

ローカル 5G 環境における LiDAR を利用した ボッチャの遠隔ビューアの試作

Prototype of Remote Viewing System for Boccia using LiDAR in Local 5G Environment

向 直人^{1*}

¹ 梶山女学園大学文化情報学部文化情報学科

¹ Dept. of Culture-Information Studies, Sugiyama Jogakuen University

Abstract: In this study, we focused on Boccia, one of the official sports of the Paralympic Games, and aimed to develop a remote viewing system for physically disabled persons. A LiDAR camera captures the ball placement of the Boccia as point cloud data. We conducted experiments on data transmission in a local 5G environment and measured the transmission time of the point cloud data. The downsampling for point cloud data can reduce the transmission time, and it realizes an 8[fps] framerate. We also applied a color filter and clustering using DBSCAN to the point cloud data to extract the features necessary for visualization.

1 はじめに

ボッチャはパラリンピックの正式競技の一つであり、四肢障害や体幹機能障害など重度な障害者であっても楽しむことができるよう考案されたスポーツである [1]。ボッチャのルールでは、ジャックボールと呼ばれる白いボールを目標として、2 チームが赤と青のボールをそれぞれ 6 球ずつ投球し、最終的にジャックボールの近くに自チームのボールがあると勝利となる。障害によりボールを投球することが困難な場合も、補助者（ランプ・オペレータ）と協力しながら、ランプと呼ばれる競技用の勾配具を利用して投球することが可能である。

近年は、デジタル技術を活用して、ボッチャを幅広く楽しむための取り組みが進められている。株式会社ワントゥーテンは、センシング技術を活用した CYBER BOCCIA（サイバーボッチャ）を開発し、イベント向けのエンターテインメント性の高い製品を展開している [2]。マイクロソフトの Kinect センサーを採用し、約 1 秒間隔でミリ単位でのボールの位置計測を実現している。試合状況やプレイヤーの様子を、大型ディスプレイに映すことで、多くの観客が同時に楽しむことも可能である。一方で、複数のボールがジャックボールに密集したときの位置計測が困難であること、また、ボールが立体的に積み重なったときの 3 次元の計測は現状のシステムでは不可能であることを課題として挙げている。武居らは、重度障害者がボールを投球するための

ボッチャロボットを開発している [3]。ボッチャロボットの投球機構は、バネの力によってアームを回転させ、振り子のようにアームの先のボールを放物線状に投球することを可能にしている。アームの角度とハンドの角度をパラメータとして入力することで、誤差は生じるものの、直感的な投球には十分な性能であることを示している。吉田らは、遠隔からランプを操作可能なシステムを構築した [4]。ランプの制御装置には、USB カメラが取り付けられており、遠隔からボールの配置などを把握することが可能になっている。さらに、ランプの方向と、ボールの発射の高さを遠隔から調整し、ボールを発射させる。アンケートでは、カメラ映像では、実際の距離感が掴みにくいことが指摘されており、2 台目のカメラを追加することを今後の課題として挙げている。

本研究では、ボッチャのボール配置を遠隔から確認可能なビューアを開発することを目的とする。株式会社ワントゥーテンの CYBER BOCCIA で課題とされた、立体的なボールの配置を把握するため、本研究では LiDAR カメラ（Intel RealSense LiDAR カメラ L515）を採用し、点群データ（ポイント・クラウド）としてデータを取得することにした。2 次元のカメラ映像と比較し、点群データは 3 次元の座標値を記録するため、データ・サイズが必然的に大きくなってしまう。そこで、高速かつ低遅延を実現するローカル 5G 環境において、点群データを遠隔に送信することを試みる。また、点群データの形状を維持したままデータ・サイズを減少するためにボクセル・ダウンサンプリング（Voxel

*連絡先：梶山女学園大学文化情報学部文化情報学科
〒464-8662 名古屋市中種区星が丘元町 17 番 3 号
E-mail: nmukai@sugiyama-u.ac.jp

Downsampling)を導入し、その効果を検証する。最後に、転送された点群データを、試作したビューアで可視化した結果を示す。

2 ボッチャの点群データ

ボッチャのボールの配置を取得するために LiDAR カメラの L515 を採用した。同カメラは、最大フレームレート 30[fps] で、対象の色 (1920×1080[px]) と深度 (640×480[px]) の取得が可能である。深度の取得にはレーザー照射を用いており、複眼のステレオカメラに比べ、高精度で外乱 (明るさなど) に強いとされる。同カメラで取得した点群データは、3次元の xyz 座標と RGB の色情報を保持する。図1にボッチャの点群データの例を示す。撮影対象として、白色のジャックボールと、赤色と青色のボールの計3つを配置し、俯瞰視点で撮影した。点群データは、143,559の点で構成されており、各点に色が設定されていることがわかる。俯瞰で撮影したため、ボールの上半分は球体として認識されているが、下半分は円柱の形状と認識された。これをバイナリ形式のPLYフォーマット (Polygon File Format) で保存すると、約3.9MB (約31.0Mb) のファイルサイズとなった。現在、全国で広く利用可能な4G環境の実効速度 (送信時) は、NTTドコモの調査によると9Mbps~29Mbpsとされており¹、リアルタイムに点群データを送信するには十分とは言えない。そこで、近年、普及が進む5G環境において、点群データを送信することを試みる。上述のNTTドコモの調査では、5G環境の実効速度 (送信時) は12Mbps~37Mbpsとされており、より高速に安定したデータ送信が可能と考えられる。加えて、データ送信時のデータ・サイズを低減するため、ダウンサンプリングを適用した点群データも比較に用いる。図2は、ボクセル・ダウンサンプリングを適用した点群データであり、8,241の点で構成される。点群データの全体的な形状や特徴を保ちながら、点の数が減少していることがわかる。ボクセル・ダウンサンプリングは、点群データを複数の立方体 (ボクセル) に分割し、その立方体に含まれる点の重心を、代表点として採用する手法である。

