

校正マーカを用いた複数魚眼カメラの外部パラメータ推定のシミュレーションによる精度評価

Accuracy evaluation by simulation on pose estimation of multiple fish-eye cameras
using calibration markers

○岡本寛也[†], キアット アブデラジズ[‡], 下村倫子[‡], 増山岳人[†], 梅田和昇[†]
Hiroya OKAMOTO[†], Abdelaziz KHIAT[‡], Noriko SHIMOMURA[‡],
Gakuto MASUYAMA[†] and Kazunori UMEDA[†]

[†]: 中央大学, okamoto@sensor.mech.chuo-u.ac.jp, {masuyama, umeda}@mech.chuo-u.ac.jp
[‡]: 日産自動車(株) 総合研究所, {khiat, n-shimomura}@mail.nissan.co.jp

概要: 近年, ドライバーが周囲を確認しやすくするための車載カメラシステムが普及してきている。ずれの少ない全周囲俯瞰画像を生成するためには, 車両に搭載されている複数カメラの外部パラメータを正しく算出することが重要である。本論文では, 既に車両に設置された複数台の魚眼カメラの外部パラメータを簡便に同時に校正する手法を提案する。提案手法では, 持ち運べるサイズの既知のマーカを車両の周囲に配置し, 取得した魚眼画像を用いて PnP 問題を解くことにより外部パラメータを推定する。提案手法を用いてシミュレーション実験を行い, 推定精度評価を行った。

<キーワード> 魚眼カメラ, キャリブレーション, PnP 問題

1. はじめに

近年, ドライバーが周囲を確認しやすくするための車載カメラシステムが普及してきている。その一例として, 車両を真上から見たような画像(俯瞰画像)に変換[1]し, それを合成することで車両の周囲を容易に観測することを可能とするシステムが提案されている[2][3]。これらのシステムでは, 一般に, 車両に搭載されているカメラの位置・姿勢(以下, 外部パラメータ)を計測する際, 車両全体の地表面上にキャリブレーション用のターゲットを設置するため, 校正環境が大掛かりとなる[4]。そこで本研究では, より簡易的な環境において, 複数カメラの外部パラメータを推定することを目的としている。

我々は持ち運べるサイズの校正マーカ(以下, マーカ)を車両の周囲に任意に配置した環境において, 俯瞰合成画像を基に複数台の魚眼カメラの外部パラメータを推定する手法を提案している[5]。従来手法は全周囲俯瞰合成画像より, マーカのワールド座標系における 3 次元座標を算出し, 魚眼画像を透視投影画像に変換した画像に対して PnP 問題を解くことによりカメラの外部パラメータを推定していた。

その際, 本来魚眼画像に投影されていた特徴点が透視投影画像には投影されていなかったことや, 入力点に誤差があった場合, ワールド座標系におけるマーカの 3 次元位置を正しく算出することができず, 十分な推定精度を得ることができなかった。

そこで本論文では, さらに精度向上のために, 魚眼画像から直接外部パラメータを推定する手法を適用する。シミュレーション実験により, マーカの相対的位置が既知の場合と未知の場合, 及びマーカが立方体, 正方形の比較における外部パラメータ推定の精度評価を行う。

2. 魚眼カメラの概要

一般のピンホールカメラモデルでは, 計測点からレンズへの投射線がレンズの光軸となす角 θ [rad]と画像上の像高(射影点の光軸からの距離) r_p [pixel]を用いて射影モデルを

$$r_p = \delta \tan \theta \quad (1)$$

$$\delta = f/w \quad (2)$$

と表すことができる。但し, f は焦点距離[mm], w は画

素サイズ[mm/pixel]を表す.

一方, 魚眼レンズには, いくつか射影方式がある. 代表的な等距離射影では

$$r_f = \delta\theta \quad (3)$$

また, 正射影では

$$r_f = \delta \sin \theta \quad (4)$$

と表される. 魚眼レンズの射影方式は製造誤差やレンズ収差などの影響のために, 理想的な射影モデルには従わない. そこで魚眼カメラモデルは次式のように射影モデルをテイラー展開して得られる奇数次数項の近似式によって表現されることが多い[4].

$$r_f = k_1\theta + k_3\theta^3 + k_5\theta^5 \quad (5)$$

ここで k_1, k_3, k_5 はテイラー展開の各項の係数であり, カメラの内部パラメータである. さらに光軸の位置 (c_u, c_v) を考慮するとカメラの内部パラメータは

$$\mathbf{I} = [k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad c_u \quad c_v]^T \quad (6)$$

となる. $\mathbf{I}$ は直線・球体などの既知のパターンを観測することで推定される[4][6].

