

◎ 本誌に掲載される論文の著作権は著者に帰属し、本誌の複製は許されています。

天井設置カラー標的を用いた自律移動ロボット用自己位置計測法

Ken-ichi Fukaya et al.

◎ 本誌に掲載される論文の著作権は著者に帰属し、本誌の複製は許されています。

◎ 著者 1) 深谷 健一*・武田 昌樹**・尾倉 征幸***

◎ 所属 1) 北海道情報工学会 2) 北海道情報工学会 3) 株式会社エスイーシー

Self-position Measuring Method for Autonomous Mobile Robot

◎ 著者 1) 深谷 健一*・武田 昌樹**・尾倉 征幸***

◎ 著者 1) 深谷 健一*・武田 昌樹**・尾倉 征幸***

◎ 所属 1) 北海道情報工学会 2) 北海道情報工学会 3) 株式会社エスイーシー

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

出発地点から指示された目標地点までの最適な経路を設定して自律的に移動する自律移動ロボットの実現には1)自己位置計測(認識)、2)目標地点設定、および3)経路計画の問題を解決しなければならない。自己位置計測では表1に示す各種の方法が提案されているが、内界センサによる相対位置計測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。このため許容誤差を越えた場合には、外界センサを用いる絶対位置計測により累積誤差を零にする必要がある。本研究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

* 北海道情報工学会 1) 北海道情報工学会
** 北海道ソフトエンジニアリング株式会社
*** 株式会社エスイーシー
Department of Electronics and Information Engineering, Hokkai-Gakuen University
Hokkaido Soft Engineering Co., Ltd.
SEC Corporation LTD.

方法を提案する。本方式は表1の4番「人為標的の認識」の範疇に入る。この分野では標的の白黒パターンを認識して自己位置を求める方法が主として研究されてきたが^[14]、カラー画像を用いることで、処理が容易になる特長がある。

2. カラー標的

標的は黄色の直線C(2 cm×38 cm)の両端に緑A(2 cm×2 cm)と赤B(2 cm×2 cm)の点がついた形状をしており(図1)、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:200 cm, 移動ロボット[Nomad 200]の大きさ:直径55 cm, カメラ視野:横110 cm 縦84 cm)を考慮し、カメラを搭載したロボットが標的の前後42 cm以内であれば、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。

・本標的の特長

- 1) 3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) 標的の全てではなく片方の端点と直線の一部が見えさえすれば自己位置を知ることができる。

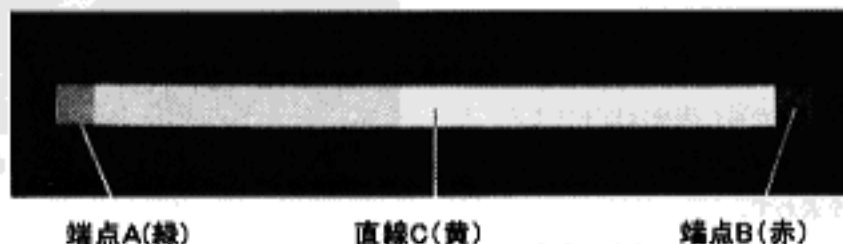


図1 カラー標的

3. 自己位置計測方法

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(図2)。
- 2) RGB表色系からHSV表色系へ変換する。

表1 自律移動ロボット用自己位置計測法の分類

分類	番号	方式
相対位置計測	1	走行距離計測(オドメリー)
	2	慣性航法
絶対位置計測	3	能動ビーコン
	4	人為標的の認識
	5	自然標的の認識
	6	モデル一致

