

2021 年度 森泰吉郎記念研究振興活動報告書

レースドローン向け低遅延 IP 映像伝送システムの開発

慶應義塾大学 政策・メディア研究科

修士 1 年

水野 史暁

fumimake@sfc.keio.ac.jp

2022 年 2 月 24 日

1. 研究概要・背景

レースドローンとは、ドローンが指定のコースを周回し、そのタイムを競うドローンレースと呼ばれる競技で使用されるドローンである。パイロットは、無線で中継されたドローン上のカメラの映像をモニターやゴーグルに表示し、それを見ながらドローンの操縦を行う。ドローンの最高速度は 150km/h 以上にも達するため、レースドローンにおける無線映像伝送ではレイテンシが小さいことが重要である。そのため、現在のレースドローンにおける無線映像伝送では、レイテンシに優れるアナログ映像伝送が主流である。しかし、アナログ映像伝送には、低い解像度、ノイズの多さなどの点において大きな問題がある。本研究では、FPGA を用いたノイズの少ない高解像度なデジタル映像でのレイテンシの低い無線伝送技術を開発する。

デジタル映像伝送は低ノイズで鮮明な映像を伝送することができるが、アナログ映像伝送よりもレイテンシが高くレースには適さないと考えられていた。本プロジェクトではボトルネックを測定し、ボトルネックを FPGA で実装したハードウェアで代替することで低遅延かつ高画質な映像伝送を実現することを目的とする。

本研究での低遅延デジタル IP 映像伝送システムはレースドローンだけでなく、自動運転車、テレイグジスタンスロボット、工場内の AGV(無人搬送車)などいった無人移動体全般に適用することのできる技術で、今後ロボット等による自律移動を実現する上での重要な基盤システムとなりうる。

2. 実装

本システムは送信機を FPGA と CPU に、受信機を CPU で実装した。設計した送信機のアーキテクチャを図 1 に示す。カメラから MIPI CSI-2 インターフェイス経由でデータを受信し、MIPI CSI-2 RX Subsystem[1]が D-PHY の受信、AXI Stream Video フォーマットの変換を行う。Sensor Demosaic[2]では Bayer 配列の RAW データを画像処理しやすい RGB

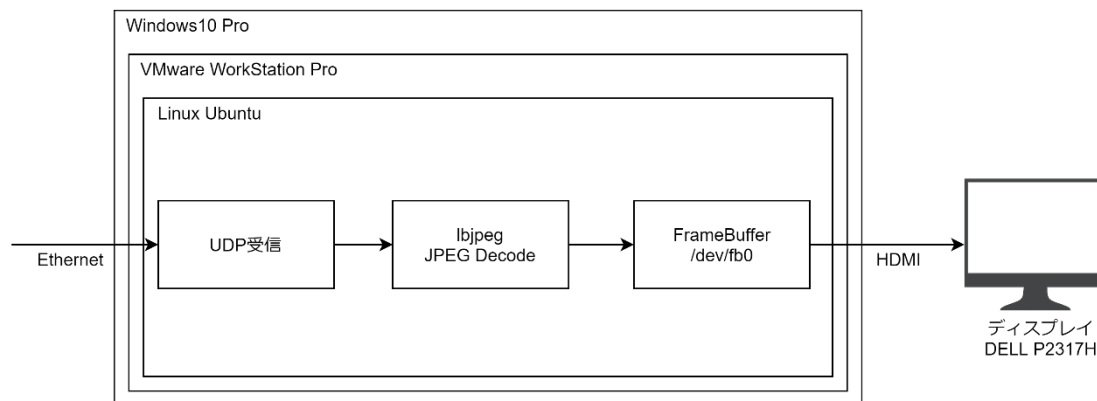


図 3 受信機のアーキテクチャ

図 3 には受信機のアーキテクチャを示す。Linux 上で C 言語にて動作する。Jpeg デコードは libjpeg[8]を用いて実装した。デコードされたデータは Linux の Frame Buffer に書き込まれることにより映像出力される。

3. 実装結果

図 4 に動作中の様子を示す。カメラから受信機までのレイテンシは 33.6ms であり、約 1 フレームの遅延でデータ圧縮をしつつ、IP 映像伝送を行うことができた。

