

照明変動に頑健な ID 認識とロボットの姿勢検出

Condition and Accurate Robust Detection of Object Orientation and ID Under Varying Light

永橋知行, 清水彰一, 藤吉弘巨

Tomoyuki NAGAHASHI, Shoichi SHIMIZU, Hironobu FUJIYOSHI

中部大学 工学部情報工学科

Dept. of Computer Science, Chubu University, Japan

kida@vision.cs.chubu.ac.jp, shiyou@vision.cs.chubu.ac.jp, hf@cs.chubu.ac.jp

http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/

Abstract

This paper describes a novel approach to detecting orientation and identity of robots without color segmentation. The continuous DP matching calculates the similarity between the reference pattern and the input pattern by matching the intensity changes of the robot markers. After the continuous DP matching, a similarity value is used for object identification, and correspondences of the optimal route obtained by back tracing are used for estimating the robot's orientation. This method archives orientation estimation of less than 1 degree and robustness with respect to varying light condition.

1 はじめに

より正確にロボットをビジュアルフィードバックで制御するには, ロバストなビジョンアルゴリズムが必要である. 特に, ロボカップ小型リーグでは, 照明変化に対してロボットの姿勢 (向き) や ID を正確に認識する必要がある. 一般的なグローバルビジョンシステムでは, 画像の色変換後, 色識別, ID 認識, ロボットの姿勢 (向き) の流れとなる. ロボットの向きを得るには, 最小 2 乗法 [Murakami, 2003] やモーメント法 [Ball, 2004] による手法が提案されている. このような姿勢推定の結果は, 前処理である色識別の結果に依存する. 色識別として, CMVision というライブラリが提供されており [Bruce, 2000], 多くのチームで使用されている. また, 照明変動に対して頑健な色識別のための色校正法 [Egorova, 2004] が提案されている. しかし, 一般に色校正には多くの時間が必要である. また, 校正時の照明環境下以外では, その色識別精度は低下するという問題がある.

本稿では, このような問題を解決する手法として, サブマーカの色識別を必要としない ID 認識とロボットの向きを連続 DP マッチングを利用した計算手法について提案する. 本手法は, ロボット上部のマーカの色変化パターンを連続 DP によりパターンマッチングし, その最小累積距離を ID 認識に, バックトレースによる最適パスの対応からロボットの向きを同時に計算する.

2 ロボットのマーカと従来法

2.1 従来法

ロボカップ小型リーグでは, 直径 50 mm の青色または黄色の円をメインマーカとしてロボット上部につける. また, サブマーカとしてロボットの上部にオレンジ色 (ボールに使用), 黄色, 青色以外の 3 色のパッチを追加して, ID 認識や向きの検出に使用可能である. 現在多くのチームで使用されているパッチの配置例を Figure 1 に示す.



Figure 1: 従来の ID プレート

(a) white bar は, 白いバーと背景の黒とのエッジ点から最小 2 乗法やモーメント法 [Ball, 2004] により角度を求める. また, ID はバー以外のサブマーカの配置から認識する. このような手法では, ロボットの方向と ID 認識の 2 つのプロセスを必要とする. また, ロボットの台数が増えた場合, サブマーカに色を用いる必要がある.

(b) butterfly はバタフライ型と呼ばれ, マーカの対称性からロボットの回転角度を求め, 高精度に ID 識別が可能であることが報告されている [Bruce, 2003].

(c) pie slice-based は, ロボットの中心から円形に走査して, 2 色以上の色配置を検出し, ID と角度を認識する

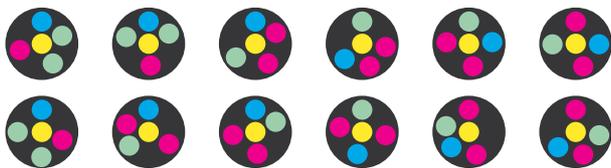


Figure 2: ID パターン例 (提案手法)

手法である[Hibino, 2002]. しかし, pie slice-based は円上のデータ数が 40 個であるため, 向きの解像度は 8 度と低い.

上記に示したマーカによる従来法は, 色識別の結果を利用しているため, 影領域等での ID 誤認識や向きの推定精度の低下を招くという問題がある.

