

小型複合センサカメラのシステム開発

神吉 良典[†], 長原 一[‡], 岩井 儀雄[†], 谷内田 正彦[‡]

[†]大阪大学大学院基礎工学研究科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

[‡]大阪工業大学情報科学部 〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1

[†] kanki@yachi-lab.sys.es.osaka-u.ac.jp, nagahara@sys.es.osaka-u.ac.jp,
iwai@sys.es.osaka-u.ac.jp, [‡] yachida@sys.es.osaka-u.ac.jp

近年のカメラ技術の発達に伴い、カメラの高解像度化や高フレームレート化が進んでいる。しかしながら、画像データレートが解像度とフレームレートの積に比例して増加することなどから、高解像度高フレームレート動画を取得することは一般的に困難であった。この問題を解決するための手法の1つとして、2つのカメラで同一シーンを撮像する複合センサカメラシステム [1] が提案されていたが、装置が大型であるという問題点があった。本研究では、2つの CCD を1つのカメラに内蔵した小型複合センサカメラを提案する。従来機と比較して取り扱いの容易な小型複合センサカメラを用いることにより、高解像度、高フレームレートな画像センシングや映像の取得をより容易に行うことが可能となる。

Development of Small Dual Sensor Camera System

Yoshinori KANKI[†], Hajime NAGAHARA[‡], Yoshio IWAI[†], Masahiko YACHIDA[‡]

[†]Graduate School of Engineering Science, Osaka University 1-3 Machikaneyama,
Toyonaka, Osaka, 560-8531, Japan

[‡]Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology 1-79-1
Kitayama, Hirakata, Osaka, 573-0196, Japan

[†] kanki@yachi-lab.sys.es.osaka-u.ac.jp, nagahara@sys.es.osaka-u.ac.jp,
[‡] yachida@sys.es.osaka-u.ac.jp

In recent years, image resolution and framerate of camera have are getting increased with progressing of camera technology. However, it was generally difficult to acquire high-resolution and high-frame rate image because image data rate is propotion to resolution and frame rate. To solve this problem, conventionally dual sensor camera[1] is developed, but there was problem that the system was big and heavy. In this paper, We propose the "small dual sensor camera" which has two CCD built-in at one camera. The small dual sensor camera that the handling is easy enables us to do image sensing and to capture high-resolution and high frame rate image easily.

1 はじめに

近年目覚ましい勢いでカメラ技術が発達する中、より安価で高性能なカメラに対するニーズが高まってきている。高性能なカメラの例として、高臨場感を与える高解像度、スムーズな動画再生を実現する高フレームレートの2つを満足するカメラが挙げられる。一般的に画像データレートがカメラの解像度とフレームレートの積に比例し、画像データの掃きだし速度が制限されることから、両者を高いレベルで実現することは困難である。そのため、解像度とフレームレートはトレードオフの関係にある。両者を

高いレベルで実現した高性能カメラの例として、日本放送協会 (NHK) が開発したスーパーハイビジョンカメラ [2] があげられる。このカメラは走査線 4000 本、フレームレート 60fps と非常に高い解像度とフレームレートを両立している。また、RED 社の開発したデジタルシネマカメラ [3] も解像度が 4520 × 2540 画素、フレームレートが 60fps での撮像が可能と、非常に高い解像度とフレームレートを持つ。しかし、一般的にこれらの高性能なカメラは高価な機材を用いることで実現されており、一般的な利用に結びつけるのは困難である。