3 ローカル5G環境における送受信実験

5G環境においてボッチャの点群データを送受信する実験を実施した。名古屋市にある「なごのキャンパス」では、スターキャット・ケーブルネットワーク株式会社

¹NTTドコモ 実効速度計測結果 https://www.docomo.ne.jp/area/effective_speed/?icid=CRP_AREA_premium_4g_to_CRP_AREA_effective_speed



図1: オリジナルの点群データ ($N = 143,559$)



図2: ダウンサンプリングした点群データ ($N = 8,241$)

が敷設するローカル5G²が利用可能であり、本研究の実験環境として採用した。同エリアにおけるネットワーク遅延は平均23.2[ms]とされており、非常に安定した通信を実現している。

点群データの送受信に用いるシステム構成を図3に示す。クライアントPCには、LiDARカメラのL515がUSB3.1 Gen 1で接続されており、図1に示した3つのボールを連続で撮影する。クライアントPCから、撮影したボッチャの点群データを、TCP/IPでサーバPCに送信する。サーバPCでは、可視化に必要なデータを点群データから抽出し、後述するビューアにOSC (Open Sound Control) で送信する。ビューアに関しては、次章で詳しく述べる。クライアントPCとサーバPCを5GとWi-Fiで接続したときの送受信の時間を計測し、比較する (Wi-Fiは室内のルータを介した無線LAN環境)。

点群データの送受信を100回以上繰り返し、送受信にかかる平均時間をまとめた結果が表1である。5G環境では、ローデータは2.52[s]、ダウンサンプリングしたデータは0.13[s]であった。また、比較対象のWi-Fi環境では、ローデータは0.21[s]、ダウンサンプリングしたデータは0.02[s]であった。5G環境であっても、ローデータの場合は、リアルタイムでの送受信が困難であることが示された。ダウンサンプリングすることで、送受

²スターキャット・ケーブルネットワーク株式会社 ローカル5G <https://www.starcat.co.jp/business/local-5g/>

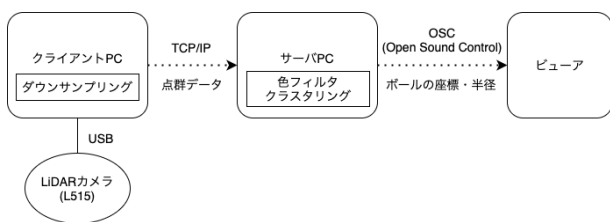


図 3: システム構成

信時間は約 1/20 まで短縮することができたが、フレームレートは約 8[fps] が限界であった。一方、Wi-Fi 環境では、ダウンサンプリングした場合、フレームレートは約 50[fps] となり、リアルタイムでの送受信が可能である。ローカル 5G では、送信（アップリンク）と受信（ダウンリンク）のタイムスロットの割合を変更することが可能であり、送信（アップリンク）を優先させることで、送信速度を改善することができる。リアルタイムでの送受信を実現するには、ボッチャの大会開催時など、スポット的に送信速度を優先させるなどの解決策が考えられる。また、ボクセル・ダウンサンプリングのパラメータである立方体（ボクセル）の大きさを最適化することも検討したい。

データ	点の数	送受信時間 [秒]
5G ローデータ	149,748	2.52
5G ダウンサンプル	10,965	0.13
Wi-Fi ローデータ	147,896	0.21
Wi-Fi ダウンサンプル	10,915	0.02

表 1: ボッチャの点群データの伝送時間

4 ビューアの試作

遠隔に送信された点群データを可視化するビューアを試作した。図 3 のサーバ PC において、点群データから可視化に必要な特徴を抽出する。ここでは、図 4 の点群データを対象とし、色フィルタとクラスタリングを用いた特徴抽出を用いる。点群データは、白色のジャックボールと、赤色のボール 2 つ、青色のボール 2 つ、計 5 つのボールで構成されている。色フィルタは、3 種類のボールの色（#F13A72, #3069D2, #F1F9F0）をターゲットとし、色の距離が一定値以内の点群を抽出する。次に、抽出された点群データに、DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)[5] によるクラスタリングを適用する。DBSCAN は、密度の高い点をクラスタにまとめ、密度の低い点を外れ値とみなすアルゴリズムである。クラスタ数を指定する必要はなく、任意の形状のクラスタを検出することが可能である。抽出されたクラスタ