2.2 提案手法のマーカ

本稿では, 色識別を行わずに円周上の輝度パターンを直接マッチングする手法を提案する. 本手法では, Figure 2 に示すように, 適当なサブマーカをメインマーカの周りに自由に設置すれば良い. そのため, 設置する上での手間を大幅に削減できる. さらに, サブマーカの色配置から ID を識別することから, 多くの ID を容易に作成することが可能である. また, 認識時には, ID 毎のルールを決定する必要はない.

3 DP マッチングによる物体識別

カメラ画像から得られたロボット上部の円周上の輝度パターンと予め登録したパターンとの DP マッチングを行う. DP マッチング後, その最小累積距離を ID 認識に, バックトレース後の対応からロボットの向き推定に利用する. その処理の流れを Figure 3 に示す.

1. 色変換 (RGB to YUV)
2. メインマーカの抽出
3. 円周上の輝度パターンの作成 (1 次元化)
4. 連続 DP マッチングによる ID 認識
5. バックトレースによる向き推定

3.1 メインマーカの中心位置検出

メインマーカを中心とする円周上の色成分を基に ID の認識, 及びロボットの向きの算出を行うため, メインマーカの中心位置を予め正確に求める必要がある. 以下に, 円周上の 3 点を用いた円中心位置の高精度検出法について述べる.

メインマーカの円周上の 3 点が与えられると, その 3 点から円を表すパラメータを推測することが可能である. 中心座標を (x_c, y_c) とし, メインマーカ円周上の 3 点を $(x_i, y_i), (x_j, y_j), (x_k, y_k)$ とすると, 式 (1) の関係が成り

立つ.

$$\begin{aligned} (x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2 &= (x_c - x_j)^2 + (y_c - y_j)^2 \\ &= (x_c - x_k)^2 + (y_c - y_k)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) は連立一次方程式となるため, ガウスの消去法を用いて円の中心位置 (x_c, y_c) を解くことができる. 以下に 3 点推測による円の検出手順を示す.

Step1 入力画像よりメインマーカの輪郭点を抽出する.

Step2 輪郭点からランダムに 3 点選び, 式 (1) を用いて円中心を求める.

Step3 求めた円中心座標に重みをつけて投票する.

Step4 Step2~3 の処理を n 回繰り返す.

最終的に投票数が最大の画素を中心座標 (x_c, y_c) とする.

3.2 円周パターンの 1 次元化

3.1 で求めた中心から半径 r (本稿では 10 pixel) の円周上の YUV 成分を Figure 4 に示すように, 1 度間隔で 360 点取得する. 角度 θ における円周上の座標 (x, y) は次式となる.

$$x = r \cos \theta + x_c, \quad y = r \sin \theta + y_c \quad (2)$$

実際には, 半径 10 pixel の円周上の点は 76 点であり, 360 点の分解能がない. そこで, 座標 (x, y) の座標点における輝度値 $I(x, y)$ を, Figure 5(a) に示すように 4 近傍の輝度値からバイリニア補間により求める.

$$\begin{aligned} I(x, y) &= (1 - n)((1 - m)I(0, 0) + mI(1, 0)) \\ &+ n((1 - m)I(0, 1) + mI(1, 1)) \end{aligned} \quad (3)$$

バイリニア補間による Y 成分の抽出結果を Figure 5(b) に示す. バイリニア補間を行うことで, ロボット向き検出時におけるサブピクセル推定が可能となる. 最後に, 補間した $I(x, y)$ の Y 成分を, 0~255 の値に正規化する. Figure 4(b) に 1 次元化した円周上のデータ (YUV) を示し, 各角度 θ に対する輝度値関数を次式のように定義する.

$$I(\theta_j) = I(r \cos \theta_j, r \sin \theta_j) \quad j = 0, \dots, 359 \quad (4)$$

3.3 連続 DP マッチングによる ID 認識

各ロボット上部のパターンから, 予めメインマーカを中心からある半径 r を持つ円周上の輝度パターンを登録しておく. この作業は, 画面上からロボットの正面 (0 度) となる位置をユーザがマウスクリックにより与える. このように, 本提案手法は従来法で用いた ID 認識のためのルール設定を必要とせず, 短い時間で簡易に ID の設定が可能である.