これに対し、重本らは解像度とフレームレートの

異なる2台のカメラを使用することにより、1つのシーンの時間情報と空間情報を分離して撮像することが可能な複合センサカメラシステム [1] を提案している。このシステムでは、一方の高解像度低フレームレートカメラで解像度を優先した動画像を、もう一方の低解像度高フレームレートカメラでフレームレートを優先した動画像を取得することにより、カメラの画像掃きだし速度の制限をこえる解像度とフレームレートを持つ動画像を撮像することができる。また、高解像度低フレームレート動画像の撮像周期で2種類の動画像を同期撮像することにより、幾何学的情報が一致したキーフレームを得ることができる。このシステムの応用例として、監視システムへの応用があげられる。通常の人物、物体検出等には高フレームレート CCD を用い、人物特徴の確認など、高い解像度を必要とするシーンでは高解像 CCD の画像を用いることにより、高価な高解像度高フレームレートカメラなしでも監視システムとして十分な性能を得ることができる。これを利用することにより、高解像度の空間情報と高フレームレートの時間情報を互いに結びつけ、高解像度高フレームレート動画像を合成することが出来る。これによって、従来単体の高品質カメラを用いる上でネックとなっていた画像データレートの制限という問題を解決し、高い解像度とフレームレートを持つ動画像を安価に取得することを可能にするシステムであった。

同様に、単一のカメラでは高価な機材を必要とするなどの理由により実現が困難なシステムを、複数の視覚センサを組み合わせることによって実現する方法が数多く研究されている。例えば Ben-Ezra らは、長時間の露光を必要とするカメラで物体を撮影する際に問題となるモーションブラーに注目し、露光時間が長く解像度の高いカメラと、露光時間が短くフレームレートが高いカメラを用い、後者のカメラを利用して前者のモーションブラーを除去するシステム [4] を提案した。一方、Shechtman らは解像度とフレームレートの異なる複数台のカメラを用いて同シーンを撮像し、得られた画像から時間と空間の双方に対して超解像を行って高い解像度・フレームレートの画像を得るための手法 [8] を提案した。また、三菱電機は複数のハイビジョンカメラのライブ映像をオーバービューカメラを利用してつなぎ合わせることにより、広視野角・高解像度な動画像をリアルタイムに取得する手法 [5] を提案した。しかし、このように複数台のカメラを使用して実現するシステムは、単一のカメラを用いる場合に比べてサイズと重量の増

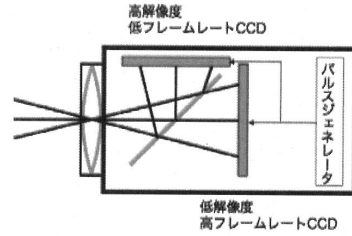


図 1: 小型複合センサカメラ

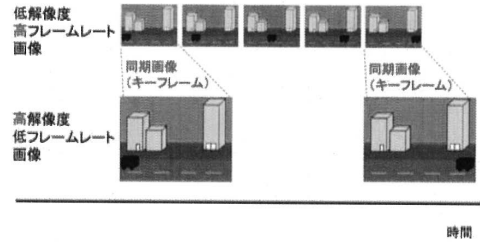


図 2: 画像の同期

加が問題となる。

そこで、本研究では、複合センサカメラシステム [1] を1つのカメラに収めて小型化することにより、複数のセンサを利用して高い性能を安価に得つつ、サイズおよび重量の増加を抑えたシステムを提案する。

以降、本システムの詳細について章2に、2つの CCD 間の特性を一致させるためのキャリブレーション処理について章3に示す。その後、これらの結果を確認するための実験結果について章4に示す。

2 小型複合センサカメラシステム

提案カメラの構成を図1に示す。小型複合センサカメラは高解像度低フレームレート CCD、低解像度高フレームレート CCD という特性の異なる2種類の CCD と、ビームスプリッターおよびパルスジェネレータを内蔵する。本カメラは、シーンからの入射光をビームスプリッターを用いて分光し、内蔵するそれぞれの CCD に投射する。そして、パルスジェネレータから送られる同期信号に従い、上記の投射光を同期撮像する。これにより、同一視点、同一視野で解像度とフレームレートが異なる2種類の同期動画像を撮像することが可能になる。

本研究において作製したシステムと重本らの複合センサカメラシステム [1] との大きな違いは、カメラ本体の小型化によりシステムの実用性を向上させた点にある。重本らが複合センサカメラシステムを試作する際に2台の異なるカメラを1つのシステムと

