

# 不均一フレームレートカメラの時間的同期と 多視点映像コンテンツへの応用

清水 直樹<sup>†</sup> 橋本 昂宗<sup>†</sup> 植松 裕子<sup>†</sup> 斎藤 英雄<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科 〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: †{naoki,takanori,yu-ko,saito}@hvrl.ics.keio.ac.jp

**あらまし** 本論文では、フレームレートが不均一なカメラを含んだ多視点カメラ間の時間的同期手法を示す。USB 接続の WEB カメラや赤外線距離センサーをもつデプスカメラ等はフレームレートが不均一であるため、時間的なフレーム同期をとることが困難であった。シーンの動き情報から得た信号の類似性を利用することによって、カメラ間の時間的同期を行う手法を提案する。さらに野球のキャッチャー視点映像生成手法およびビーチバレーを撮影したカラーカメラ、デプスカメラの時間的同期に本手法を適用し、フレームレートが不均一なカメラの時間的同期が可能であることを確認した。

**キーワード** 3D 映像, デプスカメラ, カメラ同期, DP マッチング, 仮想視点映像

## 1. はじめに

近年、複数のカメラを用いて撮影した映像データをコンピュータ内部で融合し、その情報を用いて対象シーンの 3 次元情報を取得することで、臨場感のある 3D 映像やカメラが存在しない仮想視点における映像を生成する研究が盛んに行われている [1] [2]。

対象シーンの 3 次元情報を取得する代表的な手法は、多視点撮影によるものが挙げられる。多視点撮影による 3 次元情報取得手法では、複数の視点から対象を撮影した映像を入力とし、ステレオ視をベースとしたアルゴリズムによって撮影映像中の距離の推定を行う。しかし、多視点ベースの距離推定手法は計算コストが高くなりがちであるため、処理のリアルタイム性を重視するような場合は特に、取得した画像から距離を推定するのではなく、距離情報を直接取得可能なデバイスが多く用いられている。

TOF (Time of Flight) 方式のデプスカメラは赤外線やレーザーの反射時間からシーンの距離を測定するデバイスである [4]。しかしデプスカメラには、音声および色情報を取得できない、低解像度である、PC を経由してキャプチャーを行うためにフレームレートが不均一になる、といった問題点が存在する。したがって、通常のビデオカメラで撮影したような解像度、色情報を持った映像に距離情報を付加するためには、デプスカメラとカラーカメラを組み合わせる必要がある [5] [6]。

複数のカメラからの映像を組み合わせるためには、当然ながら同じ瞬間をキャプチャーしたフレームを入力しなければならないため、カメラ間の時間的同期が必要である。現在広く行われている同期手法は、カメラに外部からの同期信号を入力し、あらかじめ同期がとれた状態で撮影を行うというものである。しかしカメラ

が同期信号の入力に対応している必要があるため、使用できるデバイスは限られる。このため消費者に普及しているデジタルカメラや WEB カメラ等の安価なカメラや、前述のような USB 接続のデプスカメラでは、外部同期信号を利用した同期を行うことはできない。そこで本論文では外部のハードウェアを用いるのではなく、ソフトウェア処理による同期を目的とした。

ソフトウェアによる同期処理の代表的なものとして、横井らの実験 [7] のように、音声信号を利用した同期フレーム検出が挙げられる。しかし、音声入力を持たないデプスカメラも多く、WEB カメラ搭載のマイク性能にも依存するため音声信号を用いた同期を行うことは難しい。

映像信号を利用した同期手法として、カメラ間の幾何関係を用いた手法が挙げられる [8]。Tuytelaars らの手法 [9] では、各カメラのフレームレートが同一であることを前提として、カメラ間で共通の 3 次元点の動きを追跡することで同期を行っている。フレームレートが異なるカメラを利用する場合にも、映像を時間的に線形変化させることで対応可能であるが、これらはフレームレートがある一定の値で保たれていることが前提である。つまり、WEB カメラやデプスカメラのように USB 接続によって PC 経由でデータをキャプチャーする場合には、使用するプログラムや OS の非リアルタイム性によって、フレームレートが不均一になってしまう。したがって、フレームレートが一定の通常のカラーカメラ映像とフレームレート不均一の WEB カメラやデプスカメラ等の映像を組み合わせる場合に行う場合には、フレームの非線形な同期が必要である。

