

学習者がピクチャ・イン・ピクチャを操作できる360度医療ライブ配信システムの開発

富松, 俊太
九州大学大学院芸術工学研究院

工藤, 孔梨子
九州大学病院

蓑田, 洋介
九州大学病院

<https://hdl.handle.net/2324/7329782>

出版情報 : Japan Journal of Medical Informatics. 44 (Suppl.), pp.936-939, 2024-11-21. Japan Association for Medical Informatics

バージョン :

権利関係 :



学習者がピクチャ・イン・ピクチャを操作できる 360 度医療ライブ配信システムの開発

富松俊太^{*1}、工藤孔梨子^{*2}、
養田洋介^{*2}

*1 九州大学大学院芸術工学研究院、*2 九州大学病院

Development of a 360-Degree Medical Live Streaming System with Learner-Controllable Picture-in-Picture Functionality

Shunta Tomimatsu^{*1}, Kuriko Kudo^{*2}, Yosuke Minoda^{*2}

*1 Faculty of Design, Kyushu University, *2 Kyushu University Hospital

Cross-reality (XR) technology using head-mounted displays (HMDs) is still under development in the education field, and there is a lack of platforms that provide learning programs tailored to the needs of educators. In this study, we developed an XR system that improves usability for learners in medical live demonstrations.

The developed system transmits 360-degree camera and medical image, and allows users to move and zoom in and out of the picture-in-picture (PinP) medical image using HMD controllers, optimizing the layout for each learner. An implementation demonstration was conducted using an endoscope, achieving performance at a resolution of 1920 x 960 and a frame rate of 29-30 fps. The system developed in this study offers high interactivity, enabling learners to customize their viewing experience.

This system can be applied to live demonstrations in various medical fields, providing immersive and personalized learning experiences. However, to implement actual demonstrations, security and other functional modifications are needed. Further research will focus on user evaluations and improving system functionalities to ensure effective and secure usage in real-world applications.

Keywords: 360-degree camera, medical live demonstration, head-mounted display

1. 緒論

遠隔会議を活用した医療ライブ配信は、学習者が自宅や勤務先からリアルタイムに遠隔施設にいる熟練の術者の手技を視聴できる点から、海外やへき地など移動のバリアがある地域に向けた医療教育の手段として意義を見出すことができる。しかし通常の遠隔会議システムを使用する場合、機器配置やスタッフの動線など、配信できる室内の情報がカメラの画角によって制限されてしまう。その解決手段として上下左右全方位の 360°を撮影できる全天球カメラによる配信がある。全天球カメラを用いれば学習者は見たい部分を注視でき、さらに受信端末としてヘッドマウントディスプレイ(HMD)を使えば実際に現地にいるかのような臨場感を得ることができる。このような HMD によってユーザーが今いる現実と異なる空間を体験するクロスリアリティ(XR)技術は、医療分野を含めこれからの教育手段として注目されている。全天球カメラと HMD を組み合わせた医療ライブ配信は、過去に内視鏡にて既存の配信プラットフォームを使った実施報告があるが、内視鏡映像と全天球カメラによる内視鏡室映像を同時に見ることができないという機能制限が報告されている¹⁾。全天球映像への別ソースの映像表示は、OBS Studio などの映像合成システムを用いてピクチャ・イン・ピクチャ(PinP)映像を作成し、YouTube (San Bruno, CA)などの映像配信プラットフォームを用いて全天球映像配信を実施することで実現できる²⁾。しかしこの方法は受信側が適切な PinP の位置やサイズを調整できず、PinP に隠れた部分の全天球映像を見ることができない。前述の見たい部分を注視できる XR の優位性を鑑みると、これらは改善すべき機能的課題である。

2. 開発目的

以上の背景を踏まえ、本研究では技術的な側面からの XR

医療ライブ配信における学習体験の向上を目的とし、受信側からの双方向性を高めた全天球での医療映像配信システムの開発を行う。本研究で開発するシステムは全天球カメラと医療映像を PinP で合成して配信することで、スタッフの動線や機器配置といった部屋全体の様子と、進行している手術や検査の経過を受信側で同時に視聴できることを目指す。また、HMD で視聴する映像の最適な PinP のレイアウトは配信の進行や学習者ごとに異なると仮定し、全天球カメラから配信される内視鏡室の見たい地点や、適切な医療映像のサイズを学習者が任意に設定できるよう、受信端末側で PinP を移動や拡大縮小させる機能を実装する。さらに過去の全天球カメラと HMD を用いた内視鏡ライブ配信の結果を踏まえた映像の品質向上も行う。過去の配信における全天球カメラの映像では、解像度 1920×960 に対してフレームレートの実測値が 0~15fps だった¹⁾。本研究では同じ解像度で、フレームレートは Zoom (San Jose, CA)をはじめとしたソフトウェア型遠隔会議と同等の 30fps での配信を目指す³⁾。