表 1: 小型複合センサカメラと複合センサカメラの寸法と重量の比較

	複合センサカメラシステム		小型複合センサカメラシステム	
	寸法 ¹ (cm)	重量(kg)	寸法(cm)	重量(kg)
カメラ	29.0 × 29.0 × 29.5	9.5	6.6 × 17.9 × 7.6	0.90
PC 本体	23.0 × 50.0 × 54.0	19.0	31.0 × 44.0 × 30.0(7.0 ²)	5.5
RAID	23.0 × 30.0 × 15.0	6.0		
ディスプレイ	37.0 × 18.0 × 39.0	5.0		

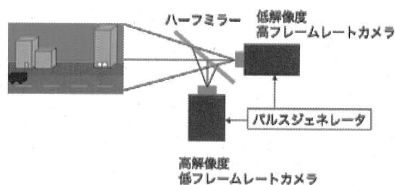


図 3: 複合センサカメラ



図 4: 小型複合センサカメラの写真



図 5: 高解像度画像 (2588 × 1958)



図 6: 低解像度画像 (1000 × 1000)

して用いていた (図 3) のに対し, 本研究では 2 台のカメラから CCD 基板を取り出し, ビームスプリッターとともに 1 台のカメラに内蔵した。これにより, カメラの小型化と使いやすさの向上を実現した。

今回試作した小型複合センサカメラと従来の複合センサカメラの寸法と重量について, 表 1 に示す。表 1 より, 小型複合センサカメラは体積が複合センサカメラの約 3.6%, 重量が約 9.5% と大幅に小型化, 軽量化がなされていることが分かる。また, 提案システムにおいては撮像システムにノートパソコンを使用している。このため, システム全体の規模も小型化されていることがわかる。

本システムを用いることにより, シーンの空間情報と時間情報を分割して撮像可能となる。また, システムが小型化されたことにより, 撮影時の装置の取り扱いやセッティングなどが容易となる。

また, 本システムは従来研究されてきた 2 つのカメラを用いるシステムと同様に用いることが可能である。例えば, 高解像度 CCD の露光時間を長く, 低解

像度 CCD の露光時間を短く取ることによって, Ben-Ezra らのシステムと同様の効果を得ることができる。また, 図 2 に示すように高解像低フレームレート画像と低解像高フレームレート画像を同一のタイミングで撮像した画像 (キーフレーム) を利用することにより, 渡邊ら [6] や松延ら [7], Shechtman ら [8] の提案した高解像度高フレームレート画像生成手法を適用することにより, 高解像度高フレームレートな画像を生成することが可能になる。

本研究においては, 実際に小型複合センサカメラを試作した。実機の作製に当たり, 高解像度低フレームレートカメラとして Allied Vision Technology 社の Oscar F-510C を, 低解像度高フレームレートカメラとして同社の Pike F-100C を使用した。

試作したカメラを図 4 に, その仕様を表 2 に示す。また, 本機を用いて撮像した高解像度画像と低解像度画像の例をそれぞれ図 5, 6 に示す。

¹寸法は幅, 奥行き, 高さの順

²括弧内はディスプレイを閉じた状態での値

表 2: 試作した小型複合センサカメラの仕様

	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	2588 × 1958	1000 × 1000
フレームレート	3.75fps	30fps
CCD サイズ	8.8mm × 6.7mm	7.4mm × 7.4mm
セルサイズ	3.4μm × 3.4μm	7.4μm × 7.4μm
BS の光量	7	3

2.1 CCD の設置と構造上の制約

複合センサカメラシステムにおいては、2つの CCD を設置する位置に構造上の制約が存在する。

同一シーンの画像を取得するためには2つの CCD の画角を一致させる必要がある。ここで、CCD のサイズと使用するレンズの焦点距離 f [mm]、そのときの画角 θ [deg] との間には、

$$\theta = \frac{180}{\pi} \times 2 \arctan \frac{x}{2f} \quad (1)$$

という関係が存在する。ここで x は受光面の縦、あるいは横のサイズで、その時 θ はそれぞれ垂直画角、水平画角になる。

小型複合センサカメラにおいては、高解像度 CCD と低解像度 CCD の双方が同一のレンズを用いるため、焦点距離 f が一定となる。そこで、高解像度 CCD と低解像度 CCD のサイズ x を一致させることにより、高解像度 CCD と低解像度 CCD が同様の画角 θ を得ることが可能となる。

