

RoboCup 小型リーグのための敵ロボットの個体識別と方向検出

梅村沙織† 村上和人† 成瀬 正†

† 愛知県立大学大学院情報科学研究科

〒480-1198 愛知県愛知郡長久手町熊張

e-mail: im051005@cis.aichi-pu.ac.jp, {murakami,naruse}@ist.aichi-pu.ac.jp

あらまし : RoboCup サッカー・小型リーグでは, 戦略立案の際に敵の行動分析が必要となるが, 位置や方向を検出するためのロボット上面に設置されたサブマーカーの形状, 色, 配置, 個数にはルール上の制限はないため, 個体認識や角度検出アルゴリズムを事前に準備しておくことは難しい. 本稿では, 複数のマーカーから特定のマーカーのみを抽出できる画像特徴量を判別分析法を用いて選択し, これらの特徴量を用いてロボットの向きを求める手法を考案した. そして過去の世界大会出場チームのマーカーに適用し, 提案手法の有効性を確認した.

Direction Extraction and Identification of the Opponent Robots in RoboCup Small-Size League

Saori Umemura† Kazuhito Murakami† Tadashi Naruse†

† Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Kumabari, Nagakute-cho, Aichi, 480-1198 JAPAN

e-mail: im051005@cis.aichi-pu.ac.jp, {murakami,naruse}@ist.aichi-pu.ac.jp

Abstract : In RoboCup Small-Size League, it is necessary to analyze the opponent robots' behavior for the strategy. However, the marker that detects direction and identification doesn't have the limitations in the rule in shape, color, arrangement, and the number. This paper presents a method to select the most specific marker attached on the top of the robot basing on the features such as the size, area, and color values by using the discriminant analysis method, and the way to obtain opponent robots' direction with some experimental results.

1 はじめに

RoboCup 小型リーグの試合の様子を図1に示す.

サッカーフィールドの上空4mの部分にCCDカメラを図2に示すように設置し, ロボットやボールといった移動物体の画像データをホストコンピュ

ータで処理することによって、位置検出や個体識別、方向検出を行っている。



図 1 RoboCup 小型リーグの様子(2004 Lisbon)



図 2 天井に設置されたカメラの一例

ここで得られたロボットの配置、向きに関する情報は、戦略・戦術を考える上で極めて重要となる。位置情報はフォーメーションの解析に、また、各ロボットの個体情報や方向は、ボールの保持判定や、パスコースの予測などのために必要となる。

このような情報は、もちろん味方のロボットを制御するために必要であるが、敵ロボットについても言えることで、特に試合中に敵の行動を分析して自チームのロボットの行動を決定することはゲーム上重要となる。

ところで、画像処理の際には、ロボット天井部に取り付けられたマーカ―を用いる。マーカ―にはメインマーカ―とサブマーカ―があり、メインマーカ―によってロボットの位置を検出し、サブマーカ―によって各々のロボットの個体識別や方向検出を行っている。しかし、ルールによって取り付けが定められている円形のメインマーカ―とは違い、サブマーカ―には色以外の規定はないため¹、図3に示すようにその外観は様々である。サ

¹ 詳細は2.1節に示す

ブマーカ―からロボットの向き情報を取得する方法は様々であり、予め敵チームが用いるサブマーカ―の形状、配置、サイズなどの情報を得てアルゴリズムの形で準備しておくことは困難である。



図 3 チームによって異なるマーカ―の例

本論文では、マーカ―の画像から面積や重心座標といったパラメータ群を抽出し、これらの中から最も特徴的なマーカ―を統計的に求める。そして、円形のチームマーカ―と最も特徴的なサブマーカ―のなす角からロボットの方向を求める方法を考案した。以下2章で方向検出手法について述べ、3章で実験結果を示す。最後に4章で実験結果について考察する。

2 敵ロボットの方向検出手法

2.1 マーカ―の種類

各チームのロボットの天井部分には、マーカ―が付けられている。マーカ―にはメインマーカ―(チームマーカ―)とサブマーカ―があり、それぞれ次のようにルール²⁾で規定されている。

・メインマーカ―

直径5cmの円形状の青または黄色のマーカ―。色を利用して敵味方の判別に用いられる。ロボットの視覚的な中心に取り付けることが義務付けられている。

・サブマーカ―

各チームが任意で付けるマーカ―。ロボットの個体番号(ID)や方向検出に使用される。使用可能な色は黒・白・ライトグリーン・ライトピンク・シアンの5色のみであるが、形や大きさ、配置に制約はない。

