

時間的・空間的分解能の異なる複合センサカメラシステム

重本 倫宏[†] 星川 章[†] 長原 一[†]
岩井 儀雄[†] 谷内田 正彦[†] 田中 紘幸^{††}

カメラ技術の発達により高品質な映像に対する世の中のニーズが高まっている。その高品質な映像の条件として高解像度や高フレームレートが挙げられるが、画像の掃き出し速度の限界のため1台のカメラで高解像度と高フレームレートを両立させるのは困難であった。そこで、本研究では高解像度低フレームレートの撮像センサと、低解像度高フレームレートの撮像センサを複合して用いる。このような時空間周波数の異なるセンサを複合することにより高解像度と高フレームレートの撮像を行うカメラシステムを提案する。さらに、本システムにおける2つのセンサ間での歪み等の幾何学的特性を一致させる幾何学的キャリブレーションと、画素値の光学的特性を一致させる光学的キャリブレーション手法を提案する。

Dual Sensor Camera System with Different Spatial-Temporal Resolution

TOMOHIRO SHIGEMOTO,[†] AKIRA HOSHIKAWA,[†] HAJIME NAGAHARA,[†]
YOSHIO IWAI,[†] MASAHICO YACHIDA[†] and HIROYUKI TANAKA^{††}

A requirement of high-quality video is getting bigger video as a result of development of camera technology. High-resolution and high-frame rate are some factors of high-quality video. However, the high-resolution is incompatible with the high-frame on common camera, because of limitation of pixel transfer rate. In this paper, we propose dual sensor camera that consist of high-resolution sensor with low-frame rate and low-resolution sensor with high-frame rate. The camera can capture two different spatio-temporal image sequences that include fine image and smooth motion information. We also propose sensor calibration for the dual sensor camera.

1. はじめに

カメラ技術の発達により様々なカメラが市場に回っている。また、それに伴って高品質な映像に対する世の中のニーズも高まっている。高品質な映像の条件としては高臨場感を与える高解像度や、スムーズな動画再生を実現する高フレームレートが挙げられる。このような高品質な映像を実現するために多くの研究が行われてきた。その例として、日本放送協会(NHK)が開発した超高精細カメラ¹⁾が挙げられる。これは暫定的な仕様ではあるがこのカメラは走査線4000本、フレームレート60fpsであり、高品質な映像を撮像できる。また、映画に対しては撮影から上映までをデジタルで行うデジタルシネマが提案されている²⁾。これはフィルムに匹敵する品質の高精細映像を電子的手法により撮影、編集、保存することができ、またディ

ジタルであるため画質の劣化がない。現在、4Kフォーマットと呼ばれる4096×2160pixel、24fpsの超高精細の映像規格が裁定され、これに対応する機器の開発や、配信実験が行われている。しかし、これらのシステムは、高価な機材を利用することで高品質な映像を実現しており、一般的な利用に結びつけるのはコストの面からも困難である。

一方で、一般的なテレビ放送映像方式であるNTSC方式では、フレームレートはスムーズな動画を表現できる30fpsであるが、解像度は640×480pixelで、高解像度であるとはいえない。また、市販のデジタルスチルカメラには4000×4000pixelという高解像度のものが存在するが、フレームレートは低く滑らかな動画を撮影することはできない。このように、単位時間あたりの画像データレートはCCD(Charge Coupled Device)の画素数とフレームレートの積で表され、カメラの画像掃き出し速度の制限のために解像度とフレームレートはトレードオフの関係にある。つまり、一般的なカメラを用いての高解像度と高フレームレートを両立した撮影を行うのは困難である。

そこで、本研究では高解像度と高フレームレートを

[†] 大阪大学大学院基礎工学研究科
Gradient School of Engineering Science, Osaka University

^{††} 株式会社 映蔵
Eizoh Corporation

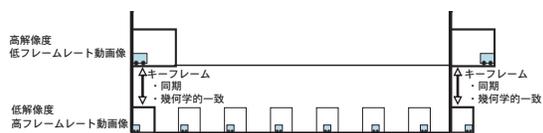


図 1 画像の同期
Fig. 1 Synchronization of images

両立した撮影を実現するために特性の異なる 2 台のカメラを複合して用いることを提案する。この複合センサカメラでは解像度を重視した高解像度低フレームレートのカメラと、フレームレートを重視した低解像度高フレームレートのカメラを複合して用いる。シーンからの入射光をハーフミラーで分光し、時空間周波数の異なる 2 台のカメラでそれぞれ撮像することにより同一視点、同一視野で高解像度と高フレームレートの撮像を行うことができるカメラシステムを構築した。さらに、2 台のカメラの特性が各々異なるため、レンズ歪み等の幾何学的特性を一致させる幾何学的キャリブレーションと、画素値の光学的特性を一致させる光学的キャリブレーションを行う必要がある。このような 2 枚の画像を一致させるためのキャリブレーション手法を提案する。