また、それぞれの CCD はレンズの種類により厳密に規定されるフランジバック b [mm] (交換レンズの取付面から CCD までの距離) の位置に設置する必要がある。このため、ビームスプリッターの屈折方向に設置する CCD の基板の縦サイズ d [mm] は、フランジバックよりも小さくなければならないという以下の制約が存在する。

$$d < b \quad (2)$$

なお、従来研究のように2台の異なるカメラを使用した際には、CCD の受光面積 x の違いにより、画角 θ を一致させるために焦点距離 f に制約が発生する。このため、2台のカメラで異なるレンズを使用する必要があり、2つの CCD により得られる画像の幾何学的関係が非線形関係となっていた。詳細については章 3.1 に示す。

実際に作製した小型複合センサカメラでは、高解像度 CCD に 2/3 インチフォーマット (diag. 11mm) の CCD を、低解像度 CCD に 2/3 インチフォーマットの CCD (diag. 10.5mm) を使用することでほぼ同様の

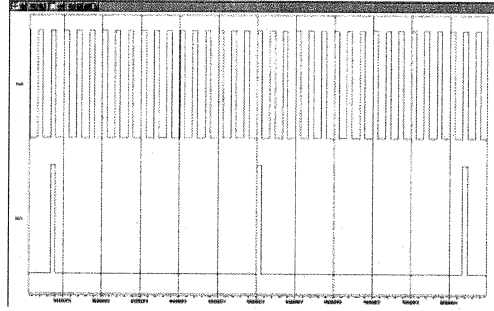


図 7: 同期パルスのシミュレーション結果

画角を得た。また、レンズとして Nikon 社の F マウントレンズを使用した。Nikon 社の F マウントレンズはフランジバックが 46.5mm であり、上記のフランジバックと CCD サイズの制約を満足する CCD 基板を持つカメラを用い、小型複合センサカメラを作成した。

2.2 ビームスプリッターの選定

高解像度 CCD と低解像度 CCD はほぼ等しいサイズであるが、解像度およびセルサイズが大きく異なる。そのため、高解像度 CCD のほうが低解像度 CCD に比べて感度が低く、多くの光量を必要とする。今回作成した実機の 1 画素あたりの CCD の面積比は、表 2 に示したように $3.4\mu\text{m} \times 3.4\mu\text{m} : 7.4\mu\text{m} \times 7.4\mu\text{m} \approx 2 : 8$ である。入手可能なビームスプリッターから選定を行った結果、ビームスプリッターとして反射光と透過光の比が 7:3 のものを使用することにより、各 CCD による取得画像の輝度差を抑えた。

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、フレームレートの異なる 2 つの CCD 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 3.75 fps、低解像度高フレームレートカメラは 30 fps であるので 1:8 の割合で 2 つの動画像を同期させて撮像する。すなわち、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 9 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。同期パルスのタイミングチャートを図 7 に示す。

パルスジェネレータからは 30Hz と 3.75Hz の TTL パルス信号を出力することにより、2 つの CCD を同期させることができる。システム全体の小型化のため

め、パルスジェネレータ回路を製作するにあたり、マイクロチップ・テクノロジー社のマイクロコンピュータ PIC18F1320(以下、同期信号発生 IC と呼ぶ)を用いた。同期信号の発生は以下の手順で行う。同期信号発生 IC の内部一定時間経過するとに割り込み処理を発生させ、低解像度 CCD 用の同期信号を出力する。そして、低解像度 CCD 用の同期信号を X 回出力するごとに、高解像度 CCD 用の同期信号を 1 回出力する。

なお、ディップスイッチを用いて発信する信号のタイミングを変更することも可能である。ディップスイッチは 4 極のものを使用して製作した。スイッチが ON のとき、同期信号発生 IC ピンの対応する入力は L レベル、OFF のときは H レベルとなる。