に含まれる点群の重心の 3 次元座標、また、重心から最も離れた点までの距離を算出し、可視化のための特徴量とする。これらの特徴量は、柔軟なデータ転送を可能とする OSC（Open Sound Control）を通信プロトコルとして、ビューアに送信される。



図 4: 対象の点群データ

ビューアでは、受信した重心の 3 次元座標をボールの中心、また、最も離れた点までの距離をボールの半径として描画する。ビューアのスクリーンショットを図 5 に示す。3 次元空間に撮影対象と同じ 5 つのボールが描画されていることがわかる。マウスを利用して空間を回転させることができるため、任意の方向からボールの配置を視認することが可能である。一方で、描画されたボールの大きさが異なることがわかる。これは、色フィルタとクラスタリングによるボールの認識精度が不十分であることが理由である。DBSCAN のパラメータであるクラスタの半径距離や、構成する点の最小数などを最適化することで改善可能であるが、カメラや外乱などの状況によって最適値は異なるため、汎用的に設定することは難しい。また、複数のボールが隣接している場合、一つのボールとして認識されてしまう問題があり、株式会社ワントゥーテンの CYBER BOCCIA で課題とされていた立体的なボール配置の認識問題も解決できていない。これらの問題の解決方法として、PointPillars[6] などの点群データの物体検出アルゴリズムの採用が挙げられる。PointPillars は、3 次元空間を直方体に分割することで、2 次元の疑似画像を生成し、物体検出モデルを適用する方法であり、立体的なボールの配置も認識できる可能性が高いと考えている。

5 まとめ

本研究では、パラリンピックの正式競技の一つであるボッチャに着目し、遠隔からでもボールの配置を確認可能なビューアを開発することを目的とした。ボッチャのボール配置を、LiDAR カメラで撮影することで、点

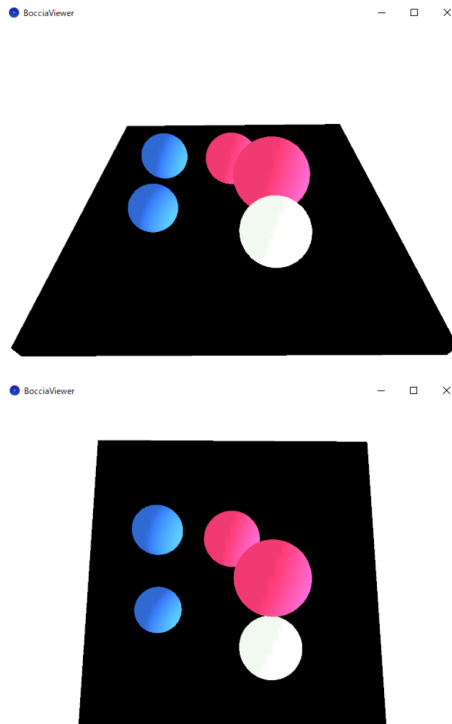


図 5: 試作したビューア

群データとして状況を把握する．点群データは 2 次元の画像に比べ，データ・サイズが大きくなることから，ローカル 5G 環境におけるデータ送受信の実験を実施し，送受信の時間を計測した．点群データにダウンサンプリングを適用することで，約 8[fps] のフレームレートでの送受信が実現できることを示した．また，点群データに対して，色フィルタと DBSCAN によるクラスタリングを適用して，可視化に必要な特徴量を抽出し，試作したビューアで可視化した．立体的なボールの配置が認識できないことが課題となるが，今後，点群データの物体検出アルゴリズムを適用することで解決したいと考えている．

謝辞

本研究は梶山女学園 学園研究費助成金の助成を受けて実施しています．また，ローカル 5G の実験環境を提供して頂いたスターキャット・ケーブルネットワーク株式会社の宮内元氏に感謝します．

参考文献

- [1] 片岡正教, 奥田邦晴. ボッチャ：最重度の障がい者アスリートが参加するパラリンピック競技. 日本義肢装具学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 253–256, 2016.

- [2] 澤邊芳明. サイバースポーツが切り開く、パラスポーツとテクノロジーの融合による新たな可能性について. リハビリテーション・エンジニアリング, Vol. 34, No. 3, pp. 82–85, 08 2019.
- [3] 武居直行. ボッチャ用ロボティック投球デバイスの開発. 計測と制御, Vol. 59, No. 6, pp. 393–397, 06 2020.
- [4] 吉田昂平, 石本駿, 岩下浩明, 中沢信明. ボッチャの遠隔プレイ支援システムの構築. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2022, No. 0, pp. 2A1–E04, 2022.
- [5] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, Xiaowei Xu, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *kdd*, Vol. 96, pp. 226–231, 1996.
- [6] Alex H. Lang, Sourabh Vora, Holger Caesar, Lubing Zhou, Jiong Yang, and Oscar Beijbom. Pointpillars: Fast encoders for object detection from point clouds, 2019.