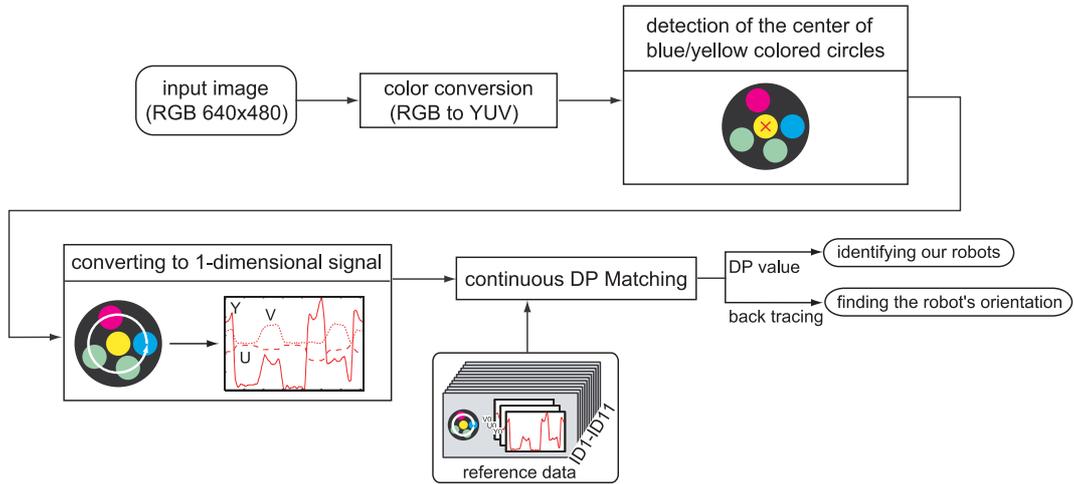


Figure 3: 連続 DP マッチングによる ID 認識と向き の推定

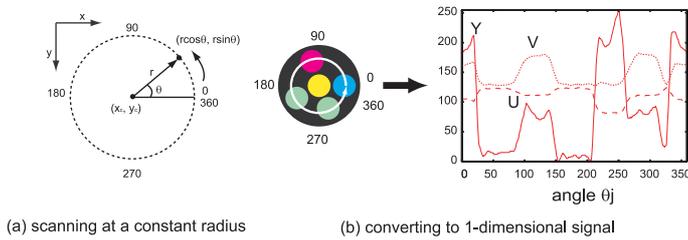


Figure 4: 1次元データの作成法

3.3.1 連続 DP マッチング

DP マッチングは、異なる二つの時系列信号の類似度と最適な対応を求める手法であり、音声認識等の、さまざまな分野で利用されている。DP マッチングは非線形の伸縮により、長さの異なるパターンの類似度を計算することができる[Sakoe, 1978]。

提案手法では、データの始点を固定しない連続 DP マッチングを行い、更に、入力パターンを2周分用意することで始点の対応位置に関する問題を解決する。以下に、用いる連続 DP マッチングの適用法について示す。

DP マッチングにおける始端領域においては、式 (5) に示すような初期値を設定する。

$$\begin{cases} g(i, 0) = 0 & (i = 0, 1, \dots, I) \\ g(0, j) = \infty & (j = 1, 2, \dots, J) \end{cases} \quad (5)$$

連続 DP マッチングに用いる DP パスを Figure 6(a) に示す。各格子点 (i, j) における累積距離 $g(i, j)$ を次式より求める。

$$g(i, j) = \min \left\{ \begin{array}{l} g(i-1, j-2) + 2 \cdot ld(i, j-1) \quad : (a) \\ g(i-1, j-1) + ld(i, j) \quad : (b) \\ g(i-2, j-1) + 2 \cdot ld(i-1, j) \quad : (c) \end{array} \right\} + ld(i, j) \quad (6)$$

