

# レースドローン向け低遅延 IP 映像伝送システムの開発

## — 無人移動体向けの超低遅延映像伝送 —

### 1. 背景

レースドローンはドローン上のカメラ映像を見ながらパイロットが操縦し、コースを周回する時間を競う競技で、時速 150km 以上で飛行することもある。旧来、レースドローンにおいて映像伝送遅延の問題から低遅延の点で有利なアナログ映像伝送が使われてきた。しかしながら、モーターの起電力による放射ノイズや電源ノイズ、マルチパスなどによるノイズが直接画質に影響し、映像品質が悪いという問題があった。一方でデジタル映像伝送システムは低ノイズ高画質だが、遅延が大きくレースドローンには用いられてこなかった。

### 2. 目的

本プロジェクトでは、アナログ映像伝送並の低遅延かつデジタル映像伝送の高画質を実現した映像伝送システムを実装することを目標とした。具体的には、HD 画質においてカメラから受信機までのレイテンシが 30ms 程度のデジタル IP 低遅延映像伝送システムを実装する。

### 3. 開発の内容

本プロジェクトでは映像伝送遅延の要因となるフレームバッファリングを排除し、映像伝送路の遅延を削減した映像送信機と映像受信機を実装した。映像送信機と映像受信機のスペックと環境を表に示す。

表 1 映像送信機のスペックと環境

映像送信機スペック	
FPGA ボード	Ultra96-V2
FPGA	UltraScale+ Zynq MPSoC
CPU	ARM Cortex-A53
カメラ	Digilent Pcam 5C
解像度	1280 × 720
フレーム周波数	30Hz
使用帯域	100Mbps 以下
送信機側レイテンシ	0.73ms

表 2 映像受信機のスペックと環境

映像受信機スペック

CPU	AMD Ryzen 5900X
デコーダ	libjpeg
OS	Ubuntu Linux
ホスト OS	Windows10 Pro
ハイパーバイザ	VMware Workstation Pro
ディスプレイ	DELL P2317H
受信機側レイテンシ	33.3ms

FPGA ボード Ultra96-V2 で MIPI カメラを接続するために MIPI インタフェースボードを新たに実装した。本プロジェクト期間中に映像伝送を実現することが重要と考え、従来であれば基板を設計し業者に発注・実装を行うところ、ユニバーサル基板上に UEW を用いて手配線を行い実装した。Ultra96 とはメザニンコネクタを介して通信をする。また、デバッグ用の信号線として MIO 信号を出力できるようにした他、FPGA 配線も引き出せるように設計・実装を行った。実装した基板の写真を図 1 に示す。

システムが動作している様子を図 2 に示す。じゃんけんができるほど低遅延で、カメラから受信機までのレイテンシは 33.6ms だった。そのうち 33.3ms は受信機のディスプレイ送信部で発生する遅延であり、FPGA を用いて実装した映像送信機の遅延はわずか 0.73ms だった。

