$

となる。ここで h_i は実寸法 H_i に対応する計測画像上の画素数である。(i=1,2,A,B)

カメラ中心軸と標的中心軸間の角度 θ_d は図3に示すA,B端の高さの平均 $(h_A + h_B)/2$ を通る水平線と斜線の交点Dから画素数 p_d を求めると、次式より求まる。

$$\frac{\tan \theta_d}{p_d} = \frac{\tan \gamma}{p_r} = k \quad (3)$$

$$\theta_d = \tan^{-1}(k p_d) \quad (4)$$

ここで画角 γ に対応する画素数 p_r は使用するレンズ、フレームメモリが決まれば、予め校正可能である。

したがって、ロボット方位角 θ_R は式(2),(4)より

$$\theta_R = \theta_t - \theta_d \quad (5)$$

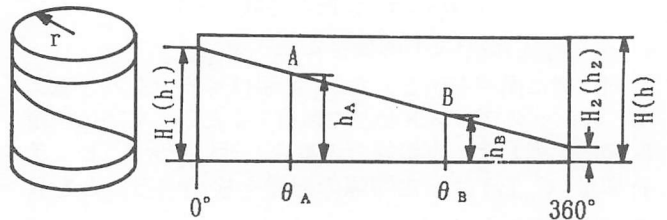


図1 考案した自己位置計測用標的

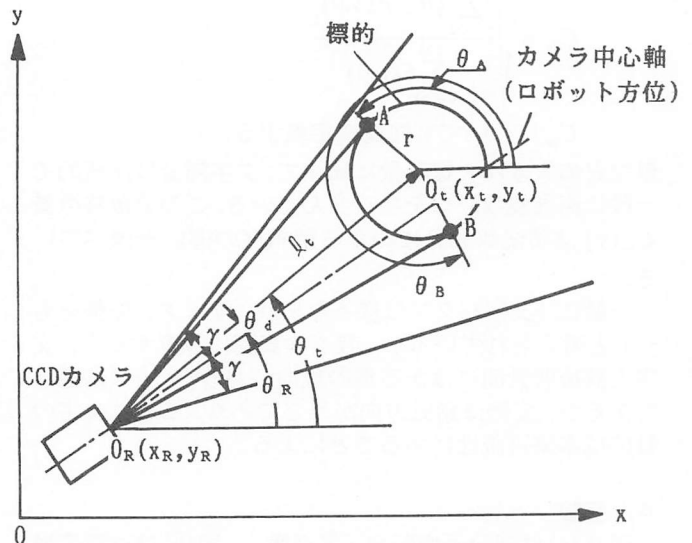


図2 自己位置計測系

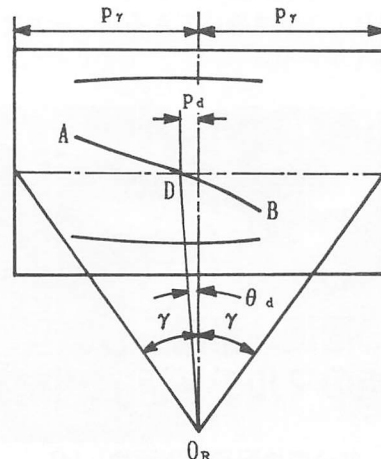


図3 カメラ視野画像

カメラ中心と標的中心間の距離 l_t は

$$l_t = \frac{r}{\sin((\theta_B - \theta_A)/2)} \quad (6)$$

となり、ロボットの絶対位置 $O_R(x_R, y_R)$ は次式となる。

$$x_R = x_t - l_t \cos \theta_t \quad (7)$$

$$y_R = y_t - l_t \sin \theta_t \quad (8)$$

2. 2計測誤差と計測可能条件

カメラの視野が標的の幅に一致する時の、1画素当たりの距離は図4の θ_c に対応する画素数を p_c とすると

$$\frac{l_t}{p_c} = \frac{k l_t^2}{r} \quad (9)$$

またカメラが左右に首を振った時でも、標的が視野に入り計測可能となる許容角度 θ_c は次式により求まる。

$$\theta_c = \gamma - \theta_o = \gamma - \sin^{-1} \frac{r}{l_t} \quad (10)$$

図5にこれらの計算例を示す。計測距離が大きく、標的径が小さく、カメラ画角が大きいほど、カメラ視野内の標的は小さく写り、1画素あたりに換算した距離が大きくなる。即ち画素誤差による計測距離誤差が大きくなる。許容角度はこれと逆の特性を示すが、距離が100cm程度より大きくなると角度は飽和してくる。誤差の減少と許容角度の増加は両立しない。