また、デプスカメラから得られるグレースケール画像が、通常のカメラから得られる画像とは違い、赤外線やレーザーの反射強度から生成されるという問題もある。

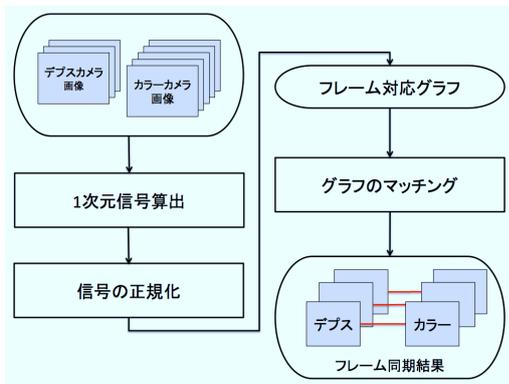


図1 手法の流れ

反射強度は被写体の反射率によって変化するため、デプスカメラで得られる反射強度画像の明度値は、通常のグレースケール画像との相関性が低くなってしまふ。したがって画像の明度値そのものを用いてのフレーム対応付けは難しい。

そこで本手法では、映像中の時系列的变化に着目した信号を算出し、その信号をDPマッチング法によって非線形に対応付けすることで、フレームレートが不均一なカメラを含んだカメラ群のフレーム同期を行った。

## 2. 提案手法

### 2.1 手法の概要

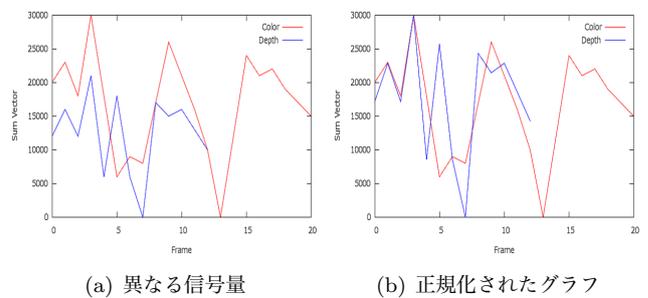
本手法の概要を図1に示す。各カメラで撮影した画像群を入力とし、同時にキャプチャーされたフレームのペアを出力する。

まず各カメラから入力された時間的に連続な画像群から、時系列的に変化する1次元信号を計測する。計測する1次元信号は、映像の時系列的な動きの変化に着目したものであり、各カメラの撮影対象が同一であれば、各カメラの1次元信号には類似性が生まれる。本手法ではこの類似性に着目し、複数カメラの時間的同期を行う。

カメラごとにフレームレートが異なる場合、1次元信号から時間的同期を行うためには、1次元信号-フレーム対応のグラフをフレーム軸方向に伸縮させる必要がある。しかしデプスカメラのフレームレートは不均一であるため、グラフの伸縮は非線形に行わなければならない。そこで本手法ではDPマッチング法を用いて、2つのグラフが最も類似するよう非線形伸縮させることで、それぞれのカメラ映像から同時刻にキャプチャーしたフレームを取り出し、時間的同期を行った。

### 2.2 1次元信号の算出

それぞれのカメラで撮影された映像の各フレームから、時系列的に変化する信号を算出する。算出する信号は対象シーンの動き情報に着目したものであるが、本論文で示す実験では、実験環境によって2種類の信号を用いた。撮影対象となる移動物体の大きさやカメラからの距離から、映像中の移動物体に十分な解像度が得られている場



(a) 異なる信号量 (b) 正規化されたグラフ

図2 グラフの正規化

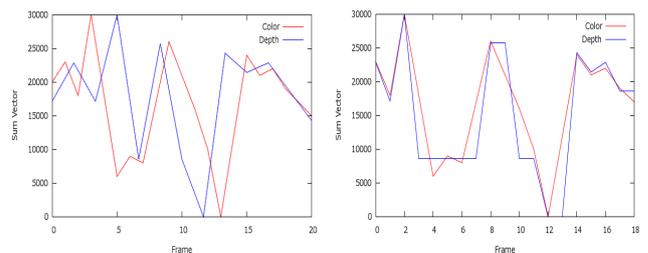
合はオプティカルフローを基とした信号を算出した。移動物体に十分な解像度が得られていない場合は、移動物体の3次元的位置の推移に着目した信号を算出した。詳しい信号算出手法については各実験の項で述べる。

