

神奈川工科大学

超広帯域ネットワーク研究センター

研究報告

第 1 号

2024 年度

研究推進機構

目次

- ・ローカル 5G を用いた超高速低遅延配信技術の検証

丸山 充, 瀬林克啓, 樋口 駿, 脇田敏裕, 小宮聖司

2024 年度 超広帯域ネットワーク研究センター 研究成果報告書

超広帯域ネットワーク研究センターは、2024 年度に設立され、これまで進めてきた超高速ネットワークを活用した高精細映像伝送・蓄積・処理技術並びに応用技術を社会実装し、産業界に貢献する事を目指し、以下の研究テーマに取り組む。

- (1) 超高速大容量通信処理技術の研究
- (2) 低遅延インラインコンピューティングの研究
- (3) 高度 NW リソースモニタリングの研究
- (4) エッジコンピューティング活用サービス技術の研究

2024 年度, JST CRONOS の委託研究に「広帯域インラインコンピューティングの実現」というテーマで、国立情報学研究所、琉球大学、ミハル通信株式会社と共に採択され、2024. 10 から委託研究が開始し、低遅延ネットワークを用いて、超高品質な素材を自在に編集し、リアルタイムで発信・共有できる環境や各種リモートイベントの高臨場感実現に向けたシステム開発の研究を進める事になったので、その委託研究の活動と連携して進める。

ローカル 5G を用いた超高速低遅延配信技術の検証

研究者名：丸山 充，瀬林克啓，樋口 駿，脇田敏裕，小宮聖司

1. 研究の目的

ローカル 5G は、各所で運用がはじまっているが、これまで端末からサーバに向けた、アップロード速度に限界があり、リモートカメラ映像をローカル 5G 経由で送出するなどの利用に難があった。これを解決するために、ローカル 5G では、準同期とよぶアップリンク側の帯域割り当てを増やすプロトコルが提案され、ようやく準同期準拠の装置が市場に出てきている。この度、国立情報学研究所（NII）が進めている先端モバイル駆動研究センターに加入し、その支援の元で学内のどこにでも準同期対応の基地局を可搬可能な実験試験局の免許を取得したので、様々な本学のアプリケーションや共同研究先の企業と連携した実験を行い評価を進める。

2. 研究の必要性及び従来の研究

これまで、NICT（情報通信研究機構）のB5G テストベッドが提供しているローカル 5G 環境を小金井で使用させていただき、8K の圧縮映像の送受信実験をさせていただいた。その結果、システムが準同期に対応していなかったこともあり、アップリンク速度が 100Mbps 程度しか出ず、また電波状況が不安定で、8K の圧縮映像を安定的に伝送できるとは言えなかった。不安定さを招く原因は何かを見極めるための測定ツールも不足していた。

今回、大学内に独自の基地局を設置する事で、準同期方式で得られるスループットを正確に測定し、不安定さが起きるようであれば、それを可視化するツールを用意したいと考えている。また、その上でスループットが問題ないようであれば、ローカル 5G を用いた超高速 8K 映像伝送実験を行いたいと考えている。また、ローカル 5G と既存の Wi-Fi、モバイル SINET（キャリアの 5G 端末）を併用して、それぞれの特徴を活かせるような実験を計画する。

3. 期待される効果

共同研究先の複数企業では、自社の遠隔操作や遠隔指示システムでローカル 5G を使用したいと希望している企業もいるので、大学内の環境をテストベッドとして使って共同でアプリケーションの適用性について評価実験を行い、今後のサービス展開に活かす活動も併せて行う。

また、NII の先端モバイル駆動研究センターのコミュニティの中で、複数大学との技

術交換を進め、今後のネットワーク研究の発展に寄与したいと考えている。

4. 研究の経過及び結果・評価

4.1 ローカル 5G の基本性能評価

神奈川工科大で 2024 年 9 月に立ち上げた実験試験局の基地局の様子を図 4.1.1 に示す。送信出力は、4W で、運用には無線従事者の陸特 3 級以上が必要である。また、評価に用いた端末 2 種類を図 4.1.2 に示す。iR730B が GbE で接続するルータタイプであり、APAL は、USB ドングルタイプである。ともに送信出力は、同じ 0.2W である。



図 4.1.1 神奈川工科大の基地局（実験試験局）

- iR730B-102 (IDY社製) 送信出力0.1W×2 MIMO
- APAL 5G Dongle Tributo 送信出力0.1W×2MIMO

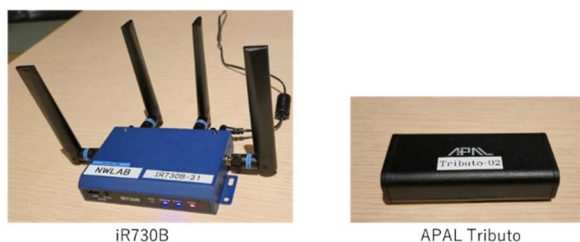


図 4.1.2 使用した端末

5G では、4G までと異なり同じ周波数を送受でタイムスロット単位に切り替えながら伝送を行う TDM (Time Division Multiplex) が使われている。この制御のために基地局では、GPS を受信してそのクロックを使って正確に送受切り替えをする事が求められる。

