

ボール視点のカメラ映像を取得するための 画像合成法の提案

小澤 倫大[†] 木谷 クリス 真実[‡] 小池 英樹[†]

[†]電気通信大学 大学院情報システム学研究所 〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1

[‡]カーネギーメロン大学 5000 Forbes Avenue, Pittsburgh, PA 15213 USA

E-mail: [†] {ozawat,koike}@vogue.is.uec.ac.jp, [‡] kkitani@cs.cmu.edu

あらまし 従来スポーツ中継は競技場外のカメラから撮影されるため、観客視点の映像しか得られなかった。これに対し、ボールにカメラを内蔵することで、地を這うような低空の映像や、大空高く飛び上がるような普段人間が見ているものとは違う映像が得られる。任意の方向の映像を得るためには複数のカメラをボールに設置する必要がある。しかし、ボールへの衝撃によってカメラ間の外部パラメータが変化するため、正確な画像合成は難しくなる。本研究では動画を取り始める際にのみカメラ画像間の射影行列を求め、その後も繰り返し利用することで処理を軽減すると共に、生じる誤差に対してはダイクストラ法を色の変化の少ないピクセルを低コストとして定義し、得られたルートで映像を切ることで境界線を目立たなくする合成法を提案する。実験では実際のボールにカメラを設置して撮影した映像を用いて画像を合成し、その結果から画像合成法を考察した。

キーワード ダイクストラ法, 画像モザイク, パノラマ, 最短経路問題, デジタルスポーツ

1. はじめに

近年、オーグメンテッドスポーツ[1]と呼ばれるデジタルデバイスを利用してスポーツを拡張する研究が行われている。例えば、ボールと様々なデバイスを融合させた研究がある。従来のボールでは出来ない映像や音響効果をボールとのインタラクションによって得ることで、スポーツをより魅力的なものにする事を目的としている。

我々は、ボールに複数台のカメラを内蔵し、常に全周囲映像を取得すると同時にこれを用いた特殊映像の合成を行っている。例えば、ボールが回転しながら飛んでいる、全周囲映像を利用することで、図1のように一方方向に直進するような映像を合成できる(図1)。

しかし、ボールなどの激しい回転や動きをする物にカメラを付けると、モーションブラーやローリングシャッター効果などの問題が生じてくる。その中で本研究では視野角の問題に着目した。単純に単眼カメラを1台付けたのでは、ボールの回転の向き次第では撮ることができない死角が生じる。そこで複数のカメラ映像を張り合わせて全方向映像を作成することでその弊害を無くすことを試みた。

全方向映像を作成にあたって、繋ぎ目の不一致を無くし綺麗な映像を作るには、画像間の張り合わせ方が重要な課題である。一般にはカメラキャリブレーションを正確に行い、これを解決するが、従来の研究はボールの衝

撃やパララックスを考慮していない。

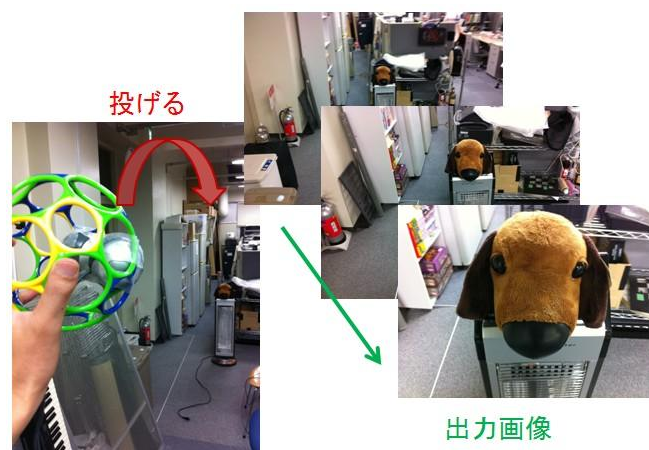


図1 画像合成により一方方向の映像生成

また、カメラの台数が増えた際のリアルタイム合成を考慮した際、計算コストが問題になるが、従来の貼り合わせ法ではコストの低い方法として、対象の物が無限遠に存在することや精密なキャリブレーションを前提としている。しかし、ボールの場合、物は近くにも存在し、カメラ間の位置関係が保たれないなど、前提が守られない場合が多い。前提が守られなければ張り合わせは上手くいかない。そこでボール特有の環境に対応した画像処

