

# 視覚センサによる移動ロボットの移動物体への追従制御

2016SC038 木股享祐

指導教員：中島明

## 1 はじめに

限られた人的資源を最大限有効に使うためには、自動化技術の発展は急務である。本研究では、カメラからの視覚情報をもとに、移動する物体へ追従する車両型ロボットを扱う中間報告では、二輪車両、カメラのモデリングとカメラ情報によるフィードバック制御を示した。今回は、提案した手法を検証するためのシミュレータの作成と検証結果を述べる。

## 2 ロボットの運動学

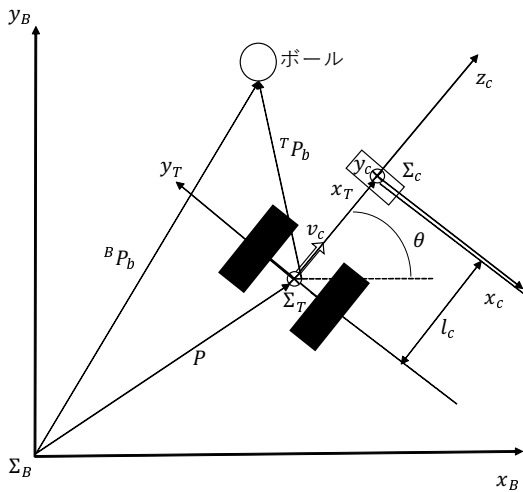


図1 ベース座標系と車体

ベース座標  $\Sigma_B$ 、車体座標系  $\Sigma_T$ 、カメラ座標系  $\Sigma_C$  を定める。ベース座標系での車体の位置を  $P = [p_x, p_y]^T$ 、車体の座標系とベース座標の  $x$  軸の為す角を  $\theta$  とする。車体が進行方向へ持つ速度を  $v_c$ 、車体の旋回速度を  $\omega_c$  とすると、ロボットの運動学モデルは以下ようになる。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_c \\ \omega_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 3 カメラのモデル

ここではカメラのモデルを示す。図3のように、カメラ座標系  $\Sigma_C$  における観測対象の座標を  $[x_p, y_p, z_p]^T$ 、仮想的な画像平面上における座標を  $[\bar{u}, \bar{v}]^T$ 、焦点距離を  $f$  とする。 $[\bar{u}, \bar{v}]$  を、定数  $\alpha$  [m/pixel] を用いて  $[u, v]$  [pixel] に変換すると、 $[x_p, y_p]$  との関係は以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{f/\alpha}{z_p} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

以降この  $[u, v]^T$  を画像平面座標と呼ぶ。

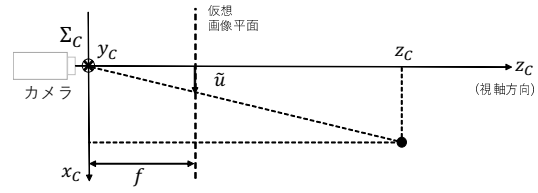


図2 カメラ座標系 ( $(y_c, z_c)$  も同様)

## 4 移動ロボットから見たボール位置の推定

図1のように、移動ロボットにカメラを取り付けた状態を考える。このとき、移動ロボットから見たボール位置  ${}^T P_b$  と、カメラ座標から見た位置  $[x_p, z_p]^T$  との関係は次のようになる。

$${}^T P_b = {}^T P_c + \begin{bmatrix} z_p \\ -x_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_c + z_p \\ -x_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

${}^T P_b$  を計算するためには、 $x_p, z_p$  を画像情報から推定する必要がある。 $z_p$  が分かれば、式(2)より  $x_p$  は計算できるので、ここではボール半径を利用した  $z_p$  の推定法について述べる。 $r$  を  $(u, v)$  平面での半径、ボールの実際の半径を  $R$  とすると、式(2)より次の関係が成り立つ。

$$r = \frac{f/\alpha}{z_p} R \quad (4)$$

ここで、 $f/\alpha$  が既知と仮定すると、

$$z_p = (f/\alpha) \frac{R}{r} \quad (5)$$

となり、計測した  $r$  から  $z_p$  が計算できる。 $z_p$  が求まれば、式(3)より直ちに計測した  $u$  を用いて  $x_p$  が得られる。

$$x_p = \frac{f/\alpha}{z_p} u \quad (6)$$

以上から、式(5),(6)より求められた  $z_p, x_p$  を式(3)に適用すれば、 ${}^T P_b$  が得られる。

## 5 カメラ座標によるフィードバック制御

ここでは、カメラ座標を用いたフィードバック制御の方法について述べる。今回の制御では、

1. 目標物を常に車体の前方中心、カメラの中心に据えるように旋回し、
  2. 目標物との距離を一定に保つように加減速する
- 以上を目標とする。 ${}^T y_b, {}^T x_b$  を画像平面上での目標物の位置、 ${}^T y_{bd}, {}^T x_{bd}$  を目標値、 $K_\omega, K_v$  を定数として、操舵、進行それぞれの制御は以下の関係式によって行われる。