3. システム概要

開発では Unity Technologies (San Francisco, CA) のゲームエンジンである Unity Editor version 2022.3.12f1 を使用した。また Unity より提供されているパッケージ化されたスクリプトであるアセットのうち、Unity Render Streaming 3.1.0-exp.7 と WebRTC 3.0.0-pre.6 を用いた。Unity Render Streaming は Unity 上でレンダリングされた映像をネットワーク経由で配信し、受信端末のブラウザで閲覧を行うアセットである。また受信端末からの入力を送信することで、リモートからの操作も可能としている。本アセットは WebRTC の技術を利用しているため、WebRTC アセットも併せて導入した。

開発した配信システムの構成を図 1 に示す。本システムは

配信と受信でそれぞれ端末を1台ずつ使い、同じローカルエリアネットワーク内にて接続して双方向で情報通信を行えるものとした。また配信端末では、今回開発したアプリケーション（試作アプリ）と、Receiver Sample という Unity Render Streaming のサンプルとして配布されているウェブアプリケーションのふたつを実行することで配信を行うものとした。

試作アプリは全天球カメラと医療映像のふたつの映像を外部から取り込み、全天球カメラを背景に、医療映像を PinP で表示させる。なお合成した映像の送信設定としてビデオコーデックは H.264、解像度は 1920×960 、フレームレートは 30fps、ビットレート最大値は 10Mbps とした。

Receiver Sample は Unity Render Streaming でレンダリングした映像を外部端末から視聴、操作できるようにするためのアプリケーションである。本研究では試作アプリで合成した映像を配信し、後述する受信端末からの入力を試作アプリへ伝達する中継機能を担った。

受信端末は全天球カメラ映像の視点を視聴者の首の動きだけで変更できるよう、HMD を用いるものとした。また HMD には専用アプリケーションのインストールを必要とせず、Web ブラウザから Receiver Sample が指定した IP アドレスにアクセスすることで配信の視聴および操作を行うものとした。操作については受信端末側からのコントローラー入力を Receiver Sample が中継し、試作アプリ上で PinP の表示を調整できるものとした。PinP の操作できる項目は移動と拡大縮小のふたつとした。移動は受信映像表示中に、HMD のコントローラーでボタンを押下したままポインターを動かすことで、PinP を画面内で上下左右に動かすというものである。拡大縮小はコントローラーのボタン押下によって、PinP のサイズを 360×240 と 720×480 に切り替えるものである。

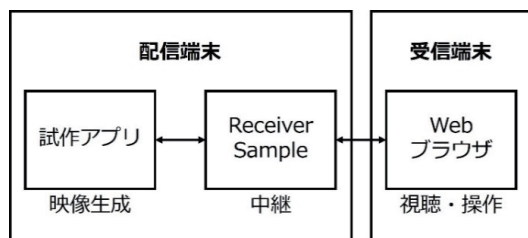


図 1. 配信システムの構成

4. システム評価

開発した配信システムのパフォーマンス評価として、2024 年 4 月に九州大学病院の内視鏡室にて、内視鏡的粘膜下層剥離術 (ESD) トレーニングを対象とした実装デモンストレーションを行った。なお本デモンストレーションにおける ESD の映像情報は実際の患者のものではなく、ESD トレーニングシステム G-Mater (KOTOBUKI Medical 株式会社, 埼玉県) の模擬粘膜モデルを利用した。

機材構成を図 2 に示す。配信端末および映像ソースのうち全天球カメラの RICOH THETA V (株式会社リコー, 東京都) は、診療台をはさんで術者と向かい合う位置に配置した (図 3)。RICOH THETA V は三脚で位置を固定したうえでライブストリーミングモード設定にし、USB で配信端末に取り込んだ。PinP 映像は内視鏡装置から DVI で出力した信号を DVI-HDMI 変換コネクタとキャプチャーデバイス GV-HUVC (株式会社アイ・オー・データ機器, 石川県) を用いて USB に変換し、配信端末に取り込んだ。配信端末の PC は有線で、受信

端末の Meta Quest 2 (Meta Platforms, Inc., Menlo Park, CA) は無線で、それぞれ同一の Wi-Fi ルーターに接続した。

配信端末は試作アプリと Receiver Sample を起動することで、ローカルエリアネットワーク内の端末から視聴、操作ができる状態にした。受信側は Meta Quest 2 に標準搭載された Web ブラウザである Meta Quest Browser を使い、Receiver Sample が指定した IP にアクセスした。受信した映像は初期状態ではブラウザ上で四角いフレーム内に表示されているため、HMD 側の操作で表示オプションを「360°VR」に設定することで全天球での映像に切り替えるものとした。