式 (6) は、Figure 6(a) に示す対照的な3つのパスから最も特徴が似ているパスを選択する。このとき、選択され

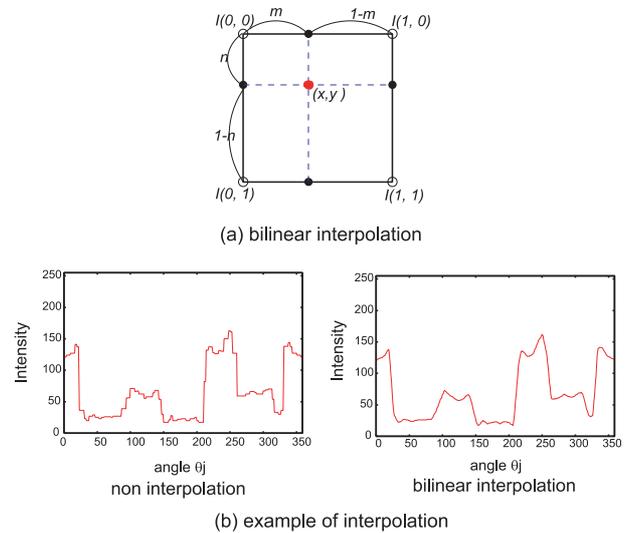


Figure 5: バイリニア補間

たパスに対応したラベル (a), (b), (c) をバックトレースの際に用いるために記憶しておく。

ローカルディスタンス $ld(i, j)$ は式 (7) より求める。

$$ld(i, j) = (I_t(\theta_i) - I_{t-1}(\theta_j))^2 \quad (7)$$

格子点 (i, j) までに選択された経路の長さを式 (8) より求める。

$$c(i, j) = \begin{cases} c(i-1, j-2) + 3 & | \text{if}(a) \\ c(i-1, j-1) + 2 & | \text{if}(b) \\ c(i-2, j-1) + 3 & | \text{if}(c) \end{cases} \quad (8)$$

以上の操作を各格子点にて行い、式 (9) より累積距離をそれまで辿った経路の長さで正規化する。

$$G(i) = \frac{g(i, J)}{c(i, J)} \quad (9)$$

3.3.2 ID 認識

マウスクリックにより各ロボットに対して、ロボットの正面を0度とした360度までの1次元化したパターンを

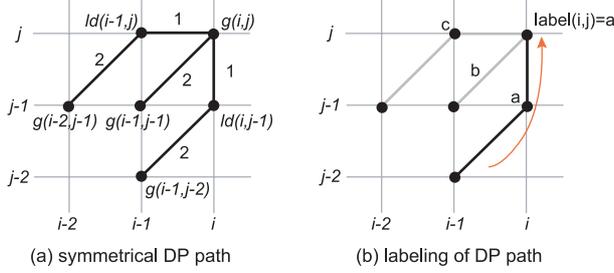


Figure 6: 対称型 DP パス

登録パターンとする．カメラ画像からメインマーカを検出し，入力パターンと全登録パターンとの DP マッチングを行う．そして，累積距離が最小となる登録パターンの ID を入力パターンの ID と決定する．

3.4 バックトレースによる向きを検出

ロボットの向き検出するには，3.3 で述べた DP マッチングの際にラベル付けされた DP パスを用いて，バックトレースすることで入力パターンと登録パターンの局所的な対応を求める．その処理を以下に示す．

1. 選択したパスの記憶

各格子点 (i, j) において，最小累積距離を求める際に，式 (6) により選択されたパスをラベル (a) , (b) , (c) として記憶する．

2. 開始点の決定

正規化累積距離を $J/2 \leq i \leq 2I$ の区間で求め，最小となる i' フレームを以下の式より求める．

$$i' = \operatorname{argmin}_{(J/2 \leq i \leq 2I)} G(i, J) \quad (10)$$

3. バックトレース

i' フレームを開始点とし，バックトレースを行う．Figure 7 に示すように，各格子点においてラベル付けされた (a) , (b) , (c) のどれかのパスを参照してバックトレースすることで最適ルートを求める． (a) のパスは脱落を意味し， (c) のパスは挿入を意味する． (b) のパスは，入力パターンの i フレームと登録パターンの j フレームが 1 対 1 に対応していることを意味する．そこで， (b) のパスが選択された場合のみ，登録パターンのフレームナンバー θ_j を入力フレーム θ_i から引いた値 θ をロボットの向きを表す角度とする．この処理を，バックトレースが $j = 0$ となる始点まで行う．