ローカル 5G の最大の特徴は、商用 5G 網ではサポートしていない準同期モードが使える事である。商用 5G では、ダウンリンク性能が高い同期モードのみがサポートされる。これに対してローカル 5G の準同期モードでは、アップリンク側のタイムスロットを多めに割り当てる事で、映像発信に使う帯域を増やす事で、高精細映像の素材伝送などに使う事が可能である。

表 4.1.1 に性能評価結果を示す.

表 4.1.1 基本性能評価

同期パターン	iR730B		APAL TRIBUTO	
	DL[Mbps]	UL[Mbps]	DL[Mbps]	UL[Mbps]
同期 (7:2)	167	142	129	125
TDD1(4:4)	DL最大値 213	221	128	264
TDD2(3:5)	195	260	119	310
TDD3(2:6)	134	222	110	278

結果

ダウンロード速度の最大値は、iR730Bの213Mbps.
アップロード速度の最大値は、APALの310Mbps.
また、使用端末により、20～50Mbps程度の差があった

この結果から、期待どおりに準同期によりアップリンクの速度の向上が見られる.

次に、カバレッジの観点で評価を行う. このため、基地局から端末を図 4.1.3 の経路で移動させて、測定を行ってみた. 経路は、数 100m ぐらいの距離になる.



図 4.1.3 距離に応じたスループット計測実験

まず、商用網と同等の同期モードでの実験結果を図 4.1.4 に示す. ダウンリンク性能は、見通しがあれば、200Mbps 程度の安定した性能が得られる. しかしながら、アップリンク性能は、150Mbps をピークに距離に従い低下していく様子が見られる.

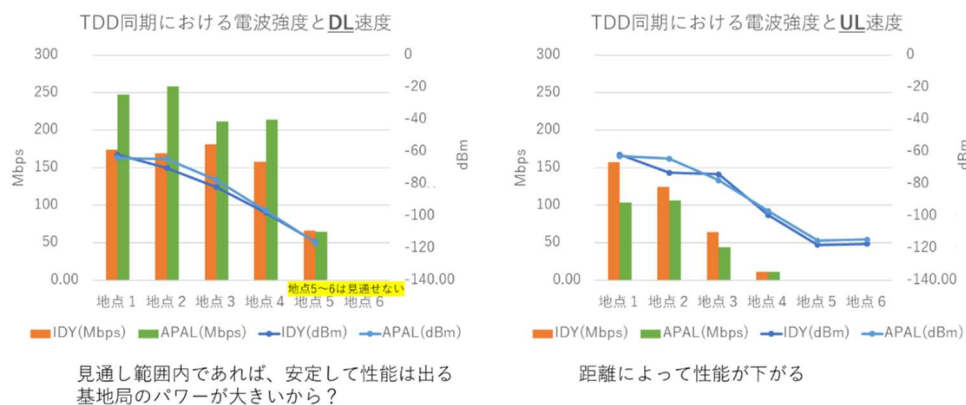


図 4.1.4 TDD 同期 (7:2) での通信速度・電波強度計測結果

次に同期モードと非同期モードの比較を行う。図 4.1.5 に示すように非同期モードは、同期モードと比較して高い性能を示す上、地点 3 までは距離減衰が見られず安定して 200Mbps 程度のアップリンク速度が観測できた。

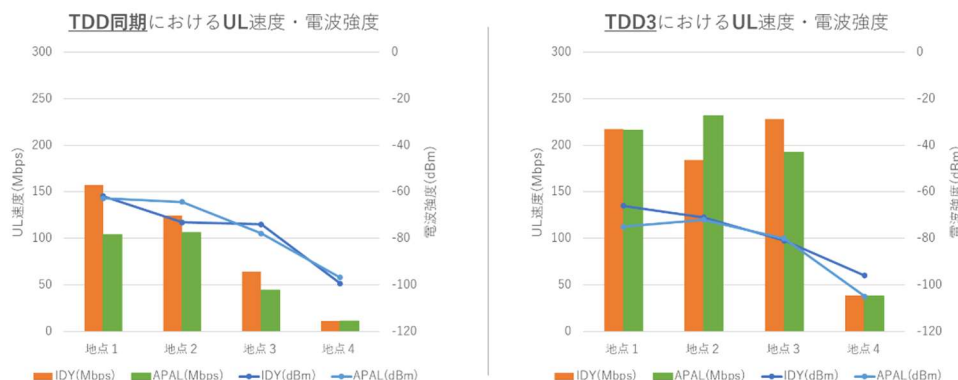


図 4.1.5 TDD 同期と TDD3 の UL 通信速度・電波強度計測の比較結果

以上の事から、ローカル 5G の準同期モードのアップリンク速度は映像伝送には向いている事、カバレッジエリアも Wi-Fi と比較して広い事が確認できた。

4.2 各種アクセス網・伝送手段を組み合わせた遅延評価

ここで、評価に用いた市中 IP 映像伝送装置としては NDI HX3 を選択し、性能評価を行った。NDI (Network Device Interface) は、米国 Vizrt (NewTek) 社によって開発された IP 利用でのライブビデオ制作ワークフロー支援プロトコルである。