各フレームから1次元信号を算出することで、各カメラについて1次元信号-フレーム対応のグラフを得ることができる。カメラの設置場所や解像度によって各フレームでのスケールが異なるため、各カメラについて正規化を行う(図2(b))。

### 2.3 DPマッチングによる同期処理

2.2で得られた1次元信号-フレーム対応のグラフは、図2(b)に示すようにフレームレートの違いによって時間軸のスケールも異なるため、グラフを伸縮させる必要がある。単純に対象シーンのフレーム数だけを考慮してグラフを線形変化させた場合、デプスカメラのフレームレートが不均一なために正確な信号の同期をとることができない(図3(a))。

そこでDPマッチングを用いて信号を非線形に伸縮させることでフレーム単位で信号の同期をとる(図3(b))。DPマッチングによる信号の類似性の評価には、要素のラベルのズレに対する経路コストの設定が必要である。今回は、映像のフレーム番号を要素のラベルとした。また、経路コストに加えて要素のデータの不一致に対するコストも設定する。本研究においては、要素のデータの不一致は各フレームに対応する1次元信号の差で表す。なおコストの設定に関しては、図4のようにDPマッチングによる伸縮処理を行った際に1次元信号の差が減少し、フレームが適切にずれるように設定した。



(a) 線形なグラフ伸縮 (b) 非線形なグラフ伸縮

図3 グラフ伸縮

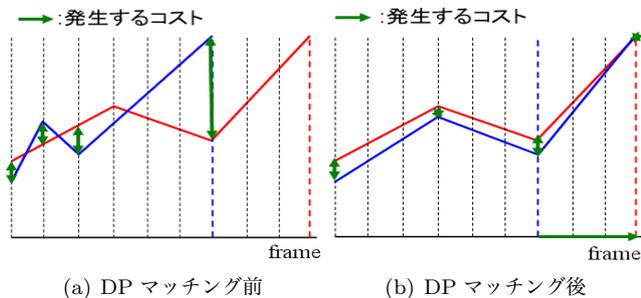


図4 DP マッチングによるコストの変化

### 3. 実験

#### 3.1 実験環境

今回はフレームレートが不均一なカメラとして、スイス MESA IMAGING 社の SwissRanger SR4000(フレームレート約 20fps, 解像度 176 × 144) を用いた。このデプスカメラでは、照射した赤外線反射時間および反射強度から、対象までの距離を明度値の大小で表す距離画像(図 5(a))と、赤外線の反射強度を明度値の大小で表す反射強度画像(図 5(b))を撮影することができる。

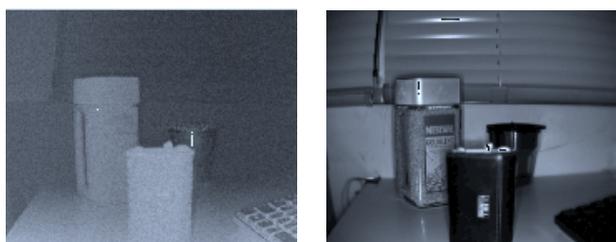
本手法の有効性を確認するため、以下に示す 3 種類の実験を行った。

- (1) 視差:小, カラーカメラ - デプスカメラの同期
- (2) 視差:大, デプスカメラ同士の同期  
撮影対象:左右対称な動き
- (3) 視差:大, デプスカメラ同士の同期  
撮影対象:左右非対称な動き

#### 3.2 1次元信号の算出

本実験では、時系列的に変化する 1次元信号を、2枚のグレースケール画像から計測されるオプティカルフローから算出した。カラーカメラからキャプチャーした各フレームのカラー画像をグレースケール化した画像と、デプスカメラの反射強度画像(図 5(b))を用いた。

オプティカルフローの計算には、大きく分けて勾配法とブロックマッチング法があるが、本手法では比較的ノイズに強いブロックマッチング法を用いてオプティカルフローを計算した。各カメラの各フレームに対して画素ごとの速度ベクトルを取得したら、フレーム  $f$  における全画素の速度ベクトルの総和を次のように求める。



