

多視点カメラ撮影による野球のシースルー映像生成

See-Through View Generation from Multi-Camera Baseball Movies

橋本 昂宗[†], 正会員 植松 裕子[†], 正会員 斎藤 英雄[†]Takanori Hashimoto[†], Yuko Uematsu[†] and Hideo Saito[†]

Abstract We present a method of generating new view-point movies for baseball games. The most interesting view-point in a baseball game is looking from behind the catcher. However, because the view is interrupted by the umpire and catcher, setting up a camera behind the catcher is impossible, and setting up a camera on the catcher's head is also impossible. Therefore, we removed the obstacles (catcher and umpire) from the movie captured from behind the catcher, and generated a see-through movie by using multiple cameras to recover the pitcher's appearance. Our method consists of two processes; recovering the pitcher's appearance by homography, and detecting obstacles by using Graph Cut. To clarify how effective our method is, we generated a see-through movie by applying our method to multiple-camera movies taken in a baseball stadium. In the see-through-movie, the pitcher appears through the catcher and umpire.

キーワード：隠消現実感, 野球映像, シースルー映像, 多視点カメラ, 拡張現実感

1. ま え が き

近年, 多視点映像や3次元映像など, 臨場感の高い映像を生成する技術が注目されている. 多視点映像では, 通常1視点で撮影されるシーンを複数の視点から撮影することで, 対象についてより多くの情報を取得することができる. そのため, これまでにも様々な目的で多視点映像が用いられており, 特にスポーツ映像を対象とした研究では, 選手やボールの追跡, 自由視点映像の生成などが行われてきた^{1)~3)}.

自由視点映像は, 視聴者が自由に視点を変更できるため, 視聴者の望む視点で試合を楽しむことができると言うメリットがあり, これまでにはサッカーやアメリカンフットボールなどのシーンが対象となってきた. 例えば, 稲本らは, 4台のカメラを用いてサッカーの自由視点映像を生成する手法⁴⁾を提案したり, 生成された自由視点映像を卓上に置いたスタジアムモデルに重畳表示し, HMDを通して鑑賞するARシステムが提案されている⁵⁾. また, Ohtaらは, 競技場に設置した複数のカメラで撮影した多視点映像を利用して自由視点映像をライブ配信するシステムを提案している⁶⁾.

本研究でもスポーツ映像に注目し, 中でもサッカーと同様に人気の高いスポーツである野球を対象とする. 野球では, 選手の移動範囲がほぼ限定されており, 試合進行も時系

列に従って行われる. そのため, 現在の野球中継において, カメラの配置もほぼ限定されたものとなっており, 視聴者が見ることのできる映像は限られている. 中でも, 視聴者・観客が非常に注目する瞬間であるピッチャーの投球場面は, 常にピッチャーの斜め後方から撮影されており, 他の視点からの映像を見る機会はほとんど得られない. そこで我々は, 野球の試合においても自由視点映像生成の考えを取り入れ, “通常では見ることができないが, ぜひ見てみたい”という視点での映像を新たに生成・提供することで, 視聴者の興味を引くことができるのではないかと考えている.

前述の通り, 野球の試合において視聴者が注目する瞬間の一つとして, ピッチャーの投球場面が挙げられる. このとき, 自分がキャッチャーの視点にいるかのように投球シーン見ることができれば, ボールが迫ってくる臨場感などを感じることができ, 非常に魅力的な映像であるといえる. しかし, 実際の球場において, カメラはスタンドのフェンス付近に設置されており, 当然ながらキャッチャーの位置にカメラを設置して撮影することはできない. また, キャッチャー後方の延長線上にカメラを設置したとしても, ピッチャーの姿がキャッチャーや審判の姿に隠れてしまい, 投球場面を見ることは不可能である.

そこで本研究では, 通常カメラが配置されるようなフェンス付近から撮影した多視点の映像を用いて, キャッチャー視点の映像を生成する手法を提案する. 具体的には, 撮影された映像中からキャッチャーと審判の姿を除去し, ピッチャーを可視化することで実現する.

撮影された映像から現実世界の物体を取り除き, 別の画

2010年9月7日受付, 2010年11月17日再受付, 2011年2月28日採録

[†]慶應義塾大学 大学院 理工学研究科

(〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1, TEL. 045-563-1141)

[†]Graduate School of Science and Technology, Keio University

(3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan)

像に置き換える技術は、Diminished Reality (DR) と呼ばれている⁸⁾⁹⁾。Lepetit らの研究¹⁰⁾では、1台のカメラで撮影された動画から、ユーザが指定した領域を追跡することによって、オクルージョンを検出して取り除き、背後の物体を見せることができる手法を提案した。一方、榎本ら¹¹⁾は、複数の視点から撮影された映像を用い、壁の前に存在する障害物を除去する手法を提案した。ここでは、多視点映像を平面射影変換することで、平面ではないと認識された領域(壁以外)を障害物と判断している。また、Zokai ら¹²⁾は、障害物の後ろに存在する背景のモデルを作成することにより、背景を復元する手法を提案した。さらに、建物などの陰に隠れている移動物体をビルボードで表現し、シースルー映像を生成する方法も提案されている¹³⁾¹⁴⁾。

これらの研究では、背景もしくは障害物が静的であることや、復元したい対象領域が1枚の平面であることが条件となっているため、本研究で対象とする野球映像のように、復元したい物体(ピッチャー)と障害物(キャッチャー、審判)が共に動的であるものや、前後に移動するような対象(ピッチャーやボール)には適用することが困難であった。そこで我々の提案する手法では、キャッチャー後方およびその左右に設置した3台のカメラを用い、撮影対象が野球であることの特徴を活かして、上記のような既存のDR手法における問題を解決する。