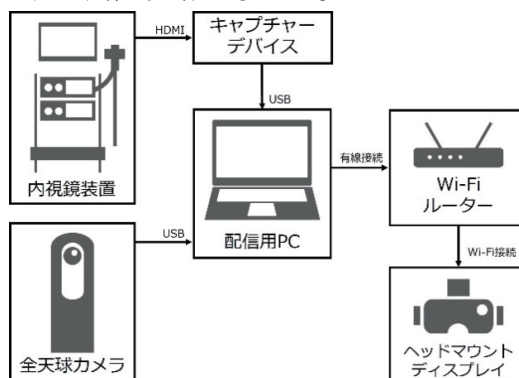


図 2. 実装デモンストレーションの機材構成



図 3. 配信端末と全天球カメラの配置

開発した試作アプリから配信される映像は、図 4 に示すとおり全天球カメラによる内視鏡室の映像を背景とし、PinP として内視鏡映像を表示できるものとした。HMD での受信画面では図 5 のように、配信された映像と同じものが全天球映像として映り、視聴者は首を動かすことで全天球カメラが映す範囲において自由な視点を持つものとした。またコントローラー操作で PinP の移動および拡大縮小を行うことで、内視鏡映像を視聴者の任意のレイアウトに設定することを可能とした。

実装デモンストレーション時のデータは Unity Editor 上で試作アプリの再生中に、Analysis 内の WebRTC Status を用いて配信側の帯域、フレームレート、解像度を 1 秒おきに 10 分間収集した。計測された本システムの送信帯域は図 6 に示すように、4.4Mbps からアプリケーションで設定した上限値である 10Mbps を推移した。また送信の解像度は測定期間中常に 1920×960 で、フレームレートは 29~30fps であった。



図 4. 試作アプリの配信画面

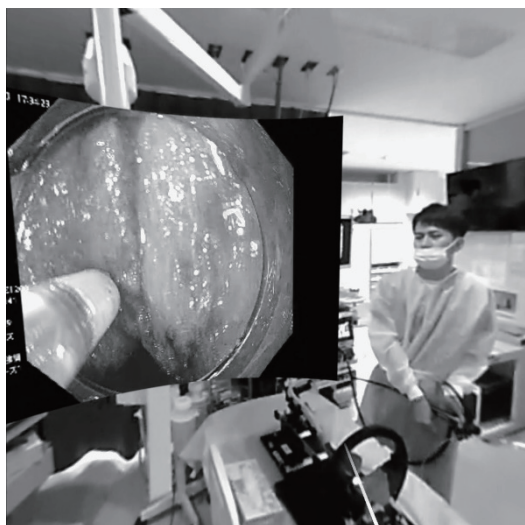


図 5. HMD の受信画面

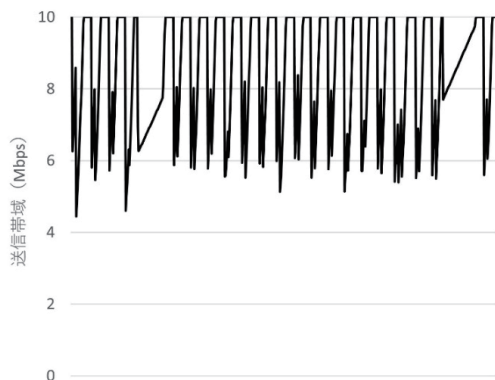


図 6. 送信帯域

5. 考察

本研究では XR 医療ライブ配信におけるユーザーの学習体験の向上のため、医療映像を PinP として表示させ、それを受信者が HMD のコントローラー入力で移動や拡大縮小ができる機能を備えた全天球映像配信システムを開発した。医療ライブ配信では、複数の映像ソースを高品質かつリアルタイムに同時配信するという技術要件を持つものがある。今回、この技術要件を満たし、さらに受信端末からの操作を受け付ける

双方向性を持たせたことで、「見たいものを見る」という観点で学習者にとって自由度の高い XR 医療ライブ配信システムとすることができた。なお医療ライブ配信は内視鏡の他にも泌尿器科や外科など多様な分野で実施されている⁴⁾。これらの分野においても、部屋全体の様子と医療機器や術野の映像を同時に配信する本システムは応用可能であると考えられる。