(a) 距離画像 (b) 反射強度画像

図5 デプスカメラの撮影画像



(a) カラーカメラ画像 (b) デプスカメラ画像

図6 実験(1)入力画像例



(a) デプスカメラ画像1 (b) デプスカメラ画像2

図7 実験(2)入力画像例



(a) デプスカメラ画像1 (b) デプスカメラ画像2

図8 実験(3)入力画像例

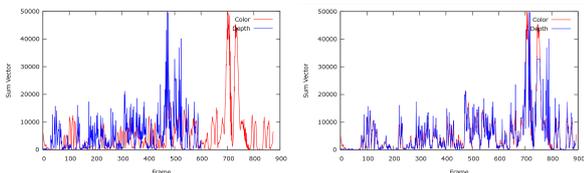
$$S(f) = \sum_{i,j} |v_{i,j}| \Big|_{\text{frame}=f}$$

$v_{i,j}$  は画素  $(i, j)$  のオプティカルフローであり、 $W, H$  は各画像のサイズを表す。このようにカラーカメラとデプスカメラの全フレームに対して  $S(f)$  をそれぞれ求め、各カメラについての 1次元信号とする。

#### 3.3 実験手順・結果

各実験では 2 台のカメラで同一シーンを約 30 秒間撮影し、図 6, 図 7 のような画像群を入力としてフレーム同期処理を行った。実験 (1) において得られた、各カメラのフレームと 1次元信号のグラフを図 9(a) に示す。目視にて同一であるとみなしたフレームを開始フレーム (frame 0) としているが、カメラ間のフレームレートの差異およびデプスカメラの不均一なフレームレートによって、2つのグラフにはフレーム軸にズレが生じている。一方でこれら 2つの信号は、ピークの様子などからほぼ同様の波形であると考えられる。よって、DP マッチングによって非線形にグラフを伸縮させ、フレーム方向のスケールを合わせることができれば、両者の同期をとることが可能であると考えられる。

DP マッチングによってコストが最小となるように各グラフを伸縮させた結果を図 9(b) に示す。また 2つのカメラのフレーム対応関係を図 10 に示す。“+”印は目視



(a) 1次元信号 (b) 同期結果

図9 1次元信号の同期

赤:カラーカメラ 青:デプスカメラ

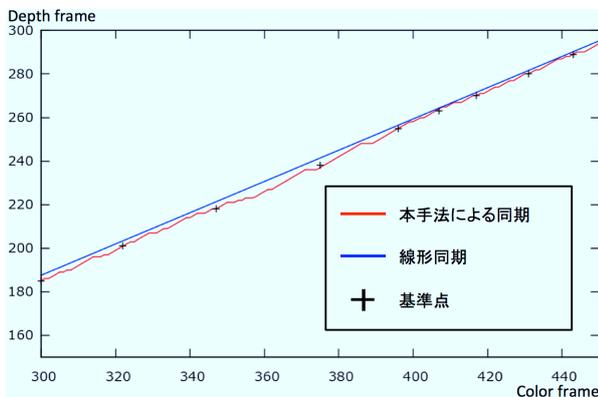


図10 フレーム同期結果 (拡大図)

で確認した同期フレームの組を示しており、それを基準にグラフを線形に伸縮させた同期結果を青線で、本手法による同期結果を赤線で示している。この結果より、目視での同期結果を真値としたとき、本手法が線形伸縮よりも小さい誤差で同期フレーム組を検出できていることが確認できる (図10)。

### 3.4 結果の比較・考察

表1に各実験における本手法の精度について示した。目視によってほぼ同時刻のフレームであると認識できた30組を基準とし、それらとの差分を誤差としている。実験(1)、(2)については、平均誤差が0.1秒以内に収まっている。オプティカルフローから得た信号を総和して利用しているため、実験(2)のように視差が大きい状態でも撮影対象が左右対称な動きであれば比較的正確な同期結果を得ることができた。

それに対し、実験(3)においては平均して0.1秒を超える誤差が生じた。実験(3)では視差が大きい環境で撮影対象が左右非対称な動きを行ったため、2つのカメラ間で対象の動きが大きく異なり誤差が生じたと考えられる。

