

1. 担当 PM

田中 邦裕（さくらインターネット株式会社 代表取締役社長）

2. クリエータ氏名

水野 史暁（慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士 1 年）

3. 委託金支払額

2,736,000 円

4. テーマ名

レースドローン向け低遅延 IP 映像伝送システムの開発

5. 関連 Web サイト

なし

6. テーマ概要

近年ドローンの活用が急速に広まるなか、ホビー、エンターテインメント、測量、報道、輸送など様々な分野で活用が進んでおり、その中でもドローンのエンターテインメント活用の一例としてレースドローンが注目されている。

ドローンのサイズによっては時速 150km で飛行することもある高速な競技で、高い運動性能と信頼性が求められる。そのため、レースドローンで培われたノウハウは通常空撮や輸送などの機体設計開発に活かすことができる。

レースドローンにおいては、ドローンに取り付けられたカメラの映像をもとに操縦行い、映像伝送はアナログ映像伝送が用いられる。これはレースドローンが高速で飛行することから低遅延な映像伝送システムとして、アナログ映像伝送が採用されているためと考えられる。

ただ、低遅延である一方、アナログ映像伝送は電源ノイズ、モータやモータドライバの放射ノイズ、マルチパスなどによるノイズに起因する画質の劣化が問題になる。

本プロジェクトではカメラから映像受信機間の低遅延なデジタル IP 映像伝送を実現した。

再構築可能なハードウェアである FPGA を用いてカメラ映像受信から画像補正処理、エンコード処理を行い、IP 映像伝送を行う映像送信機と、IP 映像受信し、デコードを行う映像受信機ソフトウェアを実装した。

結果、本システムのカメラから映像受信機間の遅延は 33.6ms であり、画像圧縮つきデジタル IP 映像伝送としては極めて低い遅延で映像伝送することができたと言える（図 1）。

また、圧縮率については HD 画質（1280×720）プログレッシブ 30Hz において 100Mbps 以下を達成し当初の目標を達成することができた。

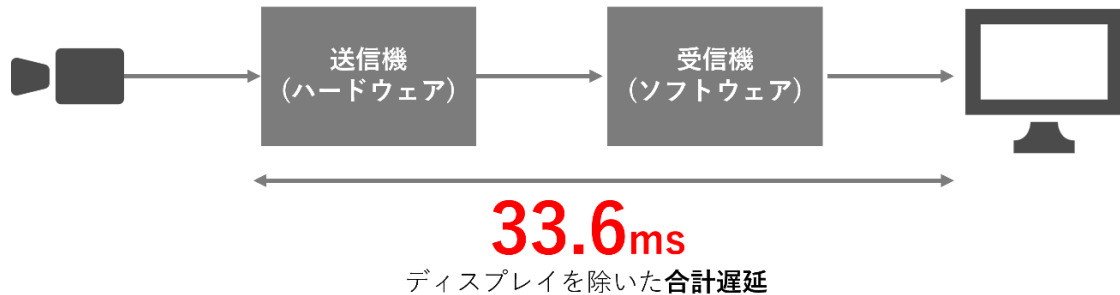


図 1：実装結果の概要

7. 採択理由

ドローンのレースは、そのスピード感とアクション性から急速に広まっているが、その実況に使われる映像については改善の余地が大きい。特に、現状ではアナログ中継になっておりしばしば映像が乱れ、デジタル中継においては遅延が大きく実用性が低いという課題がある。

今回の提案では、そのような課題を解決すべく、デジタルでありながらも低遅延を目指すために、バッファリングを無くしたり、クロックソースをパケットに合わせて生成したり、フレームを分割して圧縮にかかる遅延を小さくしたりと、デジタルにおける遅延の原因を全て排除し、劇的に遅延をなくすという取り組みをしている。

今回はレースドローンというターゲットであるが、映像の低遅延伝送という大きな枠で見ても可能性は大きく、未踏性の高い取り組みと評価している。

8. 開発目標

本プロジェクトではカメラから映像受信機までの映像伝送遅延を 30ms 程度、使用帯域を 100Mbps 程度に抑えたデジタル IP 映像伝送システムの実装を目標とした。

この目標を達成するために、映像送信機のカメラ映像受信機構、画像補正処理機構、画像圧縮機構を FPGA 上に実装し、フレームバッファリングではなくラインバッファリングを採用し低遅延化を狙った（図 2）。