まず、復元対象であるピッチャーが、カメラから充分遠方に存在することを利用して、障害物の背後に存在するピッチャーを復元する。前述の通り、野球の試合を撮影する際には、カメラはフェンス付近に設置される。したがって、カメラからピッチャーまでが充分遠いため、榎本らの手法¹¹⁾と同様に、ピッチャーをグラウンドに垂直な平面で仮定することができ、Homography 行列を用いて左右カメラの映像を視点変換することで、中央カメラから見たピッチャー像を合成することができる。ピッチャーが前後に動いた場合にも、その移動量に合わせて視点変換の合成量を変化させることによって対応可能としている。

次に、障害物である審判とキャッチャーの移動範囲が限定されていることを利用して、その領域を抽出する。多視点カメラによる領域抽出手法の一つとしては、撮影したカメラの映像から距離画像を取得して、シーンの3次元形状を求めることで領域を特定する方法が考えられる。例えば、Jonathan ら¹⁵⁾は、大量のカメラで得られた映像から3次元形状復元を行い、それを元に3DTVのための映像の生成する手法を提案した。また、Saito ら¹⁶⁾は自由視点映像生成のために、49台のカメラを利用して、対象のシーンの3次元形状を復元する手法を提案した。さらに、Yasutaka ら¹⁷⁾は多視点画像を元に3次元形状を復元する手法を提案した。しかしこれらの研究では、専用のスタジオなどに密に設置された大量のカメラにより得られた多視点画像が必要であった。これに対して、本研究は野球映像を対象にしたものであり、高々4~5台程度(本論文では3台)のカ

メラが広い間隔で設置されている場合には、これらのカメラで撮影された映像のみから距離画像を取得することは困難である。

そこで本研究では、中央に設置した1台のカメラ映像中において、Graph Cut アルゴリズム¹⁸⁾および背景差分を用いた障害物領域の抽出を行う。このとき、審判とキャッチャーのすぐ隣に存在するバッターも含めて障害物とみなすこともできるが、バッターが存在している方がよりリアリティが増すのではないかと考え、バッターの姿を残してキャッチャーと審判のみの領域を障害物として抽出する。

このようにして、キャッチャー後方から撮影した中央カメラ映像から審判とキャッチャーの姿を取り除き、ピッチャーの姿を透視したかのようなシースルー映像を生成する。なお、従来のDRで提案されている手法のように、障害物に隠された背景に相当するピッチャーを3Dモデル化しておくという手法も考えられるが、その場合には、事前に様々なピッチャーごとのモデルを作成しておく必要があり、打球モーションの判別なども必要になるため、事前の手間や処理時間が多くかかってしまうことが考えられる。一方で本手法では、ピッチャーを1枚の平面と仮定して合成を行うため、ピッチャーが誰かということは考えずにピッチャーの復元を行うことができる。さらに、別途モデルを作ることなく、実際に撮影した映像そのものを使用することが可能となる。

また、本手法では、中央カメラの他に左右2台のカメラを用いてピッチャーの合成を行っているが、当然左右どちらか1台でも合成を行うことができる。しかし、左右カメラでは平面近似したピッチャーを斜めの角度から撮影しているため、正面画像へと変換する際に、画素が不足した領域が補間されてボケてしまう。そのため、ピッチャーの左右から撮影した画像を合成する方が自然で精細な合成ができるため、2台のカメラを使用している。さらに、現段階ではまだ自動化できていないが、さらなる視覚効果を加えるために、ボール軌跡を描画することを検討しており、中央カメラでのボール位置を取得するためには左右2台のカメラが必要となるため、合計3台のカメラを使用することを前提としている。

2. 提案手法

2.1 手法の概要

本手法の概要を図1に示す。また、カメラの設置位置および撮影映像の例を図2に示す。本手法は、ピッチャー領域の合成と障害物領域の検出の二つの処理から成っている。キャッチャーの後方に設置した3台のカメラから得られた映像を入力として用い、出力結果となるキャッチャー視点でのシースルー映像は、中央カメラの映像を基準として生成する。また、左右カメラそれぞれと中央カメラとの間のHomography 行列は、ピッチャープレート位置でグラウンドに垂直な平面を仮定し、事前に算出しておく。なお、3台

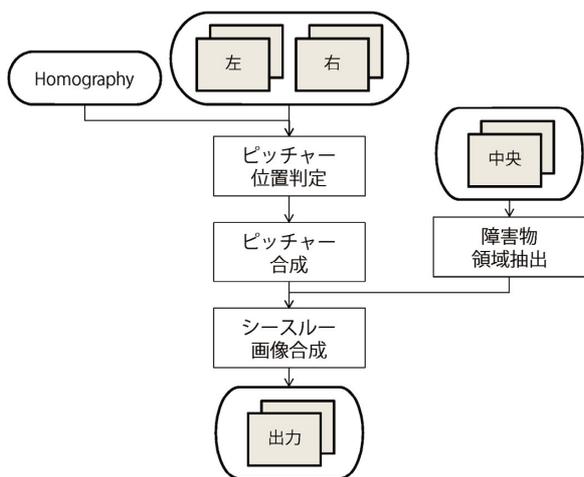


図 1 本手法の流れ
Flow of our method.

