個人用三次元音場再生を用いた遠隔操作システムのための映像通信システムの開発

○小野悠樹，木村敏幸（東北学院大学）

1. はじめに

木村研究室では，これまでに個人用三次元音場再生技術[1]に対応した映像収録・提示システムを開発してきたが，映像通信システムについては未着手であった．本研究では，UDP 通信による映像通信システムを構築し，ディスプレイ間の遅延差および通信処理による遅延の影響を検証した．

2. 実装環境

本システムは図 1 に示す送信 PC および受信 PC の 2 台構成とし，2 台の PC はルータを通じて有線の LAN ケーブルで接続した．開発環境には Spyder（Python 3.12.11）を用いた．映像取得および表示には OpenCV [2]を使用し，通信には UDP ソケット通信を採用した．

3. システム概要

3.1. システム構成

送信側では図 2 に示す 4K 解像度対応の Web カメラ（OKIOLABS：A10）から映像を取得し，フレーム中央部の縦 720 px を切り出した後，横方向を 1280 px 幅で 3 分割する．各映像は JPEG で圧縮した後，それぞれ異なる UDP ポートを用いて受信側 PC へ送信する．

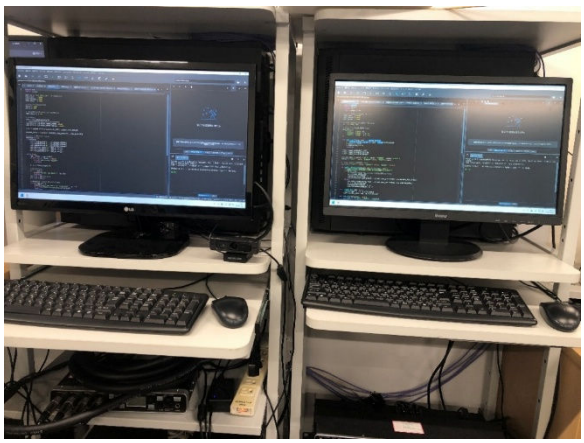

図 1　実験環境（左：送信 PC、右：受信 PC）

図 2　使用した Web カメラ

図 3　プログラム動作時の 3 面ディスプレイ

受信側では 3 つの UDP ソケットを受信し，最新フレームを各ディスプレイに表示する．また，キー操作により各画面の全画面表示や通常表示の切り替えが可能である．システム動作時の様子を図 3 に示す．

3.2. プログラム構成

送信側では OpenCV の VideoCapture を用いて Web カメラ映像を取得する．取得解像度は 4K（3840×2160）を要求し，フレームの高さ方向について中央 720 px を切り出す．次に，切り出した 720 px 領域を横方向に 1280 px 幅で 3 分割し，LEFT/CENTER/RIGHT の 3 枚の画像を生成する．これにより，3 面ディスプレイ提示を前提とした広視野映像の生成が可能となる．

分割した各画像は cv2.imencode()により JPEG 形式へ圧縮し，それぞれ異なる UDP ポート（5000/5001/5002）へ送信する．UDP 送信は socket.sendto()を用い，圧縮後のバイト列を宛先 IP アドレスに対して送る．また，送信側ではデバッグおよび切り出し確認のためにプレビュー表示を備えており，処理した映像を送信 PC 上で確認できる．

受信側では 3 つの UDP ポートを同時に受信するため，ポートごとに UDP ソケットを生成し，

setblocking(False)で非ブロッキングモードに設定する．複数ソケットの同時監視には select.select()を用い, 受信可能となったソケットのみからデータを読み出すことで, 待ち時間を抑えつつ複数ポートの取りこぼしを低減する．

受信したデータは JPEG バイト列であるため, NumPy 配列へ変換した後に cv2.imdecode()で復号し，画像フレームとして復元する．復号に失敗した場合（frame is None）は当該パケットを破棄し，処理を継続する．また，各ポートについて「最新フレーム」を保持する辞書（latest）を用意し，到着順が前後した場合でも表示は常に最新のものに更新される．これにより，一時的な通信揺らぎがあっても表示が停止しにくい．

受信側では LEFT/CENTER/RIGHT の 3 つの表示ウィンドウを作成し, ディスプレイ配置に合わせてウィンドウ位置（cv2.moveWindow）および通常表示サイズ（cv2.resizeWindow）を設定する．さらに，全画面表示の切り替えのために cv2.setWindowProperty(...,WND_PROP_FULLSCREEN,...)で通常表示とフルスクリーン表示を切り替える．

4. 遅延測定

開発した映像通信システムの通信性能を評価するため, ストップウォッチを用いた遅延測定を実施し, ディスプレイ間および通信による遅延の影響を検証した．

先行研究[3,4]を参考にし, ストップウォッチの画面を PC に接続した Web カメラで撮影し, 切り出した映像を送信 PC におけるプレビュー画面及び受信 PC における 3 面ディスプレイに出力した. ストップウォッチ映像と実物の計時を比較し, 各ディスプレイについて 20 回ずつ測定した．

測定結果を図 4 に示す．エラーバーは 95%信頼区間を表す. 1 要因分散分析（要因間）の結果, 有意差は認められなかった（$F(3,76)=0.79$, $p>0.05$）. このことから, 本システムでは通信による遅延は発生せず, 受信側の 3 面ディスプレイの間で同時に表示されていることが確認された．

しかしながら, 通信による遅延が小さいながら存在しているが, 有意な差にまでは至らなかった. これは今回開発したシステムのネットワーク環境が LAN であったためであると考えられる．

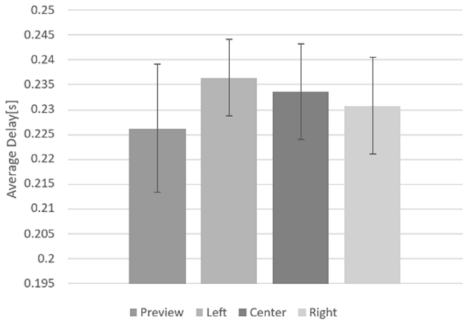

図 4　遅延時間の測定結果

5. まとめ

本研究では，新たに Python を用いて UDP 通信による映像送受信システムを開発した. 遅延特性を評価した結果，3 面ディスプレイ間で遅延差は確認されず, 表示処理の均一性が示された. また, 有意な差にまでは至らなかったものの, 通信による遅延の傾向が見られ，UDP 通信による遅延は小さいながら無視できない可能性が示唆された．

今後は音響通信システムを開発したうえで映像と音響の同時通信を実現するとともに, ネットワーク環境を WAN にした際の通信性能を評価する必要がある．

参考文献

[1] 木村敏幸, "8 個の指向性マイクロホンアレイを用いた波面合成技術のコンセプトに基づいた個人用コンパクト三次元音場再生システム," 信学論(A), Vol. J97-A, No. 4, pp. 284-294 (2014).

[2] OpenCV, https://opencv.org/.

[3] 高橋昌杜, "遠隔操作用映像収録システムの高解像度化," 東北学院大学工学部学位論文・卒業論文概要集, Vol.36-IT, pp. IT-82 (2024).

[4] 中西健太, 木村敏幸, "個人用三次元音場再生を用いた遠隔操作システムのための映像・音響収録技術の開発," 令和 7 年東北地区若手研究者研究発表会講演資料, No. YS-23-P04, pp. 135-136, (2025).

連絡先

- 氏名：木村敏幸
- 所属：東北学院大学情報学部
- 所在地：宮城県仙台市若林区清水小路 3-1
- 電話番号：022-354-8752
- E-mail：t-kimura@m.ieice.org