

小型 (F180) リーグのためのイメージモザイクによるグローバルビジョンシステム

Mosaic-Based Global Vision System for Small Size Robot League

林裕司, 遠山聖司, 藤吉弘巨

Yuji Hayashi, Seiji Tohyama, Hironobu Fujiyoshi

中部大学 工学部 情報工学科

Dept. of Computer Science, Chubu University, Japan

yuji@vision.cs.chubu.ac.jp, sei@vision.cs.chubu.ac.jp, hf@cs.chubu.ac.jp

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

Abstract

In the RoboCup F180 Small Size League, a global vision system using multiple cameras has been used to capture the whole field view. In the overlapping area of two camera's views, a process to merge information from both cameras should be needed. To avoid this complex process and rule-based approach, we propose a mosaic-based global vision system which produces high resolution images from multiple cameras. Three mosaic images, which take into account the height of each object such as our robots, opponent robots, and the ball on the field are generated by pseudo corresponding points. Our system archives a position accuracy of better than 14.2 mm(mean: 4 mm) over a 5,500 × 4,000 mm field.

1 はじめに

ロボカップ小型リーグでは, 2004 年のルール変更に伴いフィールドサイズが 5,500 × 4,000mm に広がった. これにより, 従来用いられてきた 1 台の広角カメラによるグローバルビジョンでは認識精度の低下を招くため, 複数台のカメラを用いる手法が主流になりつつある [Ball, 2004a]-[Ball, 2004b]. 2 台のカメラを用いた場合, 各カメラ画像においてロボットの位置推定や ID 認識等のビジョン処理の後, 2 枚の画像が重なる領域において認識結果の統合処理が必要である [Ball, 2004a].

このような複雑な統合処理を回避する一手法として, 2 枚の画像から 1 枚のモザイク画像を生成し, ビジョン処理を施すことが考えられる. しかし, RoboCup ではボールやロボット等の高さが異なるオブジェクトが複数存在するため, フィールド面上の対応点を用いて生成したモザ

イク画像では, 高さを持つオブジェクト (ロボット等) が画像の重なり領域で二重に見え, 認識が困難となる問題が生じる. そこで, 我々は認識対象オブジェクトのフィールド面からの高さを考慮したイメージモザイクによるグローバルビジョンシステムを提案する. 本システムでは, 自由な高さでのモザイク画像を生成することが可能であるため, 高精度なロボットの位置推定が可能である.

2 2 台のカメラによる重なり領域での ID 認識の問題

2 台のカメラを用いて, フィールド全体を高解像度 (5[mm/pixel]) で撮影するには, Figure 1 のように画像の一部を重ね合わせて, 左半分をカメラ 1, 右半分をカメラ 2 がカバーするように配置する必要がある. 画像の一部を重ねることにより, 認識結果の統合処理が必要になる. 統合処理には以下の手法が考えられる.

- A. 最新フレームのカメラ結果を優先 2 台のカメラ間が非同期的場合, 常に最新フレームの認識結果を用いる.
- B. 境界による判定統合 2 台のカメラの重なり領域内において, 境界を予め決定する. 各カメラ画像において境界から内側のみ認識対象とする.
- C. トラッキング結果による統合 重なり領域においては, 前フレームでトラッキングが成功したカメラの処理結果を使用.
- D. 重み付き統合 各カメラ画像の認識結果を重み付けして共通の座標に統合して使用.

例えば, Figure 1 においてカメラ 1 の画像上のロボット 2 は, ID 用マーカーの一部が切れているため A, C, D ではロボット 1 との識別が不可能である. また, B では, カメラを取り付ける位置が変わる度に, ロボット上部の ID 用マーカーが切れない場所に境界を再設定する必要がある.