従来、本研究のように複数のカメラ（センサ）を組み合わせた高解像度撮像のアプローチが数多く提案されている。ここで従来の研究を紹介して、本研究での提案システムとの違いを明確にする。

杉田らは 2 台の視野角の異なるカメラを用いて、広視野かつ中心視野付近の解像度を高めた画像を撮像するシステム³⁾を提案している。また、田中らによる 2 台のカメラで撮像視野角を分けて撮像することにより広視野で高解像度画像を実現するシステム⁴⁾や、続らによるさらに多くのカメラを用いて垂直方向にも視野を分けて高解像度な画像を撮像するシステム⁵⁾なども提案されている。これらの研究は、中心領域のみの解像度を高めたり、それぞれのカメラで異なる視野を撮像してそれらをつなぎ合わせることで広視野かつ高解像度の画像を得るものである。すなわち、複数のカメラを用いて空間情報を分割サンプリングするアプローチであった。

それに対して本研究では、図 1 に示すように一方のカメラでは解像度を優先した動画を、もう一方のカメラではフレームレートを優先した動画を撮像することで、シーンの空間情報と時間情報を分割サンプリングするアプローチである。また、これらの動画は、高解像度低フレームレート動画の撮像周期で同期撮像され、幾何学的にも一致したキーフレームと呼ぶフレームを撮像できる。このキーフレームを利用することで、高解像度の空間情報と高フレームレートの時間情報をお互いに結びつけることができる。

例えば本システムを監視システム等に応用すれば、通常は高フレームレート動画で検出された不審な

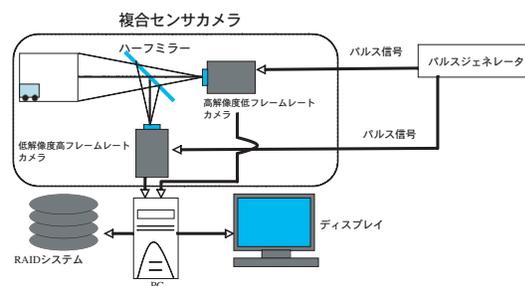


図 2 システムの構成
Fig. 2 System architecture

行動から高解像度動画を用いて、不審人物の詳細な特徴を確認することができる。また、逆にあらかじめ顔や特徴等を高解像度画像で特定した後、高フレームレート動画を用いてその人物の動きを追跡するといったことにも応用できる。

さらに、本システムで撮像した時間的・空間的分解能の異なる二種類の動画を渡邊ら⁶⁾や松延ら⁷⁾が提案した高解像度高フレームレート生成手法を用いて統合することで、高解像度かつ高フレームレートな動画を生成することが可能となる。すなわち、複合センサカメラに用いるセンサは市販の CCD やカメラを用いることができるため、NHK の超高精細カメラ¹⁾のように高価な機材を必要とすることなく高品質な映像を実現できる。また、空間情報と時間情報を分割サンプリングする本アプローチでは、撮像データ量を削減できるという利点がある。

2. 複合センサカメラシステム

本システムは複合センサカメラと、画像を取り込むための PC、画像記録用の RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks) システム、画像表示用のディスプレイ、フレームレートの異なる 2 台のカメラを同期させて撮像するためのパルスジェネレータから構成される (図 2)。複合センサカメラで撮像シーンの入射光をハーフミラーを用いて分光して透過光を一方のカメラで、反射光をもう一方のカメラで撮像する。このようにして得られた画像を PC 上に取り込んで ディスプレイに表示させつつ、RAID システムに保存していく。

ここで、実際のシステムを図 3 に示し、試作した複合センサカメラで撮像される 2 種類の画像の仕様を表 1 に示す。また、本システムで取り込んだ画像を図 4, 5 に示す。

2.1 複合センサカメラ

図 6 に示すように、複合センサカメラは高解像度低フレームレートカメラと低解像度高フレームレートカメラの 2 台とシーン情報を分光するためのハーフミ

ラーから構成される。2台のカメラは3軸ステージに固定されており位置の調整ができる。2台のカメラ間で視点が一致するように、3軸ステージで位置を調整して配置する。また、ハーフミラーの反射光と透過光の比は4:6である。高解像度低フレームレートカメラの方が感度が低いために、光量の多い透過光を高解像度低フレームレートカメラで、反射光を低解像度高フレームレートカメラで撮像する。