また、視差が小さい実験(1)よりも視差が大きい実験(2)の最大誤差が小さかったことについては、図6から

表1 フレーム同期精度の比較

	実験(1)	実験(2)	実験(3)
最大誤差 (frame)	9	6	13
平均誤差 (frame)	1.5	1.8	3.4
最大誤差 (sec)	0.3	0.2	0.4
平均誤差 (sec)	0.05	0.06	0.11

わかるようにカラーカメラとデプスカメラの画角が異なることが原因であると考えられる。画角が異なることによって、実験(3)における誤差の原因と同様に対象の動きが大きく異なって見える時間帯が存在したため、最大誤差が大きくなる原因となったと考えられる。

## 4. 仮想視点生成アプリケーションへの応用

本手法によるカラーカメラとデプスカメラの時間的同期を、野球シーンでの仮想視点生成へと応用する。橋本らの研究では、キャッチャーの後方に設置したカメラ映像から、キャッチャーや審判を取り除き、ピッチャーを可視化した映像を生成する手法を提案している[10]。通常、キャッチャーの後方にカメラを設置した場合、キャッチャーや審判に視界が遮られるが、映像中から障害物を取り除き、複数視点カメラの映像を用いてピッチャー像を復元することで、キャッチャー視点での映像の生成を行った。

キャッチャー後方のカメラ映像から障害物領域を抽出する際、従来は色情報を基にした Graph Cut を用いていたため、抽出精度と処理速度に問題があった。そこで、リアルタイムに距離画像を得ることができるデプスカメラを併用することで、障害物領域の抽出を行うこととした[11]。撮影映像および実験環境を図11、図12に示す。除去したい障害物である審判およびキャッチャーとバッターは、カメラに対しての距離が異なるため、デプスカメラの距離画像から障害物領域を容易に抽出することができる。

このように、デプスカメラを用いることによって高速に障害物を抽出することができるが、上述の通り、デプスカメラとカラーカメラはフレームレートが異なり、またフレームレートが不均一であるために、1フレームずつ手動で同期を取る必要があった。そこで、今回提案したフレーム同期手法を、橋本らのキャッチャー視点映像生成手法に適用して自動的な同期処理を実現し、本手法の有用性を確認した。1次元信号の算出には、3.章と同じく、反射強度画像から計測されるオプティカルフローを用いた。

実験には、ピッチャーが1回投球を行う間の映像(カラー映像104フレーム、デプスカメラ映像96フレーム)を入力とし、本手法を用いてカラーカメラとデプスカメラのフレーム同期を行った。本手法による同期結果と目