のカメラは同期されている。

障害物領域の抽出処理では、中央カメラの各フレームに対して、Graph Cut と背景差分を行う。左バッターと右バッターの場合で Graph Cut と背景差分を適用する領域を選択することで、バッターと障害物との境界線を抽出するとともに、キャッチャーの飛び出しなどの場面にも対応させる。

ピッチャーの合成処理では、左右カメラの各フレームにおけるピッチャー領域を、事前に求めた Homography 行列を利用して、中央カメラの視点へと変換し、両者をブレンドする。投球モーションによって、ピッチャーが事前に算出した Homography 平面の位置から移動した場合には、その移動量を考慮した合成処理を行う。

その後、検出された障害物領域を削除し、合成したピッチャー映像を重畳して、ピッチャーが現れたように見える中央カメラ映像を得る。これらの詳細を以下に述べる。

2.2 ピッチャーの合成

(1) 合成手法

本手法では、ピッチャーの位置とカメラの位置が充分離

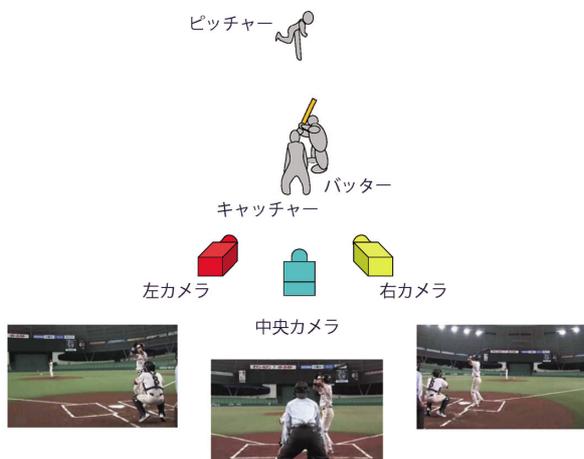


図 2 実験環境例
Experimental environment.



図 3 Homography の基準平面
Base plane of Homography.

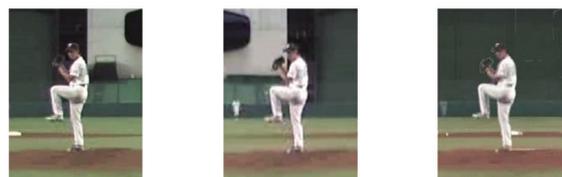
れているため、ピッチャーの身体の凹凸を無視できると仮定し、Homography 行列を用いた視点変換を行う。ここでは、図 3 のようにグラウンドに垂直な平面を仮定し、カメラ設置時に平面上の対応を取ることで、Homography 行列を取得する。その後、左右カメラのピッチャー領域を、図 4(a), 4(b) のように、中央カメラの視点へ変換する。そして、背景画像との背景差分を行ってピッチャー領域のみを抽出した後に、両者を α ブレンドして合成し、さらに背景画像上へ重畳する。合成した結果例を図 4(c) に示す。本論文で行った実験では、左右カメラが中央カメラからほぼ等距離に設置してあることから、 $\alpha = 0.5$ としている。

(2) ピッチャー移動に伴う合成処理

ピッチャーが基準平面の位置に存在する場合には、前述のように自然なピッチャーの合成を行うことができる。しかし、ピッチャーが投球モーションによって大きく移動した場合、基準平面の位置から大きくずれてしまい、事前に算出した Homography 行列で視点変換することができなくなる。その結果、2 枚の画像を合成すると、図 5(a) のようにピッチャーが二重になってしまう。

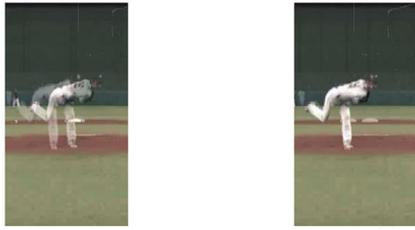
この問題を解決するためには、ピッチャーの移動範囲内で複数の平面を仮定し、すべての平面に対して Homography 行列を算出しておく、という方法も考えられる。しかし、ピッチャーによって投球モーションは異なるため、仮定する平面の間隔を一意に決定することは難しい。そこで本手法では、左右カメラがピッチャーに対してほぼ等距離で高さもほぼ等しいことから、ピッチャーが移動した場合に生じるずれは横方向のみになることに注目し、ピッチャーの移動量に応じて左右カメラの画像を左右にシフトさせてから合成を行う。

ピッチャーの移動量は、左右カメラ映像を中央カメラ視点へ変換した後に、ピッチャー領域のテンプレートマッチングを行って計算する。図 6 のように、変換後のピッチャー



(a) 左カメラ (変換後) (b) 右カメラ (変換後) (c) 合成結果

図 4 変換後の左右カメラ映像と合成結果
Right and left camera images and synthesis result.



(a) 投球モーションによる移動後 (b) シフト処理後の合成結果の合成結果

図 5 ピッチャーの移動による合成結果の変化

Difference of synthesis results according to the positions of pitcher and planes.