$$\omega = K_\omega ({}^T y_b - {}^T y_{bd}) \quad (7)$$

$$v = K_v ({}^T x_b - {}^T x_{bd}) \quad (8)$$

## 6 シミュレータの実装

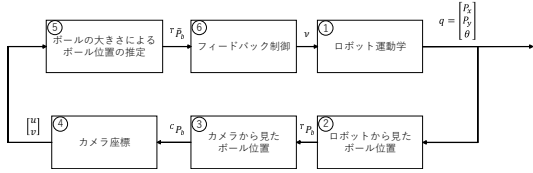


図3 プログラムの構成

シミュレータの構成は図3になる。①は式(1), ③は式(3), ④は式(2), ⑥は式(7), (8)で計算される。②と⑤については以降で説明する。

### 6.1 ロボットから見たボール位置の算出

図1にあるように、基準座標系でのボール位置  ${}^B P_b$  とロボットから見た位置  ${}^T P_b$  の関係は以下ようになる。

$${}^B P_b = {}^B P_T + {}^B R_T {}^T P_b \quad (9)$$

ここで  ${}^B R_T$  はロボットの姿勢で定まる回転行列である。ロボットの位置  ${}^B P_T = [p_x, p_y]^T$ , 姿勢  $\theta$  が与えられるとき,  ${}^T P_b$  が計算できる。

### 6.2 ボールの大きさによるボール位置の検出

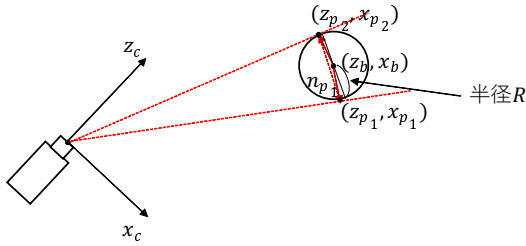


図4 ボールの大きさの検出の仕組み

図4のように、ボールの大きさは、カメラから見たボールの端の座標から検出される。この座標は  $(z_{p1}, x_{p1}), (z_{p2}, x_{p2})$  の二点あるが、以降では簡単のため添え字番号は省略する。ボールの端の座標を  $(z_p, x_p)$ , 中心の座標を  $(z_b, x_b)$  とする。また、これらの座標は、ボールの半径  $R$  と以下のような関係にある。

$$(z_p - z_b)^2 + (x_p - x_b)^2 = R^2 \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} z_p \\ x_p \end{bmatrix} \cdot n_p = 0, n_p = \begin{bmatrix} z_p - z_b \\ x_p - x_b \end{bmatrix} \quad (11)$$

この二つの解を  $x_{p+}, x_{p-}$  とおくと以下ようになる。

$$x_{p+} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - ac}}{a}, x_{p-} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - ac}}{a} \quad (12)$$

$$z_{p+} = \frac{z_b^2 + x_b^2 - R^2 - x_b x_{p+}}{z_b}, z_{p-} = \frac{z_b^2 + x_b^2 - R^2 - x_b x_{p-}}{z_b} \quad (13)$$

ただし  $a = x_b^2 + z_b^2, b = -x_b(x_b^2 + z_b^2 - R^2), c = (x_b^2 + z_b^2 - R^2)(x_b^2 - R^2)$  とする。式(7)より

$$u_+ = (f/\alpha) \frac{x_{p+}}{z_{p+}}, u_- = (f/\alpha) \frac{x_{p-}}{z_{p-}} \quad (14)$$

画像平面上の半径  $r$  は式(14)を用いて以下のように計算される。

$$r = \frac{|u_+ - u_-|}{2} \quad (15)$$

## 7 シミュレーション

今回は静止したボールを目標としてシミュレーションを行った。図5に  ${}^T P_b$  の目標値  ${}^T P_{bd} = [0.2, 0]^T$  への収束の様子を示す。

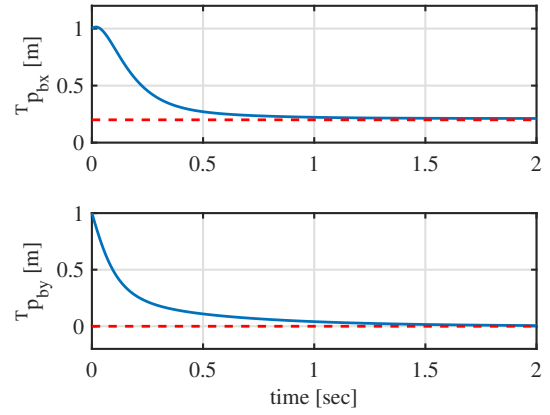


図5 シミュレーション結果

## 8 おわりに

本研究では、カメラからの視覚情報をもとに、移動する物体へ追従する車両型ロボットを扱う。今回は車両型ロボットのモデル、カメラのモデルを導出した。次に、カメラ情報を用いて車両型ロボットから見たボールの位置を計算する方法を示した。そしてその位置を目標の値にフィードバック制御する方法について述べた。これらの関係式をシミュレーション上に実装した。

### 参考文献

- [1] 蟹江俊吾 (指導教員: 中島明): 『視覚フィードバックを用いた移動ロボットの制御』. 南山大学, 2020.01