

北海学園大学 ○深谷健一、鈴木喜智 佐鳥電機 青山鉄也

要旨

自律走行ロボットの自己位置計測法として、平坦な壁面との相対位置を二つのレーザ光を壁面に照射して出来る交点の位置計測により求め、また絶対位置を設置光点目印と相対位置から求める方法を考案した。前報に引続き、計測系設計のための解析を行い、本方法の適用条件を明らかにした後、実験を行いその実現性を検討した。限定された条件の元では、自律走行ロボット用の簡便な自己位置計測法として使用可能である。

1. まえがき

自律走行型ロボットが内部位置計測で走行すると、スリップなどにより次第に経路から外れて行く。このためロボット外部との相互作用による自己位置の確認が必要となる。図1に示すように、レーザを平坦な壁面に照射して生ずる交点位置を計測することにより相対位置(壁との距離と傾き)を、また人為的に設置した光点目印の計測と相対位置から絶対位置を求める方法を考案したので、前報に引続き報告する。

2. 自己位置計測方法

2.1 計測原理

図2に計測系を示す。カメラの左右にレーザ光源を距離a、角度θで設置し、レーザ光の壁面との交点をA(x_A, y_A)、B(x_B, y_B)とすると、壁面までの距離Lと壁面の傾き⊙は次式で求まる。¹⁾

$$L = \frac{a \tan \theta (\cot \phi_A + \cot \phi_B)}{2 \tan \theta - \cot \phi_A - \cot \phi_B} \quad (1)$$

$$\ominus = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \theta (\cot \phi_B - \cot \phi_A)}{2 \tan \theta - \cot \phi_A - \cot \phi_B} \right\} \quad (2)$$

設置目印S(0, Y_S)がカメラ視野内に入るなら、絶対座標(X_a, Y_a)は既知のY_Sと式(1)、(2)のL、⊙を用いて次式で求まる。

$$X_a = L \cos \ominus \quad (3)$$

$$Y_a = Y_S - L \cos \ominus \tan(\ominus + \phi_S) \quad (4)$$

未知量φ_A、φ_B、φ_Sはカメラの視野画像で、カメラ中心から画角γの位置までの画素数p_rと点A、B、目印Sまでの画素数p_A、p_B、p_Sの間の関係式(5)から求まるので、これを画像計測すればよい。なお画角に対応する画素数p_rは使用するレンズ、フレームメモリが決定されれば、予め実験により較正可能である。

$$\frac{\tan \gamma}{p_r} = \frac{\tan \phi_A}{p_A} = \frac{\tan \phi_B}{p_B} = \frac{\tan \phi_S}{p_S} \quad (5)$$

2.2 計測可能領域

相対位置の計測可能領域は次式となる。¹⁾

$$|\ominus| < \tan^{-1} \left\{ -\cot \gamma + \frac{1}{a} \left(1 - \frac{\cot \gamma}{\tan \theta} \right) L \right\} \quad (6)$$

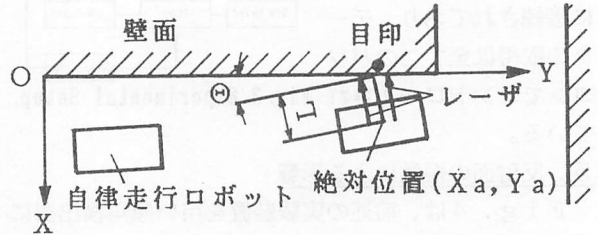


図1 自律走行ロボットの位置計測状況

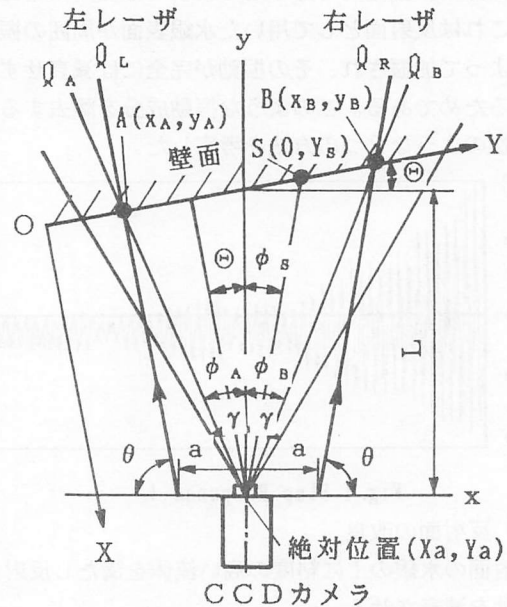


図2 レーザ照射型自己位置計測系

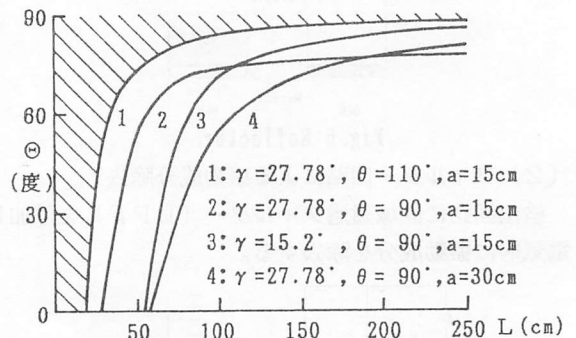


図3 相対位置計測可能領域

絶対位置の計測可能領域は、 $\phi_B < \gamma$ の時に目印Sがカメラの視野に入るので、式(4)より

$$|Y_S - Y_a| < L \cos \Theta \tan(\Theta + \gamma) \quad (7)$$

となる。図3に相対位置計測可能領域を示す。Lが小さい領域では計測は制約される。レーザの設置距離aが小さく、レーザ設置角度 θ とレンズ画角 γ が大きい時、領域が広がる。図4は絶対位置の計測可能領域を示すが、当然、式(6)のL、 Θ に関する制約が加わる。レンズ画角が大きいと、領域が広がる。