画像に対して背景差分を行ってピッチャーを抜き出す。そして、左右カメラのピッチャー領域を画像の水平方向のみシフトさせていき、両者の類似度が最も高くなったときの水平方向のシフト量を、ピッチャーの移動量とする。ここでの類似度計算には SSD を用いている。1 フレーム目ではピッチャープレートの幅の 1.5 倍の領域でテンプレートマッチングを行い、ピッチャーの初期位置を算出する。2 フレーム目以降では、前フレームで検出されたシフト量を用いて左右 3 ピクセルの計 7 ピクセルのずれでシフト量を計算した。

この計算によって、ピッチャーが基準平面から移動した量を毎フレーム得ることができるため、変換後のピッチャー画像を移動量分シフトさせた後に、同じく α ブレンディングで合成する。合成後の結果を図 5(b) に示す。これにより、ピッチャーが基準平面から移動しても、中央カメラ視点で一定の位置にピッチャー像を合成することができる。

2.3 障害物領域の抽出

本手法では、除去すべき障害物領域を効率的に抽出するために、図 7(a) のように中央カメラの映像を分割して、Graph Cut と背景差分を選択的に用いる。前述のように、多視点映像から距離画像を生成し、領域を抽出する手法も考えられるが、カメラを密に配置することが必要であるため、本研究で想定する撮影環境には適していない。そのため、1 台のカメラで撮影した映像から領域を抽出できる Graph Cut と背景差分を採用する。

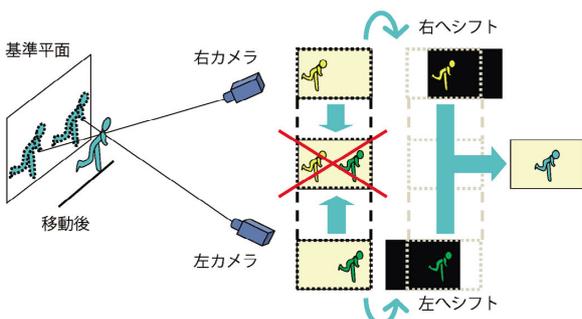
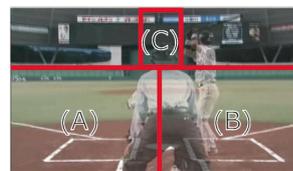


図 6 左右シフトによる画像合成
Image synthesis by right and left shift.

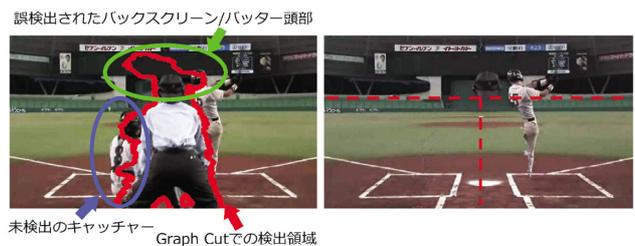
まず、中央カメラ映像全体に対して、審判とキャッチャー領域を seed として Graph Cut を行った例を図 7(b) (赤枠領域) で示す。この結果より、審判の頭部付近の領域抽出が安定に行われていないことがわかる。これは、審判やバッターの帽子・ヘルメットの色とバックスクリーンの色が非常に近いため、色ヒストグラムを用いた Graph Cut では分離できなかったことによるエラーである。一般的な場合にも、帽子や頭部は黒っぽい色をしていることが多く、このような問題が起きる可能性がある。また、捕球のためにキャッチャーが大きく左側に出てきた場合にも、障害物として認識させたいキャッチャー領域が検出できていない。そこで、このような問題を回避するために、本手法では領域ごとに Graph Cut と背景差分を分けて用いる。

本研究における領域抽出とは、隠されていたピッチャーおよび背景を上書きするための領域を決定することに相当する。したがって、バッターと障害物との境界線を抽出した上で、障害物領域をピッチャーと背景に置き換えることが目的である。そこで、左バッターの場合、図 7(a) の領域 (A) に障害物である審判とキャッチャー以外が現れる可能性は低いと考え、あらかじめ撮影した背景画像との背景差分を行うことで、障害物を検出する。一方、領域 (B) では審判とバッターの境界を細かく検出する必要があるため、Graph Cut によって検出する。右バッターの場合は、(A)、(B) に対する処理を逆にすればよい。バッターは必ずボックス内に立たなければならないため、本実験の立ち位置以上に内側に存在することはなく、またこれよりも外側に立った場合には境界線がより検出しやすくなるので、バッターの立ち位置によらず有効な分割であると考えられる。Graph Cut のための seed および背景画像は、各イニングの開始時に更新する。なお、図 7(a) の領域 (A) または (B) に、守備選手・ランナー・塁審がいた場合、背景差分を行うこと



(A) 左バッター時：背景差分
右バッター時：Graph Cut
(B) 左バッター時：Graph Cut
右バッター時：背景差分
(C) 背景画像適用

(a) 中央カメラの領域分割



(b) 画像全体に対する Graph Cut による抽出結果

(c) 障害物除去結果

図 7 障害物領域の抽出
Extraction of obstacle area.

で審判やキャッチャーとともに障害物領域とみなされてしまう可能性がある。しかし、今回はピッチャーの姿を復元することを主目的としているため、それらについては考慮しておらず、今後の課題の一つである。このようにして障害物領域を検出し、背景画像で置き換えた結果を図7(c)に示す。

図7(a)に示す中央カメラ映像を領域分割する際には、上下は主審の肩の位置で分割し、左右は中央で分割する。これは、ピッチャーが投球モーションに入った後は、ボールの軌跡を正確に観測・判定するために、審判の視線および肩の位置はほぼ不動であると考えられるためである。基本的に主審は試合中で交代しないため、カメラの設定時に一度だけ領域を設定する。万が一主審が交代した場合には、再設定を行う。また、主審の肩より上については、左右のバッターボックスの間隔を横幅とする領域(C)のような矩形領域を設定し、Graph Cutを適用せずに背景画像を重畳する。これは、左右のバッターボックスの間にはバッターは決して存在せず、判定時は確実に審判がピッチャー正面に位置していることから、審判の頭部のみが存在すると考えられるためである。

