

5Gを利用したボールカメラ映像のライブストリーミングに関する研究

北山 翼^{1,a)} 小池 英樹^{1,b)} 益子 宗^{2,c)} 落合 裕美^{2,d)}

概要：新たなスポーツの撮影技術として、カメラを内蔵したボールであるボールカメラの研究がなされている。既存の研究では撮影された映像はカメラ内に保存され、後処理を行ってから提供される。しかし、将来的には、撮影した映像はリアルタイムで視聴者に提供することが想定される。したがって、本論文では6台の5Gスマートフォンを用いてボールカメラから映像をリアルタイムで伝送・処理するシステムの実装を行った。また、実装したシステムにより、ボールカメラからリアルタイムで全天球映像をストリーミングできることを確認した。

1. はじめに

スポーツのライブストリーミングにおいて映像は競技の妨げにならないようフィールドの外側から撮影されることが一般的である。近年ではワイヤを使ってフィールドの上に吊るしたカメラを使用したり、小型のアクションカメラを選手の頭に装着したりして、よりダイナミックな映像を撮影することが可能となってきている。さらに最近では、任意の視点の映像を生成できる自由視点映像生成技術も実用されてきている。

一方、新たなスポーツ観戦方法としてボールカメラで撮影される、ボール視点映像が提案されている。ボールカメラとは、ボール内に1個あるいは複数個の小型カメラを内蔵したデバイスである。ボールカメラで撮影される映像はボールの回転などのために通常撮影されるような映像とは異なる。したがって、画像処理により疑似直進映像の生成 [1,2] や、回転のキャンセル [3]、死角補完 [4] などを行う研究がなされてきた。

従来のボールカメラでは撮影された映像はカメラ内に保存され、画像処理は後処理として行われてきた。しかし、将来的には、撮影した映像は実時間で伝送され、遠隔サーバで画像処理を行い視聴者に提供することが想定される。そこで、本研究の目的は、将来的に複数台の小型カメラが内蔵されたボールカメラを想定し、これら小型カメラから

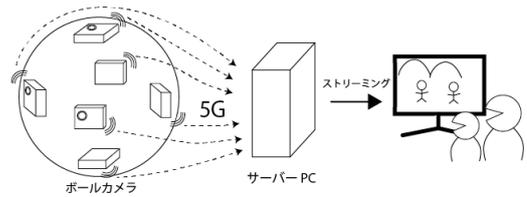


図 1 ボールカメラの映像伝送

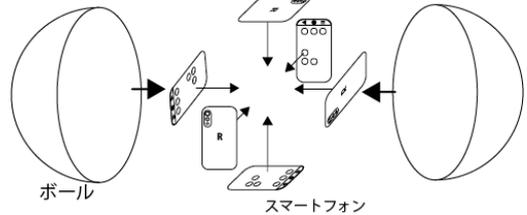


図 2 ボールカメラの実装の概要



図 3 作成したボールカメラ

の映像を実時間で伝送・処理するシステムを実装することである。

2. 提案手法

2.1 ハードウェア

図 1 は我々の考えるボールカメラ映像伝送システムの図

¹ 東京工業大学
² 楽天株式会社 楽天技術研究所
a) kitayama.t.ac@m.titech.ac.jp
b) koike@c.titech.ac.jp
c) so.masuko@rakuten.com
d) hiromi.ochiai@rakuten.com