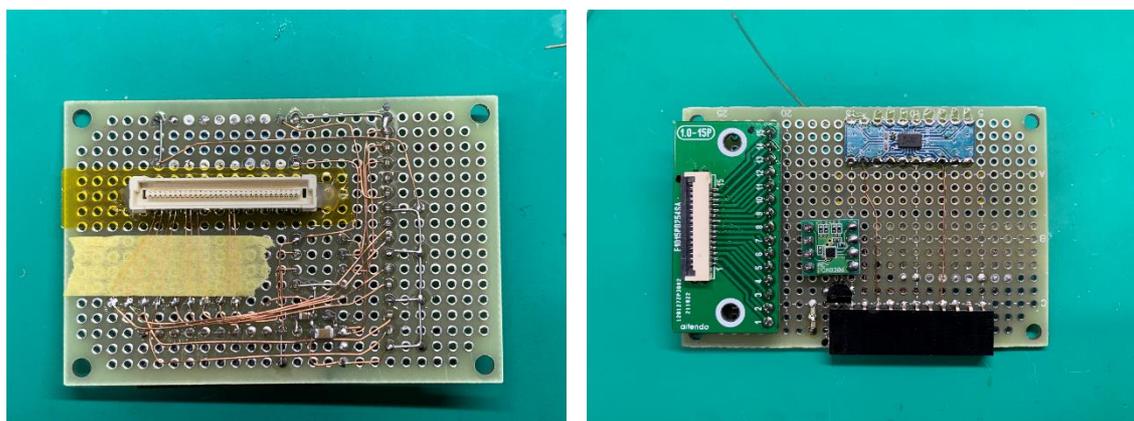


図 1 実装したカメラインターフェイス基板

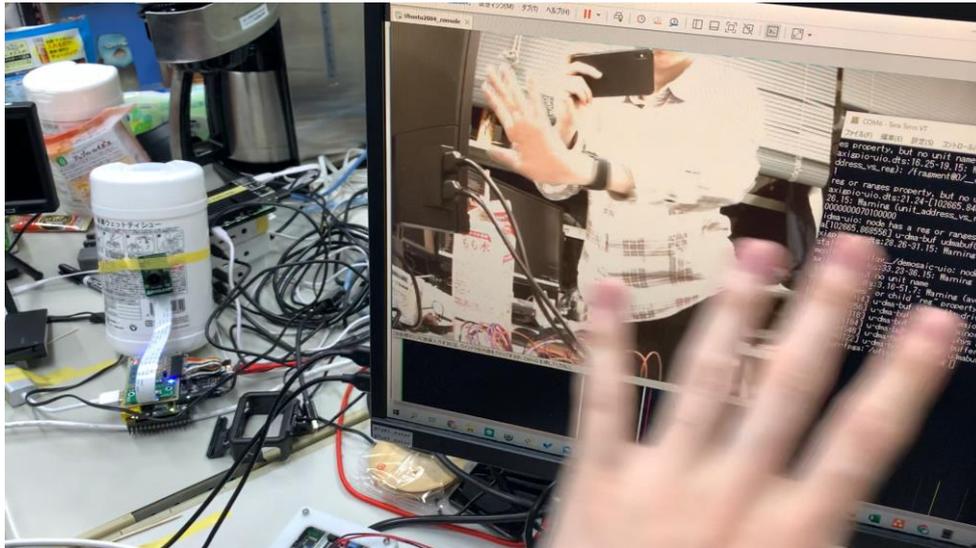


図 2 映像伝送システムが動作している様子

## 4. 従来技術との相違

### 4-1. ラインバッファリング

従来のデジタル映像伝送ではフレームバッファリングが遅延の主要因だった。提案手法ではフレームを待たず、8 ラインごとのバッファリングを行いカメラキャプチャから画像補正処理、画像圧縮、IP 送信を行うことで遅延の削減を狙う。

### 4-2. フレーム内圧縮での分割エンコード

従来では映像圧縮手法として H.264 で知られるフレーム間圧縮が用いられる。圧縮率は高いが、原理上 2 フレーム以上の遅延が発生する他、データ欠損時には複数フレームに渡って映像が破綻する。一方で、MJPEG で知られるフレーム内圧縮では圧縮率はより低い、遅延は 1 フレーム以内で抑えることができる。本システムではフレーム内圧縮を採用し、更に遅延を抑えるためにフレーム内分割圧縮を提案し、実装した (図 3)。

JPEG 圧縮の最小単位であるマクロブロックごとに、バッファリングが完了すると同時にエンコード処理を開始しつつ、次のデータをバッファリングする。これにより、1 フレームバッファリングをしてから処理を開始するよりも遅延を削減することができる。

本手法を FPGA (Field Programmable Gate Array) 上に実装し、ハードウェア化することで高速な処理を実現した。

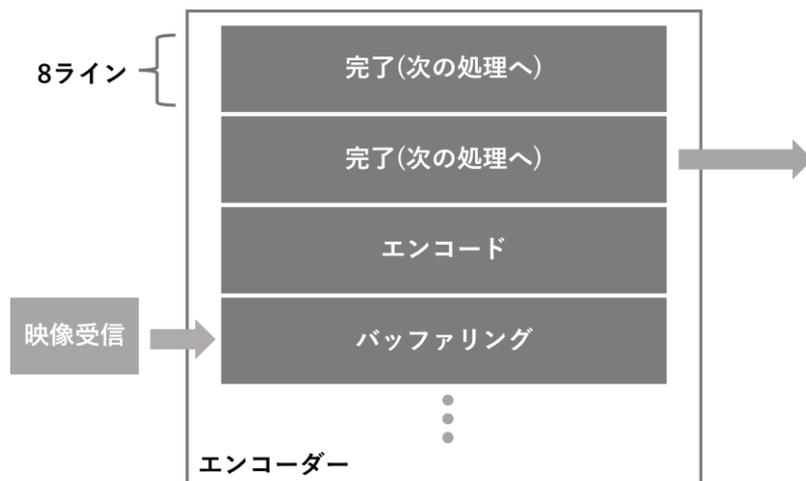


図 3 提案するフレーム内分割圧縮

## 5. 期待される効果

本システムはレースドローン向けの低遅延映像伝送システムとして開発したが、レースドローンが操縦できるレベルの低遅延な IP 映像伝送ができることで将来、ほぼすべての無人移動体で活用できる重要なプラットフォームになる可能性がある。

映像伝送遅延を考慮する必要がないほど低遅延な本システムを使ってオンボード映像伝送をすれば、5G 環境において MEC (Multi-Access Edge Computing) で自律運転に必要な画像処理、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) といった処理をオフロードし、無人移動体側にコンピューティングリソースを持たずに自律運転を実現することができる。ペイロードがほとんどない手のひらサイズのドローンでも自律飛行を実現することができ、屋内での飛行や狭所での飛行など活用の幅が広がる。

このように、映像伝送遅延が小さくなった未来ではほとんどすべての無人移動体を MEC やクラウドによって遠隔操縦しネットワークにリアルタイムに接続されることで、移動体側にコンピューティングリソースが必要なくなることでより無人移動体の小型化・軽量化、省電力化、移動効率化を実現することができるようになる未来が実現する。

## 6. 普及の見通し

自動運転車はレベル 4 での運用が検討されているがそのうえで遠隔操縦による人間の介入できることは必須である。本システムを使った低遅延な映像伝送を使えば、まるで車に乗っているかのようにスムーズに

操縦することができる。

先述の通り、ペイロードに制限がある超小型ドローンでの自律飛行が実現可能になる他、倉庫や工場では Local 5G を用いてネットワーク遅延を抑えることで更に低遅延な映像伝送が実現でき、より高速な AGV<sup>1</sup>の運転による効率化、同時多数の協調制御の実現が見込める。

## 7. クリエータ名（所属）

水野 史暁（慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士1年）

---

<sup>1</sup> Automatic Guided Vehicle 主に工場や倉庫で用いられる無人搬送車のこと