このように、一般に野球の試合では、それぞれの人物の位置がある程度固定されており、ユニフォームの色も試合中には変化しない。また、ピッチャーの投球中には、ボールの判定および捕球のため、審判やキャッチャーは大きな動作を行わないという前提がある。さらに、サッカーなどのように試合が長時間途切れることのないスポーツとは異なり、野球では各イニングの選手交代時に背景となる画像を更新することも可能である。これらの条件は一般的な野球中継においても同様であるため、本手法によるGraph Cutおよび背景差分を用いた障害物領域抽出は有効であると考えられる。

なお、審判、キャッチャーおよびバッターのユニフォームの色が、背景のフェンスやバックスクリーンと似ている場合、Graph Cutによる領域抽出が失敗する可能性がある。そのため、デプスカメラなど色以外の情報を用いて対応することを検討している。

また図7(c)より、バッターの下半身が審判の陰に隠れて消えてしまっていることがわかる。本来は、欠損部分を補って表示することが望ましいが、本研究で想定するカメラ配置ではバッターの全身を確実に捕えることができないため、この点に関しては今後の課題とする。

2.4 シースルー画像の生成

前述した処理によって、中央カメラ視点でのピッチャー画像と、除去すべき障害物領域が得られる。これらを用いて、中央カメラの映像を基本としたシースルー画像の生成を行う。図8のように、まずは抽出した障害物領域に対して背景画像の上書きを行い、審判とキャッチャーを除去する。次に、ピッチャー画像の上書きを行い、ピッチャーを復元する。その結果、本来見えていなかったはずのピッチャー

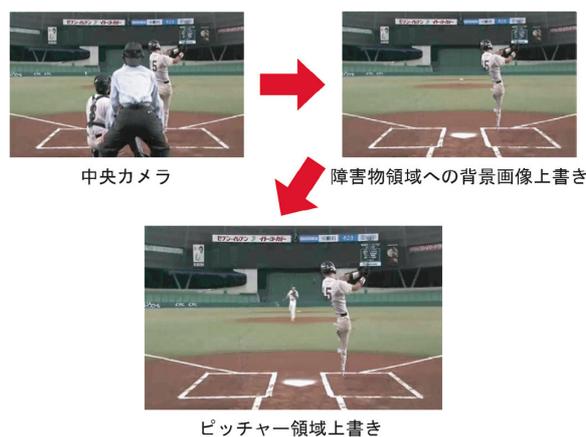


図8 シースルー画像の作成の流れ
Flow of generating a see-through image.

の姿を透視したようなシースルー画像を生成することができる。

3. 実験

本手法の有効性を示すため、西武ドームにおいて撮影した野球映像を用いて実験を行った。西武ドームでの実験環境を図9に示す。ピッチャーから十分に離れたキャッチャー後方のフェンス付近に、左右カメラと中央カメラとの距離をそれぞれ約5m程度離して、Canon XH G1を設置した。解像度1920×1080で、30fpsで撮影した。撮影対象は実際のプロ野球ではなく、ピッチャー・キャッチャー・審判・バッターのみの模擬的な環境となっている。

入力画像の例を図10に示す。このように、中央カメラの映像ではピッチャーの姿は審判とキャッチャーの陰に隠れてしまい見えていないが、左右のカメラではピッチャーの姿を確認することができており、本手法では、この左右カメラの映像中でのピッチャーの姿を合成して中央カメラでのピッチャーの姿を復元している。

図11に、1投球分の中央カメラで撮影された映像(上段)と本手法を適用して生成した出力画像の結果(下段)を示す。本手法を適用したことによって、ピッチャーの姿が現れたシースルー映像を生成することができている。また、ピッチャーが投球を行い、事前にHomography行列を求めた基準平面から移動している場合でも、左右カメラから変換したピッチャー位置のずれを毎フレーム計算することによって、自然な合成が行われていることがわかる。



図9 西武ドームでの撮影環境
Experimental environment at Seibu dome.

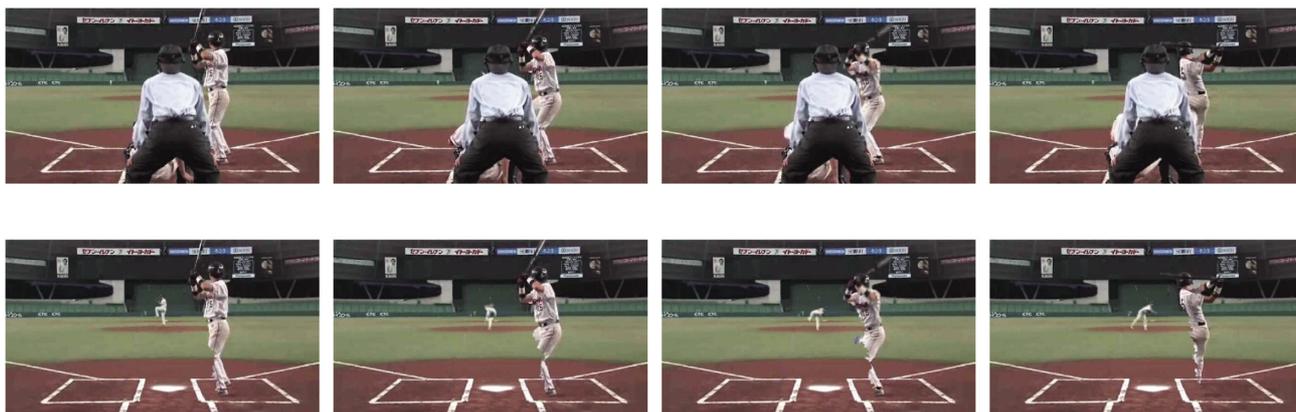


図 11 中央カメラ映像とシースルー映像
Center camera images and see-through images (Middle).