なお、低解像度高フレームレートカメラとしてBASLER社のA201bcを、高解像度低フレームレートカメラとしてREDLAKE社のES11000を用いる。

2.2 画像の取り込み・保存

ここでは、カメラで撮像した画像データを実時間でPC上に取り込んで、ディスプレイに表示させつつRAIDシステムに記憶させるソフトウェアを実装した。なお、開発にはVisual C++ 6.0(Microsoft社)を用いた。

画像を取り込んで保存する際に、取り込みの終了を待ってから画像の表示、保存を行うと画像取り込みの終了を待つ時間が無駄である。そこで、画像の取り込みから保存までの一連の処理を「ダブルバッファ処理」を用いて行う。ダブルバッファ処理は、画像の取り込みと、画像の表示、保存を並列に行うものであり、ダブルバッファを用いた時の処理と用いない時の画像2フレーム分の取り込み、保存処理の流れを図7に示す。具体的には、画像を取り込むためのメモリを2つ用意しておき、メモリ1で画像の取り込みを行い、それに並行してメモリ2に格納された画像データの表示、保存を行う。それぞれの処理が終了した後に、メモリ2で画像の取り込みを行い、それに並行してメモリ1に格納された画像データの表示、保存を行う。これらの

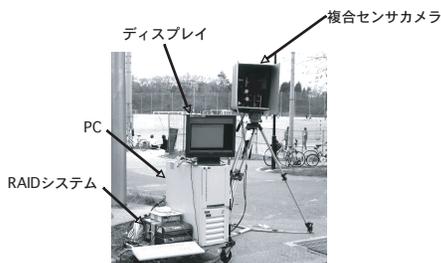


図3 提案システム

Fig. 3 Proposal system

表1 複合センサカメラの仕様

Table 1 Specification of Dual Sensor Camera

	高解像度 低フレームレート	低解像度 高フレームレート
解像度	4008 × 2672pixel	1008 × 1018pixel
フレームレート	4.29fps	30fps
出力画像	Bayer Color	Bayer Color
出力 Format	8bits/pixel	8bits/pixel



図4 高解像度低フレームレート画像
(4008 × 2672pixel,4.29fps)

Fig. 4 High-resolution image with low-frame rate
(4008 × 2672pixel,4.29fps)



図5 低解像度高フレームレート画像
(1008 × 1018pixel,30fps)

Fig. 5 Low-resolution image with high-frame rate
(1008 × 1018pixel,30fps)

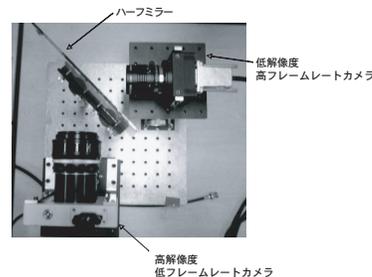


図6 複合センサカメラ

Fig. 6 Dual Sensor Camera

処理を繰り返して行う。

ダブルバッファ処理を用いることで、次の画像の取り込みまでの待ちの時間が大幅に減り高速に取り込み処理が実現できるようになった。

次に、書き込みブロックサイズについて考える。書き込みをする際にデータの転送速度等の関係上、データの書き込みブロックサイズを変えると書き込み速度も変わる。そこで、書き込み速度の最適化を行うために次に示す予備実験を行った。実験内容は30MbyteのデータをRAIDシステムのハードディスクに書き込む際に、書き込みブロックサイズを変化させていき、その時の書き込み所要時間を計測するというものである。低解像度高フレームレートカメラに関する結果を図8に示す。

図8より、書き込みブロックサイズが500KByteの時に書き込み所要時間が短いことがわかる。この結果

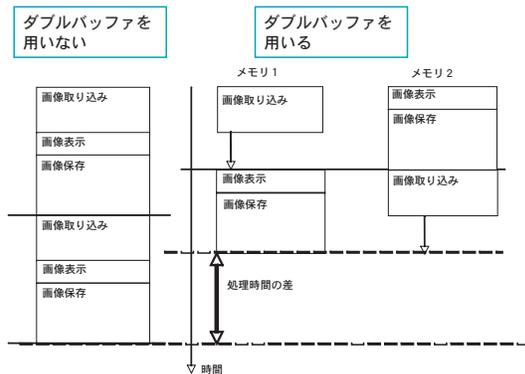


図 7 ダブルバッファの処理
Fig. 7 Process of double buffering

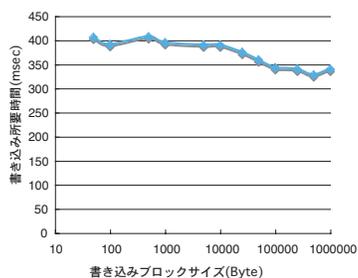


図 8 低解像度高フレームレートカメラの書き込みブロックサイズと書き込み所要時間

Fig. 8 Memorizing block size and memorizing time required of low-resolution and high-frame rate camera