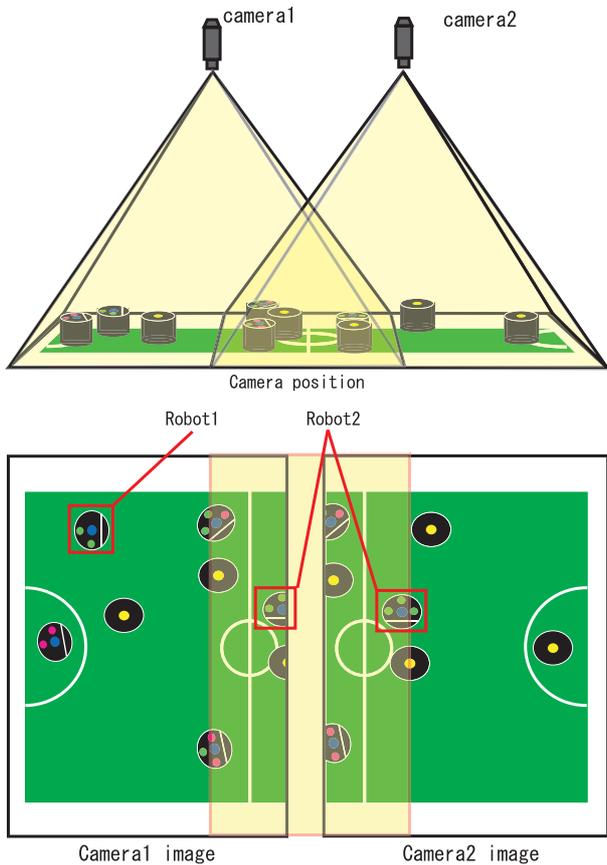


Figure 1: カメラを2台使用時の設置例

これらの手法では、認識後に統合処理を行うため、画像端での誤認などが起こる。そこで、認識処理前の画像2枚をイメージモザイク処理により1枚の高解像度画像を生成する。これにより認識前に統合処理を行い誤認を防ぐ。

3 イメージモザイクによるグローバルビジョンシステム

2台のカメラから取得した各画像を平面射影変換により、1枚のモザイク画像を生成する。処理画像を1枚にすることで、画像端でのIDの誤認や各カメラからの認識結果の統合処理を省くことができる。しかし、平面射影変換では対応を求めた基準平面上に存在しない物体は、モザイク画像上において、二重に見えるなどの問題が生じる。そこで、本システムでは、ボール、味方ロボット、敵ロボットの高さに対応した平面における3枚のモザイク画像を生成する。その後、各モザイク画像に色識別、ID認識等の処理を施す。本システムでは、カメラキャリブレーション[Tsai, 1987]により求めた外部・内部パラメータから擬似的に対応点を生成し、対象とする高さにおけるモザイク画像を生成するため、ロボット等の高さを考慮した位置推定が可能となる。

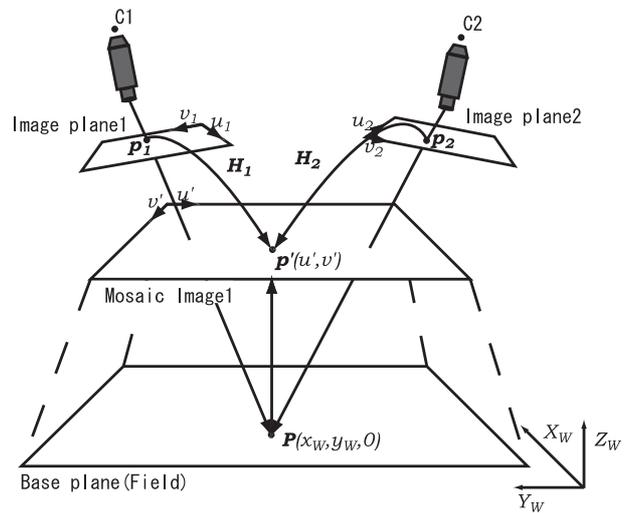


Figure 2: フィールド面での射影変換行列の算出

3.1 フィールド面のモザイク画像の生成

Figure 2 にフィールド面と各カメラ画像間の関係を示す。カメラ1における座標 $p_1 = [u_1, v_1]^T$ と世界座標 $P = [x_w, y_w, 0]^T$ に対応したモザイク画像座標 $P' = [u_m, v_m]^T$ から平面射影行列 H_1 を求める。平面射影行列は、Homography と呼ばれ、3次元空間の各平面毎に異なる値を持つ。また、2枚の画像間における4点以上の対応点から求め、 3×3 の9要素、自由度は8の行列となる。同様にカメラ2の画像座標 p_2 からモザイク画像への平面射影行列 H_2 を求める。これらの関係は次式で表現される。