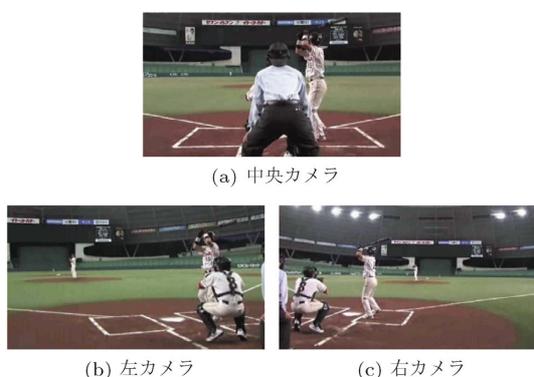


図 10 入力映像例
Example of input images.

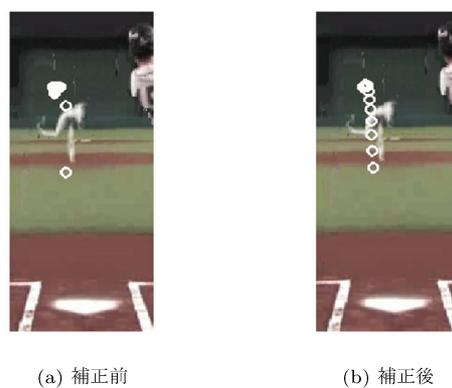
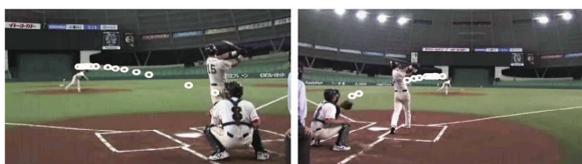


図 13 投影されたボール
Projection of ball.

さらに、障害物領域の除去についても、審判とキャッチャーの領域を背景画像によって上書きすることで、違和感のない映像を作成することができている。Graph Cut を用いることにより、審判とバッターを分割することが出来ており、バッターと反対側の領域については背景差分を行うことにより、審判とキャッチャーのみを除去し、バッターは映像中に残す事ができている。

ただし、バッターの足などの中央カメラの映像中で審判の陰に入ってしまった部分については、背景画像によって上書きされてしまっており消えてしまっている。また、打球されたボールなど本来は存在するが、審判やキャッチャーの陰に隠れてしまっていたものは復元できていない。本手



(a) 左カメラ (b) 右カメラ

図 12 左右カメラのボール位置
Ball positions of right and left cameras.

法の目的として、ピッチャーの復元と障害物領域の除去があったが、野球中継に使用することを考えるとこれらの問題は今後の課題である。

4. 検討

本章では、本手法を用いて得られた結果に対する検討と考察を行う。本研究は実際の野球放送で利用することを最終的な目標としているため、いくつかの問題点を解決していく必要がある。

まず今後の展開として、ボール軌跡の可視化が挙げられる。ボールもピッチャーと同様にキャッチャーと審判によって隠されてしまうが、キャッチャー視点でのボールの動きは視聴者にとって興味深い要素であり、野球放送においても有用な視覚効果であると考えられる。現在想定している可視化手法は、左右カメラでボール位置を取得した後、カメラ間の射影幾何を利用して中央カメラでのボール位置を計算する手法である。ここでは、図 12 のように左右カメラでのボール位置を取得し、3 台のカメラ間の Trifocal Tensor によって中央カメラへと投影する実験を試験的に行った。

ボールを可視化した結果を図 13(a) に示す。本来 1 本の曲線として表されるボールの軌跡が、途中で途切れたり一

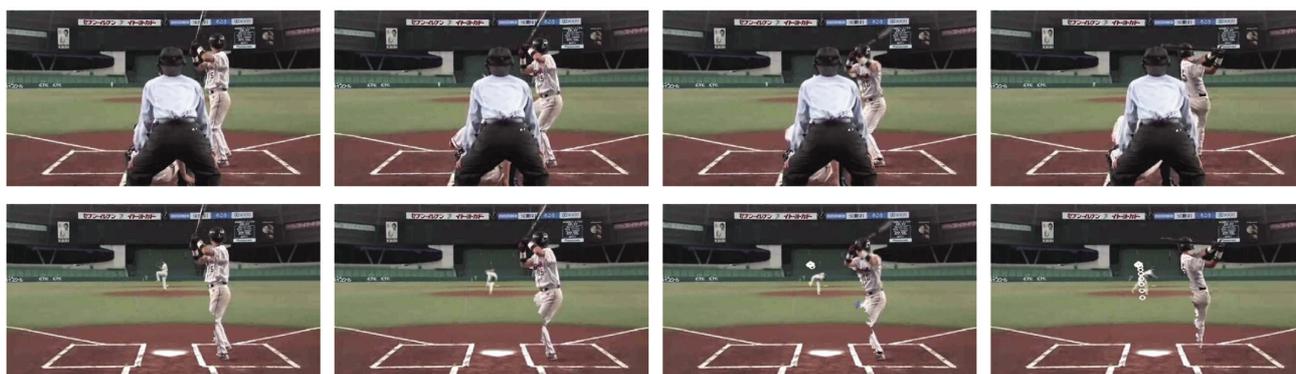


図 14 中央カメラ映像とボール重畳映像
Center camera images and projected ball images (Middle).