2.4 画像の取り込み、保存

カメラで撮像した画像データを実時間で PC に取り込み、ディスプレイ表示させつつハードディスクに記憶させるソフトウェアを実装した。開発に当たっては、Visual C++ 2005(Microsoft 社)および FirePackage(Allied Vision Technology 社製ソフトウェアパッケージ)を用いた。

画像の取り込みおよび表示には「ダブルバッファ処理」を用いた。ダブルバッファ処理とは、画像の取り込み・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 8 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 M_1 で画像の取り込みを行い、それに並行してメモリ M_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 M_2 で画像の取り込みを行い、それに並行してメモリ M_1 に格納された画像データの表示、保存を行う。これらの処理を繰り返して行う。これによって次の画像取り込みまでの待ち時間を減らし、高速に取り込み処理を実現することが可能になる。

低解像度高フレームレートカメラの画像データレートは 30MByte/sec であり、転送速度の限界から通常のノート PC 用ハードディスクを用いて記録することは困難である。そこで本システムでは、低解像度高フレームレートカメラの画像を保存するに当たり、Mtron 社の高速 SSD を用いた。高速 SSD は記憶媒体としてフラッシュメモリを用いるドライブ装置である。HDD のようにディスクを持たないため、データの読み書きの際に読み取り装置(ヘッド)をディスク上で移動させる時間(シークタイム)や、ディスク上の目的の

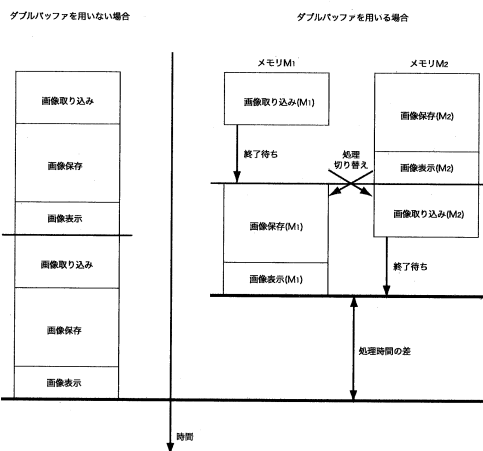


図 8: ダブルバッファ処理の流れ

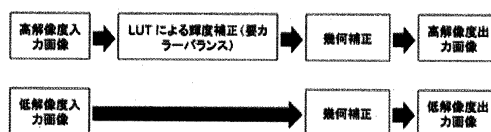


図 9: 処理の流れ

データがヘッド位置まで回転してくる時間(サーチタイム)が存在しない。このためデータの読み書きが HDD に比べて高速化されている。

3 キャリブレーション

撮像により得られた高解像度低フレームレート動画画像と低解像度高フレームレート動画画像を高解像度高フレームレート動画画像に統合するためには、キーフレームにおいての高解像度画像と低解像度画像の特性が一致している必要がある。しかし、実際には 2 つの CCD の設置位置や CCD 特性の違いにより幾何学的・光学的な差が生じる。そこで、取得した画像に幾何学的、光学的キャリブレーション処理を行い、画像の特性を補正する必要がある。小型複合センサカメラに対して実行するキャリブレーション処理の流れについて図 9 に示す。

本章では、行ったキャリブレーション処理の詳細について示す。キャリブレーション処理の結果については、後に節 4.2 にて示す。

3.1 幾何学的補正

一般的に CCD の画像座標の幾何学的対応関係は、カメラの取り付け位置や画像中心、CCD により異なる。

る受光素子の密度の違い、レンズ歪みや画像間の視差等によって生じる。これらの関係のうち、カメラの取り付け位置、画像中心、CCDにより異なる受光素子の密度の違いは画像間の幾何学的関係に線形問題として、レンズ歪みおよび画像間の視差は非線形問題として表せることが分かっている。

