

プライベート LTE を用いた画像伝送実験

大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 ○正会員 田村 道生, 市村 朋也
(株)テクノマセマティカル 国内営業部 非会員 柳楽 一行, 鈴木 泰男

1. 背景及び目的

昨今、建設業の労働人口減少への対応や生産性向上を目的として、様々な会社や団体が重機の無人化・自動化開発を行っている。無人化・自動化と言っても、遠隔での操作や監視といった人の介在が完全に無くなることはなく、これらの用途には低遅延・高解像度で通信量の少ない映像伝送手段が欠かせない。

そこで筆者らは建設現場における使用状況を想定し、低遅延画像伝送装置とプライベート LTE 他の各種無線通信機器の組み合わせによる画像伝送実験を行った。以下に、その結果について報告する。

2. 実験システムの概要

実験機器の構成を図-1 に示す。

動画再生用 PC で動画を再生し、直接 HDMI 出力した原画像と、エンコーダ/デコーダを通して UDP 通信で伝送した画像を別々のモニタに表示し、伝送画を原画と比較した。ネットワークシミュレータは通信帯域を制限し、無線の通信状態変化を疑似的に再現するために使用した。またエンコーダの送信ビットレートは最大 3Mbps に設定し、無線通信機器はプライベート LTE のほかに、市販の屋外用 Wi-Fi と商用 LTE の 3 種を使用した。

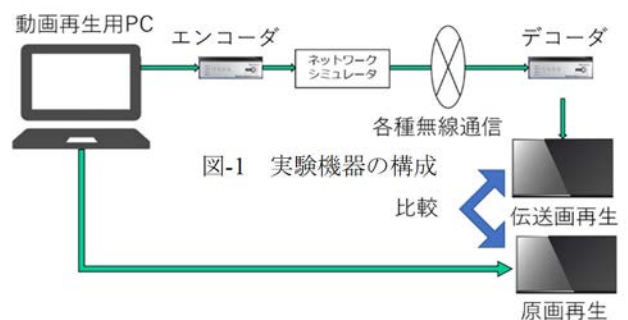


図-1 実験機器の構成

3. 実験結果及び考察

(1) 伝送遅延時間の比較

動画再生用 PC でストップウォッチアプリにて 10msec 刻みの経過時刻表示を行い、原画と伝送画を同一画面内に撮影し、表示された時間の差分を遅延時間とした。

そこで、制限した帯域と通信方式毎の遅延測定結果を図-2 に示す。ここで、エンコーダの送信ビットレートは設定値と多少のブレが生じるため、帯域 4Mbps でも一時的な超過による遅延増加現象がみられる。

また、伝送時に失われたデータ量の他、失われたデータの内容によっても画の再生可否と遅延量は変化する。よって、一概に遅延量のみで通信品質を評価することはできないが、商用 LTE は本実験において遅延が非常に安定しており、プライベート LTE は商用 LTE に劣るものの、Wi-Fi より安定しているという結果が得られた。

(2) 映像の乱れ

動画再生用 PC で、動きが多くデータ欠損が視覚的に把握しやすいコイン動画を再生し、伝送画を目視確認した。本実験時の時の伝送画像例（プライベート LTE 使用時）を図-3 に示す。

キーワード 画像伝送, プライベート LTE, TCP, UDP, リオーダー, 遅延ジッタ

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター生産技術開発部 TEL 045-814-7247

〒141-0031 品川区西五反田 2-12-19 五反田 NN ビル 7F (株)テクノマセマティカル TEL 03-3492-3631

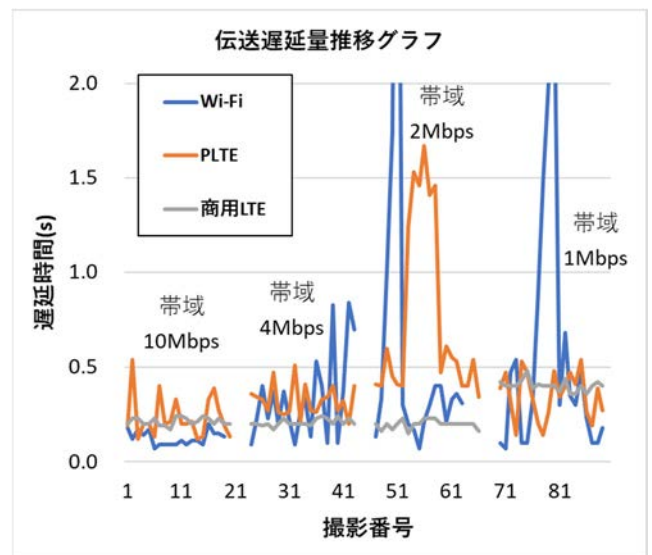


図-2 伝送遅延量推移グラフ

2Mbps から帯域を徐々に上げていったところ、4Mbps で画面全体に影響するような大きな乱れはかなり減少し、4.6Mbps まで上げたところで確認できなくなった。