より書き込みブロックサイズを 500KByte に決定した。この際の平均書き込み速度は 91MByte/sec である。

以上で述べたことを踏まえて、画像データを取り込み、保存、表示の一連の処理を実時間で処理するソフトウェアを開発した。

2.3 パルスジェネレータの設計

本システムでは高解像度低フレームレートカメラと低解像度高フレームレートカメラという 2 台のフレームレートの異なるカメラを同期させて撮像する。高解像度低フレームレートカメラは 4.29fps、低解像度高フレームレートカメラは 30fps である。そのため、1:7 の割合で高解像度低フレームレート動画と低解像度高フレームレート動画を同期して撮像する。すなわち、図 1 に示すように高フレームレート画像列の 1 フレーム目と低フレームレート画像列の 1 フレーム目、高フレームレート画像列の 8 フレーム目と低フレームレート画像列の 2 フレーム目が同期するように撮像する。

2 台のカメラの同期をとるために、パルスジェネレー

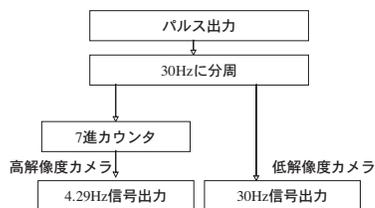


図 9 パルスジェネレータの処理
Fig. 9 Processing of pulse generator

タを作成しそこから 2 台のカメラにパルス信号を送る。本システムで用いるカメラは 4.29fps と 30fps であるので高解像度低フレームレートカメラに 4.29Hz、低解像度高フレームレートカメラに 30Hz のパルス信号をそれぞれ送ることで 2 台のカメラの同期をとる。

4.29Hz と 30Hz のパルス信号を出力するためのパルスジェネレータを Max+Plus II Baseline(Altera 社) というソフトを用いて設計した。設計した回路は、ヒューマンデータ社の CSP-001 という FPGA(Field Programmable Gate Array) 評価ボードを用いて実装した。

パルスジェネレータからは 30Hz と 4.29Hz のパルス信号を出力するので、まず FPGA 評価ボードのベースクロック信号を 30Hz にまで分周して、高フレームレートカメラにはそのまま 30Hz の信号を低フレームレートカメラには 30Hz の信号に 7 進カウンタに通して 4.29Hz に分周したものを出力する。パルス信号をカメラに出力するまでの流れを図 9 に示す。それぞれのカメラに送られたパルス信号は、カメラの取り込みボードに送られ、そこから取り込みトリガが生成され、カメラがトリガを検知して画像を取り込んでいく。これにより、高解像度低フレームレート動画と低解像度高フレームレート動画を 1:7 の割合で同期して撮像できた。

3. キャリブレーション

複合センサカメラには 2 つのカメラ間での CCD 特性やレンズ特性の違いにより画像に幾何学的、光学的な差が生じる。複合センサカメラにより得られる 2 つの画像列情報を統合するためには、キーフレームでの画像一致を前提としている。そのため、幾何学的特性および光学的特性の差を 2 つのカメラ間で補正する必要がある。ここではこのような複合センサカメラを対象としたキャリブレーション手法を提案する。

3.1 カメラモデル

本研究では最も単純なピンホールカメラモデルを使用する。図 10 に示すように基準となる世界座標 $O_w-x_w-y_w-z_w$ における点 P の座標を (x_w, y_w, z_w) と表し、カメラ座標 $O-x-y-z$ における点 P の座標を (x, y, z) と表す。ただし、 O はレンズ中心を表し、 z 軸はレンズの光軸に一致するように設定する。