$$p' = H_1 p_1 = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P' = H_2 p_2 \quad (2)$$

$$P = \alpha P' \quad (3)$$

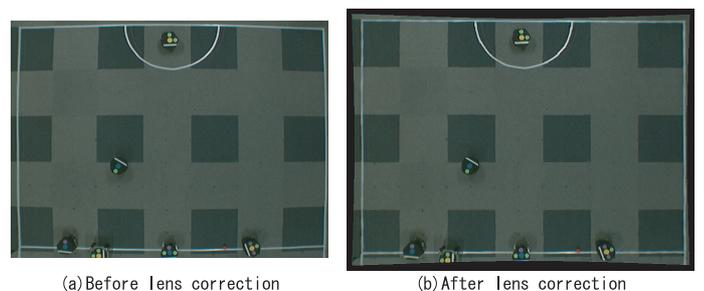


Figure 3: レンズ歪み補正

3.1.1 レンズ歪み補正

カメラから取得した画像には、レンズ特有の歪みが含まれる。歪みを含んだ画像座標における対応点から平面射影行列 H を求めると誤差が生じ精度が低下する。そこで、カメラキャリブレーションから求めたレンズ歪み係数 k_1, k_2 を用いて補正を行う。歪みを含んだ画像座標 (u, v) から歪みの含まない座標点 (X_u, Y_u) への変換を式 (5) に示す。 (u_c, v_c) は画像座標の中心、 r は画像中心からの距離、 S はスケール係数である。

$$X_d = u_c - u, \quad Y_d = v_c - v \quad (4)$$

$$\begin{aligned} X_u &= SX_d(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \\ Y_u &= Y_d(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \end{aligned} \quad (5)$$

レンズ歪み補正後の対応点から、平面射影行列を求めることで、より正確な平面射影変換、即ち位置推定が可能となる。Figure 3 に、レンズ歪み補正後の画像を示す。歪み補正することにより、画像端における湾曲していたラインが直線に補正されていることがわかる。

3.1.2 モザイク画像座標と世界座標の対応

平面射影変換で用いる座標系として、どちらか一方の画像座標系に他の画像座標系を変換する考え方(相対座標系)と、どちらの画像を新しい座標系、例えば世界座標に座標変換する考え方(絶対座標系)の2つがある。本手法では、モザイク後の画像座標から、世界座標を直接求めることができる後者を用いる。このとき、分解能を $5\text{mm}/\text{pixel}$ となるように世界座標系を設定すると、フィールドサイズは $5,500 \times 4,000\text{mm}$ であるため、モザイク画像の解像度は $1,100 \times 800$ 画素となる。しかし、実際のカメラ画像の解像度は $5.5\text{mm}/\text{pixel}$ であるため、モザイク処理の際に、値が存在しない画素が生じる。このような画素は最近隣内挿により補間する。そのため、ビジョン処理により求めたモザイク画像上の座標から世界座標を式 (6) により求めることが可能となる。

$$\begin{aligned} \text{世界座標 } P[\text{mm}] &= \\ 5[\text{mm}/\text{pixel}] \times \text{モザイク画像の座標 } P'[\text{pixel}] \end{aligned} \quad (6)$$

3.1.3 フィールド面のモザイクキング

フィールド面のモザイク画像の生成過程を以下に示す。
Step1 カメラ1(C1)の画像上で位置が確認できるフィールド面の特徴点 P を選定し、その世界座標 $P(x_w, y_w, 0)$ とカメラ1の画像座標 $p_1(u, v)$ を計測する。
Step2 式 (6) より世界座標 P をモザイク画像座標 P' に変換する。
Step3 モザイク画像座標 P' とカメラ1の画像座標 p_1 の4点以上の対応点群から平面射影行列 H_1 を求める。カメラ2(C2)も同様の方法で平面射影行列 H_2 を求める。