図 15 中央カメラ映像とボール重畳映像 (内角)
Center camera images and projected ball images (Inside pitch).

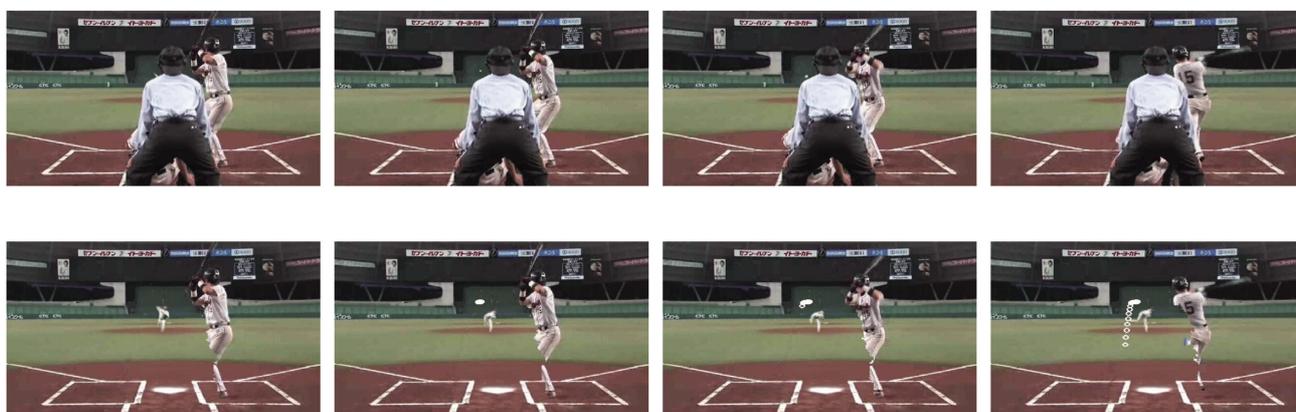


図 16 中央カメラ映像とボール重畳映像 (外角)
Center camera images and projected ball images (Outside pitch).

部に偏ってしまっていて投影されている。これは、本実験では 30fps のカメラで撮影を行ったため、ボールのぶれによって左右カメラの映像中でボールの重心を安定に取得できなかったり、フレームレート以下での同期ずれにより、確実に同じ瞬間を捕えられていなかった可能性があるためだと考えられる。そこで、この問題を解決するための一案として、中央カメラへ投影されたボール軌跡に対して画像中で放物線近似による補正を行い、図 13(b) のように滑らかな曲線とした。

図 11 と同じシーンに対して、ボールの軌跡を可視化した結果を図 14 に示す。ボールの投球軌跡が、ピッチャーのモーションに合わせて、実際に投球されているかのように描画されていることがわかる。ここでは、ボールが存在するフレームだけに 1 球ずつ描くのではなく、軌跡がわかりやすいように投球モーションの最後まで残像として残している。別のシーンとして、アウトコースとインコースへの投球に対しても本手法を適用した結果を、図 15, 16 に示す。このように、様々な向きの投球に対しても、ボールの

軌跡を可視化することができている。

今回は、上記のように左右カメラでボールを捕らえきれなかったため、手でボール位置を取得したが、ハイスピードカメラなどを用いてボールを安定に捕えられれば、高橋らの手法⁷⁾などのように自動的にトラッキングできるため、全体の処理に組み込むことができると考えられる。

また、生成したシースルー映像の表示上の問題として、バッターの表示方法がある。本手法では、バッターについては何も補正を行っていないため、障害物領域に重なってしまっているバッターの足やバットは消えてしまっているが、野球放送を考える上で、バッターの一部が欠けた状態で放送することは不可能であるため、これらの問題に対応する必要がある。バッターの足に関しては、左右カメラで撮影した映像からの復元アルゴリズムを検討中であり、足部分にも別途平面を仮定するなどして、復元を行う予定である。またバットについても、同じく左右カメラの映像から復元をする、もしくはバットモデルを重畳表示するなどの対処を検討している。本実験において撮影した映像では、バットが高速に移動していたため、スイング中のバットの位置を正確に確認することができなかった。そのため、ボールの可視化問題と同様にハイスピードカメラを導入することで、バットの位置を取得し、復元や重畳表示を行っていく。

処理時間も重要な検討事項である。最終的には、あるプレイ（投球）が起こった後、数秒から数十秒後にリプレイ映像としてこのシースルー映像を流すことを想定している。しかし本手法では、障害物領域の抽出に Graph Cut を使用しているため、実際の放送で要求される処理時間を実現できていない。そこで今後の展開として、Graph Cut の代わりに距離画像カメラの使用を考えている。距離画像カメラは 30fps での撮影を行うことができ、審判とバッターを距離によって分離できるため、現状よりも高精度かつ高速に障害物領域の抽出できる可能性がある。障害物領域抽出以外の処理は、すべてリアルタイムに実行できていることから、このような新たなデバイスを導入することで、処理時間の短縮を図る予定である。

5. む す び

本論文では、3台のカメラを用いて、通常は見ることができないキャッチャー後方からのシースルー映像の生成手法を提案した。本手法では、対象シーンが野球であるという特徴から、ピッチャーを平面と仮定した平面射影変換を行うことで、別視点から撮影したピッチャー像の視点変換を行うことができる。ピッチャーが基準平面から移動した場合にも、その移動量に合わせて視点変換後の画像をシフトさせてから合成することで、自然な視点変換を可能としている。また、審判とキャッチャーの移動範囲が限定されていることを利用して、障害物が存在する領域を毎フレーム抽出し、それらを削除した上に合成したピッチャー像を上書きすることで、障害物を透視して見たようなシースルー映