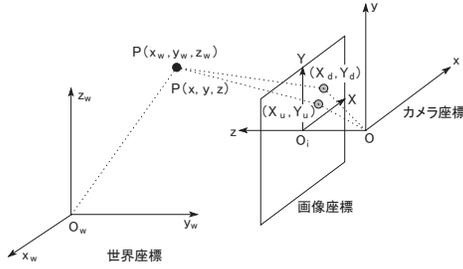


図 10 世界座標と画像座標の関係

Fig. 10 World coordinate and image coordinate

世界座標の点 (x_w, y_w, z_w) は回転行列 \mathbf{R} と平行移動ベクトル \mathbf{T} を用いてカメラ座標の点 (x, y, z) へ変換され、さらに透視投影によって焦点距離 f の画像面上の点 (X_u, Y_u) に投影される。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + \mathbf{T} \quad (1)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}, \mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

$$X_u = f \frac{x}{z}, Y_u = f \frac{y}{z} \quad (2)$$

画面上の (X_u, Y_u) はレンズ歪みにより (X_d, Y_d) に移り、さらに、撮像素子によってピクセル単位の画像座標 (X_f, Y_f) に変換される。ここで $\delta(\cdot)$ はレンズ歪みを表す関数である。

$$\begin{aligned} X_u &= X_d + X_d \delta(R_d) \\ Y_u &= Y_d + Y_d \delta(R_d) \end{aligned} \quad (3)$$

$$R_d = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} X_f &= d_x^{-1} X_d + C_x \\ Y_f &= d_y^{-1} Y_d + C_y \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 d_x, d_y は受光素子の水平・垂直方向の中心間距離、 (C_x, C_y) は画像中心の画像座標である。本研究では式 (3) における歪みのモデルとして radial distortion のみを考える¹⁰⁾。

$$\delta(R_d) = \kappa_1 R_d^2 + \kappa_2 R_d^4 + \kappa_3 R_d^6 + \dots \quad (6)$$

実際には radial distortion は第 1 項のみでも十分であるため、

$$X_u = X_d + X_d \kappa_1 R_d^2 \quad (7)$$

$$Y_u = Y_d + Y_d \kappa_1 R_d^2 \quad (8)$$

とする。

3.2 処理の流れ

複合センサカメラを対象としたキャリブレーション処理の流れを図 11 に示す。高解像度カメラ、低解像度カメラにおいてそれぞれ一様な明度を持つ白色ターゲットを撮影し、周辺明度低下の補正を行う。さらに

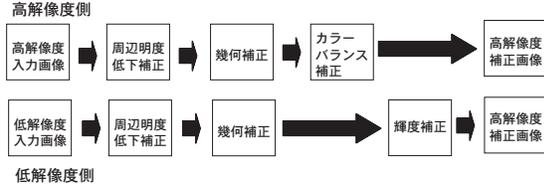


図 11 処理の流れ

Fig. 11 Processing flow

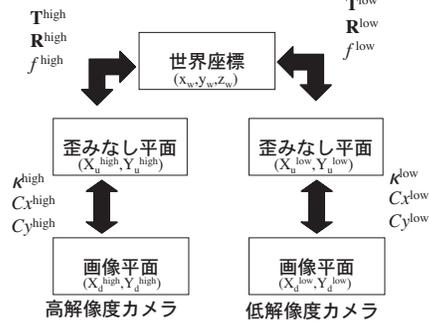


図 12 パラメータと座標の関係

Fig. 12 Relationship of parameters and coordinate

キャリブレーションパターンを撮影することで幾何学的キャリブレーションを行い、画像の幾何特性の違いを補正する。高解像度画像に対して Gray World Assumption に基づくアルゴリズム⁸⁾を用いてカラーバランスの補正を行う。最後に高解像度、低解像度の 2 枚の画像の輝度ヒストグラムが一致するように低解像度側に対して輝度補正を行う。

幾何補正については幾何学的キャリブレーションで、周辺明度低下補正、輝度補正については光学的キャリブレーションで詳しく述べる。

3.3 幾何学的キャリブレーション

高解像度カメラと低解像度カメラそれぞれに 3.1 のカメラモデルを想定し、パラメータ推定を行う。パラメータ推定法として Tsai の手法⁹⁾を用いた。Tsai の手法では、多数の点の世界座標 (x_w, y_w, z_w) とそれらに対応する画像座標 (X_f, Y_f) の組が与えられたときに、内部パラメータとして $f, \kappa_1, (C_x, C_y)$ 、外部パラメータとして \mathbf{R} と \mathbf{T} を求めることができる。ただし、実験の容易さから平面のキャリブレーションパターンを使用する。

複合センサカメラの高解像カメラと低解像度カメラの 2 つの各画像空間と、世界座標の関係およびカメラパラメータの関係を図 12 に示す。ここで、 x^{high}, x^{low} はそれぞれ高解像度カメラと低解像度カメラの各々カメラパラメータを示す。高解像度カメラは画像座標 (X_f^{high}, Y_f^{high}) が与えられると、高解像度カメラパラメータにより高解像度歪みなし平面 (X_u^{high}, Y_u^{high}) に画像を変換できる。低解像度カメラも同様に画像座標