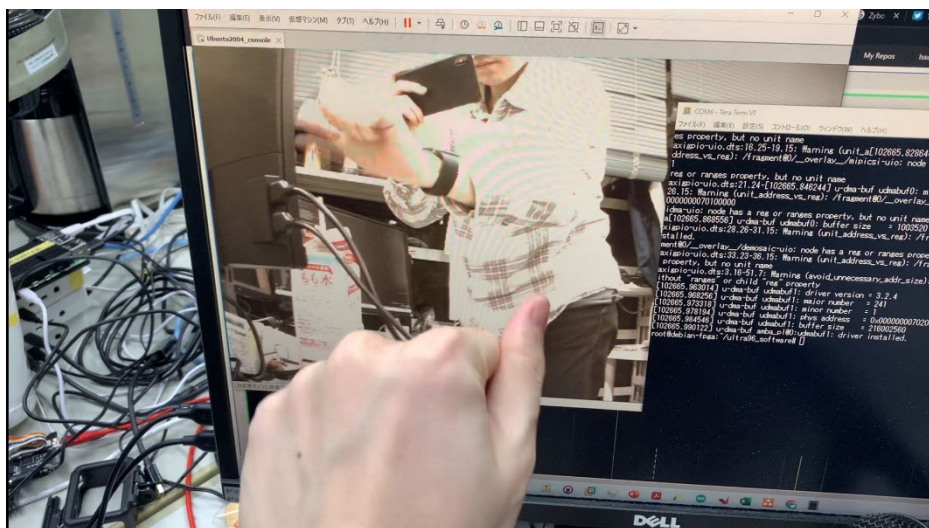


図 4 実際に動作している様子

また、送信機においてレイテンシは 0.73ms であり 1ms 未満でカメラ映像受信からエンコード、送信まで完了していることがわかった。一方で受信機側では IP 受信、デコードは 0.36ms で処理できたが、ディスプレイへの画像送信部で 33.3ms の遅延が発生していることがわかった。これは Linux のフレームバッファによって遅延が発生しているものと考えられる。

受信機側もハードウェアで実装することができれば、このバッファリングが不要となり約 0.73ms で受信からディスプレイへの画像送信が完了することになる。よって、画像送信・

受信部 1.4ms+ネットワーク遅延+ディスプレイ表示遅延のみ発生することになり、既存のデジタル映像伝送と比較して極めて低遅延で映像伝送をすることができるようになると考えられる。また、ディスプレイ送信規格を HDMI 等の汎用規格ではなく MIPI DSI 等の組み込み用規格を用いることでより低レベルでのディスプレイ制御を行うことができ、ディスプレイ側でのバッファリング遅延も抑えることができると考えられる。

4. 活動実績

- 水野史暁.“レースドローン向け低遅延 IP 映像伝送システムの開発”. 未踏 IT 人材発掘・育成事業 最終成果報告会. 2022/02/20

5. 謝辞

本研究は森泰吉郎記念研究振興基金研究者育成費交付により実現しました。FPGA ボード、MIPI カメラ、IP 通信機器といった実験機材の整備に充てさせていただきました。ご支援いただきましてありがとうございます。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

6. 参考文献

[1] MIPI CSI Controller Subsystem

<https://japan.xilinx.com/products/intellectual-property/ef-di-mipi-csi-rx.html>

[2] Sensor Demosaic

https://japan.xilinx.com/products/intellectual-property/v_demosaic.html

[3] Gamma LUT

https://japan.xilinx.com/products/intellectual-property/v_gamma_lut.html

[4] Overview :: JPEG Encoder Verilog :: OpenCores

<https://opencores.org/projects/jpegencode>

[5] Pcam 5C - Digilent Reference

<https://digilent.com/reference/add-ons/pcam-5c/start>

[6] AES-ULTRA96-V2-G by Avnet Engineering Services 評価キット・開発キット | Avnet JAPAN

<https://www.avnet.com/shop/japan/products/avnet-engineering-services/aes-ultra96-v2-g-3074457345644050668/>

[7] AXI DMA Controller

https://japan.xilinx.com/products/intellectual-property/axi_dma.html