また、他の伝送方式でも同帯域の画質に大きな差異は見られなかった。

(3) 映像の途切れ

ストップウォッチ・コイン動画共に前述の実験では画像伝送に十分な帯域に設定したにも関わらず、伝送画が一瞬停止する現象が確認された。この現象はプライベート LTE で数秒に一回程度、Wi-Fi では1秒間に複数回発生した。そこでこの現象の原因を特定するため、デコーダで受信パケットの解析を行った。

その解析結果を図-4 に示すが、Wi-Fi では高頻度にリオーダーが発生していることが判明した。

今回使用した画像伝送装置では、低遅延伝送を実現するために UDP を使用しており、TCP ではプロトコルに組み込まれているパケットのリオーダー機能をアプリケーションで独自に実装している。

リオーダー処理には受信パケットの一定時間のバッファリングが必須であり、この時間を大きくすると順序修正可能なパケットが増えるが、再生遅延もその時間だけ増加してしまう。このバッファリング時間内にパケットが間に合わず、画像が停止したものと推測される。

プライベート LTE のリオーダーは皆無だが、図-5 に示すように時間毎の受信データ量の変動が大きく伝送遅延時間の変動も同様で、画の再生時に必要なデータが届かない場合があり、映像が停止したものと推測される。

さらに Wi-Fi の通信は一対一であったが、ホッピング機能を持つ機種を使用したため、効率的な伝送を行うための機能が働き、順序入れ替えを行ったものと推測される。

4. まとめ

本実験では重機の無人化・自動化において有用な低遅延画像伝送手段を把握すべく、UDP/IP による無線通信を行った。その結果、パケット遅延量のジッタという新たな性能指標が見えてきた。

これまで主に使用してきた TCP/IP では、プロトコルスタックで行っているバッファリングやリオーダーに隠れる形となっていたが、リアルタイム性が求められる通信においてはボトルネックとなり得るため、今後は深耕と周知を行っていききたい。

参考文献

- 1) 東角 比呂志: ネットワーク機器のパケットレベルでの動作比較システムの設計と実装, 東京大学情報理工学系研究科 電子情報学専攻 修士論文, 2016年2月



図-3 プライベート LTE 伝送画像例

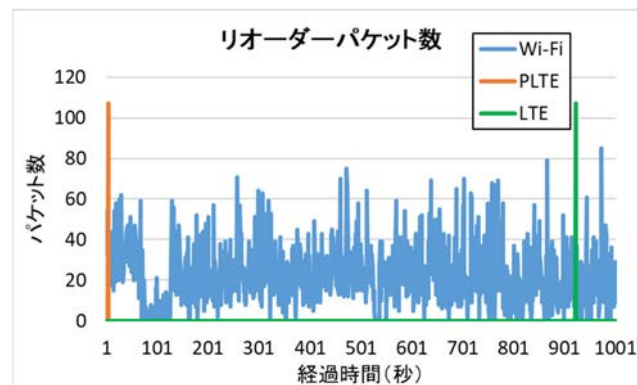


図-4 リオーダーパケット数推移グラフ

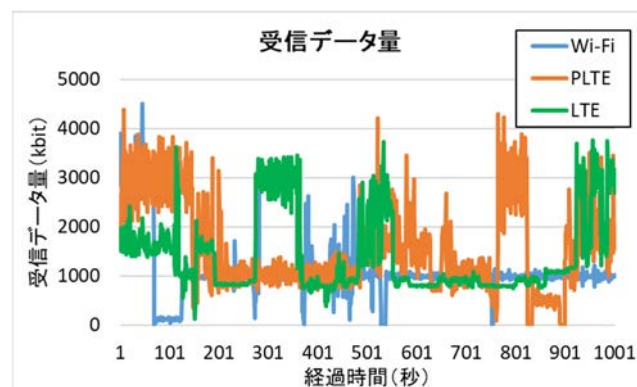


図-5 受信データ量推移グラフ