各ロボットの位置検出には、メインマーカ―を利用する。天井部分に設置された CCD カメラからの画像から、黄色または青色の色領域を検出し、その重心を計算することによってロボットの中心

座標を得ている。メインマーカーは必ず取り付けられるように義務付けられているため、敵の位置検出も可能となっている。しかし、メインマーカーは円形状であるが故に方向性がなく、ロボットの ID や方向を検出することは不可能である。この問題を解決するために付けられているのがサブマーカーであるが、1 章で述べたように、ロボットの外観や、それに伴う個体識別や方向検出アルゴリズムは各チーム様々であるため、予めこれらアルゴリズムを用意しておくことは非常に困難である。

本研究では、実際の試合において利用することを前提として、サブマーカー群を用いた汎用的な敵ロボットの個体識別ならびに方向検出方法を考案した。試合直前の準備の際の画像から取得した敵ロボットのマーカー群から、各ロボットについて、最も特徴的な値を持つマーカーを選択し、これを用いることによって敵ロボットの方向検出を実現した。以下、順を追ってその手法を説明する。

2.2 特徴的なサブマーカーの探索

試合前に、敵ロボットの N 個のサブマーカーから最も特徴的な値を持つサブマーカー（以下、特徴マーカー）を求める。サブマーカーは、メインマーカーの半径 9cm 以内の領域に含まれるマーカー候補を探索することによって取得する。この特徴マーカーを利用して、個体識別並びに方向検出を行う。

メインマーカー M の重心を (x_M, y_M) 、特徴マーカー G の重心を (x_G, y_G) とし、画像水平軸（ x 軸）とのなす角度 θ を便宜的にロボットの方向とする。試合前に正面方向 ϕ_0 が判明している場合には、その角度の差だけ補正する。なお、なす角は次の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_M - y_G}{x_M - x_G} \quad (1)$$

まず、サブマーカー群のもつ長さ、幅、色など m 個のパラメータリスト $L^{(i)} = \{x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_m^{(i)}\}$ (i はサブマーカーに付けたマーカー番号 ($1 \leq i \leq N$)) の中から、最も特徴的な値を持つパラメータを求め、このパラメータを有するマーカーを特徴マーカーとして選ぶ。この様な m 個のパラメータから特徴的な値を持つようなパラメータを 1 つだけ選

択する方法は様々なものが考案されているが、次元数 m が大きくなるとその選択は難しくなり、計算コストもかかる。そこで本研究では、簡単に特徴マーカーを検出するために判別分析法を用いた。以下に、特徴マーカーの選択方法を示す。

Step1: 分離度の計算

j 番目のパラメータ値を集めた集合 $F_j = \{x_j^{(1)}, x_j^{(2)}, \dots, x_j^{(N)}\}$ ($j = 1 \dots m$) を 2 つのクラスに分け、判別分析法を用いて分離度を計算する。

Step2: 要素数の確認

分離度が最大となる場合について、クラスに属するパラメータ値が唯一つの場合は、その分離度を $S_j^{(i)}$ とする。属するパラメータが 2 つ以上の場合には、 $i=0$ 、 $S_j^{(i)}=0$ とする。

Step3: 特徴マーカー G の決定

上記の Step1, Step2 の処理を全てのパラメータ j について行い、 $S_j^{(i)}$ の最大値 $\text{Max}(S_j^{(i)})$ を計算する。そして $S_j^{(i)}$ の最大値をとるマーカー i を特徴マーカー G とする。 $\text{Max}(S_j^{(i)})=0$ の場合は、Step1 で求めた分離度を最大にするクラスに属するパラメータ値を持つマーカーを調べ、より多くのパラメータ値をもつマーカーを特徴マーカー G とする。

2.3 個体識別と方向検出

試合中、入力画像から作成されたパラメータリストを m 次元空間内にマッピングしたベクトルと、特徴マーカーそれとのなす角 ψ を基に照合する（実験的に、 $\cos \psi > 0.95$ のとき一致するとみなしている）。2.2 節で決定した特徴マーカーのパラメータリスト $L_G^{(i)}$ の、特徴値としたパラメータ値 j の値と比較することで、入力画像から得た敵ロボットの画像にどのロボットの特徴マーカーが含まれているかを判別し、個体識別を行う。