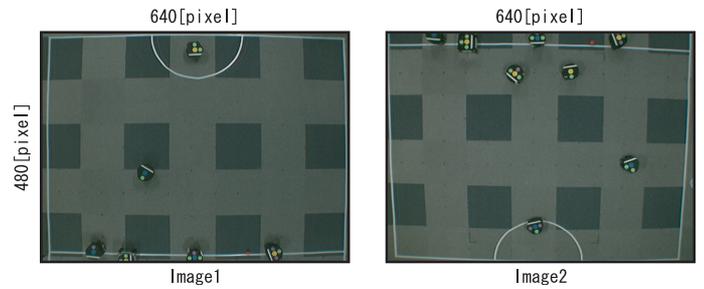


Figure 4: カメラ画像

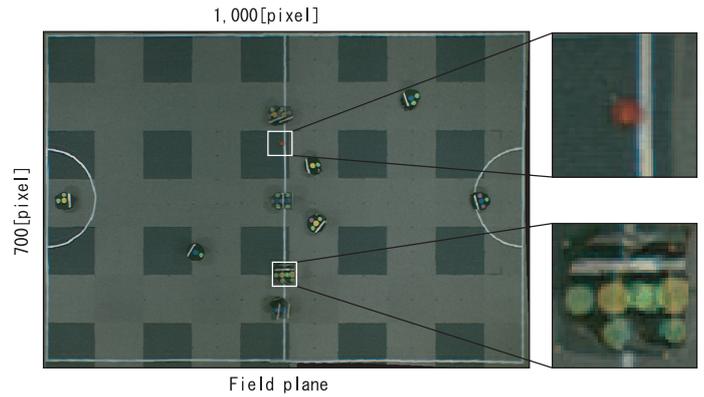


Figure 5: フィールド面でのモザイク画像

Step4 求めた H_1 と H_2 によりモザイク画像を生成する。その際に、モザイク画像上の重なり領域ではブレンディング処理を施す。

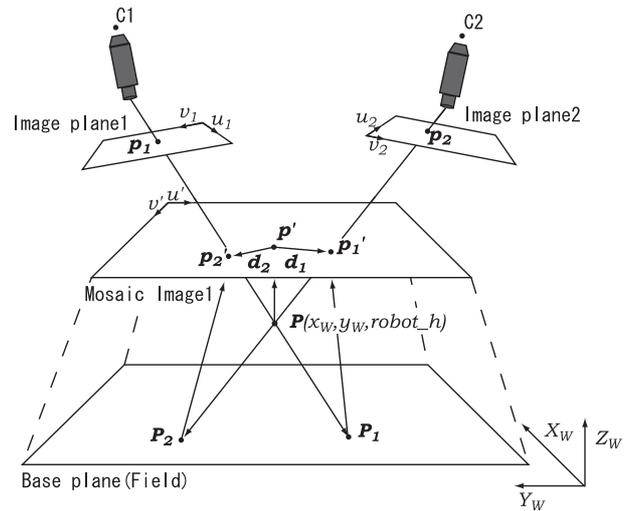


Figure 6: 二重に見える原因

Figure 4 に各カメラからの画像を、Figure 5 にフィールド面で生成したモザイク画像を示す。フィールド面上のボールは、継ぎ目がないモザイク画像が生成できていることがわかる。しかし、フィールド面から高さを持つ口

ボット上部の ID マーカが二重に見えるという問題が発生している。これは、Figure 6 に示すように、フィールド面から高さを持つ世界座標 $P(x_w, y_w, Robot_h)$ は、カメラ $C1$ では世界座標 P_1 へ射影され、誤差 d_1 が生じる。同様にカメラ $C2$ では P_2 に射影され、誤差 d_2 が生じるためである。