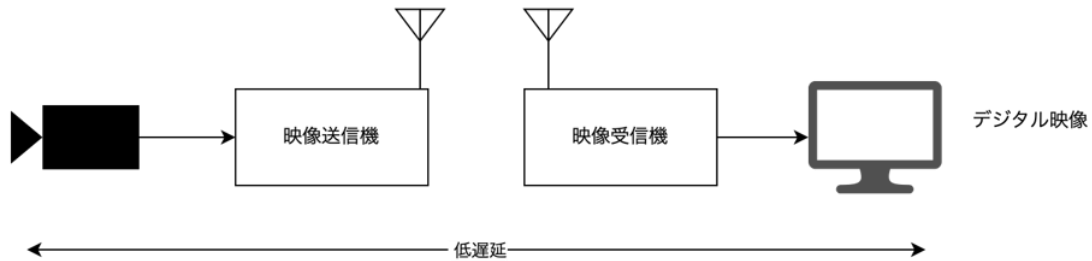


図 2 : 実装するシステムの概略

9. 進捗概要

今回の目標を達成するにあたり、各種の遅延要因を取り除く必要があったが、既存のデジタル映像伝送ではカメラキャプチャ、画像処理、エンコード、デコード処理時のバッファリングなど、多くの部分に対応が必要となる（図 3）。

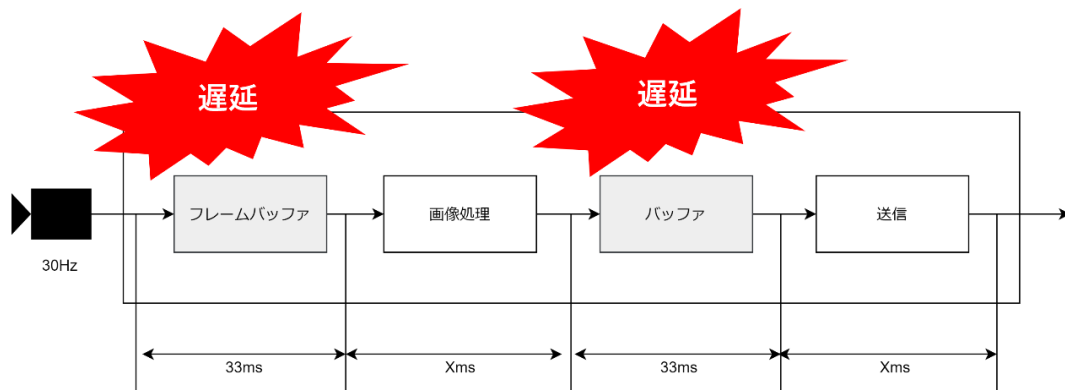


図 3 : 一般的な映像送信処理の例

例えば、カメラ入力が 30Hz の時、1 フレームバッファリングを行うと 33.3ms 遅延が発生するため、バッファリングを極力しないことは映像伝送路における遅延の削減に貢献すると考えられる。

また、エンコード処理は乗算・除算を繰り返し行う必要があり遅延を増加させる要因の一つと考えられる。

もちろん無圧縮映像伝送では、エンコード処理を省き生のデータをそのまま送信することで低遅延な映像伝送を実現できるが、HD 品質 60Hz の時 1.32Gbps の帯域が必要となり、無線伝送を考えるとこれは現実的な帯域ではない。

H.264 のようなフレーム間圧縮は、圧縮率が高いがパケットロスの際の回復に時間かかるため、本システムではフレーム内圧縮を採用し、Motion JPEG 方式を採用した（表 1）。

また、圧縮にあたっては、1 フレームを丸ごと圧縮した際に発生するバッファリングの遅延を削減するために、8 ラインごとのエンコードを行うように実装した（図 4）。

表 1 : 圧縮方式ごとの比較

圧縮方法	代表例	圧縮率	遅延	データ欠損時
フレーム間	H.264/265	高	2 フレーム以上	破綻が複数フレーム伝播
フレーム内	Motion JPEG	低	1 フレーム以下	破綻は 1 フレーム未満