また, 本研究では球面モデルを考える. 図 1 に示すような, 球面モデルを考える. ある 3 次元点 $\mathbf{P}$ がカメラの光学中心を球の中心とする球面へ投影される. 球面モデルでは, 全天周の投影を表現できるため, カメラの視界全体の情報を扱うことができる. 図 1 に示す 3 次元点 $\mathbf{P} = [X_p \ Y_p \ Z_p]^T$ の投射点の位置ベクトルは球面モデルの投射角 θ と方位角 ϕ により

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= \frac{1}{\sqrt{X_p^2 + Y_p^2 + Z_p^2}} [X_p \ Y_p \ Z_p]^T \\ &= [\sin \theta \cos \phi \quad \cos \theta \quad \sin \theta \sin \phi]^T \end{aligned} \quad (7)$$

と表せる.

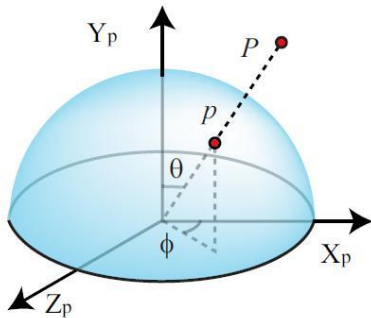


図 1 球面モデル

3. 外部パラメータ推定手法

本章では, 校正用のマーカーを用いてカメラの外部パラメータを推定する手法について述べる. 本研究では内部パラメータを既知とした 4 台の魚眼カメラを用いて, 図 2 に示すような大きさが既知のマーカーを各カメラの共通する視野領域内に配置した環境において PnP 問題を解くことにより, カメラの外部パラメータを推定する. 外部パラメータは, ワールド座標系におけるカメラの位置姿勢を表し, 本研究では図 3 のようにカメラの光軸を Y 軸に一致させ, ワールド座標系におけるカメラのピッチ角を α_{cam} , ロール角を β_{cam} , ヨー角を γ_{cam} , カメラの位置を $[X_{cam} \ Y_{cam} \ Z_{cam}]^T$ とし, 外部パラメータ $\mathbf{E}$ を次のように定義する.

$$\mathbf{E} = [X_{cam} \ Y_{cam} \ Z_{cam} \ \alpha_{cam} \ \beta_{cam} \ \gamma_{cam}]^T \quad (8)$$

以下, 校正に用いるマーカーの配置が既知である場合と未知である場合の 2 通りの外部パラメータ推定手法について述べる.

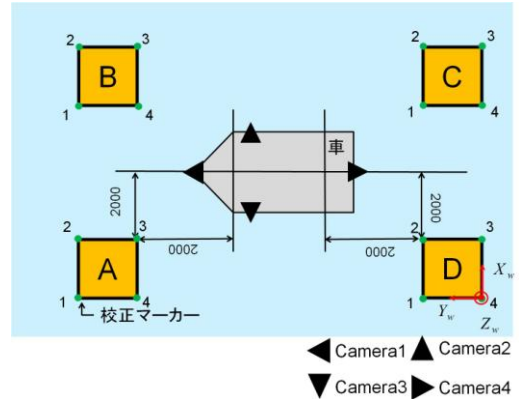


図 2 校正環境

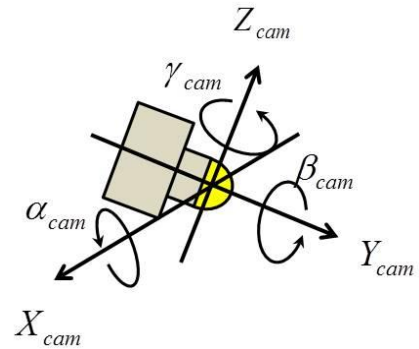


図 3 外部パラメータの定義

3.1. マーカーの配置が既知の場合

マーカーの配置が既知の場合の推定手法の流れは以下の通りである。

- 2つのマーカーが投影された魚眼画像を取得する。
- 魚眼画像座標系におけるマーカー頂点座標 $\mathbf{m}_{fi}=[u_i \ v_i]^T$ を取得し、これを入力点とする。
- ワールド座標系におけるマーカーの頂点座標 $\mathbf{X}_{wi}=[X_{wi} \ Y_{wi} \ Z_{wi}]^T$ を魚眼画像座標系に再投影し、再投影点 $\mathbf{m}_{wi}=[u_{wi} \ v_{wi}]^T$ を取得する。
- $\mathbf{m}_{fi}$ と $\mathbf{m}_{wi}$ との再投影誤差の2乗和 D が最小となる外部パラメータ $\mathbf{E}$ を推定する。