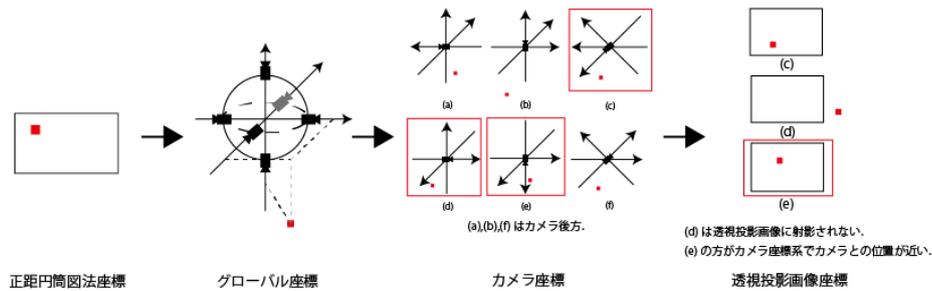


図 4 座標系変換の概要

である。本システムの構成は iBall^{*1}を参考にした。ただし、現状ではこのような高度な伝送機能を持った小型カメラは存在しない。そこで本研究では、高速データ伝送機能を持つカメラとして、5G スマートフォンで代用することとした。将来的に、個々のカメラで撮影された映像はそれぞれ 5G 回線を使用して伝送することを想定している。

ボールの周囲 360° を撮影するため、ボールの表面にスマートフォンを 6 個設置する (図 2)。本研究では 5G スマートフォンとして Rakuten BIG (楽天モバイル) を 6 台使用し、プロトタイプとしてアクリルボールの中に内蔵した (図 3)。

2.2 ソフトウェア

提案手法のソフトウェアの概要を述べる。まず、各スマートフォンからサーバーとなる PC に映像が送られる。次に、送られてきた映像をサーバー側でスティッチングをし全天球映像を生成する。最後に、生成した全天球映像の視点固定を行い出力する。

2.2.1 通信

各スマートフォンとサーバー PC との通信には試験的に Wi-Fi を使用している。サーバー PC でメインスレッドと別に受信用のスレッドを 6 つ用意し、マルチスレッドで受信をしている。UDP 通信により各スマートフォンから画像やセンサの情報を受け取っている。

2.2.2 スティッチング

カメラ 6 台それぞれから得られる映像をスティッチングすることで全天球映像を生成する。本論文で提案するボールカメラは、リアルタイムでのストリーミングを目的としている。したがって、実行時間の観点から特徴点マッチングを用いたスティッチングではなく、座標系変換によるスティッチングを採用する。

座標系変換の概要を図 4 に示す。まず、出力となる全天球画像の各ピクセルを正距円筒図法座標系からボールの中心を原点とする 3 次元座標系に変換する。これをグローバル座標系とする。このとき、各ピクセルの深度情報が必

要となるが、本論文では全て 1.5m としている。次に、グローバル座標系から各カメラを中心とした 6 つの 3 次元座標系に変換する。これをカメラ座標系とする。このとき、カメラ座標系でカメラの後方に位置するピクセルは無視する。そして、各カメラ座標系を透視投影画像座標系に変換する。最後に、透視投影画像座標系で透視投影画像に射影されないピクセルを除外する。さらに同一のピクセルのうち各カメラ座標系において原点からの距離が一番近いカメラ座標系のみを選択し、それ以外のカメラ座標系ではそのピクセルは削除する。以上により、出力の全天球画像の各ピクセルに対応する透視投影画像のピクセルを計算する。

2.2.3 視点固定

ボールカメラで撮影された映像はボールの回転により視点不安定になってしまうため、スティッチングした全天球映像から視点が一定方向に固定された映像を生成する。視点固定には Nakazawa ら [3] のフレームの姿勢修正の手法を利用する。ただし、回転行列は特徴点マッチングではなく Rakuten BIG に内蔵されているセンサを用いて取得した。この回転行列はフレーム間のスマートフォンの回転を表しており、この回転行列を初期フレームから掛け合わせていくことで初期フレームから目的のフレームまでのスマートフォンの姿勢変化を得ることが可能である。そして、スマートフォンの姿勢変化の逆行列を画像に対してかけることで視点を初期フレームと同じ視点に固定することが可能となる。