(a) カラー画像 (b) 距離画像

図11 キャッチャー後方面像

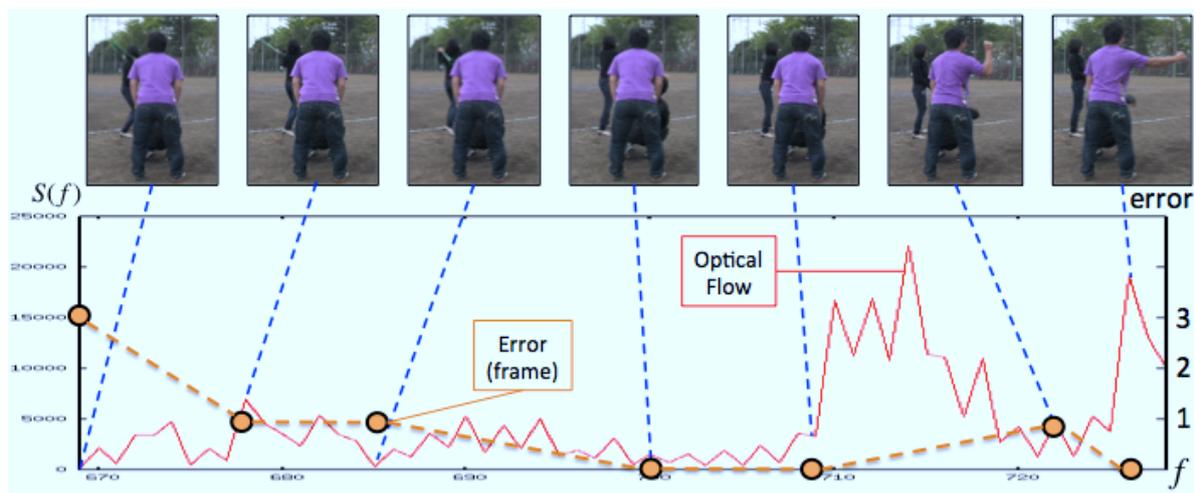


図 13 信号量と誤差の関係

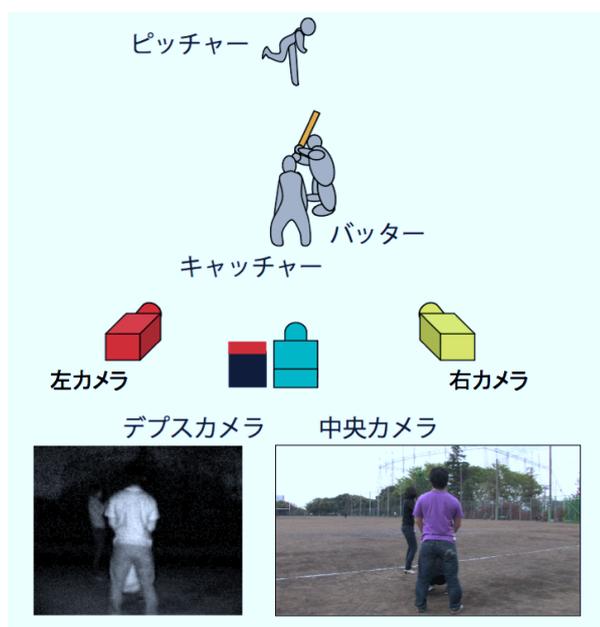


図 12 撮影環境

視による同期結果の誤差と、2.2 節と同様の 1 次元信号  $S(f)$  の関係を、図 13 に示す。図 13 において、グラフの横軸は時間軸でもあるカラーカメラのフレーム  $f$  であり、フレーム  $f$  に対応する信号量  $S(f)$  を左軸の赤実線で、目視と本手法との誤差を右縦軸にオレンジ色の点および点線で示した。青線で結び付けられている画像は対応するフレームにおける撮影画像である。また、画像から審判を除去し、他の視点のカラーカメラから得たピッチャーの映像を合成した結果を図 14 に示す。

図 13 より、オプティカルフローの値が大きい時間帯の周辺、つまり被写体の動きが大きいシーンでは誤差が小さくなっている。また、図 14 に示すような審判が激しく動いたシーンにおいて、カラーカメラとデプスカメラの同期が取れており、デプスカメラの情報から審判の腕の位置を検出し、除去できていることが確認できる。

一方、本実験ではオプティカルフローの信号量が小さい時間帯が長く、そのような時間帯においては誤差が比較的大きくなっているが、オプティカルフローが小さい時間帯では被写体の動きが小さいということを意味しており、数フレーム程度の誤差は出力結果に大きな影響を及ぼしにくいと考えられる。実際に、本実験においてオプティカルフローが小さいシーンは審判がほぼ動いていないため、数フレームの同期ずれは合成に影響がなかった。また、誤差の平均は 1 フレーム以内に収まっており、仮想視点映像生成のためのカラーカメラとデプスカメラの時間的同期を自動的に行うことが可能であった。

## 5. 移動物体が低解像度であるシーンに対する応用

3. 章や 4. 章においては撮影対象である移動物体の解像度が比較的大きい状態の映像であったため、オプティカルフローを基にした 1 次元信号を利用した。しかし図 15(a) に示すような屋外でのスポーツシーンなどでは、移動物体の大きさやカメラからの距離の影響で、移動物体に対して十分な解像度が得られない。また、移動物体



(a) 入力画像

(b) 出力画像

図 14 審判の除去

の数も多く、オプティカルフローの総和には顕著な変化が見られなくなり、同期精度が低くなってしまふ。

また、図 15(b) に示すように、デプスカメラは非常に低解像度であるため、遠方に位置する物体の詳細な画像を得ることができず、時間的同期だけではなく、幾何学的なキャリブレーションを行うことも困難であった。

そこで、映像中の被写体の動きの一つを利用して、カラーカメラとデプスカメラのフレーム同期をとり、それらの対応関係から幾何学的なキャリブレーションを行う。1 フレームのみの情報を用いるよりも、同期後の複数フレームを用いることで、より安定なキャリブレーションを行う。