(X_f^{low}, Y_f^{low}) が与えられると、低解像度カメラパラメータと高解像度カメラパラメータを用いて高解像度歪みなし平面 (X_u^{high}, Y_u^{high}) に変換できる。

つまり、高解像度歪みなし平面上に2枚の画像を投影することで幾何学的特性の異なる画像の一致をはかる。以後この高解像度歪みなし平面を基準平面と呼ぶ。

3.4 光学的キャリブレーション

3.4.1 周辺明度低下の補正

レンズを用いた撮像系では、輝度が一般的なシーンを撮影しても画像中心から離れるに従って明度が低下することが知られている。2台のカメラでこの明度低下の度合いが異なるため、2枚の画像の輝度差を正確に補正するためには、事前に各カメラで周辺明度低下の補正を行う必要がある。画像周辺の明度低下の原因としては $\cos^4\theta$ 現象と口径蝕現象がある^{(11),(12)}。

ここでは、 $\cos^4\theta$ 現象や口径蝕現象による明度低下に加え、その他の要因による明度低下や画素間の感度のバラツキによる固定パターンノイズも考慮に入れるため、そのようなモデルをもたずに単純な補正法を利用して明度低下を補正する。具体的には、放射輝度様の白色シーンを撮影し、画像全体で一様な輝度を持つと仮定し補正マップを作成することで周辺明度低下を補正する。

3.4.2 画像間の輝度差の補正

周辺明度低下の補正後、画像間で異なる濃淡や色調を一致させるため、一方の画像に対して輝度変換を行う。2枚の画像間の輝度変換を行う際には、対応する点の輝度値を比較して最小自乗法により変換式を求めたり、変換テーブルを作成するのが一般的である。ここでは、そのような位置の制約を用いず、任意の非線形な変換に対応するために、2枚の画像の輝度ヒストグラムが一致するように変換を行う。

ヒストグラムの変換には Yang らの手法¹³⁾を用いた。2枚の画像の輝度ヒストグラムを正規化し、その累積ヒストグラムをそれぞれ H_i^1, H_j^2 で表す。このとき、カメラ1の輝度 i に対応するカメラ2の輝度 j を次式のように求める。

$$j = \arg \min_j |H_i^1 - H_j^2| \quad (9)$$

この変換を RGB すべての輝度レベルに対して行う。一度変換テーブルを作成しておく、以後は異なる画像に対しても変換テーブルを用いた補正が行える。

4. 実験

シミュレーション実験と実際の画像に対してキャリブレーションを行い本手法の評価を行った。

4.1 シミュレーション実験

ここではキャリブレーション精度についての評価実験を行う。まず始めに高解像度カメラと低解像度カメラのパラメータを設定し、世界座標から画像上へ特徴

表 2 設定カメラパラメータ

Table 2 Camera parameters

		高解像度カメラ	低解像度カメラ
f	[mm]	55.0	10.0
$\kappa \times 10^{-4}$	[1/mm ²]	1.0	8.0
T_x	[mm]	-100.0	-100.0
T_y	[mm]	-100.0	-100.0
T_z	[mm]	600.0	600.0
R_x	[deg]	0.0	0.0
R_y	[deg]	30.0	30.0
R_z	[deg]	0.0	0.0
C_x	[pixel]	2000.0	500.0
C_y	[pixel]	1300.0	500.0

表 3 推定結果

Table 3 Estimated camera parameters

		高解像度カメラ	低解像度カメラ
f	[mm]	54.942623	10.596362
$\kappa \times 10^{-4}$	[1/mm ²]	0.999382	7.373913
T_x	[mm]	-100.478189	-75.190617
T_y	[mm]	-101.190593	-101.239043
T_z	[mm]	598.123076	635.357688
R_x	[deg]	0.986704	0.889282
R_y	[deg]	29.904136	32.220775
R_z	[deg]	-0.026804	-0.047176
C_x	[pixel]	1998.867619	452.927068
C_y	[pixel]	1309.058249	501.812715

点を変換する。画像上の特徴点に平均 0 標準偏差 0.2 のガウスノイズを付加し、幾何学的キャリブレーションを行い幾何補正する。ただし、画像サイズは高解像度側 4000×2600、低解像度側 1000×1000 とし、特徴点は世界座標で (0,0,0) から (225,150,0) まで 25mm 間隔で 10×7=70 個配置する。

設定したカメラパラメータを表 2 に示し、推定結果を表 3 に示す。誤差が含まれていても安定してパラメータが求められることがわかる。特徴点の誤差は基準平面上で平均 1.055259pixel であった。