3. 実験

考案した方法を検証するための実験を行った。

3.1 実験手順

カメラで標的画像を読取り、2値化、細線化を行う。背景から生ずる余分な細線が含まれるので、標的の対象とする上下の平行線と斜線が水平および斜め方向に連続している特徴を考慮した細線追跡を行い、3本の線を抽出する。図6に抽出した線画像の例を示す。この線画像より計測原理に基づいた計算を行い位置、方位を求める。

3.2 計測結果

計測結果の一例を表1に示す。実測値は距離が増加すると設定値に比べ、その誤差が l_t では2cmから16cm、 θ_t では2度から8度と次第に大きくなるが、これは2.2項で述べた1画素当たりの距離(角度)が大きくなることに対応している。300cmまでは数cm、数度程度の誤差であり、自律移動ロボット用の自己位置計測としてはほぼ使用可能である。

3.3 改良方法

誤差と許容角度の矛盾を解決するには、可変焦点レンズを用い、標的を視野内に捉える過程では広角レンズを用いるとともにカメラを回転させて標的を視野中央に置く。次に計測過程では狭角レンズにズームして標的を拡大させる。このようなフィードバックが有効である。

また自然光下での計測では背景が雑音となり、標的線抽出に余分の処理が必要になる。光反射型テープを用いた標的を作成し、計測時のみストロボを発光させて、2値に近い標的画像を取り込めば後の処理が容易になる。

参考文献

H.R.Everett: Sensors For Mobile Robots, Theory and Application, 1995, A K Peters.

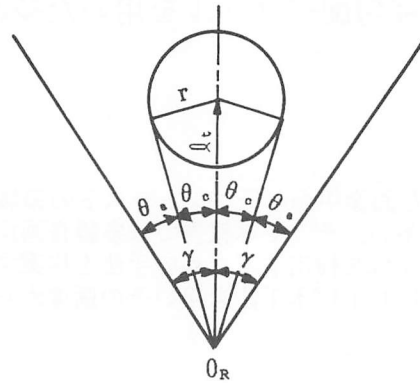


図4 1画素換算距離とカメラ回転許容角度の説明図

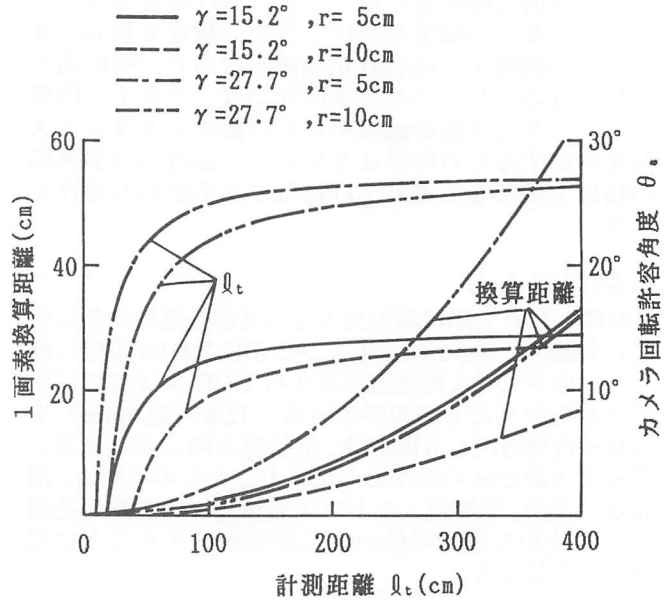


図5 1画素換算距離とカメラ回転許容角度の計算例

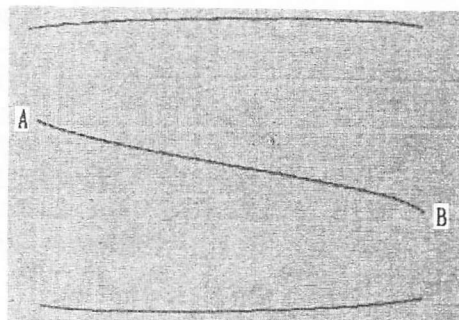


図6 抽出した標的線画像

設定値		実測値	
l_t (cm)	θ_t (度)	l_t (cm)	θ_t (度)
75	180	74	182
100	180	98	180
150	180	148	178
200	180	198	182
250	180	254	183
300	180	292	187
325	180	309	188

表1 計測結果の一例 ($\gamma=15.2^\circ$, $r=5\text{cm}$)