$$\theta = \theta_i - \theta_j \quad (11)$$

4. バックトレースの終了

(b) のパスが選択された場合に求めた角度 θ の平均を求め，これをロボットの最終的な向きとする．

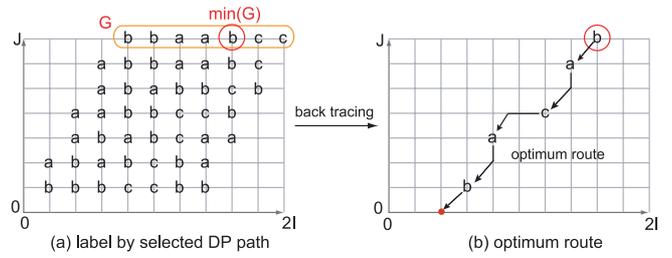


Figure 7: バックトレーシング

以上より，バックトレースにより得られる最適パス上の対応からロボットの向きを推定することが可能となる．Figure 8 に，同一 ID を持つロボットのバックトレース例を示す．DP マッチングにより得られた最適パスが示す対応が正確であることがわかる．

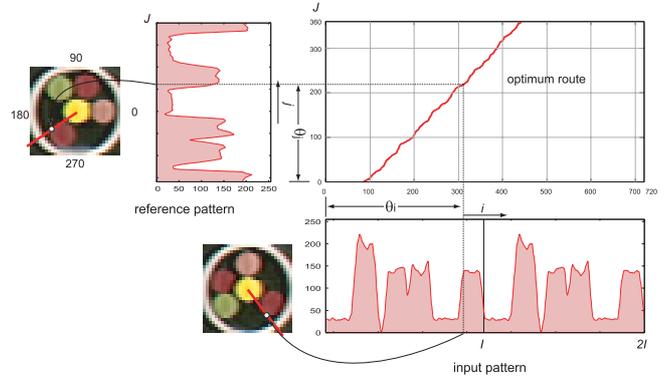


Figure 8: バックトレース例

4 実験

本手法の有効性を評価するために，ロボットの向き推定と照度変化に対する ID 認識を，シミュレーションと実画像を用いた実験を行う．

4.1 ロボット姿勢推定実験結果

4.1.1 シミュレーション実験

0~359 度の間を 1 度間隔で回転した ID パターンを擬似的に生成し，これを入力画像として回転角度である向きを求める．ID パターンには 11 種類用意し，計 3960 パターンに対して向きの推定実験を行った．推定した角度の平均誤差を Table 1 に示す．Table 1 の“最小 2 乗法”は，白いバーのエッジを最小 2 乗法により求めた結果であり，“2 次モーメント”も同様に白いバー領域を 2 次モーメント法により求めた結果である．また，実画像を用いた場合，メインマーカ領域を正確に求められるとは限らないため，提案手法では中心位置のずれに対する実験を行った．Table 1 より，本手法の精度は 1.0 度未満であることがわかる．また中心ずれとは，中心位置からの誤差を表し，中

Table 1: 方向算出結果の平均誤差 [度]

中心ずれ	提案手法		従来法	
	SSD	DP	最小2乗法	2次モーメント
0	0.30	0.76	0.85	1.08
1	1.71	1.10	-	-
2	4.20	1.75	-	-

Table 2: 方向算出結果の平均誤差 [度]

	提案手法	最小2乗法	2次モーメント
白いバー	0.85	1.17	0.96
IDパターン	0.95	-	-

心位置から8近傍にずれた場合を“中心ずれ1”，さらに16近傍の外側の画素を“中心ずれ2”とする．中心位置がずれた場合，SSDの結果に比べDPの方が，より精度良く求めることが可能である．これは，中心位置がずれることで生じる長さの伸縮を，DPマッチングが吸収して対応を求めることができるからである．

4.1.2 実画像を用いた実験

実際のカメラを高さ4,000 mmの位置に設置し，マーカの方向の算出実験を行う．マーカを1度ずつ回転させたときの真値との平均誤差をTable 2に示す．実画像を用いた実験においても，シミュレーション実験と同様に，提案手法は従来法と同等以上の精度を得ることができた．また，Figure 1(b)のパターンである白いバーに対して，提案手法で方向を推定した結果，平均誤差0.85度となった．このように，提案手法は，パタフライ型や白いバーを用いたIDマーカの向きを正確に求めることが可能である．これは，敵チームの正面向きからパスの方向を推定することに利用できるため，インターセプト等の戦略への応用が期待できる．