### 5.1 1次元信号の算出

本実験では、カラーカメラとデプスカメラでビーチバレーを撮影し、まず両カメラの時間的フレーム同期を行った。図 15 で示したように、ビーチバレー映像では前述の野球映像と比較して選手の解像度が小さくなっている。したがって、オプティカルフローから算出される信号の和は変化が乏しくなる。

そこで、比較的移動量が大きいボールの高さに着目して1次元信号を算出した。カラーカメラ、デプスカメラそれぞれについてボールの高さを計測し、正規化した値をフレームごとにプロットしたグラフを図 16(a) に示す。ボールの上下方向に関する変化は両カメラに共通であり、両者はほぼ同様のグラフとなった。そのため、ここではこのグラフを1次元信号として時間同期を行う。なお、ボールがカメラの画角外に出てボールの高さが計測不能のフレームにおいては、線形的に近似することでボールの高さを定めた。

### 5.2 結果

ボールの高さを基にした1次元信号を入力として、DP マッチングを行った結果を図 16(b) に示す。また、本手法による同期結果のフレームペアにおいて、映像中のボールや選手の位置などを対応付け、カラーカメラ映像における2次元座標とデプスカメラ映像における3次元座標の対応からカメラキャリブレーションを行った。時間的フレーム同期およびカメラキャリブレーションの精度を確認するため、得られたカメラパラメータを用いて、デプスカメラ画像の各画素に対し対応するカラーカメラ



図 15 ビーチバレーの撮影画像

図 15 ビーチバレーの撮影画像

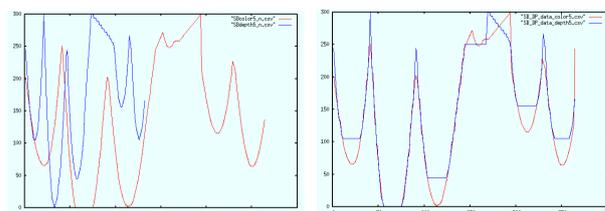


図 16 ボールの高さに関するグラフの同期

赤:カラーカメラ 青:デプスカメラ

画像における明度値を与え、3次元空間上にプロットした。その結果を図 17 に示す。

得られたキャリブレーション結果を用いることで、デプスカメラによって取得した距離情報に、カラーカメラによって取得した色情報を対応付けられていることが分かる。デプスカメラの撮影画像からは撮影対象の詳細が判別し辛いような場合、単独のフレームを用いてカラーカメラとデプスカメラのキャリブレーションは、対応点の数及び精度が低くなってしまふため困難であった。しかし本手法による同期結果を用いて、両カメラ各フレームの画像座標の対応付けを時系列的に行うことで、2つのカメラ間のキャリブレーションを行うことが可能になった。

## 6. 結論

本論文では、フレームレートが不均一なカメラを含んだカメラ群の時間的同期手法を提案した。外部同期信号の入力を持たず、音声を取得できないデプスカメラにおいて、画像情報を利用したフレーム同期を目指した。

デプスカメラが持つ問題点の1つである、撮影画像がカラーカメラ画像との色の相関が低く低解像度であるという点に対して、オプティカルフローを計測しフレームごとに1次元信号化することで、他のカメラと類似性を持った信号を算出した。

カメラの解像度や被写体までの距離によって、十分な解像度が得られなかったり、移動物体の数が多い等の条件下において、オプティカルフローによる1次元信号に顕著な変化が現れなくなってしまう場合には、移動物体の3次元位置を追跡して1次元信号化することで他のカメラと類似性のある信号を算出した。

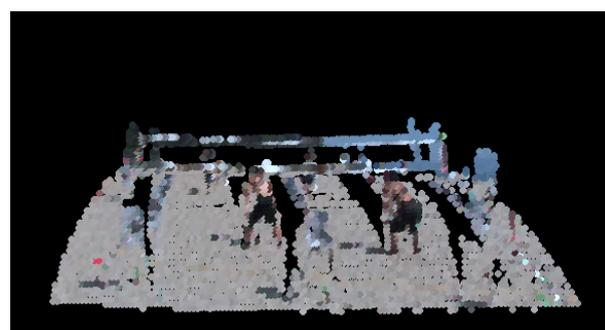


図 17 キャリブレーション結果の利用

また、もう1つの問題である不均一なフレームレートに対して、算出された時間的に変化する1次元信号をDPマッチングによって非線形に伸縮させることで、線形伸縮による同期手法と比較して正確なフレーム同期結果を得られた。

