

ロボカップ小型リーグにおける戦略改善のための 画像処理によるボールの回転状態の推定

A Method to Estimate Ball's State of Spin by Image Processing

for Strategic Learning in RoboCup Small-Size-robot League

布目裕司, 村上和人, 小林邦和, 成瀬正

Yuji Nunome, Kazuhito Murakami, Kunikazu Kobayashi and Tadashi Naruse

愛知県立大学大学院 情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

im132007@cis.aichi-pu.ac.jp, murakami, kobayashi, naruse@ist.aichi-pu.ac.jp

Abstract

A spun ball varies its speed after the ball bounced off the floor. It will be very useful to prevent disadvantageous situation if the ball's state of spin is estimated before the ball is kicked. This paper proposes a method to estimate the ball's state of spin by using inertia feature of co-occurrence matrix of the image sequences and shows the effectiveness of our proposed method by some experiments. Furthermore, this paper discusses the influences of partial occlusion and blur of the ball, and its application to the strategic learning for RoboCup small size robot league.

1 はじめに

ロボカップ小型リーグ[1]では、小型車輪ロボット 6 台対 6 台でサッカーを行う。最近では、ほとんどのチームのロボットは 2 種類のキック、すなわち、ボールが地面を転がるグラウンダーキックと、ボールを浮かせてロボットの上を飛び越えるチップキックの機能を備えている。また、ボールに強力な回転をかけてボールを保持するドリブルローラと呼ばれる機構を持つ。ボールに回転をかけたままキックする回転付きチップキックは、ボールの回転によってバウンド後にボールの速度が大きく変化する。そのため、ボールの軌跡を基に計算したボール位置の予測は困難になる。もし、ボールが回転しているかどうかを画像処理で判断することができれば、ロボットの配置を変えることによって、敵チームが有利になるような展開を防ぐことができると考えられる。

画像からのボールの回転状態の推定に関する研究は、ロ

ボカップ小型リーグではこれまでほとんど報告されていない。野球など、他の球技ではいくつか報告されている。井上らは、高速カメラを用いて硬式野球ボールの回転推定をするシステムを提案している[2]。彼らのシステムでは、硬式野球ボールの表面の縫い目を手がかりにボールの回転軸ベクトルと回転速度の推定を行っている。しかし、ロボカップ小型リーグでは公式球として使用しているゴルフボールには、野球ボールの縫い目のような特徴はないため、同様の手法で回転を推定するのは難しい。また、高速カメラは一般的なカメラより高価であり、隠蔽の発生のないように多方向から撮影するのは現実的ではない。

回転しているボールをカメラで撮影するとき、ブラーが発生する。ブラーの原因は、ゴルフボール表面のディンプルである。また、ブラーの大きさは、カメラの露出時間に応じて変動する。そこで本論文では、カメラ入力された画像の濃度共起行列を求め、ここから計算した慣性特徴量を用いてボールの回転状態を推定する一つの手法を提案する。

以下、本論文では、2 章で回転状態推定の基本アイデアについて、処理概要とともに述べる。3 章で濃度共起行列を用いたボールの回転状態推定手法について説明し、実験結果とともに提案手法の有効性を示す。4 章では、ボールの隠蔽やブラーの回転状態推定への影響、ロボカップ小型ロボットリーグの戦略への応用について考察する。

2 基本アイデア

ロボカップ小型リーグでは、オレンジ色のゴルフボールを使用している。ゴルフボールにはディンプルと呼ばれる小さなくぼみが多数、存在する。ディンプルにより光の反射強度が変化する。さらにボールが回転するとブラーが生じ、反射の様子が変化する。回転の有無による見え方の違いを図 1 に示す。図 1(a) は静止状態の画像の一例であり、高輝度の部分が何箇所か見られる。一方、図 1(b) は回転状

態の画像の一例である。回転状態では強く反射していた光がぼやけたように見える。この光の反射の分布の違いをとらえることにより、ボールの回転状態を推定できると考えられる。

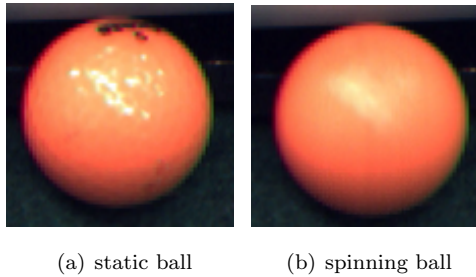


Figure 1 Differences of the images.