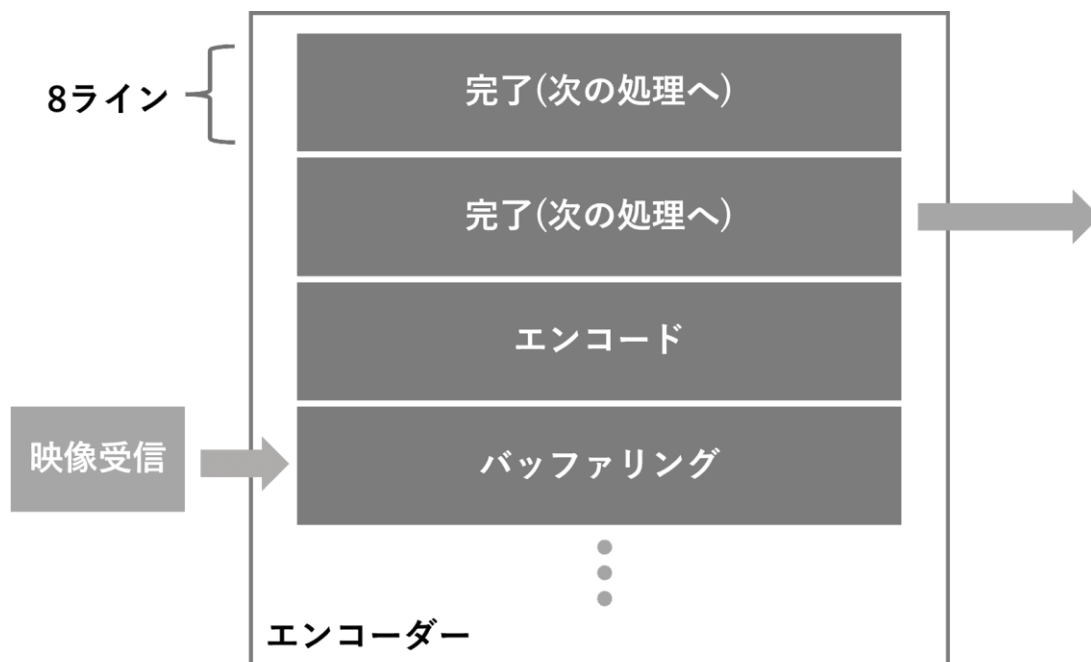


図 4 : 提案するフレーム内圧縮方式

なお、成果の評価を行うために、LED とフォトランジスタを使用した、測定装置の実装を行った。

カメラに LED の光を写し、映像伝送されディスプレイからの光を、フォトランジスタを用いて測定するもので、LED が光ってからディスプレイの光として帰ってくるまでの遅延時間を測定する (図 5)。

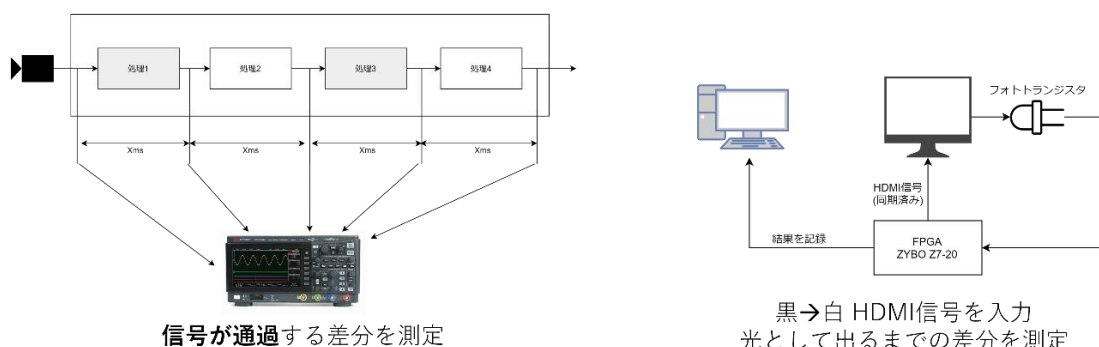


図 5 : 遅延内訳を測定するシステム

この結果として、前述した通り 33.6ms という結果を導き出した。

10. プロジェクト評価

当初想定されていた結果は十分に達成できたと言える。

実際にカメラを接続して撮影し、リアルタイムに圧縮しながら IP 伝送を行い、画面に表示させるという一連の動作がしっかりと実装が行えていた。

成果報告会でのプレゼンテーションにおいては、実装にあたっての苦労や達成の方法などを丁寧に説明し、苦難を乗り越えながらも実装を完成させたことを、うまく伝えられたものと考えている。

11. 今後の課題

今後の課題としては、実際にドローンに搭載し、ドローンレースで利用され、かつその成果をもとに各種のユースケースを世の中に示していくことである。今回のプロジェクトの魅力は、美しい映像が低遅延で伝送されることによる体験価値の創造であり、多くの人に実際に体験してもらいたい。そのためにも、プロジェクト期間では行わなかった無線伝送の実装を進めるとともに、実際にドローンに搭載するまでの開発を続けることを期待している。

また、レースドローンというユースケースを踏まえて、ヘッドマウントディスプレイなどより没入感のある受信機への対応など、UX 面での取り組みも進めてほしい。

今後、ドローンレースの体験を変えたのが水野プロジェクトであったと言われるようになれば、大変嬉しく思う。