4.2 IDの認識実験結果

4.2.1 シミュレーション実験

照明変動に対する頑健性を評価するために，擬似的に照度を変化させた画像を作成しシミュレーション実験を行う．CGにおける光源の照度を0.1から1.1まで0.1刻みに変化させることによって，擬似的に照明変動を作り出す．評価実験には，1度刻みで360度回転したものに照明を変化させた計43560パターンを使用する．Figure 9に認識結果を示す．本手法は中心ずれが8近傍以内であれば，照明変動に対して安定してID認識が可能であることがわかる．しかし，中心位置が2ピクセルずれた際，ID認識率は低下している．これは，縦横それぞれに2ピク

セル(14 mm)ずれたとすると，メインマーカの端に近い位置となり，色の变化パターンを含むように1次元データを生成できないからである．

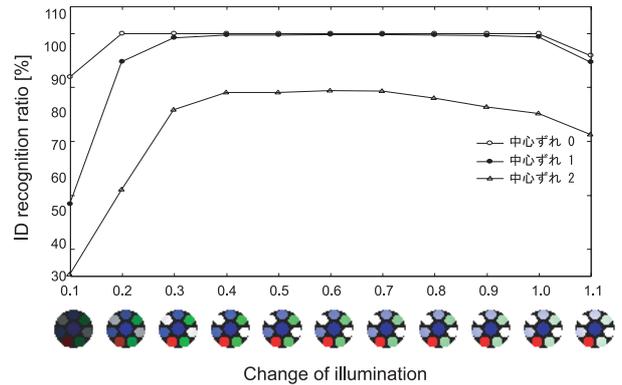


Figure 9: ID 認識実験結果

4.2.2 実画像を用いた実験

実画像における照明変動に対する評価実験を行う．照明を100 luxから2,900 luxまで100刻みで変化させた際のロボット上部の画像をFigure 10に示す．また，11種類のIDを100 luxから3,000 luxまで変化させた330パターンの画像に対してID認識実験を行った結果をFigure 11に示す．従来法では，600 luxから1,000 luxの画像に対して認識率を100%になるように色識別の閾値処理を手動で設定した．一方，提案手法は1,000 luxで撮影した1パターンを登録パターンとして実験に用いた．Figure 11より提案手法は，色識別を行う従来法と比べて照明変動に頑健であることがわかる．これは，提案手法が色識別を行わず，ロボットの中心から一定の半径で走査して得られた輝度パターンの変化をマッチングに利用するからである．

5 考察

提案手法のメリットを以下に挙げる．

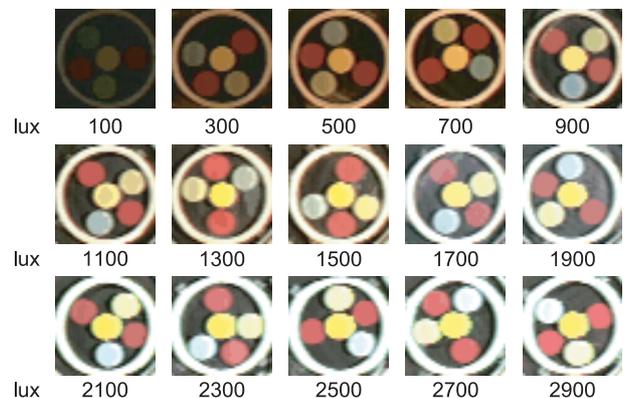


Figure 10: 100 lux から 2900 lux までの実画像

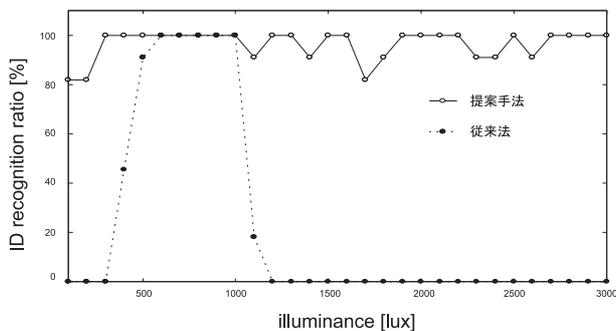


Figure 11: 照度変化に対する認識率

- ID の初期登録の簡便性

ID の初期登録は、ID の中央 (メインマーカの中心) とロボットの向いている方向をマウスクリックにより指定するだけで、各 ID の 1 次元データに変換し、これを登録パターンとして記憶する。このように各 ID 毎にサブマーカの配置からルールを作成する必要がない。

