

CYPHONIC を用いたローカル5G 接続ネットワークカメラとの P2P 映像配信に関する検証

殿内太一朗^{†1} 堀崎翔太^{†2} 後藤廉^{†3} 内藤克浩^{†4} 吉田勝好^{†5} 鈴木秀和^{†6}

名城大学^{†1,2,6} 愛知工業大学^{†3,4} スターキャット・ケーブルネットワーク株式会社^{†5}

1 はじめに

企業や自治体が自営することが可能なローカル 5G (以後, L5G) は, スマート工場や建設現場などにおける遠隔運転や遠隔操作などの活用が期待されている. しかし, L5G に接続する通信機器とインターネットとの通信経路上に NAT が存在するため, インターネット側から L5G に接続した機器へ向けた通信を開始することができない.

本稿では NAT 越えが可能なエンドツーエンド暗号化通信を実現する技術である CYPHONIC (CYber PHysical Overlay Network over Internet Communication) [2, 3] を用いて, L5G に接続したネットワークカメラとの P2P 映像配信を実現できることを実証する.

2 L5G

図 1 に L5G のネットワーク構成を示す. インターネットと L5G コアシステムの間には NAT ルータが存在している. RU (Radio Unit) と UE (User Equipment) 間は Sub6 の周波数帯で無線接続しており, UE は専用の SIM を装着する. そのため, SIM を搭載していない通信機器は, NAT 機能が有効なモバイルルータを介して L5G ネットワークに接続する. インターネット側から L5G に接続したエンドノードに対して通信を開始することができないため, 遠隔操作や遠隔監視などの活用の課題となっている.

3 CYPHONIC の概要

CYPHONIC は仮想 IPv6 アドレスを用いたオーバーレイネットワークを構築し, CYPHONIC ノード間の相互接続を可能とする技術である. CYPHONIC のエンドノードは CYPHONIC クラウドサービスと連携して, 通信開始時に動的にエンドツーエンドの暗号化通信路を構築する. なお, CYPHONIC ノードのペアが両方とも NAT 配下に存在する場合, または接続しているネットワークが IPv4 と IPv6 と互換性がなく, 直接通信できな

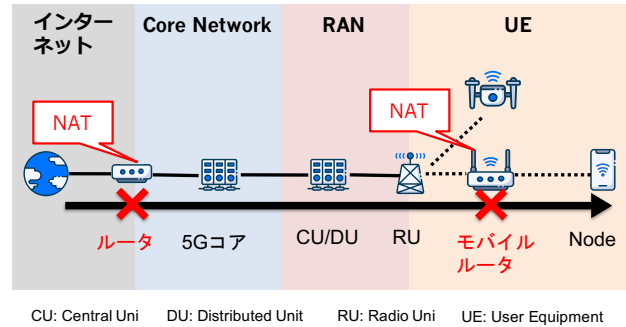


図 1 L5G ネットワーク構成

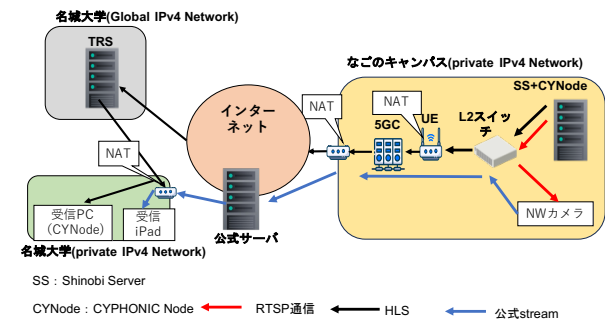


図 2 映像伝送経路

い場合に, CYPHONIC ノード間の通信は TRS (Tunnel Relay Service) を経由して実現される.

4 L5G 環境における CYPHONIC の性能評価実験

4.1 検証内容

CYPHONIC が提供する P2P な伝送経路と, L5G で外部と通信する際に用いられるクラウドを経由する伝送経路を用いて映像伝送を行い, 伝送遅延やスループット特性にどの程度の違いが生じるのかを検証する.

4.2 検証方法

映像伝送実験のネットワーク構成と使用機材の仕様を図 2 および表 1 に示す. 名古屋市のなごのキャンパスに構築されている L5G ネットワークにネットワークカメラ (Tapo C520WS) を設置し, 2k QHD の動画をそれぞれ 15/20/25fps で RTSP (Real Time Streaming Protocol) プロトコルを用いて伝送する. CYPHONIC が提供する P2P な伝送経路とクラウドを経由する伝送経路を同時に比較し, 伝送遅延の測定を調べる.

Verification of P2P Video Streaming with Local 5G Connected Network Camera Using CYPHONIC

^{†1} Taichiro Tonouchi, Meijo, University

^{†2} Shota Horisaki, Meijo, University

^{†3} Ren Goto, Aichi Institute of Technology

^{†4} Katsuhiko Naito, Aichi Institute of Technology

^{†5} Katsuyoshi Yoshida, STARCAT CABLE NETWORK Co., LTD.