そして、求めた画像水平軸とロボット正面方向のなす角、および特徴マーカー G とのなす角を各々 θ_0 、 ϕ_0 とし、試合中の入力画像から求めた画像水平軸と特徴マーカー G のなす角を θ とすると、ロボットの正面方向 ϕ は、

$$\phi = (\theta - \theta_0) + \phi_0 \quad (2)$$

によって求められる。

3 実験と結果

本手法の有効性を示すため、過去の RoboCup 世界大会に出場した代表的な各チームのマーカセット A~E を用い実験を行った。各マーカセットにつき角度を 10 度ずつ変化させながら、ID の検出と実際の角度との誤差を計 900 回計測した。

マーカセットの外観を図 4 に、結果を表 1 に示す。なお、図 4 における ID は個体番号を表し、表 1 における方向誤差は、実際の方向と入力画像から検出した方向の誤差を示す。

本システムの目的は戦術のための敵の行動予測であるため、方向に関しては 1 度単位の精度は不要と考え、期待値を個体認識率 100%、方向誤差を 5 度以下と設定した。

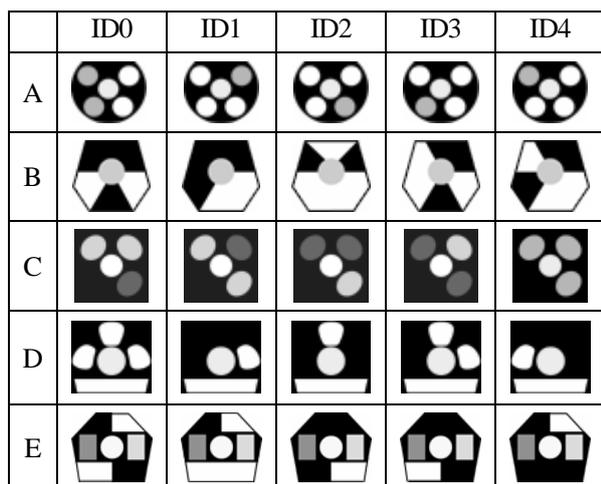


図 4 実験に用いたマーカセット

表 1 個体検出率と方向検出精度

マーカセット	A	B	C	D	E
個体識別率[%]	100.0	99.4	100.0	100.0	100.0
方向誤差最大値[度]	9.81	98.4	7.27	178.0	7.96
方向誤差最低値[度]	0.09	0.10	0.04	0.19	0.00
方向誤差平均値[度]	2.95	7.15	2.18	9.72	3.19
方向誤差標準偏差	1.89	7.32	1.07	14.4	1.65

実験の結果、個体識別率 99.8%、方向検出誤差 4.95 度という結果となり、設定した期待値を満たす結果が得られた。

4 考察

実験結果をみると、図 4 の B や D のマーカセットでは、ロボットの方向検出に大きな誤差が含まれていることが分かる。また、マーカセット B では、個体認識のミスが発生している。

図 4 の B に示したマーカセットは、サブマーカに大小のマーカを使用している。また、D のマーカセットでは、長方形のマーカと円形のマーカを使用している。これらのサブマーカは、面積はほぼ同じであるが、形状は異なっている。しかし、本手法で使用したパラメータの中には形状を表す特徴量を用いなかったため、これらのマーカを区別することができなかったものと考えられる。そのため、各ロボットの特徴マーカを入力画像から探索する際に、実際とは異なる特徴マーカを検出してしまったと考えられる。

一方、表 1 の実験結果に示した個体識別のミスや方向検出の誤差は、特徴マーカを他のロボットの特徴マーカ、または同一ロボット内の別のマーカと誤認識し、個体識別のミスや方向誤差が発生したと考えられる。

5 あとがき

本稿では、色番号、面積、距離、角度のみを特徴量として用いたが、今後、検出精度を上げるために、複雑度などのマーカの形状特徴量を追加したり、それに伴いカメラ精度を向上させる必要がある。また、現在は試合前に正面方向を定義していたが、試合中のドリブルの様子などから正面方向を学習させるシステムの導入も今後の課題である^[3]。

参考文献

- [1]RoboCup Official Site
<http://www.robocup.org/>
- [2]RoboCup F180 Rules Repository
<http://www.itee.uq.edu.au/%7Ewyeth/F180%20Rules/index.htm>
- [3]G.A.Kaminka, P.U.Lima, and R.Rojas (Eds.):
"RoboCup 2002:Robot Soccer WorldCupVI",
Springer, 2002