上記の流れを車両に搭載された各カメラに対して行う。具体的な再投影誤差 D の算出方法について述べる。図4に示すように、再投影点 $\mathbf{m}_{wi}$ はカメラの内部・外部パラメータ $\mathbf{I}, \mathbf{E}$ を用いて次式で表せる。

$$\mathbf{m}_{wi} = \begin{bmatrix} u_{wi} \\ v_{wi} \end{bmatrix} = r_f \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_u \\ c_v \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$r_f = k_1 \theta + k_3 \theta^3 + k_5 \theta^5$$

但し、 θ と ϕ は

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{X'_{wi}{}^2 + Y'_{wi}{}^2}}{Z'_{wi}} \right), \phi = \tan^{-1} \left(\frac{Y'_{wi}}{X'_{wi}} \right) \quad (9)$$

と表せる。 $\mathbf{X}'_{wi}=[X'_{wi} \ Y'_{wi} \ Z'_{wi}]^T$ は観測点 $\mathbf{P}_i$ のワールド座標系における位置 $\mathbf{X}_{wi}$ をカメラ座標に変換したものであり、同次座標を用いて

$$\mathbf{X}'_{wi} = \mathbf{M} \mathbf{X}_{wi}$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

と表せる。 $\mathbf{R}$ はロール角 β_{cam} 、ピッチ角 α_{cam} 、ヨー角 γ_{cam} の順番で回転させた回転行列、 $\mathbf{t}$ は並進ベクトルである。このとき、魚眼画像座標系に再投影した点 $\mathbf{m}_{wi}=[u_{wi} \ v_{wi}]^T$ は

$$\mathbf{m}_{wi} = \mathbf{m}_{wi}(\mathbf{E}, \mathbf{X}_{wi}) \quad (11)$$

と $\mathbf{E}, \mathbf{X}_{wi}$ の関数で表すことができる。この再投影点の

位置 $\mathbf{X}_{wi}$ と元の観測点の投影位置 $\mathbf{m}_{fi}$ の差の二乗和

$$D = \sum_{i=1}^N \{ \mathbf{m}_{wi} - \mathbf{m}_{fi}(\mathbf{E}, \mathbf{X}_{wi}) \}^2 \quad (12)$$

が最小となるように外部パラメータ $\mathbf{E}$ を推定する。 N は観測点数である。パラメータ推定には修正 Powell 法 [7] を用いる。

3.2. マーカーの配置が未知の場合

マーカーの配置が未知の場合には、3.1節で示したワールド座標系におけるマーカーの頂点座標 $\mathbf{X}_{wi}$ を以下のようにして求める。

- 各マーカーのある頂点座標を原点としたローカル座標系を設定し、各マーカーに対するカメラの位置姿勢を3.1節で示した手法を用いて推定する。
- 推定した各マーカーに対する位置姿勢を用いて、任意のマーカー座標系をワールド座標系とし、その他のマーカーの頂点座標をワールド座標系に座標変換する。
- 3.1節と同様の処理を行う

ワールド座標系におけるマーカーの3次元位置算出方法について具体的に述べる。

各マーカーのローカル座標系における3次元位置を $\mathbf{X}_j=[X_j \ Y_j \ Z_j]^T$ 、ワールド座標系におけるマーカーの3次元位置を $\mathbf{X}_{wj}=[X_{wj} \ Y_{wj} \ Z_{wj}]^T$ とし、 j をマーカー名 A, B, C, D とすると、図5に示すように、各マーカーに対するカメラの位置姿勢 $\mathbf{Rt}_{(i,j)}$ を用いて

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{wA} &= \mathbf{M}_A \mathbf{X}_A \\ \mathbf{X}_{wB} &= \mathbf{M}_B \mathbf{X}_B \\ \mathbf{X}_{wC} &= \mathbf{M}_C \mathbf{X}_C \\ \mathbf{X}_{wD} &= \mathbf{X}_D \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_C &= \mathbf{Rt}_{(4,D)}^{-1} \cdot \mathbf{Rt}_{(4,C)} \\ \mathbf{M}_B &= \mathbf{M}_C \cdot \mathbf{Rt}_{(2,C)}^{-1} \cdot \mathbf{Rt}_{(2,B)} \\ \mathbf{M}_A &= \mathbf{Rt}_{(3,D)}^{-1} \cdot \mathbf{Rt}_{(3,C)} \end{aligned}$$