ボールの回転状態を推定するため、ボールの表面を確認するカメラを追加する。図 2 にシステム構成の一例を示す。図 2(a) の”Additional Camera”は、例えば、PTZ カメラを使用する。データの流れを図 2(b) に示す。現在のロボカップ小型リーグでは、SSL-Vision[3] と呼ばれるビジョンシステムが各チームのコンピュータにボールとロボットの位置情報を送っている。これらに加えて、”Additional Camera”からの画像を処理することにより、ボールの回転情報を得る。ボールとロボットの位置情報、および、ボールの回転情報をもとに、ボールのイレギュラーなバウンドに対応した戦略が可能になる。

3 ボールの回転状態推定手法

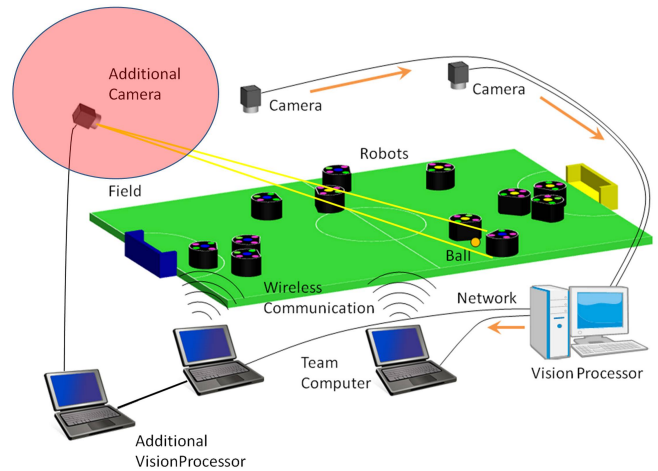
図 3 にボールの回転状態推定手法の流れを示す。本手法は、3 つのステップに分けることができる。*Step1* で処理領域を抽出する。*Step2* で濃度共起行列を作成し、慣性を計算する。*Step3* で慣性の値を閾値処理し、ボールの回転状態を推定する。以降に 3 つのステップの詳細を記す。

Step1. ボール領域の抽出

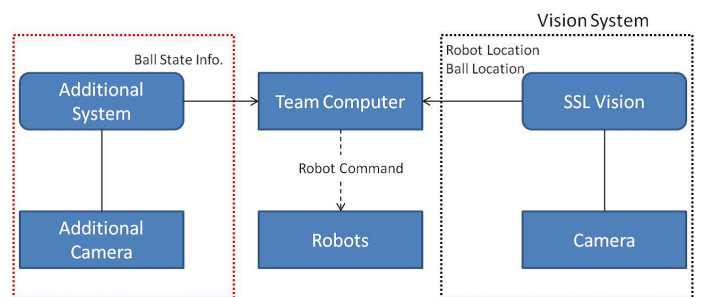
映像の各フレーム (図 4(a)) を 2 値化する。2 値化画像をラベリングし、2 番目に大きい領域をボールの領域とする (図 4(b))。領域の左上座標と右上座標からボールの映っている範囲を抽出する (図 4(c))。抽出したものを処理領域とする。

Step2. 濃度共起行列を用いた特徴量の計算

処理領域の RGB 表色系の B チャンネルの輝度値から濃度共起行列 $P_\delta(i, j)$ を作成する。ここで δ は 2 つの画素の x 座標の差分 D_x と y 座標の差分 D_y を $\delta = (D_x, D_y)$ のようにベクトル表示したものであり、 i, j はそれら 2 つの画素のそれぞれの輝度値を表



(a) cameras' layout



(b) data flow of vision system

Figure 2 System configuration.

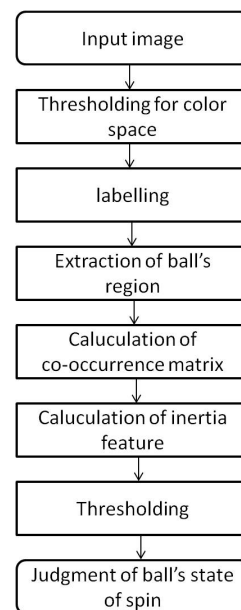


Figure 3 Flowchart of image processing.