3.2 高さを考慮した仮想平面上のモザイク画像の生成

フィールド面上の特徴点から求めた平面射影行列は、フィールド面と高さの異なるロボット上面での対応を取ることはできない。高さを考慮したモザイク画像を生成するためには、求めたい高さを持つ平面上の特徴点を求め、平面射影行列を計算する。しかし、特定の高さを持つ平面上に存在する特徴点を実際に設置し測定するのは非常に困難である。そこで、Figure 7 に示すようにフィールド面の特徴点から求めたい高さの平面上 (仮想平面) の画像座標を擬似的に生成し、仮想平面上での平面射影行列を求める。

Step1 カメラ 1($C1$) の画像上で位置が確認できる特徴点 $P(x_w, y_w, 0)$ を選定する。

Step2 フィールド面での世界座標 P を Z_w 軸方向に生成したい仮想面の高さ (Robot の高さ) $Robot_h$ を持つ世界座標 $Q(x_w, y_w, Robot_h)$ を求める。

Step3 世界座標 Q から外部・内部パラメータを用いて以下に逆投影を行う式を示す。逆投影により画像座標 $q_1(u_1, v_1)$ を求める。 R は回転行列、 T は平行移動ベクトル、 f は焦点距離、 s はせん断係数である。

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{Robot_h} \begin{pmatrix} f k_u & f s & u_0 \\ 0 & f k_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (R | -RT) \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ Robot_h \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Step4 世界座標 Q から仮想平面 (高さ $Robot_h$) のモザイク画像座標 Q' に変換し、 Q' と q_1 の関係から平面射影行列 H'_1 を求める。カメラ 2($C2$) も同様の方法で画像座標 H'_2 を求める。

Step5 求めた H'_1 と H'_2 より仮想平面でのモザイク画像を生成する。その際に、モザイク画像上の重なり領域ではブレンディングを施す。

Figure 8 に、ロボットの高さを 150mm とした際のモザイク画像を示す。フィールド上のボールはモザイク画像上にずれが生じるが、高さを持つロボット上部のマーカは継ぎ目がなく生成されていることがわかる。イメージモザイクによるグローバルビジョンでは、認識対象オブジェクトの高さにおけるモザイク画像を生成するため ID の誤認識や統合処理を必要としない。また、モザイク画像には、従来のビジュアルアルゴリズムが適用できるというメリットがある。

4 実験

高さを考慮したモザイク画像を用いたロボットの位置推定実験を行う。

4.1 実験概要

本実験では、2 台のカメラを高さ約 3,000mm、それぞれフィールド面上の $4,900 \times 3,400$ mm の領域 (重なり領域 300mm) が視野に入るように設置する。カメラキャリブレーションには 500mm の正方形が描かれたキャリブレーションシートを床に敷き、正方形の頂点をランドマーク点 (カメラ 1 は 48 点、カメラ 2 は 40 点) として用いた。ロボットの位置推定実験として、高さを考慮したモザイク画像とフィールド面のモザイク画像の各 61 点の画像座標から世界座標を求めた。

4.2 実験結果

Table 1 にフィールド面でのモザイク画像と仮想面 (高さ 150mm) でのモザイク画像から計算した世界座標と実測値の誤差を示す。仮想面でモザイクすることにより位置推定精度が向上することがわかる。仮想面でのモザイク画像を用いた位置推定では、平均誤差が約 4mm であり、実際のカメラ画像の解像度 (5.5mm/pixel) より小さいことから、高精度な位置推定を実現しているといえる。Figure 9 に各位置における誤差分布を示す。フィールド面のモザイク画像では Figure 9(b) に示すように、高さをもつオブジェクトが光軸中心から離れる程その誤差は増大していることがわかる。一方、仮想平面でのモザイクした場合は、全体的に推定誤差が小さいことがわかる。

4.3 処理時間

本グローバルビジョンシステムのハードウェア構成を Table 2 に示す。モザイク画像を生成する際、毎フレームごとに H を用いて座標変換すると計算コストが高くなる。そこ