と表せる。 i はカメラ番号 1, 2, 3, 4 である。本論文ではワールド座標系の原点を図2のマーカーDの4に配置した。

4. シミュレーション実験

3 章で示した外部パラメータ推定手法の精度評価のために、シミュレーション実験を行った。本実験では、校正用のマーカーに正方形、立方体を用いた場合、マーカーの配置が既知・未知の場合における外部パラメータの推定精度を比較し、外部パラメータの推定精度に影響する要因を検討する。

4.1. 実験概要

すべての実験で共通の実験条件を以下に示す。シミュレーションデータを作成する際の各カメラの内部・外部パラメータ $\mathbf{I}$, $\mathbf{E}$ を表 1, 表 2 に示す。内部パラメータ $\mathbf{I}$ は奥津らが提案した球体を用いた校正手法[6]を用いて推定した値を用いた。また、カメラ間の個体差の影響をなくすためにすべて同一の内部パラメータ $\mathbf{I}$ とした。校正用マーカーにはそれぞれ 1 辺が 1500[mm]であり、特徴点数が 8 点の立方体と正方形と 4 点の正方形を用いた。マーカーの各頂点を特徴点とし、正方形の各辺の中点も特徴点とした。図 2 に示すようにマーカーを配置したと想定してシミュレーションデータを作成した。表 3 に正方形マーカーの重心位置を示す。Camera1 における魚眼シミュレーション画像を図 6 に示す。入力画像のサイズは 664×524[pixel]である。また、使用した PC の CPU は Intel®Core™i7-3520M(2.90GHz)であり、メモリは 16GB RAM である、

実験方法を以下に示す。魚眼画像に投影されたマーカーの頂点を入力点とし、入力点に対して $\sigma=0, 0.2, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0$ [pixel]のガウシアンノイズを与え、各カメラの外部パラメータ $\mathbf{E}$ を推定した。それぞれのノイズに対して 100 回試行し真値の外部パラメータ $\mathbf{E}_{true}$ と推定した外部パラメータ $\mathbf{E}$ との差を $\mathbf{E}_{error}$ とし、各要素の平均と標準偏差を算出した。 $\mathbf{E}_{true}$ には表 2 の値を用いた。

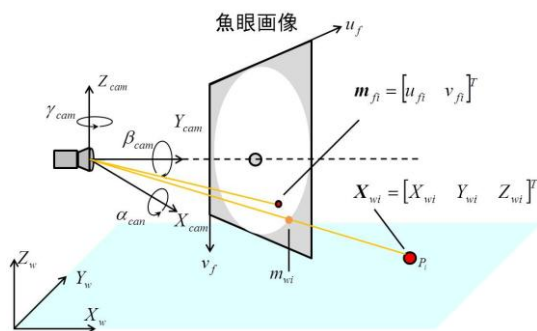


図 4 観測点 P_i の魚眼画像における投影位置と再投影位置

表 1 カメラの内部パラメータ $\mathbf{I}$

k_1	k_3	k_5	c_u	c_v
169.259	12.315	-0.682	6.067	-26.046

表 2 カメラの外部パラメータ $\mathbf{E}$

Cam	X_{cam}	Y_{cam}	Z_{cam}	α_{cam}	β_{cam}	γ_{cam}
1	3500	7250	650	-20	0	0
2	2500	5800	800	-20	0	-90
3	4500	5800	800	-20	0	90
4	3500	2500	670	-20	0	180

(unit):[mm], [deg]

表 3 ワールド座標系における正方形マーカーの重心位置[mm]

Marker	X	Y	Z
A	750	9150	0
B	6250	9150	0
C	6250	750	0
D	750	750	0

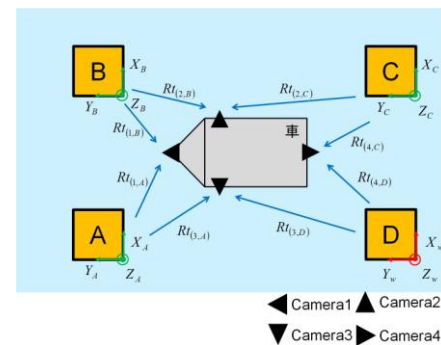
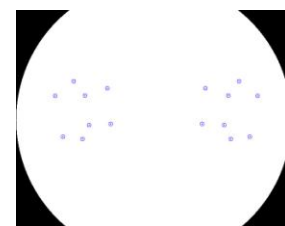
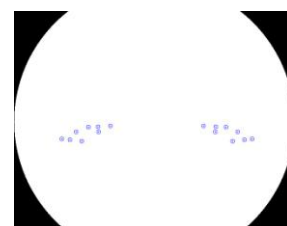