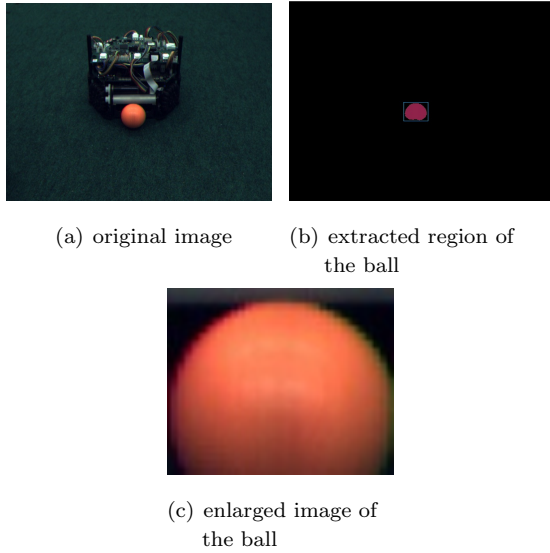


Figure 4 Extraction of ball's region.

す。慣性 Ine は、濃度共起行列 $P_{\delta}(i, j)$ から、

$$Ine = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i - j)^2 P_{\delta}(i, j) \quad (1)$$

のように計算する。

Step3. ボールの状態推定

慣性 Ine に対して、次式のように閾値処理を行うことで入力フレームでのボールの状態を推定する。

$$BallState = \begin{cases} StaticState & (Ine \geq Threshold) \\ SpinningState & (Ine < Threshold) \end{cases}$$

ボールが回転/停止を繰り返す映像に対する慣性特徴 Ine の変化の様子の一例を図 5 に示す。図から明らかなように、回転/停止によって Ine の値が大きく変化していることがわかる。ここで、カメラは Basler 社の A601fc[4] を使用した。また、 $\delta = (D_X, D_Y)$ は、映像中のボールのディンプルの間隔を基に $\delta = (3, 0)$ とした。

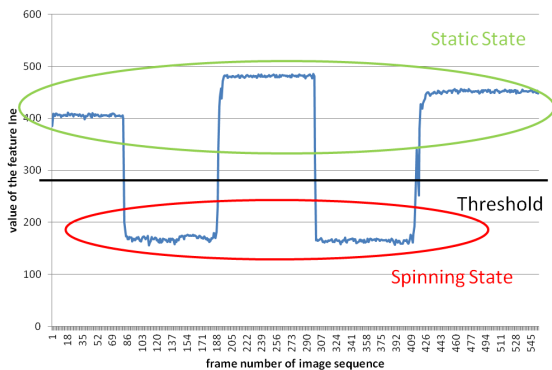


Figure 5 An example of the changes of the inertia feature for an image sequence (spin and stop is reported).

4 考察

4.1 濃度共起行列の特徴量

濃度共起行列では他にもエネルギー、エントロピー、相関などの特徴量の計算ができる。濃度共起行列のエネルギー、慣性、エントロピー、相関の 4 種類の特徴量を計算したものを図 6 に示す。エントロピーと相関は、ボールが回転しているフレームで多少の変化がみられるが、慣性の変化である図 6(c) がボールの回転に対してもっとも顕著であることは明らかである。

4.2 ボールの隠蔽の影響

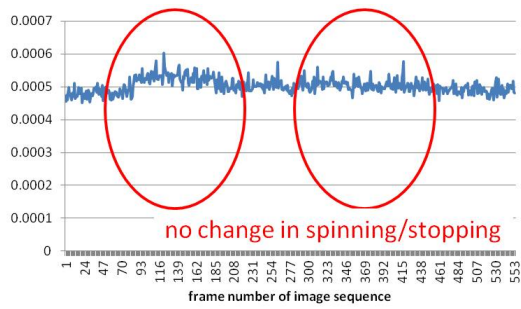
ボールがロボットなどの陰に入ってしまうとボールが隠蔽されてしまった場合を考える。図 7 はボールが隠ぺいされている映像に推定手法を適応したものである。図 7(c) を見ると、回転状態と静止状態で慣性の値の変化が小さくなっていることが分かる。適当な閾値を設定できれば回転の有無を判断することができるが、変化が小さいため推定に失敗する可能性も高くなる。

