

テレプレゼンス技術のための 低遅延 IP 映像伝送システムの開発

—低遅延な映像で、快適な遠隔操縦を可能にする「瞬景」—

1. 背景

建設業界は道路、トンネル、橋などをはじめ、オフィスビル、学校、商業施設など、私たちの生活の基盤となるたくさんの建造物を手がけているが、増加する建設工事数に反して、人手不足や従業員の高齢化、働き方改革による労働時間の制限に伴う「2024年問題」など、多くの課題を抱えており、2025年に国内で95万人もの土木関係労働者が不足するという試算がある。

このような現状に対し、国土交通省による i-Construction 構想をはじめとして ICT を用いた業務効率化が試みられており、その中でも建機の遠隔操縦は注目を集めている。建機の遠隔操縦によって労働環境改善や人手不足の解消が期待されている。近年では、遠隔で建機を操縦する実証実験が進められているほか、既存の建機の遠隔操縦対応を可能とするコンバージョンキットが開発されているなど、遠隔での建機の操縦が現実味を帯びてきている。このような中で、遠隔操縦においては操縦映像の伝送遅延がしばしば問題となっている。一般的なデジタル IP 映像伝送システムでは 100ms ～数千 ms 程度の遅延が生じ、ネットワークの状況によってはさらに遅延が増加する。映像遅延はパフォーマンスの低下・遠隔操縦体験の悪化に直結するため、実際に建設機械の遠隔操縦をしている現場からはより低遅延な映像伝送が求められている。

2. 目的

本プロジェクトの目的は、遠隔操縦などの双方向かつリアルタイム性が求められる映像伝送用途に向け、遠隔地であるにもかかわらず遅延を感じない遠隔操縦向けの映像伝送システムを開発して販売することである。本プロジェクトを通して、遅延を感じないほどの低遅延映像伝送によって人間を距離的制約から解放し、将来的には世界中どこにいてもネットワークを通したインタラクションを可能にする。

3. 製品・サービスの内容

本プロジェクトでは以下のプロダクトと付随するソフトウェア・ハードウェアを開発してきた。

映像伝送装置「Shunkei VTX」

Shunkei VTX は Glass-to-Glass 遅延(合計遅延)が 30ms(0.03 秒)程度の低遅延な映像伝送が可能な装置である(図 1、2)。Shunkei VTX は映像送信機・映像受信機の総称である。送信機は内蔵カメラから入力された映像をエンコード、IP 伝送し、受信機で

IP 受信、デコードし、映像出力、ディスプレイから光として出力される。解像度は 1280×720 30Hz であり、背面の RJ45 もしくは USB コネクタ経由の Wi-Fi で IP 通信を行う。Shunkei VTX は WebRTC の仕組みを活用した NAT 越え、ブラウザだけで設定できる Web UI を備え、様々なネットワーク環境でも動作が可能で設定の変更も容易である。



図 1 Shunkei VTX 送信機



図 2 Shunkei VTX 受信機

IP 遠隔操縦モデルカー「ShunCar」

ShunCar は IP 経由で制御が可能なラジコンカーである(図 3)。ShunCar の上部に Shunkei VTX を搭載しており、遠隔地でハンドルコントローラーを用いて一人称視点映像を見ながらモデルカーを操縦することができる(図 4)。遠隔操縦における低遅延映像伝送のデモンストレーションとして開発した。未踏アドバンス事業期間には様々な展示会に出展し累計 800 人以上に体験してもらい、低遅延映像の有用性をアピールした。



図 3 ShunCar



図 4 ShunCar の遠隔操縦の様子

Glass-to-Glass 遅延測定器「ShunChecker」

ShunChecker は、映像伝送装置の評価のために開発した遅延測定器で、点滅する LED と光センサを備えている(図 5)。映像伝送装置のカメラに光を当て、ディスプレイから出てきた光を光センサで検出することで Glass-to-Glass 遅延を測定する。

Shunkei VTX をはじめとして様々な映像伝送装置の遅延の評価に活用した。WebUI も開発し、WebUSB を用いてブラウザで計測器の制御、遅延結果の確認・ダウンロードが可能となっている(図 6)。