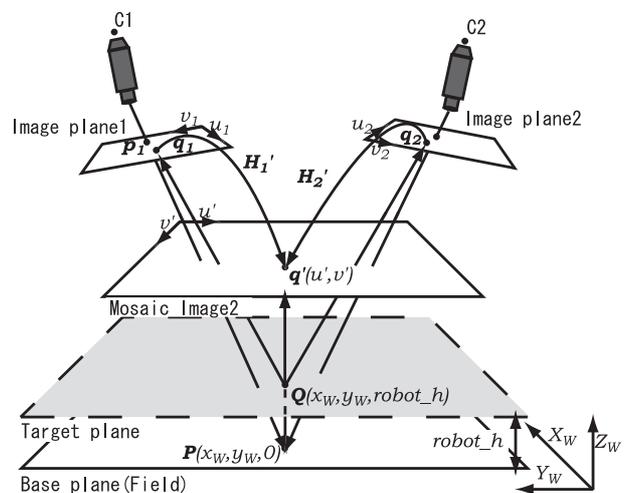


Figure 7: 仮想平面の算出

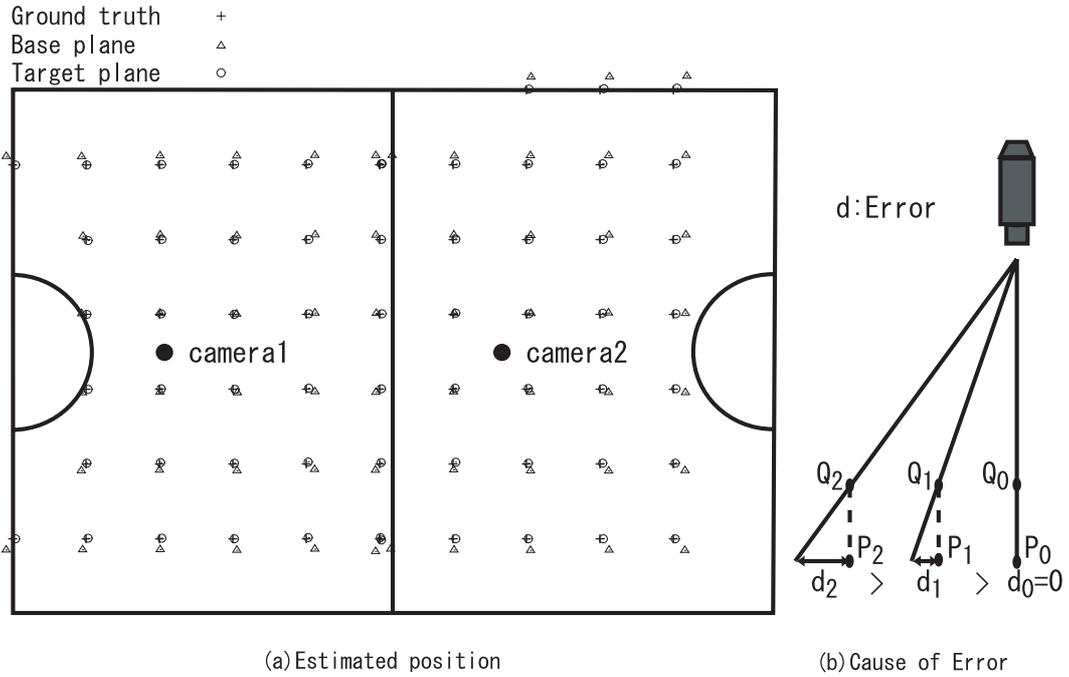


Figure 9: 位置推定誤差

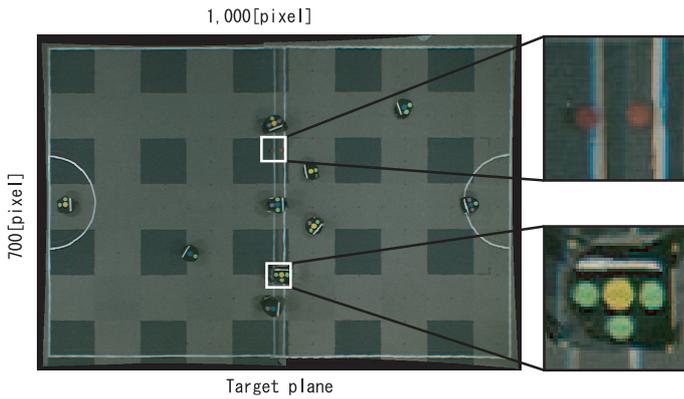


Figure 8: 仮想平面でのモザイク画像

で、モザイク画像座標は、予めカメラ画像と対応を表す LookUpTable(LUT) を作成する。作成した LUT による 3 枚のモザイク画像の生成に要する時間は (フィールド面用モザイク, 味方 Robot 用モザイク, 敵 Robot 用のモザイク) 約 39ms, 色識別に約 38ms, ID 認識に約 4ms, 合計 81ms(約 12fps) ある。12fps のフレームレートでは高速なビジュアルフィードバック処理を実現できないため、過去フレームで求めたオブジェクトの座標周囲 30pixel(約 150mm) のみ処理を施すことにより、モザイク画像生成に約 5.5ms, 色識別に約 5.5ms, ID 認識に 1.1ms, 合計 12.1ms(82fps) の高速化が実現できている。

Table 1: 位置推定誤差 [mm]

高さ	平均誤差		標準偏差		最大誤差	
	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向
フィールド面	43.5	34.3	24.9	20.7	95.7	77.1
仮想面	3.7	4.3	2.8	2.8	12.0	14.2

Table 2: 実験環境

CPU	XEON DUAL PROCESSOR 3.2GHz
Memory	1GB
カメラ	DXC9000(SONY)
ズームレンズ	VCL-0716(SONY)
広角レンズ	WCV-65(FUJINON)
キャプチャーカード	CT-3301RGB(サイバーテック社)

5 まとめ

本稿では、イメージモザイクによるグローバルビジョンシステムを提案した。提案したシステムは、2台のカメラ画像を仮想平面上でイメージモザイクすることにより、画像の重なり領域でのID誤認を軽減し、モザイク画像に対して従来のビジョンアルゴリズムを適用できるというメリットがある。また、ロボットの高さを考慮したモザイク画像を生成するため、高精度な位置推定を評価することを実験により示した。今後の課題として、さらなる処理速度の向上を目指す予定である。

参考文献

- [Benosman, 2002] Ryad Benosman, Jerome Douret, and Jean Devars: A Simple and Accurate Camera Calibration for the F180 RoboCup League, RoboCup 2001, INAI 2377, pp.275-280, 2002
- [Ball, 2004a] David Ball, Gordon Wyeth and Stephen Nuske: A Global Vision System for a Robot Soccer Team, Proceedings of the 2004 Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA), Canberra, Australia, 2004.