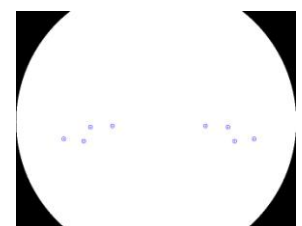
図 5 マーカーの世界座標系への変換



(a)立方体



(b)正方形(特徴点 8 点)



(c)正方形(特徴点 4 点)

図 6 Camera 1 の入力画像

4.2. 実験結果 1 : マーカーの配置が既知

まず、マーカーが立方体と正方形の場合での推定精度を比較する。マーカーに立方体を用いたときの実験結果を図 7 に、特徴点数が 8 点、4 点の正方形を用いたときの実験結果を図 8、図 9 に示す。ここで、横軸は入力点に与えた誤差 σ [pixel]、縦軸は位置の平均誤差[mm]、姿勢の平均誤差[deg]である。さらに、 $\sigma=1$ [pixel]のときの各カメラの位置と姿勢の平均誤差と標準偏差を表 7~11 に示す。表中の K はマーカーの配置が既知を、U は未知を、C はマーカーの形状が立方体を、S は正方形を、8 と 4 は特徴点数を表す。これらの結果から位置誤差、角度誤差ともに入力点に与えた誤差に対してほぼ比例していることがわかる。マーカーに立方体を用いた場合、 σ が 0~1[pixel]までは、位置に対して 10[mm]程度の誤差、角度に対して 0.5[deg]以下の誤差であり、精度よく推定できていると考えられる。

立方体と入力点が 8 点の正方形を比較すると、特徴点数が同一にもかかわらず、正方形よりも立方体の方が、平均誤差が約 1/2 倍と小さくなっている。これは立方体の特徴点が画像全体に分布しているためだと考えられる。また、正方形の特徴点数を 4 点から 8 点にすると 20% 程度誤差が低減される。このことから、特徴点を増やすことで、推定精度の向上を期待できる。Camera 1, Camera 4 では X の誤差が大きく、Camera 2, Camera 3 では Y の誤差が大きくなっている。これはヨー角 γ_{cam} の誤差の影響を受けていると考えられる。それにより位置の誤差が生じ、さらにピッチ角 α_{cam} まで伝播しているため、結果的にピッチ角 α_{cam} の誤差が一番大きくなっていると考えられる。

また、処理時間は、マーカーの形状に依らず約 0.8[s]であった。これは実用上問題の無い処理時間であると考えられる。

4.3. 実験結果 2 : マーカーの配置が未知

次に、マーカーの配置が未知の場合での精度評価を行った。マーカーには立方体を用いた。マーカーの配置が未知のときの実験結果を図 10 に示す。縦軸、横軸は 4.2 節の実験結果と同様である。

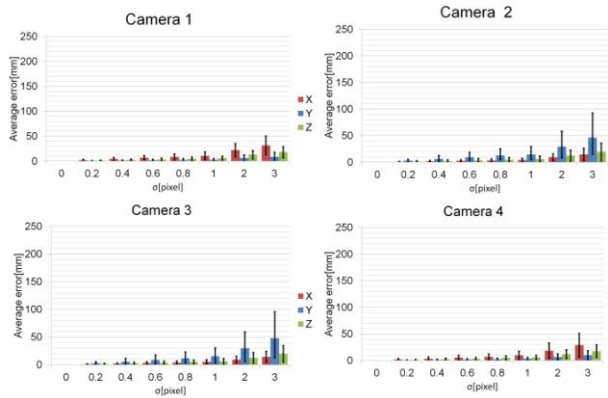
実験結果より、カメラ間での位置の平均誤差と姿勢の平均誤差にばらつきがみられる。Camera 1, 2, 3 に関して、 $\sigma=1$ [pixel]までの位置誤差は 50[mm]以下であり、角度誤差は Camera 1 のロール角 β_{cam} を除いて、1[deg]以下ある。Camera 4 に関しては、マーカーの

配置が既知の場合と同等の推定精度である。カメラ間のばらつきが生じる要因としてはワールド座標系におけるマーカーの位置を推定する際に、入力点に与えた誤差が伝播してきているため、ワールド座標系におけるマーカーの位置を正しく推定出来ていないことが考えられる。また、Camera 1 でのロール角 β_{cam} の誤差が大きくなっている。これは、推定したマーカーの地平面に接している面が傾いてしまっていたことが原因だと考えられる。一方で、ロール角 β_{cam} の誤差が大きくなっても位置の誤差が極端に大きくないことから、ロール角は位置誤差にあまり影響を与えないと考えられる。マーカーに立方体を用い、マーカーの配置が既知と未知の結果と比較すると、マーカーの配置が未知の場合は推定誤差が約 5 倍大きくなった。この要因としては、ワールド座標系におけるマーカーの特徴点を算出する際の誤差が影響していると考えられる。

