

1. はじめに

RoboCup 小型リーグでは、ビジョンシステムを用いてロボットやボールの認識を行う。得られたボールやロボットの位置から戦略を練り、現在位置から目標位置までの最適な経路を生成 [1] し、ロボットを制御する。現在のロボットには、ボールを蹴るキッキングデバイスが搭載されており、ボールを宙に打ち上げるチップキックが開発されている。しかし、従来のビジョンシステムではボールを床平面上の点として検出しているため、宙にあるチップキックのボールを床平面で推定すると誤差を含んでしまう。そのため、ボールにアプローチする際の最適な目標位置を設定することができない。そこで本研究では、ボールの三次元位置を認識し、最適な目標位置を設定する手法を提案する。

2. 最適な目標位置の決定法

従来、ロボットがボールにアプローチする際の目標位置はボール座標を用いている。しかし、ロボットがチップキックをしたボールは宙に浮いているため、ロボットが接触することができない。従って、目標位置をロボットとボールの接触可能な位置に設定する必要がある。そこで、本研究ではボールの軌跡から落下位置を推定し、目標位置とする手法を提案する。以下に目標位置の決定法について示す。

運動モデル チップキックによるボールの動きは、平行移動と放物運動と仮定できる。速度  $(v_x, v_y, v_z)$ 、初期位置  $(x_0, y_0, z_0)$  をパラメータとして持つ運動モデルとして式 (1) を定義する。

$$\begin{cases} x = v_x t + x_0 \\ y = v_y t + y_0 \\ z = v_z t - \frac{1}{2} g t^2 + z_0 \end{cases} \quad (1)$$

$g$ :重力加速度  $9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $t$ :時刻

パラメータ推定 運動モデルの各パラメータを観測した三次元位置と時刻  $t$  を用いて、LM(Levenberg-Marquardt) 法より推定する。時刻  $t$  はカメラのフレームレートに依存するため、 $1/30 \text{ s}$  ずつ増加するとする。

落下位置推定 ボールは放物運動しているため、落下位置の推定は、落下時刻  $t$  を式 (2) から求めることにより得られる。

$$t = \frac{v_z \pm \sqrt{v_z^2 + 2z_0g}}{g} \quad (2)$$

落下時刻  $t$  と式 (1) を用いて、落下位置  $x, y$  座標を算出し、目標位置とする。

3. 経路生成

ロボットは  $1 \text{ m/s}$  の速度で目標位置を落下位置推定した位置として移動する。しかし、ボールとロボットの速度、ボールとロボットの位置関係により、推定した落下位置に到達できない場合があり、目標位置の変更が必要となる。到達判定にはボールの落下予測位置  $x'_b, y'_b$ 、ロボットの速度  $v_r$ 、ロボットの現在位置  $(x_r, y_r, z_r)$ 、現在時刻からボールが落下するまでの時刻を  $t$  とし、以下の式で求める。

$$v_r t \geq \sqrt{(x_r - x'_b)^2 + (y_r - y'_b)^2} \quad (3)$$

式 (3) を満たす場合、放物運動の落下位置を目標位置として経路を生成する。式 (3) を満たさない場合は、次の落下位置を予測し、新しい目標位置として経路を再び生成する。ボールのバウンド後の速度  $v'_{zb}$  は、バウンド前の速度  $v_{zb}$ 、反発係数  $e$  から以下の式より求める。

$$v'_{zb} = e v_{zb} \quad (4)$$

4. 評価実験

落下位置推定実験 ボールの落下位置を推定した結果を経路の目標位置とするため、落下位置推定の精度を評価する。3,000 × 400 mm のフィールドでボールをバウンドさせた時の三次元位置をステレオ視により推定し、この観測データを用いて落下位置を推定する。また同時に真値としてボールの落下位置を目視により計測する。

図 1 に観測した三次元位置 (2 点から 21 点) を用いて、推定した落下位置と真値 (目視による落下位置) とのユークリッド距離を示す。

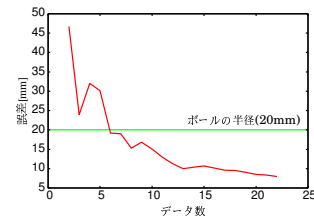


図 1：落下位置と推定位置の誤差

観測したボールの位置には誤差が含まれるため、少ない点を用いて運動パラメータを推定すると、落下位置の推定精度が低下することがわかる。6 点を用いた場合の落下位置の誤差はボールの半径 (約 20 mm) より小さいことがわかる。従って、落下位置の予測には、放物運動をするボール座標が 6 点あれば運動モデルのパラメータ推定は十分な精度を得られると考えられる。以降の実験では 6 点を用いることとする。

ボールへのアプローチ実験 放物運動をするボールに対してロボットの初期位置を 0 ~ 3,000 mm の乱数で与え、ボールへのアプローチ実験を 100 回行い評価する。ボールとロボットの接触判定は、ボールがロボットの座標中心から 90 mm 以内 (ロボットの半径) に入り、かつボールの高さが 150 mm 以内 (ロボットの高さ) の位置のときとする。

表 1 に、接触するまでのフレーム数の平均と各バウンド領域での到達回数を示す。表 1 の (a), (b), (c) はそれぞれ、最初の落下位置、次の落下位置、それ以降のバウンド領域を示す。

表 1：フレーム数と場所に対する到達回数

領域	従来法		本手法	
	平均	到達回数	平均	到達回数
(a)	21.3	4	21.0	25
(b)	31.2	5	32.0	14
(c)	70.6	91	70.6	61

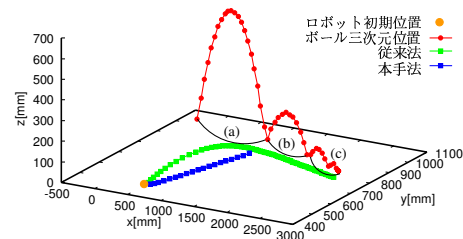


図 2：ボールに接触するまでの経路

表 1 より、各バウンド領域に対してロボットがボールに到達するまでのフレーム数は同じであるが、1 回目、及び次の落下位置へ到達するまでの回数は本手法の方が多いたことが分かる。また、図 2 に示すように、従来法はボールが放物運動を終えるまでロボットが追いつくことが不可能であるのに対し、本手法は目標位置を推定した落下位置とすることで、1 回目の落下位置でボールに追いつくことができる。

5. おわりに

本研究では、観測した三次元位置から運動モデルのパラメータを推定し、ボールの落下位置を求め最適な目標位置として決定する方法を提案した。今後は、実機を用いた実験により評価を行う予定である。

参考文献

[1] 佐藤佳祐, “極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画”, 日本ロボット学会, Vol No 5, pp. 702-709, 1993