4.3 ブラーの影響

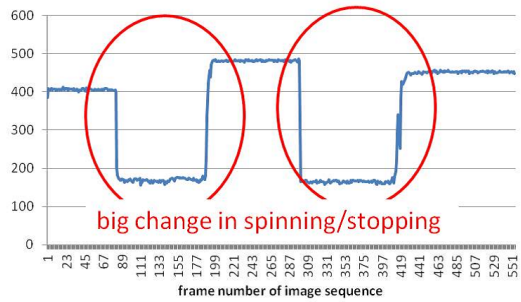
撮影に首振りカメラを使用すると、首振りに応じてブラーが生じる。また回転状態のボールを保持したロボットが左右に移動する場合もブラーが生じる。この映像内で 155 フレームからロボットが移動しブラーが発生している。図 8(b) をみると 155 フレーム以降から慣性 Ine の値が小さくなっていることが分かる。ブラーやロボットの移動に伴うボールのぶれなどが原因でこのように値が小さくなると考えられる。

4.4 ボールの回転速度との関係

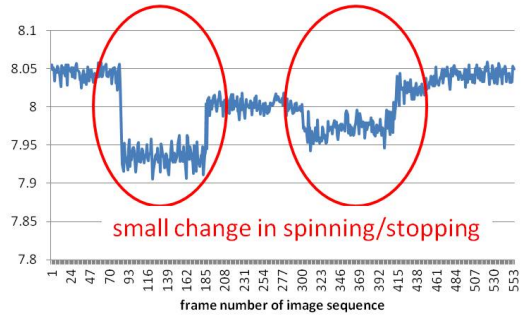
ドリブルローラーの速度と慣性 Ine との関係を調べるため、ドリブルローラーの速度を変えて実験を行った。回転速度とレベルの関係を表 1 に示す。また、回転速度の変化に伴う慣性の変化の結果と、慣性の変化に曲線当てはめを行い近似曲線を書いたものを図 9 に示す。近似曲線から明らかなように、回転を速めるにしたがって Ine の値は減少していくことが分かる。したがって、試合の会場でこの曲線をモデル化できれば、ボールの回転速度を推定できる可能性がある。



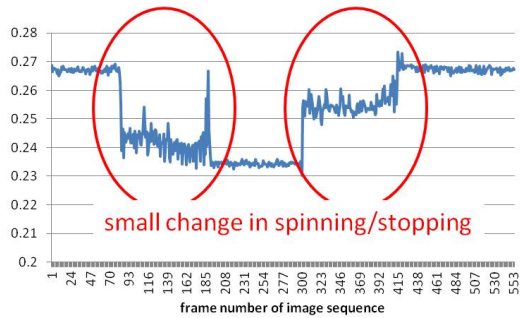
(a) energy



(b) inertia

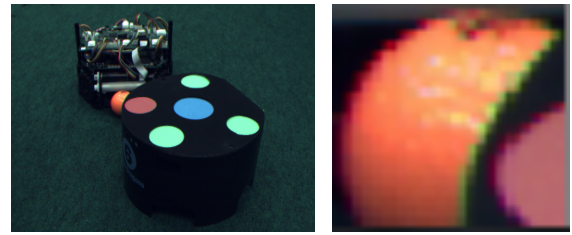


(c) entropy



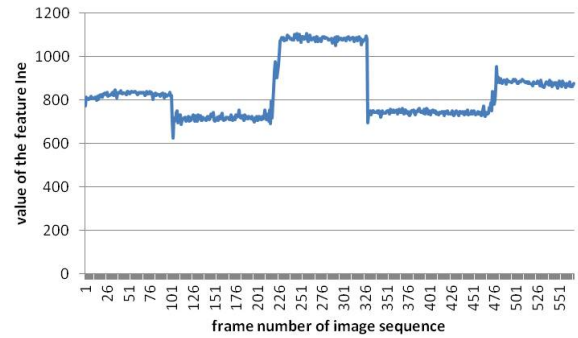
(d) correlation

Figure 6 Examples of the changes of the features for an image sequence (spin and stop is reported).