理が求められてくる。

本研究では衝撃によってカメラの位置が変化し、視野が変化する問題を、ずれを考慮した画像処理法に注目し、ボールにカメラを設置して実験を行った。具体的には動画像処理の初めに特徴点マッチングを行い、画像を射影変換する。その後もこの射影行列を繰り返し利用する事で、再計算する処理を減らす。しかし、それではフレーム次第で画像の貼り付けが不整合になる。そこで、見た目には一見して不一致のないような合成を行うことでこの問題を避けるようにする。本提案手法では、この合成をダイクストラ法を用いて求めた最短経路で画像を切ることによって境界面に不一致が無いようにする方法を用いる。例えば、画像の変化が少ない個所を選んで切り取り、重ね合わせることで細かい変化の多い場所での境界を避け、パララックスに強い綺麗な繋ぎ目をもつ画像を作り出す(図2)。実験ではカメラをボールに設置し、その結果から複数カメラのボールカメラシステムの問題点を考察する。



a. パララックスにより
ずれた画像

b. 提案手法

図2 張り合わせ結果

2. 関連研究

本来カメラとスポーツは別の研究分野であるが、オーグメンテッドスポーツなどの分野でスポーツを拡張する目的でカメラの利用も見られるようになった。

本章では関連研究として

- オーグメンテッドスポーツの研究
- ボールカメラの研究
- 全方向カメラシステムの研究
- 画像モザイクの研究

といった、スポーツという応用先と、それに用いる画像処理の要素技術に関する論文を紹介する。

オーグメンテッドスポーツの研究の中でボールを使ったアプリケーションとしては跳ね星[1]がある。跳ね星は

ボールについての赤外線 LED を高速カメラで追跡し、ボールの位置に合わせてボールの色が変わるなどのインタラクションを行う。ボールとのインタラクションはワイヤレスで行われ、より自由な運動が可能になった。ただし、この研究ではボールにカメラは含まれていない。

ボールにカメラを装着する事を目的としている研究として、森ら[2]の研究がある。これは Ladybug カメラを用いてカメラの回転に応じて出力映像を切り替え任意視点の出力や、物体追跡を行っている。Ladybug カメラによって得た全方向パノラマ映像にオプティカルフローとテンプレートマッチングを利用してその移動量を計算し、その移動方向を基に出力画像領域を回転させる。しかし、Ladybug を用いたシステムは大きく、実際にボールとして投げたりすることは難しい。また、Ladybug カメラがなければ利用できない上、Ladybug はすべてのものが無限速にあると仮定してキャリブレーションされているためパララックスがあると合成画像がぼける。これに対し、本研究では誰でも入手しやすいカメラと今ある技術を、実際にボールに組み込むことでより実践的にボールカメラシステムの問題を把握し、応用の効くボールカメラシステム作成へと繋げるものである。

全方向をカバーしたカメラシステムの研究としては、佐藤ら [3]の研究がある。彼らは 3 眼ステレオユニットを 12 組み合わせた 36 台のカメラを用いて、上下左右の映像を取得している。しかし、車椅子への利用[4]などきちんとしたキャリブレーションが前提とされており、高速な回転や、カメラ自体の激しい運動を考慮していないため、一度キャリブレーションが崩れると合成画像が綺麗に出力されなくなる。

そこでキャリブレーションに大きく左右されない画像貼り付け方法を考える必要がある。画像の貼り付け方としては、Zelnik-Manor ら[5]の研究のようにそのまま画像を張り合わせて重ねる順番を選ぶことで整合のとれた合成写真にしていくものや、 α ブレンディングで画像を変換して張り合わせる方法が一般的である。これらは単純であるが、こちらも先と同様にきちんとしたキャリブレーションが行われており、パララックスがないことを前提としている。キャリブレーションが精度よく出来ないと繋ぎ目が不一致になり、画像全体がぼける。