像が生成できる。実際の球場で行った実験においても、本手法を適用することで、通常は撮影が不可能であるキャッチャー後方視点からピッチャーの投球場面を見ることができた。

今後は、検討でも述べたように、バッターやバットの欠損領域の復元、処理時間の高速化を行っていく。本実験では、我々が設置したカメラ3台のみを利用したが、実際の野球放送の際には、球場に多数のカメラがあらかじめ設置されていることから、これらのカメラも欠損領域の復元に利用することができるのではないかと考えている。また、ボール軌跡を可視化したりストライクゾーンを複合現実提示することで、視聴者に有用な視覚効果を付与することも検討している。さらに、バッターボックスでのバッター視点など、キャッチャー視点以外にも視聴者の興味が高い視点がいくつか考えられるため、新たな視点の生成にも着手する。

最後に、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) W. Du, J.-B. Hayet, J. Piater, and J. Verly: "Collaborative multi-camera tracking of athletes in team sports", in Workshop on Computer Vision Based Analysis in Sport Environments, pp. 2-13, (2006)
- 2) Xu, M., Lowey, L., and Orwell, J.: "Architecture and algorithms for tracking football players with multiple cameras", Proc. IEE Workshop on Intelligent Distributed Surveillance Systems, London, pp. 51-56, (2004)
- 3) G. Pingali, Y. Jean and A. Opalach: "Ball Tracking and Virtual Replays for Innovative Tennis Broadcasts", in 15th Int. Conference on Pattern Recognition, (2000)
- 4) N. Inamoto, H. Saito, "Intermediate View Generation of Soccer Scene from Multiple Videos", International Conference on Pattern Recognition (ICPR2002), 2, pp.713-716, (Aug. 2002)
- 5) N. Inamoto, H. Saito, "Immersive Observation of Virtualized Soccer Match at Real Stadium Model", The Second International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR03), pp.188-197, (Oct. 2003)
- 6) Yuichi Ohta, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Hiroyuki Ishikawa and Takayoshi Koyama, "Live 3D Video in Soccer Stadium", International Journal of Computer Vision (IJCV), 75, no.1, pp.173-187, (2007)
- 7) 高橋正樹, 三須俊彦, 合志清一, 藤田欣裕: "画像内の物体抽出技術を用いた高速投球軌跡作画手法", 信学論, J88-D, 8, pp. 1672-1680, (2005)
- 8) J. Wang, E. Adelson: "Representing moving images with layers", IEEE Transactions on Image Processing Special Issue: Image Sequence Compression, (Sep. 1994)
- 9) 川上直樹, 稲見昌彦, 柳田康幸, 前田太郎, 舘障: "現実感融合の研究(第2報) -Reality Fusion における光学迷彩技術の提案と実装-", 日本バーチャルリアリティ学会, 第3回大会論文集, pp.285-286, (1998)
- 10) V. Lepetit and M.-O. Berger: "A semi-automatic method for resolving occlusion in augmented reality", In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'00), (Jun. 2000)
- 11) 榎本暁人, 斎藤英雄: "複数のハンディカメラの協調利用による遮蔽物体除去映像のオンライン生成", 映像情報メディア学会誌, Vol.62, No.6, pp.901-908, (2008)
- 12) Saivash Zokai, Julien Esteve, Yakup Genc and Nassir Navab: "Multiview Paraperspective Projection Model for Diminished Reality," Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003)
- 13) Yoshinari Kameda, Taisuke Takemasa, and Yuichi Ohta, "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras", The 3rd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR04), pp.151-160, (2004)

- 14) Peter Barnum, Yaser Sheikh, Ankur Datta, Takeo Kanade, “Dynamic seethroughs: Synthesizing hidden views of moving objects”, The 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR09), pp.111-114, (2009)
- 15) Jonathan Starck, Atsuto Maki, Shohei Nobuhara, Adrian Hilton and T. Matsuyama, “The Multiple-Camera 3-D Production Studio”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, **19**, 6, pp.856–869, (Jun. 2009)
- 16) H.Saito, S.Baba, T.Kanade, “Appearance-Based Virtual View Generation From Multicamera Videos Captured in the 3-D Room”, IEEE Trans. on Multimedia, **5**, 3, pp.303–316, (Sep. 2003)
- 17) Yasutaka Furukawa and Jean Ponce, “ Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, (Aug. 2010)
- 18) Z. Garrett and H. Saito, “Real-Time Online Video Object Silhouette Extraction Using Graph Cuts on the GPU”, 15th International Conference Image Analysis and Processing, September 8-11, 2009, Lecture Notes in Computer Science, **5716/2009**, pp. 985–994.



はしもと たかのり
橋本 昂宗 2010年，慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在，同大学院理工学研究科開放環境科学専攻修士課程に在学中。スポーツ映像を対象とした多視点映像処理に従事。



うえまつ ゆうこ
植松 裕子 2004年，慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。2009年，同大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。同年，同大理工学部情報工学科助教。コンピュータビジョン，複合現実感に関する研究に従事。博士（工学）。正会員。



さいとう ひでお
斎藤 英雄 1987年，慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1992年，同大学院理工学研究科博士課程電気工学専攻修了。1992年，同大学助手。同講師，同助教授を経て，2006年，同教授。主としてコンピュータビジョンに関する研究に従事。博士（工学）。正会員。