^{†6} Hidekazu Suzuki, Meijo, University

表1 検証時の機器仕様

ネットワークカメラ	
メーカー・モデル	TP-Link Tapo C520WS
カメラ	2K QHD 4MP (2560×1440 px)
ビデオフレームレート	15/20/25 fps
動画圧縮	H.264
伝送プロトコル	RTSP
ネットワーク	Ethernet (100 Mbps)

表2 映像伝送のスループット

	General	CYPHONIC (QUIC)
15 [fps]	8.9 [Mbps]	9.4 [Mbps]
20 [fps]	28.0 [Mbps]	15.0 [Mbps]
25 [fps]	32.0 [Mbps]	2.7 [Mbps]

受信 PC & Shinobi サーバ	
メーカー・モデル	Lenovo ThinkPad E14 Gen5 AMD
CPU	AMD Ryzen™ 7 7730U 2.0 GHz (Max 4.5 GHz)
メモリ	16 GB
OS	Ubuntu 22.04.3 LTS
ネットワーク	Ethernet (1 Gbps)

TRS	
メーカー・モデル	Lenovo ThinkCenter neo 50q Tiny Gen4
CPU	Intel Core™ i5-13420H 3.4 GHz (Max 4.6 GHz)
メモリ	16 GB
OS	Ubuntu 22.04.3 LTS
ネットワーク	Ethernet (1 Gbps)

4.2.1 CYPHONIC による P2P 映像伝送

ネットワークカメラと同じネットワークに監視カメラシステムを構築する OSS である Shinobi^{*1}を利用して構築した Shinobi サーバを設置する。Shinobi サーバはネットワークカメラから映像の取得し、指定した配信方式に変換する。今回は HLS (HTTP Live Streaming) 形式でクライアント側に配信する設定にした。大学研究室の LAN 内に設置した CYPHONIC 搭載 PC (以後、受信 PC) は、CYPHONIC を用いて TRS 経由で Shinobi サーバに接続し、Web ブラウザによりカメラ映像を確認する。

4.2.2 クラウド経由の映像伝送

クラウド経由の映像伝送では、ネットワークカメラが公式に提供しているアプリケーション「TP-Link Tapo」を使用する。ネットワークカメラはクラウド上に構築されている Tapo 公式サーバ (TP-Link Tapo) に映像を伝送する。大学研究室 LAN に設置した受信用 iPad は、公式アプリを用いて HTTPS プロトコルで公式サーバにアクセスし、L5G 内に設置されているネットワークカメラの映像を取得する。

4.2.3 CYPHONIC が映像伝送に与える影響

Shinobi サーバで Wireshake を使用し、CYPHONIC 適用時の通信とローカルネットワーク内で CYPHONIC を使用しない通信 (General) を観測し、映像伝送のスループットを測定する。測定したスループットを比較し、CYPHONIC が映像伝送に与える影響の評価を行う。

4.3 検証結果

CYPHONIC が提供する P2P な伝送経路での映像伝送とクラウド経由の映像の比較を行った結果 18 秒ほどの遅延が確認できた。遅延が大きくなった理由として Shinobi サーバで RTSP から HLS に再エンコードが行われている事が原因だと考えられる。また HLS も遅延を許容する設計となっており遅延が大きくなった原因の一つである。今回の検証では使用したカメラの仕様上 Shinobi サーバを使用しているため、使用する機器を変更することで遅延の差を改善できると考えている。

表2に Shinobi サーバで Wireshake を使用し測定したスループットを示す。CYPHONIC が提供する P2P な伝送経路での映像伝送において、2K QHD 15fps の動画は伝送ができることが確認できた。しかし、フレームレートが 20/25fps になると、スループットが大きく低下した。

CYPHONIC 適用時は暗号化処理が加わっているため、20 fps の映像伝送ではスループットは低下している。CYPHONIC による暗号化処理待ちの packets がバッファに蓄積されていき、バッファサイズを超え packets が破棄された為映像伝送失敗していると考えられる。25fps では CYPHONIC による packets の送信が行われていなかった。CYPHONIC に使用している QUIC-go が 30 Mbps を超えるとエラーを起こすため、その影響で映像伝送が失敗したと考える。実際の映像伝送では 4k などの高画質動画を 60fps で伝送する事が想定される。必要とされる帯域は 30Mbps 以上であると考えられ、現状の CYPHONIC では実現化に課題があることがわかった。

5 まとめ

今回の検証では CYPHONIC を用いて映像を伝送する事が確認できた。今後は CYPHONIC を利用した映像伝送において 30Mbps 以上の伝送に対応できるよう改良を行う予定である。

参考文献

- [1] 総務省 | 令和 3 年版 情報通信白書 | ローカル 5G の推進: <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd256110.html>
- [2] T. Yoshikaw, et al.: IEEE ICCE 2022, pp. 1–6, 2022.
- [3] S. Horisaki, et al.: CANDAR 2022, pp. 27–35, 2022.

^{*1} <https://shinobi.video/>