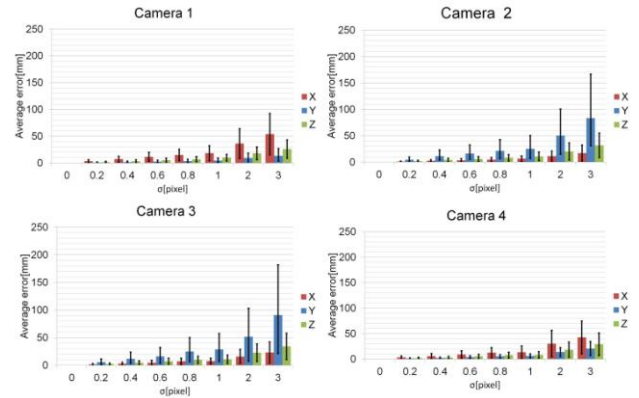
また、処理時間は、約 1.3[s]であった。こちらも実用上問題の無い処理時間であると考えられる。

5. まとめ

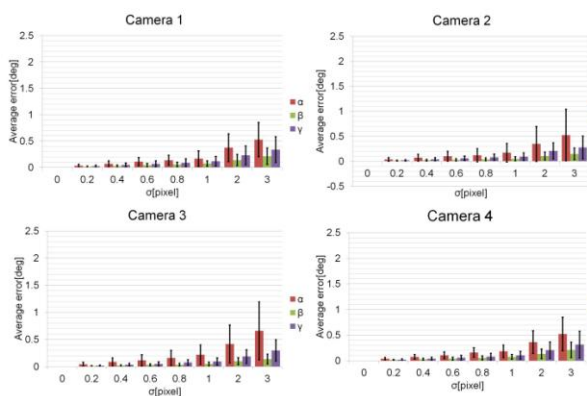
マーカーに立方体、正方形を用いて複数魚眼カメラの外部パラメータを推定する手法に魚眼画像から直接カメラの外部パラメータを推定する手法を適用しシミュレーションによる精度評価を行った。シミュレーション実験により、マーカーが立方体で、配置が既知の場合において推定精度が高い。また、マーカーの配置が既知と未知では 5 倍程度の推定誤差であることが分かった。今後は、マーカーの配置が未知の場合での推定精度向上や、実環境での実験を行う。また、内部・外部パラメータを同時に校正できるように拡張する。



(a) 各カメラの位置の平均誤差

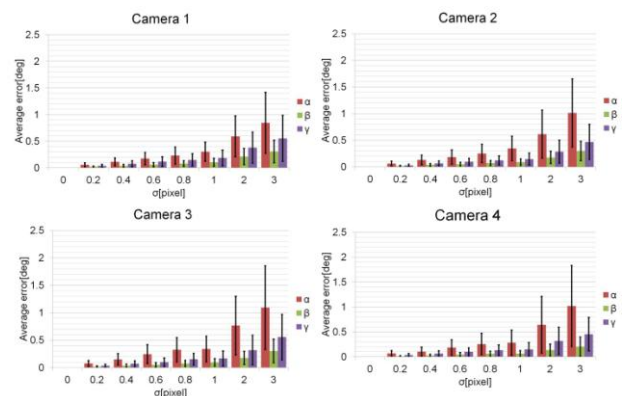


(a) 各カメラの位置の平均誤差



(b) 各カメラの姿勢の平均誤差

図7 立方体マーカの配置が既知である
ときの実験結果



(b) 各カメラの姿勢の平均誤差

図8 特徴点を8点とした正方形マーカの配置が
既知であるときの実験結果

表4 マーカの違いによる位置の誤差
(Camera1, $\sigma=1$ [pixel])

Cam1	X_{cam} [mm]		Y_{cam} [mm]		Z_{cam} [mm]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	10.8	7.5	2.7	2.5	5.9	3.9
KS8	18.2	14.0	4.7	3.5	9.8	6.3
KS4	27.8	18.1	7.1	5.0	10.4	7.6
UC8	49.8	34.7	49.6	41.2	44.1	31.0

表5 マーカの違いによる姿勢の誤差
(Camera1, $\sigma=1$ [pixel])