本論文では、まず 6 台のうちいずれか 1 台のスマートフォンで取得した回転行列を画像と同時にサーバー PC に送信した。そして、サーバー PC では受信した回転行列をデバイス全体の姿勢変化を表す回転行列として上記の手法でフレームの姿勢修正を行った。

3. 実験・結果

提案するボールカメラで実際にストリーミングの実験を行った。スマートフォン側では 30fps で撮影し、各フレームを 640*360 に縮小して送信している。サーバー PC は

*1 <https://www.youtube.com/watch?v=101EOUAv2K4>

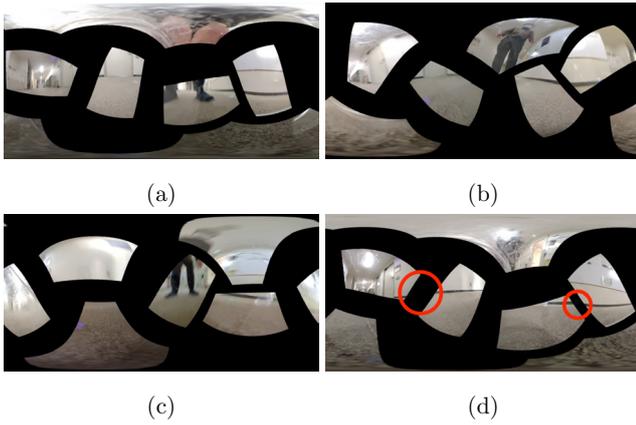


図 5 撮影した動画の例

Intel Core i7-9750H 2.6GHz, RAM 16GB, GeForce RTX 2070 である。サーバー PC では各スマートフォンからの各フレームを 1280*640 の全天球画像にスティッチングし、視点固定を行なったあとそのフレーム画像を表示する。

提案するボールカメラでストリーミングした映像のうちいくつかのフレームを図 5 に示す。各フレームの黒い部分は各スマートフォンのカメラの視野が足りないために生じている死角である。また、回転が速い場合シャッタースピードが足りず、図 5c のように、ブーがかかってしまう。また、今回用いたスティッチング手法では図 5d で赤い円で囲った部分のように、被写体とカメラの距離が仮定した 1.5m と大きく異なる場合、スティッチングに失敗してしまうことがある。

本論文では、あるフレームの処理が終わった時点での最新のフレームを次に処理するように実装している。したがって、その間のいくつかのフレームは処理されずに捨てられる。処理時間は 1 フレームにつき 0.1~0.3 秒ほどであるので、処理されるフレームに関してはレイテンシは 0.2~0.3 秒である。ただし、上述のようにいくつかのフレームは処理されないで出力映像は 4~10fps ほどになってしまう。

4. 結論

本論文では 6 台の 5G スマートフォンをボールの表面に配置し、実時間ストリーミング可能なボールカメラのプロトタイプを提案、実装した。また、このボールカメラを用いることでボール視点の全天球映像をフレームレートの制限はあるもののストリーミングが可能であることを確認した。

今後の展望として、5G でのより高速な通信、広角レンズを用いることによるカメラの視野の拡張、画像処理時間の高速化、各カメラからの映像の同期などがあげられる。

参考文献

[1] Kris Kitani, Kodai Horita, and Hideki Koike. Ballcam!: Dynamic view synthesis from spinning cameras. In *Ad-*

unct Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST Adjunct Proceedings '12, pp. 87–88, New York, NY, USA, 2012. ACM.

- [2] Ryohei Funakoshi, Yoji Okudera, and Hideki Koike. Synthesizing pseudo straight view from a spinning camera ball. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, AH '16, pp. 30:1–30:4, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [3] Masakazu Nakazawa and Hideki Koike. Synthesizing fixed point of views from a spinning omnidirectional ball camera. In *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference*, AH '17, pp. 32:1–32:5, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [4] Tsubasa Kitayama, Shio Miyafuji, and Hideki Koike. Vision extension for a ball camera by using image completion. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference*, AHs '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.