図 5 ShunChecker 本体

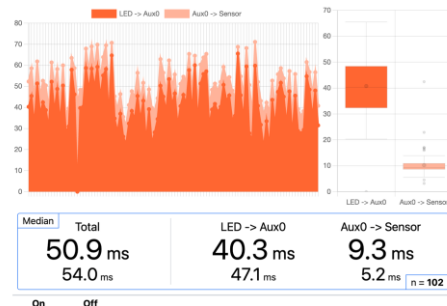


図 6 遅延の測定結果の一例

4. 新規性・優位性

本プロダクトはカメラからディスプレイまでの Glass-to-Glass(合計)遅延が 30ms(0.03 秒)の低遅延 IP 映像伝送を実現する。従来、汎用の USB カメラ、汎用の OS、汎用の映像圧縮方式、汎用の映像出力といった構成で映像伝送システムが構成されていた。しかし、カメラ入力のインターフェイスのオーバーヘッド、画像データの各処理工程、ディスプレイ出力のオーバーヘッド、メモリ(DRAM)の読み書きにかかるオーバーヘッドなど様々なところで遅延が発生していた。

本プロダクトでは、こうしたオーバーヘッドを削減するために Field Programmable Gate Array(FPGA)を用いて並列化・パイプライン化などのチューニングをし、DRAM の読み書きを省いた映像圧縮方式の実装をした。また、カメラ入力、RAW 画像現像、ディスプレイ映像出力といったインターフェイスにかかるオーバーヘッドを削減した。

また、本プロダクトでは遠隔操縦向けの映像伝送を想定している。遠隔操縦において、映像が喪失(ブラックアウト)することは避けなければならない。一般的なデジタル映像伝送ではデータロスが発生すると映像が複数フレームにわたり喪失、フレーム落ちしてしまい映像を連続的に見ることができない。このため、バッファを設け遅延を乗せることでその間に再送を行い麗美な映像伝送を実現していた。本システムでは映像が喪失しない映像伝送のために、少しでもデータが届けば映像を表示できる特徴を持つコーデックを開発した。これによりデジタル IP 映像伝送にも関わらず、ある種アナログ的に映像伝送が可能である。

一般的な映像伝送システムでは配信や放送を前提に開発されているため高画質・高圧縮な麗美な映像が伝送できる。本システムでは移動体の遠隔操縦を行うことを前提に、低遅延・ロバストな映像伝送ができる点で従来の映像伝送システムとは異なる。

5. 事業普及（または活用）の見通し

未踏アドバンス事業期間中に本プロダクトを建機の遠隔操縦を行っている建設業者に持ち込み、実際に体験してもらったところ、「いままでの遠隔操縦ではできなかったことができるようになった。」というフィードバックが得られ低遅延の重要性が検証できた。その他、カーレースなどエンターテインメント業界やテレイグジスタンスロボットなど低遅延が重要なアプリケーション向けに評価キットの貸出、テスト販売をしている。



図7 遠隔操縦を行った建設機械



図8 Shunkei VTX を用いた遠隔操縦

6. 期待される波及効果

土木建築・建設業界やテレイグジスタンスロボットなどの遠隔操縦が必要な分野で本プロダクトが活躍することができる。特に技術が必要な操作では低遅延であることがパフォーマンスを発揮するうえで必要不可欠であり、本プロダクトの特徴である低遅延性が活きる。遠隔操縦が実用できることで、職人や技術者の人手不足や労働環境改善などが解決できる。5G Stand Alone(5G SA)や6Gといったモバイルネットワークがより普及することでいつでも・どこでも低遅延な映像伝送が利用できるようになる。

7. イノベータ名（所属）

水野 史暁（慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科）

山本 恒輔（東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻）

海老原 祐輔（東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻）

（参考）関連 URL（起業した会社の HP、製品・サービスのサイトなど）

瞬景プロジェクト Web サイト <https://www.shunkei.jp/>

瞬景公式 YouTube チャンネル <https://www.youtube.com/@shunkeiip>