本研究で用いる小型複合センサカメラにおいては、図1に示すように低解像度高フレームレートで撮像可能なCCDと高解像度低フレームレートで撮像可能なCCDの2つのCCDを内部に持ち、同一のレンズを持つ。このためレンズ歪みなどの非線形な光学系の違いを考慮する必要がない。これにより、2つの画像の幾何学的な対応関係を表すモデルが簡易なものになり、回転・スケーリング・並進のみを考慮した式3のような線形モデルで表すことができる。ここで (X^{high}, Y^{high}) は高解像度画像上の座標を、 (X^{low}, Y^{low}) は低解像度画像上の座標を表す。また、 $c_1 \sim c_6$ はカメラごとに異なるパラメータである。

$$\begin{aligned} X^{high} &= c_1 X^{low} + c_2 Y^{low} + c_3 \\ Y^{high} &= c_4 X^{low} + c_5 Y^{low} + c_6 \end{aligned} \quad (3)$$

これに対して従来の2つのカメラを使用するシステムにおいては、使用するレンズが異なっていたため、座標を対応させるために非線形モデルを用いる必要があった。これは2つのカメラの間に生じる視差の関係や、カメラ間のレンズ歪みの関係が非線形関係として表されるためである。そのため、幾何学的補正の際の計算量が膨大なものになっており、実時間処理の障害になっていた。

このように、一体化複合センサカメラを用いることによって幾何学的キャリブレーションの簡易化や幾何学的補正の際の計算量の軽減が可能になる。同時に、そのモデルの簡易さから、市販の安価なグラフィックチップであるGPU(Graphics Processing Unit)を用いて高速な処理が可能となる。そのため、提案システムを実時間処理を含むさまざまな応用に用いることが出来る。

実際に幾何学的補正を行うにあたり、キャリブレーションパターンを撮影してその対応関係から式3のパラメータ $c_1 \sim c_6$ を求めた。その後、得られたパラメータを用いて幾何学的補正を行うことにより、低解像度CCDと高解像度CCDのそれぞれから同一範囲を切り出した。

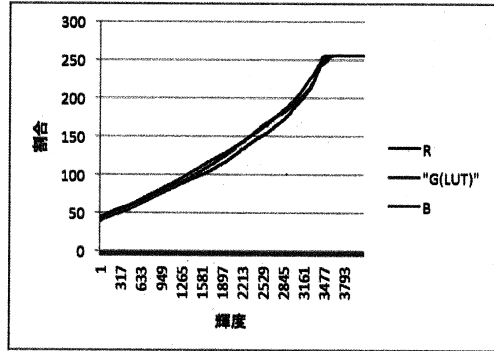


図10: 高解像度CCDのLUT

3.2 光学的補正

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。そこで、今回製作に使用したカメラが持つLook Up Table (以下LUT)機能を利用し、2つのCCDによる撮像画像の輝度値を近づけることを提案する。

ここで、LUT機能についての説明を行う。LUTは入力輝度に対する出力輝度の入出力対応テーブルであり、一般的に画像のコントラストの改善や明るさの変更などに利用される。入力輝度と出力輝度の関係とをあらかじめ作成しておき、そのテーブルを参照することにより、PCに計算による負担をかけることなく輝度を変換することができる。例えばテーブルの120番目に240という数字を入れたとき、入力輝度が120の画素の出力値はテーブル参照により240に置き換えられることになる。

今回製作に使用したCCDのA/Dコンバータの分解能は、高解像度CCDにおいて 2^{12} 階調、低解像度CCDにおいて 2^{14} 階調である。しかし、データの転送速度および保存速度の限界により、解像度およびフレームレートを最大に設定した際の画像の分解能は 2^8 階調とするのが限界となる。なお、LUTによる変換により高解像度CCDの分解能は 2^{12} 階調から 2^8 階調に、低解像度CCDの分解能は 2^{14} 階調から 2^{14} 階調となる。よって、高解像度CCDの出力値を変更するため、12ビットで得た高解像度CCDの画像と8ビットで得た低解像度CCDの画像の対応関係を得る。

LUTの設定は以下の方法で行う。まず、複数シーンを光量・レンズの絞り等を変化させて撮像し、シーンに依存しない累積ヒストグラムを2種類作成する。作成した累積ヒストグラムを基に、低解像度CCDの