4.2 画像に対するキャリブレーション

キャリブレーションパターンとして半径 10mm の円を中心間距離 25mm 間隔で 10×7=70 個平面に配置したパターンを用いる。ただし撮影に使用した高解像度カメラの画像サイズは 4006×2670、低解像度カメラの画像サイズは 1006×1016 である。特徴点として円の重心を検出し、世界座標とそれに対応する画像座標の組を得る。さらに、幾何学的キャリブレーションを行いパラメータを推定する。

高解像度入力画像と低解像度入力画像をそれぞれ図 13、図 14 に、それぞれのヒストグラムを図 15、図 16 に示す。

基準平面上に投影された特徴点の誤差は平均 0.624pixel、標準偏差 0.410、最大 2.342pixel であった。誤差の平均はサブピクセルとなり十分な精度で幾何補正されたことがわかる。

変換後の画像を図 17、図 18 に、それぞれのヒスト

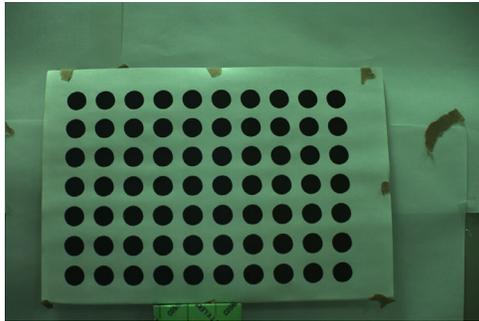


図 13 高解像度入力画像
Fig. 13 Input high resolution image

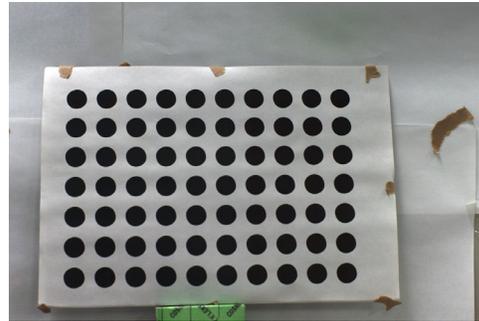


図 17 高解像補正画像
Fig. 17 Calibrated high resolution image



図 14 低解像度入力画像
Fig. 14 Input low resolution image



図 18 低解像度補正画像
Fig. 18 Calibrated low resolution image

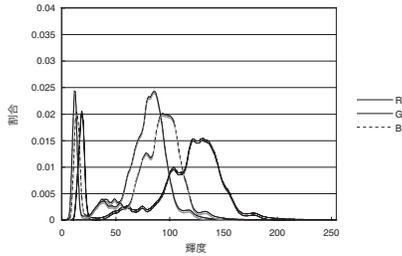


図 15 高解像度入力画像ヒストグラム
Fig. 15 Histogram of input high resolution image

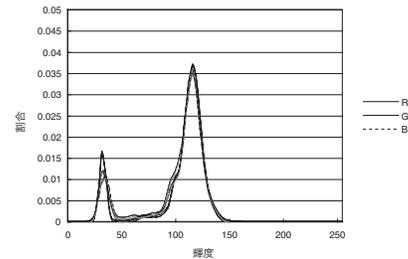


図 19 高解像度補正画像ヒストグラム
Fig. 19 Histogram of calibrated high resolution image

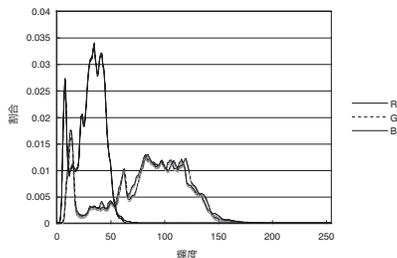


図 16 低解像度入力画像ヒストグラム
Fig. 16 Histogram of input low resolution image

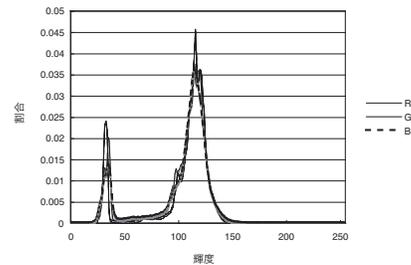


図 20 低解像度補正画像ヒストグラム
Fig. 20 Histogram of calibrated low resolution image

グラムを図 19, 図 20 に示す。また, その差分画像を図 21 に, 差分画像のヒストグラムを図 22 に示す。ただし差分画像はログスケールで示す。

図 21 よりエッジの部分で輝度に差があるのがわかる。しかし, 差分画像のヒストグラムを見てみるとその差は小さいものであった。以上の結果より本手法によって複合センサカメラのキャリブレーションがうま