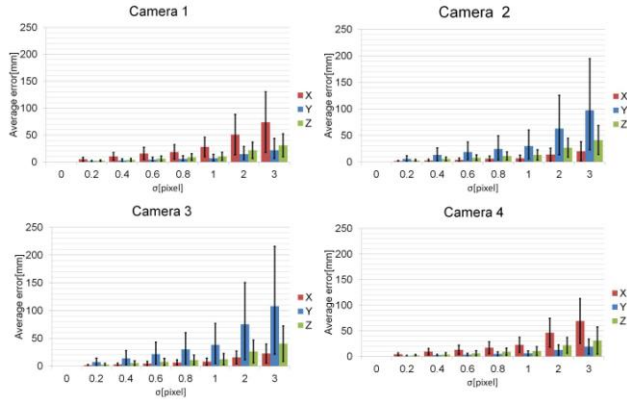
Cam1	α_{cam} [deg]		β_{cam} [deg]		γ_{cam} [deg]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KS8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
KS4	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2
UC8	0.4	0.3	1.4	1.0	0.6	0.4

表6 マーカの違いによる位置の誤差
(Camera2, $\sigma=1$ [pixel])

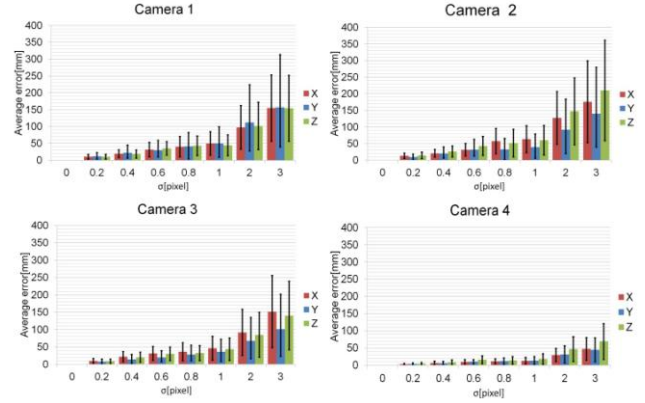
Cam2	X_{cam} [mm]		Y_{cam} [mm]		Z_{cam} [mm]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	4.2	3.0	14.8	10.2	6.0	5.7
KS8	6.5	5.2	25.2	18.0	10.9	8.3
KS4	6.9	6.0	30.0	24.5	13.1	9.6
UC8	63.0	40.6	39.3	33.6	59.8	44.1

表7 マーカの違いによる姿勢の誤差
(Camera2, $\sigma=1$ [pixel])

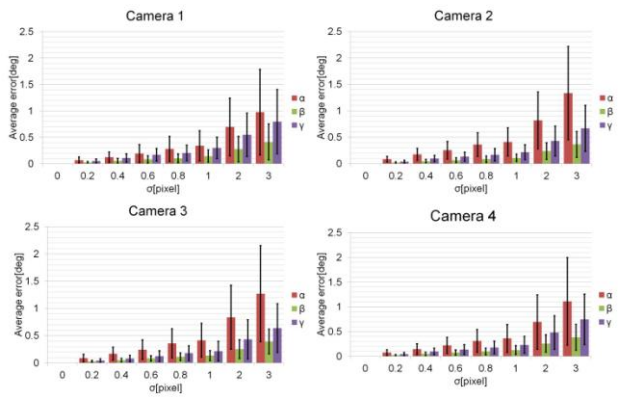
Cam2	α_{cam} [deg]		β_{cam} [deg]		γ_{cam} [deg]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1
KS8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
KS4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1
UC8	0.6	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5



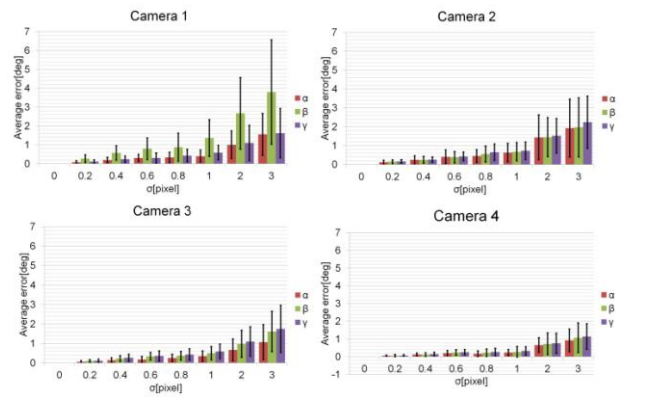
(a) 各カメラの位置の平均誤差



(a) 各カメラの位置の平均誤差



(b) 各カメラの姿勢の平均誤差



(b) 各カメラの姿勢の平均誤差

図9 特徴点を4点とした正方形マーカの配置が既知であるときの実験結果

図10 立方体マーカの配置が未知であるときの実験結果

表8 マーカの違いによる位置の誤差
(Camera3, $\sigma=1$ [pixel])