- 多くの ID を作成することが可能

従来法では、サブマーカより向きを求める手法があり、マーカの配置を予め考慮する必要がある。また、白いバーを用いた場合は、サブマーカを配置するスペースが狭くなるため、ID の種類を多く用意することができない。しかし、提案手法では、サブマーカの配置や大きさ等の配慮が必要なく、無作為に取り付けるだけで、ID を作成することができる。そのため、容易に複数の ID パターンを作成することが可能である。

- 照明変動にロバストな ID 認識

提案手法では、YUV の Y を正規化した 1 次元データから DP マッチングを用いて ID を認識する。そのため、従来法では必要とするサブマーカの色識別と、その閾値を決定するための色校正を必要としない。

- 対戦相手のロボットの向きを取得可能

パタフライ型の ID は、実験で使用したパターンと同種であると考えられるため、初期登録さえしておけば、敵ロボットの ID とロボットの角度を求めることが可能である。また、白いバーを用いたマーカについても、角度を求めることができることを実験で示した。これにより、対戦相手のロボットの方向も知ることができるため、パスのインターセプト等、戦略の幅が広がる。

以上に挙げたメリットに対して、提案手法のデメリットを以下に述べる。

本手法では、円周パターンの 1 次元化を行っている。そのため、円の中心が正確に求まっていなければ、正確に 1 次元化を行うことが困難になる。また、ID 認識及び向きを正確に行うには、中心位置の誤差を約 2 画素以内 (14 mm) に抑える必要がある。ID 認識を行う際、1 つのパターンに対し全ての登録パターンとマッチングをとらなければならない。よって、ロボットの数が増えるとその計算量が多くなる。

6 まとめ

本稿では、登録パターンと入力パターンの 1 次元データを DP マッチングにより、ID 認識とロボット方向を同時に求める手法について提案した。提案手法のロボット方向を約 1 度未満の誤差であり、従来法と同精度であることを示した。また、ID 認識では、実画像における実験より、300 lux から 3,000 lux の照度変化に対し高い ID 認識率を得ることができ、照明変動に対して頑健であることを確認した。また、提案手法はルールベースを必要としないので、敵ロボットの ID 並びに向きを知ることができる。そのため、敵ロボット間のパスのインターセプト等の戦術幅を広げることができると考えられる。

参考文献

- [Murakami, 2003] K.Murakami, S.Hibino, Y.Kodama, T.Iida, K.Kato, S.Kondo, and T.Naruse: "Cooperative Soccer Play by Real Small-Size Robot", RoboCup 2003: Robot Soccer World Cup VII, Springer, pp. 410-421, 2003.
- [Ball, 2004] Ball D., Wyeth G., Nuske S: "A Global Vision System for a Robot Soccer Team", Proceedings of the 2004 Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA), 2004.
- [Bruce, 2000] J. Bruce, T. Balch, M. Veloso: "Fast and In-expensive Color Image Segmentation for Interactive Robots", In Proceedings of IROS-2000, Japan, 2000.
- [Egorova, 2004] A.Egorova, M.Simon, F.Wiesel, A.Gloye, and R.Rojas: "Plug & Play: Fast Automatic Geometry and Color Calibration for Cameras Tracking Robots", Proceedings of ROBOCUP2004 SYMPOSIUM, 2004.
- [Bruce, 2003] J.Bruce, M.Veloso: "Fast and Accurate Vision-Based Pattern Detection and Identification", Proceedings of ICRA-03, the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'03), May, 2003.
- [Hibino, 2002] S.Hibino, Y.Kodama, Y.Nagasaka, T.Takahashi, K.Murakami and T.Naruse: "Fast Image Processing and Flexible Path Generation System for RoboCup Small Size League", RoboCup 2002: Robot Soccer World Cup VI, Springer, pp. 53-64, 2002.
- [Sakoe, 1978] H. Sakoe, S. Chiba: "Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition", IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Process., Vol.ASSP-26, pp. 43-49, 1978.