実装時に測定されたフレームレートは 29~30fps であり、過去の研究で使用したプラットフォームでの全天球カメラの実測値である 0~15fps と比較すると安定して高い値であった¹⁾。内視鏡ライブ配信での全天球カメラのフレームレートを向上させることで、スタッフの動線や術者の手の動きといった経過に対し、学習者の理解が深まることが期待できる。ただし今回の実装ではローカルエリアネットワーク内で送信端末と受信端末を接続しており、これがインターネットを経由することで不安定になりうることは考慮しておく必要がある。また、使用帯域も最大値が 10Mbps と、過去の研究(約 4.4Mbps)の倍以上となっており、配信環境によっては必要帯域の確保が難しい可能性もある。

今回、ゲームエンジンの Unity を用いて XR 医療教育システムの開発を行った。Unity はシミュレーターや教材などの開発にも利用されており、医療分野でも医用画像の共通規格である DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) データを読み込んで表示させる機能が公開されているなど、医療分野においても様々なシステム開発への応用が期待される⁵⁾。XR は発展途上の技術であり、現在においては個別の要件に応じたプラットフォームの手配が難しいため、個別の場面にカスタマイズされた XR コンテンツを内製によって迅速に開発することが重要とされる^{6, 7)}。なお井原は研究現場における XR コンテンツの開発で主に Unity を用いている旨を言及しているが、双方向性のあるコンテンツを少ない技術負担で開発するうえでゲームエンジンは有用であると考えられる⁷⁾。

本研究の制限事項として、第一に機能的な限界が挙げられる。今回のシステムでは三脚に固定した全天球カメラの映す範囲において視聴者が自由な視点を持つことができる。この自由度は 3DoF (Degree of Freedom) と呼ばれる、頭の回転や傾きへの対応である。全天球カメラ自体の移動ができないため、視界のものを前後左右や上下に移動させる 6DoF に対応させることは難しい。また本研究のシステムは配信端末側で映像を生成し、受信端末は Web ブラウザと利用する形で、受信端末の機種や性能に依存しない方針としており、それに関連して PinP 配置の垂直移動の制限がある。全天球カメラの映像は図 4 で示すようにエクイレクタングル(正距円筒図法)であり、平面で表示すると上下端が大きく歪んだものとなっている。そのため上下端の近くに PinP を配置すると、受信端末での全天球映像視聴時に内視鏡映像が大きく歪んで表示されることとなる。実際の内視鏡ライブ配信を行う場合の改修の必要性も制限事項となる。今回開発したサービスはあくまで試作品であり、実装も模擬粘膜モデルを使いローカルエリアネットワーク内で接続したに過ぎない。今後はインターネットを介して接続するためのシグナリングや、患者の個人情報に配慮する機能など、実際の配信の利用に向けて機能を検討し組み込んでいく必要があるだろう。

第二の制限事項は、開発したシステムのユーザー評価が行われていない点である。今後の研究にて操作感や遅延などの双方向性や、映像品質について項目を整理し評価を行うことで、将来的に臨床での利用へと発展させていくことができる。

6. 結論

本研究ではゲームエンジンの Unity を用いて、全天球カメラによる部屋の映像とピクチャ・イン・ピクチャ (PinP) による医療映像を高品質でライブ配信し、ヘッドマウントディスプレイで視聴および操作が可能なシステムを開発・実装した。既存の配信プラットフォームと比較して医療ライブ配信に適したユーザビリティやパフォーマンスを有したシステムを開発できたことより、ゲームエンジンによる個別のニーズに応じたクロスリアリティ (XR) 教材開発の可能性を見出すことができた。

利益相反および研究補助金

利益相反はない。

参考文献

- 1) 富松俊太, 久田由紀子, 上田真太郎, 他. 全天球カメラとヘッドマウントディスプレイを用いたリアルタイム内視鏡ライブ配信の評価. 日本遠隔医療学会雑誌 2023 ; 19(2) : 75-8.
- 2) Open Broadcaster Software | OBS. OBS Studio. [https://obsproject.com/ (cited 2024-Apr-30)].
- 3) 富松俊太, 吉田直久, 木村哲也, 他. 遠隔会議ソフトウェアを用いた HD 画質での内視鏡ライブ配信の評価. 日本遠隔医療学会雑誌 2021 ; 17(2) : 120-3.
- 4) Carbonara U, Crocero F, Novara G et al. Risks and benefits of live surgical broadcast: a systematic review. Eur Urol Focus 2022; 8(3): 870-81.
- 5) Unity Asset Store. Simple DICOM Loader. [https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/simple-dicom-loader-116915 (cited 2024-Apr-30)].
- 6) Lasse J, Flemming K. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. Educ Inf Technol 2018; 23: 1515-29.
- 7) 井原章之. XR が拓く RX (リサーチトランスフォーメーション). 情報処理 2023 ; 64(8) : d35-50.