く行われたのを確認した。

5. おわりに

本論文では高解像度低フレームレートと, 低解像度高フレームレートといった時空間周波数の異なるカメラを備える複合センサカメラシステムを提案した。本センサカメラでは, 高解像度低フレームレート動画像

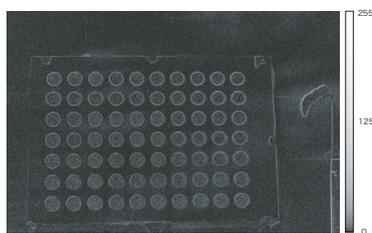


図 21 差分画像 (ログスケール)
Fig. 21 Subtracted image

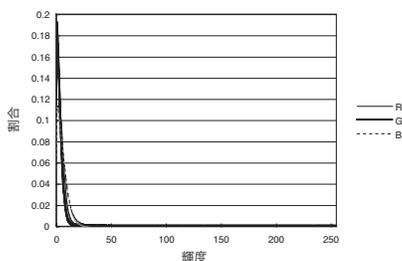


図 22 差分画像ヒストグラム
Fig. 22 Histogram of subtracted image

と低解像度高フレームレート動画を同一視点、同一視野で撮像できる。シーンを空間情報と時間情報に分割する新しいセンシングアプローチであり、これらの情報を統合することで、高解像度高フレームレートの高品質な映像生成などの応用に用いることができる。このようなアプローチに基づき、実際に複合センサカメラの試作を行った。また、本センサカメラに対応したキャリブレーション手法を提案し、試作センサにおいて画像補正が行えることを確認した。

今後は、本センサカメラシステムと我々の研究グループで提案している高解像度高フレームレート動画生成手法と組み合わせることで、高精細画像撮像や提示システムに本センサを応用していく。また、現在のシステムにおいては、画像補正をソフトウェア行っている。この画像補正処理のハードウェア化など高速化を検討することで、ライブ撮像配信など、実時間応用にも対応できるシステムに拡張する予定である。

を現段階では実現していないキャリブレーションのリアルタイム化について検討していく予定である。

謝辞 本研究の一部は独立行政法人情報通信研究機構「民間基盤技術研究促進制度」の援助を受けた。

参 考 文 献

- 1) 山下誉行, 三谷公二, 菅原正幸, 島本洋, 岡野: 走査線 4000 本級 4 板式超高精細動画カメラ, 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.3, pp.383-391 (2004).
- 2) 藤井哲郎: デジタルシネマの標準化とその最新動, IPSJ Magazine, Vol.45, No11, pp.1157-1163, Nov (2004).

- 3) 杉田馨, 高野孝英, 苗村健, 原島博: 4 眼撮像系を用いた広視野角ステレオ画像通信, 3 次元画像コンファレンス '99, 1-7, pp.37-42 (1996).
- 4) 田中健二, 鈴木保成, 荒川佳樹, 田中英史, 佐藤正人: 800 万画素超高精細カメラ, 第 13 回画像入力シンポジウム, pp.10-14 (2001).
- 5) 続元宏, 岩田洋夫: 旋回式高解像度実画像ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol.7, No.1, pp.49-57 (2002).
- 6) 渡邊清高, 岩井儀雄, 長原一, 谷内田正彦: 時空間周波数の異なる画像列からの高解像度動画の合成, 情報科学技術レターズ (FIT2004), Vol.3, No.LI-004, pp.169-172, Sep (2004).
- 7) 松延徹, 長原一, 岩井儀雄, 谷内田正彦, 田中紘幸: モーフィングによる高解像度高フレームレート動画の生成, 電子情報通信学会技術研究報告, Jan. (2005) (掲載予定).
- 8) Barnard, K, Cardei, V, Funt, B: A Comparison of Computational Color Constancy Algorithm-Part 1: Theory and Experiments with Synthetic Data, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.11, No. 9, pp972-984 (2002).
- 9) R. Y. Tsai: A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-self TV cameras and lenses, IEEE J. Robot. Automat. RA-3, No. 4, pp. 323-344 (1987).
- 10) J. Weng, P. Cohen and M. Herniou: Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, pp. 965-980 (1992).
- 11) B. K. P. Horn: Robot Vision, MIT Press, Ch. 10, pp. 206-208 (1986).
- 12) 天野晃, 浅田尚紀, 馬場雅志: ズームレンズの光学的ひずみの解析と補正: 可変円筒モデルを用いた口径蝕現象の解析と画像周辺明度低下の補正, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J80-D-II, pp. 1458-1465 (1997).
- 13) X-D Yang, Q. Xiao, and H. Raafat: Direct mapping between histograms: An improved interactive image enhancement method, In IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp. 243 - 247 (1991).