これをふまえ、数ピクセルのキャリブレーションのずれがあっても結果として境界線の不整合を減らす方法として、例えばグラフカット法[6]やダイクストラ法を使った方法[7][8]がある。これらはカメラ間の外部パラメータとは別に、画像の類似点やエッジなど、繋ぎ目の部分とその場に合わせて形作るため、ある程度の初期設定ができていれば良い合成結果が得られる。これらは用いるコストの決め方により出力結果や処理時間に違いが生じるため、それらの設定の仕方が研究の特徴付けとなる。ま

た、グラフカットは出力結果が綺麗に出来る半面、ダイクストラに比べて処理に時間がかかる。コスト計算の例としては近傍の輝度差を利用した方法[7][8]や画素値を微分して勾配を利用した方法[6][9]、また、四分木を利用して画像の領域分割をし、その領域の大きさをコストとする方法[10]などがある。

本研究ではボールの運動によるキャリブレーションのずれの影響を小さくするために境界を切り取る方法のうち処理の単純なダイクストラ法を利用することにした。コスト関数はエッジに沿った正確な切り取りなどは求めず、大まかに色の変化が少ないルートを切り取ればよいと考えたため、コスト関数の計算コストが小さくかつグレイスケールでは無くカラー画像として処理をするために色ノルムの差をコスト関数として設定して画像合成を採用した。

3. ハードウェアデザイン

本研究はボールにカメラを付けた際の、カメラや画像処理の挙動に関して調べる目的があるため、カメラを実際にボールに付属したシステムを構築した。そのハード構成を以下に示す。

ボールとして中が空洞でカメラが内部に装着できるものを選択した。カメラの性能ではなく画像処理としての有用性を検証するため、ここでは一般的な Web カメラである Logicool® 1.3-MP Webcam C500 を使用した (表 1)。

この Logicool カメラを、ボールの内部に 2 台のカメラの視野が一部重なるように取り付けた(図 3)。実際はさらに多くのカメラを付けて画像処理をする必要があるのだが、今回は合成画像のつなぎ目のずれが、ボールの運動に左右されず出力されるか否かを調べる事が目的のため 2 台で十分である。実験ではこのボールカメラを投げることで映像を抽出し、処理を行う。

表 1 カメラのスペック表

製品名	Logicool® 1.3-MP Webcam C500
画角	72°
フォーカス	40cm - ∞(固定フォーカス)
画像センサー	130 万画素
フレームレート	30fps



図 3 カメラをボールに取り付けた例

4.1 画像貼り合わせ

本手法の画像貼り合わせ法について紹介する。まず最初にカメラ間の特徴点マッチングを行い射影変換する。本手法は高い精度でのキャリブレーションは求めていない。なぜならば、ボールにカメラを入れた際、その衝撃からカメラ間の関係は少しずつずれ、最初に行ったキャリブレーションの効果が薄くなるからである。また、キャリブレーションは無遠を基準に行われるためパララックスに弱いからである。したがって SURF を用いてその場の映像からそれぞれのカメラ画像の特徴点を求め、射影変換をするだけで十分である。その代わりに、画像の重なり領域が無くなり程度のずれを考慮した画像貼り付け法としてダイクストラ法を利用する。ずれがあっても入力画像に応じて毎回切り取る経路を探索し変更するため、繋ぎ目が一致して目立たない画像合成を行うことができる。

探索領域ははじめの射影変換した後の重なり領域のみを探索している。(図 4-a,4-b)。

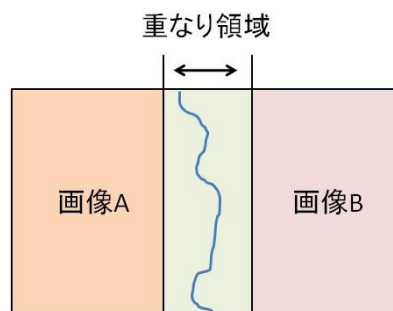


図 4-a 切り取りイメージ図



図 4-b 切り取り経路の探索領域(実写)