図 11: 同期動画像

輝度に対応する高解像度 CCD の輝度を求める。

なお、LUT 機能は RGB 全ての色について同様のマッピングを行うため、撮像前にカラーバランスを調整することが必要である。ここでは、Bayer 画像の中で最も多い成分である G 成分を基準に行う。それぞれの CCD の RGB のカラーバランスを適切に設定することにより、されているならば、G 成分を合わせる際にその他の成分についても十分近い値に変換することが可能である。

作成した LUT と、その際の RB 成分の累積ヒストグラムを図 10 に示す。

LUT により画像の補正を行うことには以下のメリットが存在する。高い階調の段階で変換処理を行うことにより、画像情報の劣化を防ぐことができることである。例えば、取得した 2^8 階調の画像に対し、同様に累積ヒストグラムより変換テーブルを作成したとすると、変換後の画像の階調は 2^8 階調よりも小さくなる。よって、データの一部を失うことになる。これに対して、LUT による変換では 2^{12} 階調から 2^8 階調のデータを取得するまでの間に変換処理を加えるため、階調の損失が小さい。

4 実験

製作した実機を用いて画像の撮像を行い、評価を行った。なお、高解像度 CCD がインタレース CCD であるため、結果をわかりやすくするため動画は全て G 成分のみ表示している。

4.1 同期動画像の取得

高解像度 CCD および低解像度 CCD で取得した同期動画像が取得されていることを図 11 にストップウォッチの時間の変化によって示す。図の上を示した画像が高解像度 CCD で撮影された動画像を、下の図がそれに同期する形で撮影された低解像度動画像の時間の推移を表している。以上の結果より、正確に同期画像が撮影されていることがわかる。

4.2 キャリブレーションの実行結果

LUT を用いて取得した高解像度画像を図 12 に、幾何学的キャリブレーション処理を行った結果を図 13 に示す。また、そのときの対応する低解像度画像を図 14 に示す。以上の結果より、キャリブレーションが適切に行われたことを確認した。

5 終わりに

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の小型化を提案した。これにより、従来に比べてより簡易に、解像度とフレームレートの異なる 2 種類の動画像を同一視点・同一視野で撮像し、シーンを空間情報と時間情報に分割して撮像することが可能となった。これらの情報を統合することにより、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、単一のカメラを用いる場合と比べてより



図 12: 高解像度画像 (光学的キャリブレーション後)



図 14: 低解像度画像 (幾何学的キャリブレーション後)



図 13: 高解像度画像 (光学的・幾何学的キャリブレーション後)

高品質な映像を取得することが可能となる。本論文においては、実際に小型複合センサカメラの試作を行った。また、本センサカメラにおける画像処理手法についての考察を行い、適切な画像処理方法を提案した。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。

参考文献

- [1] 重本 倫宏, 星川 章, 長原一, 岩井 儀雄, 谷内田 正彦, 鈴木俊哉: 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, 情報処理学会論文誌, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.47, No.SIG5(CVIM13), pp.35-44(2006).
- [2] 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).

- [3] RED Digital Cinema, <http://red.com/>
- [4] Moshe Ben-Ezra, Shree K. Nayar: Motion-Based Motion Deblurring, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.26, No.6, pp.689-698(2004).
- [5] 三菱電機, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news-data/2008/pdf/0214-d.pdf>
- [6] K. Watanabe, Y. Iwai, H. Nagahara, M. Yachida and T. Suzuki: Video Synthesis with High Spatio-Temporal Resolution Using Motion Compensation and Spectral Fusion, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E89-D, No.7, pp.2186-2196, (2006).
- [7] H. Nagahara, T. Matsunobu, Y. Iwai, M. Yachida, T. Suzuki: High-resolution Video Generation Using Morphing, Proc. IAPR Int. Conf. Pattern Recognition (ICPR2006), Vol.IV, pp.338-341, Hong Kong(2006).
- [8] E. Shechtman, Y. Caspi, M. Irani: Space-Time Super-Resolution, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.27, No.4, pp.531-545(2005).
- [9] 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).