Cam3	X_{cam} [mm]		Y_{cam} [mm]		Z_{cam} [mm]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	5.2	3.4	15.3	12.0	6.3	5.0
KS8	7.4	5.2	28.8	22.5	10.8	7.6
KS4	8.1	6.3	38.4	33.7	12.6	10.1
UC8	46.1	34.3	36.1	28.2	43.5	32.4

表9 マーカの違いによる姿勢の誤差
(Camera3, $\sigma=1$ [pixel])

Cam3	α_{cam} [deg]		β_{cam} [deg]		γ_{cam} [deg]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1
KS8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
KS4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2
UC8	0.3	0.3	0.5	0.3	0.6	0.4

表10 マーカの違いによる位置の誤差
(Camera4, $\sigma=1$ [pixel])

Cam4	X_{cam} [mm]		Y_{cam} [mm]		Z_{cam} [mm]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	9.8	7.5	3.3	2.7	5.6	4.1
KS8	13.4	12.5	6.2	4.0	8.3	6.5
KS4	22.8	14.8	6.2	5.0	10.6	8.6
UC8	12.6	9.4	13.2	11.7	17.3	15.4

表11 マーカの違いによる姿勢の誤差
(Camera4, $\sigma=1$ [pixel])

Cam4	α_{cam} [deg]		β_{cam} [deg]		γ_{cam} [deg]	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
KC8	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
KS8	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
KS4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2
UC8	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2

参考文献

- [1] 浅利圭介, 石井洋平, 本郷仁志, 蚊野浩:鳥瞰画像生成における校正環境の簡易化, 第 13 回画像センシングシンポジウム予稿集, IN1-13, 2007.
- [2] Oizumi, K.: Development of “All-Around View” System, SAE Technical Paper Serise, 2003.
- [3] 鈴木政康, 知野見聡, 高野照久:俯瞰ビューシステムの開発, 自動車技術学会学術講演会前刷集, Vol.116, No.07, pp.17-22, 2007.
- [4] 加瀬翔太, 光本尚訓, 新垣洋平, 下村倫子, 梅田和昇:複数の魚眼カメラを用いた俯瞰画像生成手法の構築, 精密工学会誌, Vol.75, No.2, pp.251-255, 2009.
- [5] 岡本寛也, Abdelaziz Khiaat ,下村倫子,梅田和昇:既知パターンを用いた複数魚眼カメラの外部パラメータ推定, 第 19 回画像センシングシンポジウム予稿集, IS2-14,2013.
- [6] 奥津良太, 寺林賢司, 梅田和昇:球体を用いた魚眼カメラのパラメータ校正, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J93-D, No.12, pp.2645-2653, 2007.
- [7] Powell, M.J.D.:An effective method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. Computer Journal, 7, 155-162, 1964.

岡本寛也 : 2008 年中央大学理工学部精密機械工学科卒, 現在同大学大学院精密工学専攻博士課程前期課程在学中, 魚眼カメラを用いた画像処理の研究に従事.

Abdelaziz Khiaat(キアット アブデラジズ) :1997 年, アルジェリア Institut National d'Informatique (INI) 卒業. 2003 年, 奈良先端科学技術大学院大学博士前期課程修了. 2007 年, 同大学院博士後期課程修了. 同年, 日産自動車株式会社入社. 現在, 同社総合研究所研究員. 車両運転者状態推定, 自動運転技術, コンピュータビジョン研究に従事. ACM, IEEE Computer Society 各会員.

下村倫子 : 1991 年東京農工大学大学院電子情報工学博士前期課程了. 同年日産自動車(株)に入社. 博士 (工学). 現在, ITS 用センシング技術, 運転支援技術の研究・開発に従事. 電子情報通信学会, 電気学会 各会員

増山岳人:2005 年名古屋大学工学部機械・航空工学科卒業, 2013 年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了, 同年中央大学理工学部精密機械工学科助教, 現在に至る. ロボットの行動学習等の研究に従事. 日本ロボット学会会員.

梅田和昇 :1989 年東京大学工学部精密機械工学科卒, 1994 年同博士課程修了. 同年中央大学理工学部精密機械工学科専任講師, 2006 年同教授, 現在に至る. ロボットビジョン, 画像処理の研究に従事. 博士(工学). 日本ロボット学会, 精密工学会, 日本機械学会, 電子情報通信学会, IEEE 等の会員.