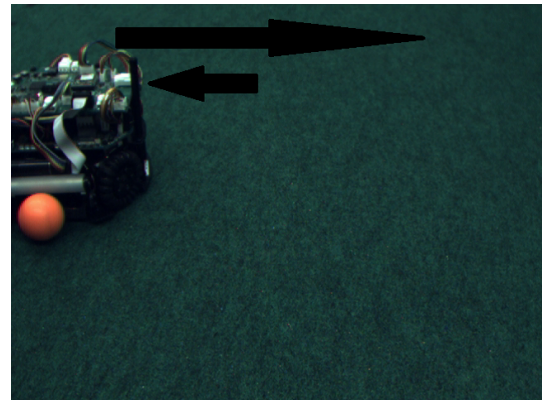
(a) occluded scene

(b) extracted ball region

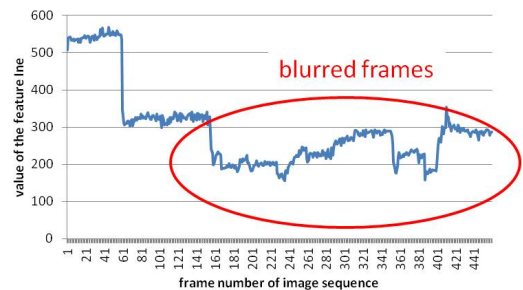


(c) changes of inertia feature

Figure 7 An example of occluded scene



(a) blurred ball's image



(b) changes of inertia feature

Figure 8 An example of the result for a blurred image sequence.

Table 1 The relation between the level and the rotation speed of dribble roller.

回転レベル	回転速度 (rps)
Level1	0.6
Level2	1.0
Level3	3.1
Level4	4.0
Level5	5.1
Level6	6.0
Level7	6.9
Level8	14.6
Level9	20.0
Level10	22.9
Level11	23.8
Level12	28.2
Level13	31.8

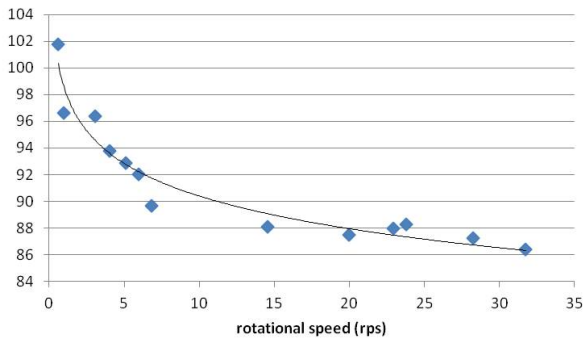


Figure 9 An experimental result of the inertia feature *Ine* and the rotation speed.

5 終わりに

本論文では、濃度共起行列の慣性特徴量からボールの回転状態を推定する手法を提案した。具体的には、フレームごとの慣性の値を閾値処理することにより、ボールの静止状態と回転状態を区別できることを示し、手法の有効性を実験的に確認した。また、ボールの隠蔽やブラーのある映像に対しても提案手法が有効に機能することを確認した。さらに、ボールの回転速度によって慣性の値に変化が現れることから、慣性の値を用いた回転速度の推定の可能性を示した。

提案手法は筆者らのプロトタイプシステムでは有効に機能しているものの、照明環境の変化に対するロバスト性を確認する必要がある。また、ボールの回転速度を推定し、バウンドした後のボールの軌跡を推定する手法を確立し、

戦略に適用することも今後の課題である。

参考文献

- [1] "Small Size Robot League - start"
<http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/>
- [2] Inoue,T., Uematsu,Y., & Saito,H. ,"Estimation of Rotational Velocity of Baseball Using High-Speed Camera Movies",The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. D, A publication of Industry Applications Society, Vol.131, No.4, pp.608-615(April 2011).
- [3] "Small Size Robot League - sslvision:"
<http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/sslvision>
- [4] "Basler Industriekameras - A600 Serie - A601fc:"
<http://www.baslerweb.com/products/A600.html?model=311>