毎フレーム、探索領域内で色ノルムの差が少ない、すなわち見た目に変化の少ない領域を通過する経路をダイクストラ法を用いて決定し、その結果に沿って画像 B を切り取り、画像 A に貼り付けていく。二つの画像をブレンドするのではなく上から重ね合わせることで下の画像との細かいずれを隠し対応することができる。

4.2 コスト関数

最小経路探索法を用いる際に重要になるのがコスト関数の設定である。コストの定義によりその結果が大きく左右される。本研究ではキャリブレーションのずれに強い画像合成を目的としている。変化の少ない領域で切り取ることで繋ぎ目を見えないようにし、境界に不一致の無い画像合成を実現する。以下に我々が利用するコスト関数を紹介する。

図 5 にあるような画像 A(左画像) に画像 B(右画像) を張り合わせる事を考える。貼り付け後の画像上の重なり合ったピクセル s と隣接したピクセル t がある。 $A(s)$ と $B(s)$ はそれぞれ各ピクセル上の色である。これらを用いてコスト M を以下の式で表す。

$$M(s, t, A, B) = \|A(s) - B(s)\| + \|A(t) - B(t)\| \quad (1)$$

ここで $\|\cdot\|$ は L2 ノルムを表している。このコスト関数を用いることでピクセル間の色ノルムの差が小さいルートを画像の切れ目として選ぶ。他のコスト関数としては画像を微分してエッジを考慮したものや近傍領域の分散を利用したコスト関数が考えられるが、今回はシンプルなコスト関数を利用した。今後はより複雑なコスト関数を検討する必要がある。

5. 実験結果

ボールにカメラを設置して撮影し、生じたパララックス問題に対して、ダイクストラ法を用いて画像を切り取る本提案手法の効果を示す。まず入力画像左(図 5-A)と右(図 5-B)において画像間の射影行列を求めるために SURF による特徴点マッチングを行い、RANSAC を用いて射影変換を求め、画像を同じ座標系に射影する(図 6)。端点と緑線はそれぞれお互いの画像の対応するピクセルとそれを結ぶ線である。得られた画像間の特徴点の対応関係から、画像の射影行列を得る。得られた射影行列を利用して、二つの画像を同じ平面に射影する。次にダイクストラ法を用いてフレーム毎にダイクストラ法を実行し、最小コストを有する経路を利用し、画像を切り取る。図 7 に画像を切り取った結果を示す。左画像(図 7-a) と右画像(図 7-b) を張り合わせることで出力合成画像が得られる(図 7-c)。中央の緑線はダイクストラ法によって求められた画像の境界線である。



a. 左画像

b. 右画像

図 5 入力カメラ画像

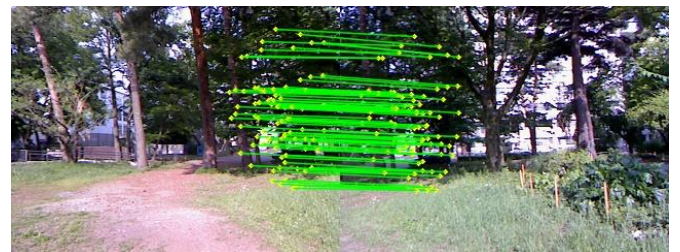


図 6 SURF マッチング結果



a. 左画像



b. 右画像



c. 合成画像(境界線)