野球のキャッチャー視点映像生成実験に対して本手法を適用することによって、実環境においてもデプスカメラとカラーカメラ間の時間的フレーム同期が行えることを確認した。また、キャリブレーションが困難であった撮影対象が占める割合が小さいデプスカメラ映像において、本手法を用いてカラーカメラと同期をとり、物体の時空間的な対応付けを行うことで正確なキャリブレーションを実現した。

今後はさらに多くのデプスカメラを用いたアプリケーションにおいてフレーム同期を行い、本手法の有効性を検討していくとともに、実験を行っていく上で明らかになった新たな問題点を解決する予定である。

まず、オプティカルフローの和やボールの高さから1次元信号を算出しているため、カメラの配置に大きな制約があるという問題がある。この問題点については、デプスカメラから取得した対象シーンの3次元情報やカメラ同士の位置関係を利用することを検討している。これらの新たな情報によって現在は1次元である信号を多次元に拡張することで、より多くの環境に適用可能かつ正確なフレーム同期手法の実現が可能であると考えられる。

また、1フレーム単位の情報をもとに同期を行っているため、サブフレームでの誤差が避けられないという問題がある。この問題に対しては、1次元信号信号の算出やDPマッチングのコスト定義、マッチング処理をサブフレーム単位の拡張することで改善を予定している。

## 謝 辞

本研究の一部は、(独)情報通信研究機構の委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」の補助により行われたものである。

## 文 献

- [1] Ohta, Y. and Kitahara, I. and Kameda, Y. and Ishikawa, H. and Koyama, T., "Live 3D video in soccer stadium," *International journal of computer vision*, vol 75, pp. 173-187, 2007.
- [2] Guillemaut, J.-Y. and Kilner, J. and Hilton, A., "Robust graph-cut scene segmentation and reconstruction for free-viewpoint video of complex dynamic scenes," *Computer Vision, 2009 IEEE 12th International Conference on*, pp. 809-816, Oct. 2009.
- [3] Y.Taguchi, T.Koike, K.Takahashi, and T.Naemura, "TransCAIP: live transmission of light field from a camera array to an integral photography display," *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 artgallery: emerging technologies*, p.47. ACM, 2008.
- [4] T.Oggier, M.Lehmann, R.Kaufmann, M.Schweizer, M.Richer, P.Metzler, G.Lang, F.Lustenberger, and N.Blanc, "An all-solid-state optical range camera for 3D real-time imaging with sub-centimeter depth resolution (SwissRanger)," *Proc.SPIE*, Vol.5249, pp.534-545, 2004.
- [5] J.Zhu, L.Wang, R.Yang, and J.Davis, "Fusion of time-of-flight depth and stereo for high accuracy depth maps," *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*, pp.1405-1410, 2010.
- [6] Yum-Suk Kang and Yo-Sung Ho, "High-quality multi-view depth generation using multiple color and depth cameras," *ICME*, pp. 1405-1410, 2010.
- [7] 横井隆雄, 遠山聖司, 藤吉弘亘, "イメージモザイクによる講義のデジタルアーカイブと再生," *インタラクシオン 2004*, March 2004.
- [8] A. Whitehead, R. Laganier, and P. Bose, "Temporal synchronization of video sequences in theory and in practice", *IEEE Workshop on MVC*, 2005.
- [9] Tuytelaars, T. and Van Gool, L., "Synchronizing video sequences", 2004, *IEEE Computer Society*, 1063-6919.
- [10] T.Hashimoto, Y.Uematsu, H.Saito, "Generation of See-Through Baseball Movie from Multi-Camera Views," *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP 2010*, pp.432-437, Oct. 2010.
- [11] 橋本昂宗, 清水直樹, 植松裕子, 齋藤英雄, "デプスカメラとカラーカメラを併用した野球のキャッチャー視点映像生成" 第17回画像センシングシンポジウム 2011 SSIH2011, June, 2011.