2. 3計測誤差解析

式(1)、(2)を

$$L = f(a, \theta, \phi_A, \phi_B), \quad \Theta = g(\theta, \phi_A, \phi_B)$$

で示すと、相対誤差は次式で計算される。

$$\left| \frac{\delta L}{L} \right| \leq \left| \frac{\partial f}{\partial a} \frac{a}{L} \right| \left| \frac{\delta a}{a} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial \theta} \frac{\theta}{L} \right| \left| \frac{\delta \theta}{\theta} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial \phi_A} \frac{\phi_A}{L} \right| \left| \frac{\delta \phi_A}{\phi_A} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial \phi_B} \frac{\phi_B}{L} \right| \left| \frac{\delta \phi_B}{\phi_B} \right| \quad (8)$$

$$\left| \frac{\delta \Theta}{\Theta} \right| \leq \left| \frac{\partial g}{\partial \theta} \frac{\theta}{\Theta} \right| \left| \frac{\delta \theta}{\theta} \right| + \left| \frac{\partial g}{\partial \phi_A} \frac{\phi_A}{\Theta} \right| \left| \frac{\delta \phi_A}{\phi_A} \right| + \left| \frac{\partial g}{\partial \phi_B} \frac{\phi_B}{\Theta} \right| \left| \frac{\delta \phi_B}{\phi_B} \right| \quad (9)$$

図5は誤差計算の各係数項の一例である。各係数項のノルムを計算すると、レーザ設置角度 θ に対し最小となる、マクロな意味での最適設定値が存在する。

3. 実験

3. 1 処理手順

原画像データをpタイル法を適用して2値化後(図6)、カメラ中心から点A、B、目印Sまでの画素数を求める。レーザ輝度不均一は、点A、B、目印Sの画像上での存在領域が限定されるので、領域を区分して個別にpタイル法を適用することにより解決できた。また各点位置は重心を代表点とした。目印には豆ランプをレーザ照射点と高さを変えて設置した。

3. 2 計測結果

以下の測定条件 [可視光半導体レーザ: 波長650nm・到達距離150m以上・ビーム径3m先で7mm(市販レーザポインタ)、 $\theta = 90$ 度、 $a = 15$ cm、 $\gamma = 27.78$ 度(広角レンズ)] による計測結果の一例を表1に示す。判明したことをまとめると

- ①簡便な方法で、壁面との距離、傾きおよび絶対位置が求められる。
- ②壁の色に左右されず、暗い場所でも計測可能である。(しかし、鏡面壁で天井の蛍光灯が写る場合には光の点が計測できない場合がある)。
- ③距離が大きくなると絶対誤差は増え、2mを越えると精度が大きくなり低下し計測は厳しくなる。

参考文献

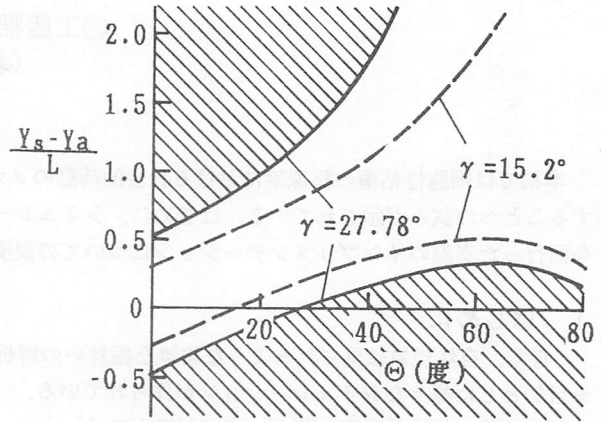


図4 絶対位置計測可能領域

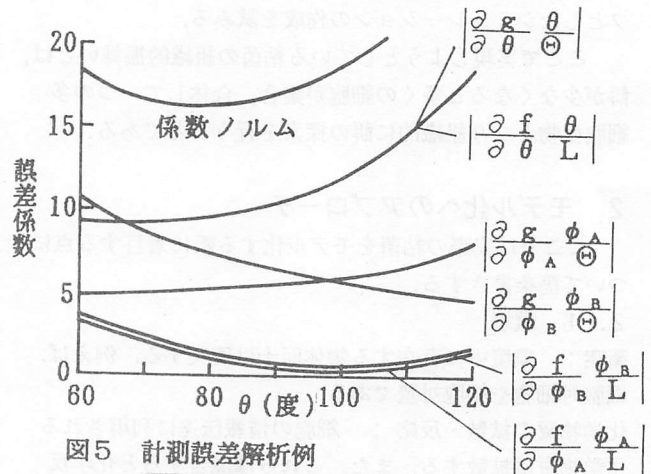


図5 計測誤差解析例

($a = 15$ cm, $L = 100$ cm, $\Theta = 30$ °)



図6 点A、Bと目印Sの2値画像

設定値				実測値			
相対位置	絶対位置	相対位置	絶対位置	相対位置	絶対位置	相対位置	絶対位置
L	Θ	Xa	Ya	L	Θ	Xa	Ya
93	0	93	100	95	0	95	102
112	0	112	100	114	-3	114	103
109	25	101	160	111	23	102	166
119	-39	93	3	122	-39	95	1
170	0			172	0		
238	-13			243	-15		
240	-25			251	-40		

単位 L, Xa, Ya: cm Θ : 度

表1 計測結果の一例

1) 深谷、松田、野村: 自律走行ロボット用レーザ照射型自己位置計測法、1994年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集、201、p39、40。