図7 ダイクストラ法による境界線切り取り



図 8-c 連続したフレーム画像 3



図 8-d 連続したフレーム画像 4



図 8-a 連続したフレーム画像 1

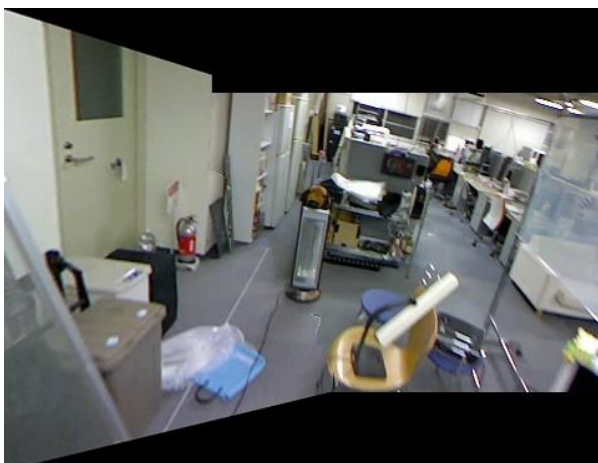


図 8-b 連続したフレーム画像 2

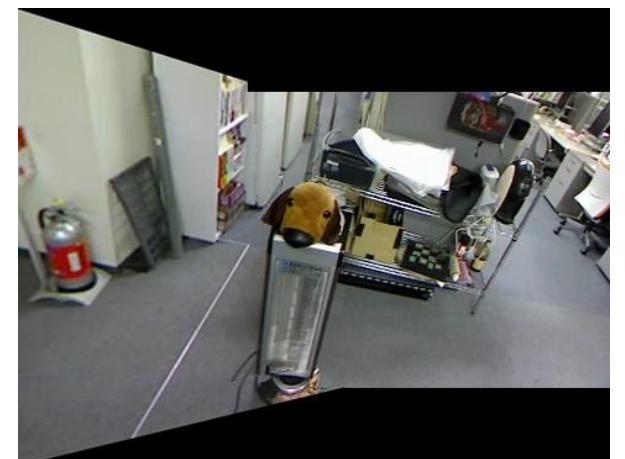


図 8-e 連続したフレーム画像 5



図 8-f フレーム 5 の時刻でのアルファブレンディング

図 8 では連続フレームでの合成結果を示す。ここではボールを投げた場合の映像を用いる(図 8a-f)。

図 8 では繋ぎ目が目立たない整合のとれた画像合成が出来ている。結果からパララックスに頑健であることが分かる。図 8-c では、自動露光が作動しているためマットの色には多少の差が生じているが、露光をあらかじめ設定することにより問題を解決できると考える。図 8-e と図 8-f と比べるとパララックスに対して本手法が有効であることが分かる。さらに、図 9 は図 8-e と図 8-f を拡大した画像である。アルファブレンディングを用いた合成では画像が 2 重に見えるため、不整合な画像となっている。これに対して本手法では画像の重なり部分が不整合の無い画像となっていることが確かに確認できる。

しかし、図 10 では人形の形が崩れている。原因としては、被写体までの距離が近く、極端なパララックスには対応できていない。また、前景の境界線を考慮していないため、最短経路が人形を切る結果となっている。この対処としてはカメラのパララックスを小さくするようにカメラを配置することが挙げられる。しかし、カメラを増やすとコストが非常に高くなるため、これは避けたい。境界線が前景を切ることが無いように、エッジ情報をコスト関数に追加することや、複数の切り取り経路を利用することも考えられる。



a. アルファ
ブレンディング b. 本手法
c. 境界線

図 9 従来法(アルファブレンディング)と本手法の比較

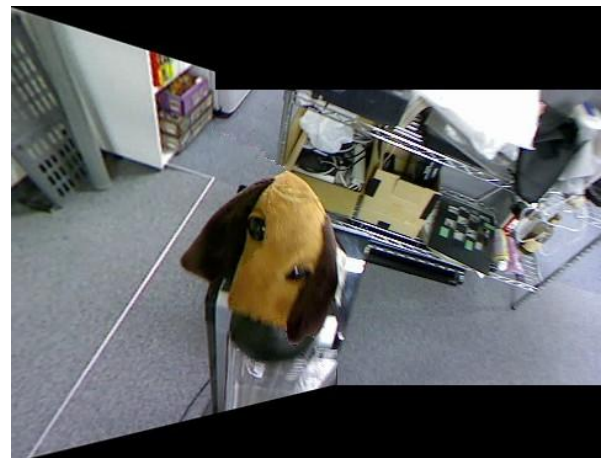


図 10-a パララックスにより合成に失敗した例(写真)