- [Egorova, 2004] Anna Egorova, Alexander Glove, Cuneyt Goktekin, Achim Liers, Marian Luft, Raul Rojas, Mark Simon, Oliver Tenchio, and Fabian Wiesel: FU-Fighters Small Size 2004, RoboCup 2004 Symposium, Small Size League Team Description, 2004. *Artificial and Human Intelligence*,
- [Kiat, 2004] Ng Beng Kiat: LuckyStar 2004, RoboCup 2004 Symposium, Small Size League Team Description.
- [Ball, 2004b] David Ball, Gordon Wyeth: UQ RoboRoos 2004: Getting Smarter, RoboCup 2004 Symposium, Small Size League Team Description, 2004.
- [Tsai, 1987] R. Y. Tsai: A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses, In IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-3, Num.4, pp. 323-344, 1987.
- [Zhang, 2000] Z. Zhang: A flexible new technique for camera calibration, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.
- [Szeliski, 1994] R. Szeliski: Image mosaicing for tele-reality applications Proc.IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp.44-53, 1994.
- [Hibino, 2002] Shinya Hibino, Yukiharu Kodama, Yasunori Nagasaka, Tomoichi Takahashi, Kazuhito Murakami, and Tadashi Naruse: Fast Image Processing and Flexible Path Generation System for RoboCup Small Size League, pp.53-64, 2002.
- [Bruce, 2000] James Bruce, Tucker Balch and Manuela Veloso.: Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots, In Proceedings of IROS-2000, Japan, October 2000.