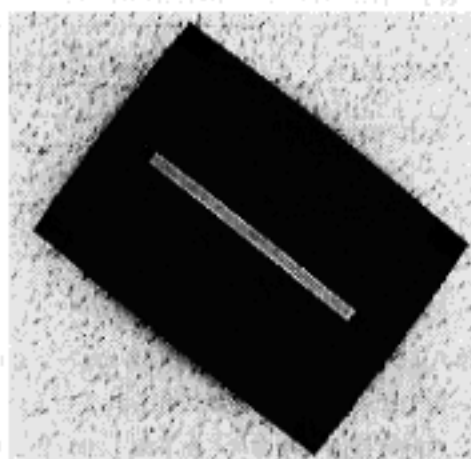


図2 天井設置カラー標的のRGB画像

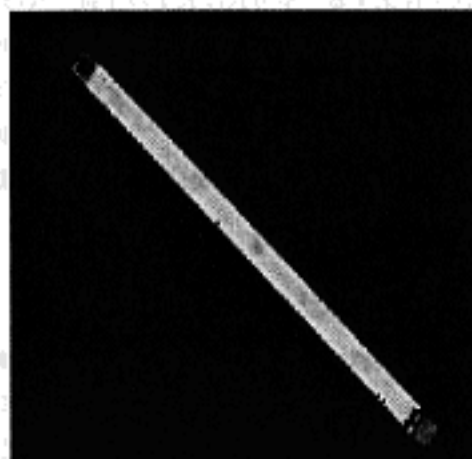


図3 抽出した端点A,Bと直線C

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 (図 3)。

4) 5×5 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 (図 4)。

6) カメラ座標から底下座標での自己位置へ変換する。

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⁷⁾。 $V = \max(R, G, B)$ 。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 $H = H + 1$ 。

図 5 に示すように底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

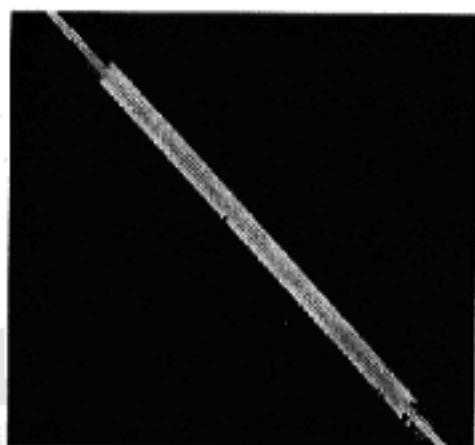


図4 最小二乗法により抽出された直線

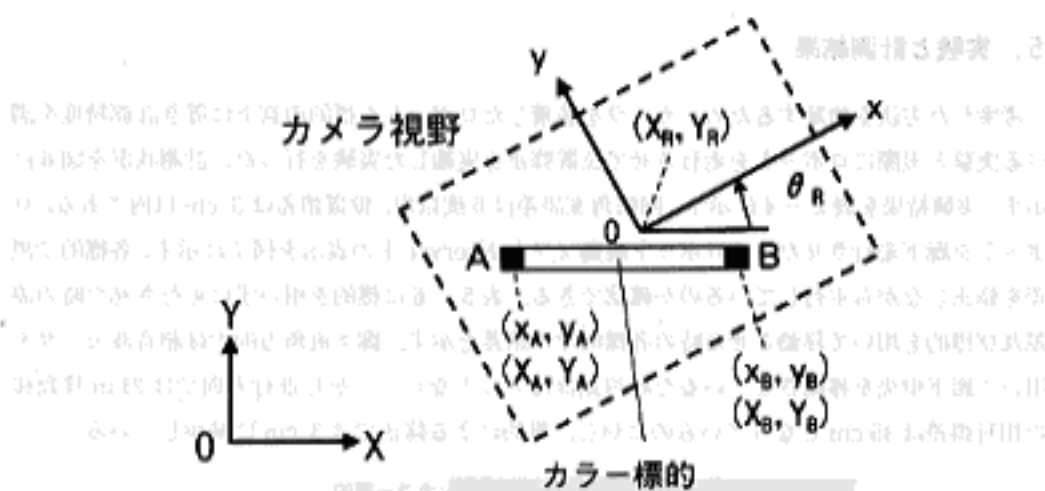


図5 廊下座標とカメラ座標

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。この値は計測した面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_k は反時計回りを正とする。カメラ座標から廊下座標への変換は次式となる。

$$\begin{aligned} X_R &= X_A - x_A \cos \theta_k + y_A \sin \theta_k = X_B - x_B \cos \theta_k + y_B \sin \theta_k \\ Y_R &= Y_A - x_A \sin \theta_k + y_A \cos \theta_k = Y_B - x_B \sin \theta_k + y_B \cos \theta_k \end{aligned}$$

4. 自律移動方法

ロボットが保持する地図には、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。
- 4) 2), 3)を繰り返し、ゴール地点まで移動して自己位置を修正後、停止する。

自己位置補正では θ_k 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、カメラを装着したロボットを標的の真下に置き計測精度を調べる実験と実際にロボットを走行させて位置修正を実施した実験を行った。計測状況を図6に示す。実験結果を表2～4に示す。回転角度誤差は6度以内、位置誤差は3 cm以内である。ロボットを廊下走行させた時のロボット駆動ソフト Nserver 上の表示を図7に示す。各標的で誤差を修正しながら走行しているのが確認できる。表5、6に標的を用いずに走行させた時の誤差及び標的を用いて移動させた時の各標的での誤差を示す。廊下直角方向では超音波センサを用いて廊下中央を移動させているため誤差はほとんどない、しかし進行方向では21 m移動後の相対誤差は45 cmとなっているのに対し、標的による修正では3 cmに減少している。