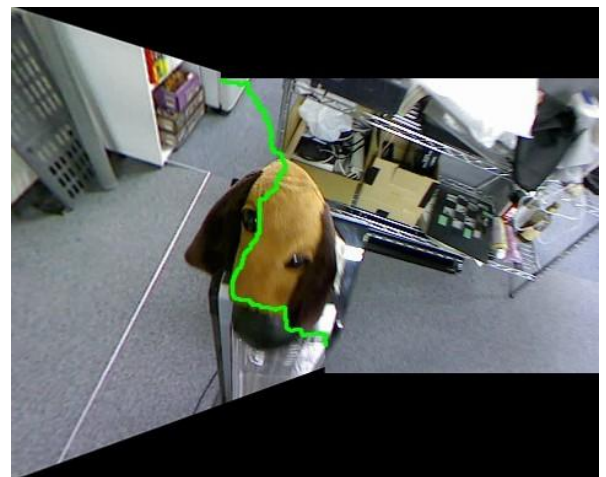


図 10-b パララックスにより合成に失敗した例(境界線)

6. おわりに

本稿では、ボール視点の映像生成における、柔軟性の高いイメージモザイク手法を提案した。具体的には、ボールの衝撃によるカメラ間の外部パラメータのずれや近距離物体に起因するパララックス現象に頑健な画像間の張り合わせ手法を提案した。本提案手法では、画像間の色変化の少ない境界線経路をダイクストラ法で求め、ぶれの無い画像を作成することを可能とした。

今回はフレーム毎の処理を行ったため、空間的連続性は考慮されていないが、今後前後の時空間連続性を考慮したコスト関数の設計を検討する。また、今回提案している手法では、すべての共通ピクセルについて最短経路検索を行っているが、今後は画像領域分割やダウンサンプリングを利用し、探索ノードの総数を減らす方法を試す。

本研究が近い将来、スポーツの現場に導入され、スポ観戦の発展に貢献する事を望む。

文 献

- [1] O. Izuta, T. Sato, S. Kodama, and H. Koike, "Bouncing Star Project: Design and Development of Augmented Sports Application Using a Ball Including Electronic and Wireless Modules", The proceedings of the first Augmented Human International Conference (AH'10), Article 22, Megève, France, April. 2010
- [2] H. Mori, D. Sekiguchi, S. Kuwashima, M. Inami, and F. Matsuno, "MotionSPHERE" ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques 2005 Emerging technologies (SIGGRAPH '05), Article 15, Los Angeles, USA, August. 2005
- [3] 佐藤雄隆, 山本和彦, 桑島茂純, 棚橋英樹, 王彩華, 丹羽義典, "移動体ビジョンを指向した小型全方向ステレオシステム(miniSOS)の開発", 第9回画像センシングシンポジウム論文集, pp.311-316, June. 2003
- [4] 佐藤雄隆, 坂上勝彦, "全方向ステレオシステム(SOS)を用いた電動車いすのインテリジェント化", 電気学会研究会資料, IIC, 産業計測制御研究会, pp27-32, March. 2008
- [5] L. Zelnik-Manor, P. Perona, "Automating Joiners", Proceedings of the fifth international symposium on Non-photorealistic animation and rendering (NPAR'07), pp.121-131, San Diego, USA, August. 2007
- [6] V. Kwatra, A. Schödl, I. Essa, G. Turk, and A. Bobick, Graphcut Textures: Image and Video Synthesis Using Graph Cuts, Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques 2003 Papers (SIGGRAPH '03), pp.227-286, San Diego, USA, July. 2003.
- [7] 飯吉建彰, 三橋渉, "EM アルゴリズムを用いて移動物体を許容した画像モザイク生成法", 電気情報通信学会技術報告会, ITS 107(486), pp.19-24, February, 2008.
- [8] J. Davis, "Mosaics of scenes with moving objects", In Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR'98), pp.354-360, Santa Barbara, 1998.
- [9] M. Rubinstein, A. Shamir, and S. Avidan, "Improved Seam Carving for Video Retargeting", ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques 2008 Papers (SIGGRAPH '08), Article 16, Los Angeles, USA, August. 2008.
- [10] W. Du, H. Li, "Construction of Image Mosaics with Video Texture", Fifth Asian Conference on Computer Vision (ACCV2002), Melbourne, Australia, January. 2002.