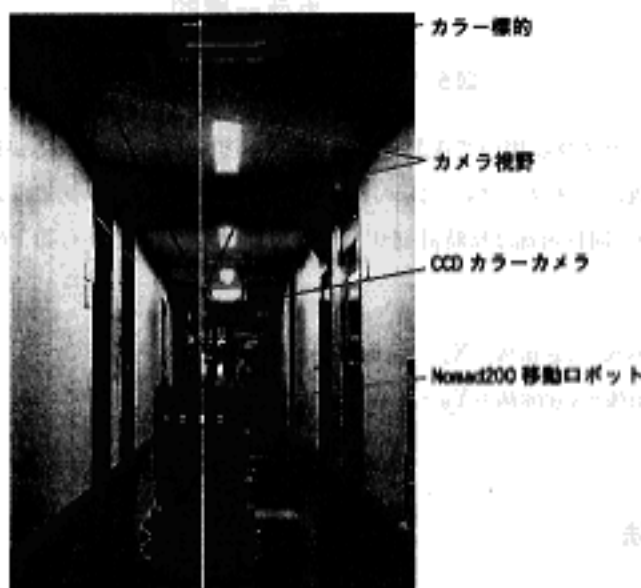


図6. 移動ロボットのカラー標的計測状況

表2 回転角度の計測実験結果 (単位=度, $X_R=Y_R=0$)

設定値	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
計測値	0	36	65	91	116	146	181	216	245	270	296	325	360

表3 X_R 座標の計測実験結果 (単位=cm, $\theta_R=0$, $Y_R=0$)

設定値	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
計測値	-23	-19	-14	-8	-3	1	6	12	17	22	27

表4 Y_a座標の計測実験結果(単位=cm, $\theta_a=0, X_a=0$)

設定値	-15	-10	-5	0	5	10	15
計測値	-18	-12	-6	1	6	12	18

表5 誤差修正をしない場合の標的3での位置誤差(単位cm)

計測箇所	標的位置	X _a	Y _a
標的3	20.8m	0	-45

表6 誤差修正を行った場合の各標的での位置誤差(単位cm)

計測箇所	標的位置	X _a	Y _a
標的1	6.9m	-3	-6
標的2	13.9m	-1	-2
標的3	20.8m	-1	-3

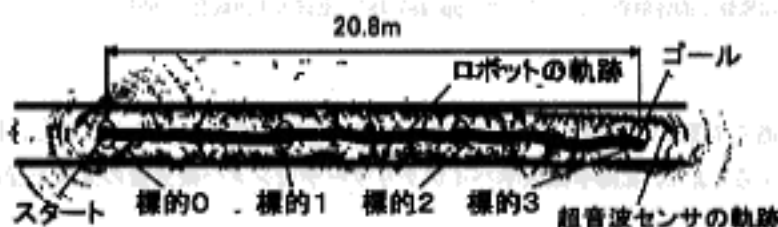


図7 走行実験のNserver表示

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に番号をふり、絶対識別も可能である。今後実用に供するには以下の問題解決が要求されるが、それぞれ対処可能と考えている。

1) 周囲環境の変化による取り込み画像の暗調変動への対策

→ストロボ光源の使用

2) タスクに応じた合理的な標的配置計画の立案

→拡張カルマンフィルタによる誤差推定の適用

3) ノンストップ自己位置計測

→リアルタイム画像処理装置の導入

参考文献

- 1) H.R.Everett: Sensors for Mobile Robots, Theory and Application, A K Peters, 1995.
- 2) J.Borenstein, H.R.Everett and L.Feng: NAVIGATING MOBILE ROBOTS, Systems and Techniques, A K Peters, 1996.
- 3) 坪内孝司他: 特集=自律移動体の位置決め技術, 精密工学会誌, Vol.65, No.778, pp.1385-1424, 1999.
- 4) W.D.Holcombe, et al: Advances in guidance systems for industrial automated guided vehicles, SPIE Vol.1007, Mobile Robots III, pp. 287-297, 1988.
- 5) 五十嵐, 深谷: 天井設置簡易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研究報告, 第25号, pp.1301-307, 1998.
- 6) 柳原, 高山, 伊藤, 高木: 多重円標識を用いた自己位置同定システムの開発, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 第1分冊, pp.317-318, 2000.
- 7) 高木, 下田監修: 画像解析ハンドブック, pp.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。