NDI システムは当初 SpeedHQ と呼ばれる長い歴史をもつ素材伝送用のコーデックを採用していたが、近年は NDI HX (High Efficiency) と呼ばれる高圧縮タイプの開発が進み、最新の NDI HX3 では高圧縮・低遅延をサポートしている。このため今回のプロトタイプには、NDI HX3 をサポートする製品を用いた。

ここでは、以下に示す各種環境を組み合わせ、図 4.2.1 に示す映像伝送実験を行い、End-End での遅延評価を行う。

- (1) WAN 網：フレッツ折り返し網とモバイル SINET による閉域網
- (2) モバイルアクセス手段：ローカル 5G と Wi-Fi 6E
- (3) 他の伝送手段: BirdDog, 小型 PC やスマホで NDI ソフトウェアを動作
- (3) の NDI ソフトウェアは、以下のものである。

PC NDI Tools: Screen Capture(無償)

PC NDI Tools: Studio Monitor (無償)

スマホ映像送信アプリ: NDI HX Easy Streamer(有償)

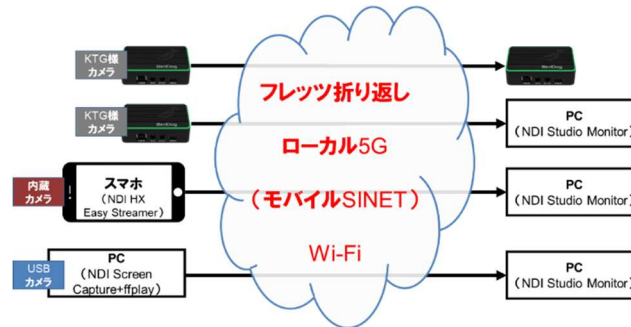


図 4.2.1 各種環境を組み合わせた遅延評価

実際に用いた評価環境を図 4.2.2 に示す。図中の EtherIP と記載しているのが、VPN 用のトンネルルータである。これは、NDI アプライнсである BirdDog がルータを跨いだ伝送ができず、同一セグメントの L2 環境が必要であったために、VPN トンネルを使って同一セグメントを延伸した。

PC 内の NDI studio Mmonitor と記載しているのは、PC で NDI を直接受けている部分である。

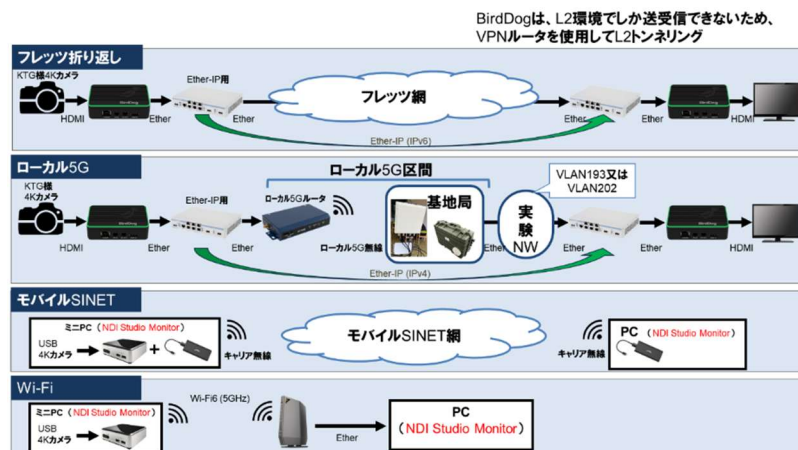


図 4.2.2 実際の評価環境

結果を表 4.2.1 に示す。

- ・ BirdDog より PC の NDI アプリのほうが遅延は少ない。
- ・ ローカル 5G の顕著な低遅延化効果は見られなかったが、カバーエリアは広い。

- ・ WANのフレッツ折り返しは，それなりに高速といえる．
- ・ モバイル S I N E T は，神奈川工科大の基地局が 4G だったためか，かなり遅い．

表 4.2.1 遅延評価結果

	BirdDog →BirdDog TCP	BirdDog →PC(NDIアプリ) TCP	PC(NDIアプリ) →PC(NDIアプリ) QUIC	PC(NDIアプリ) →BirdDog TCP	スマホ(NDIアプリ) →PC(NDIアプリ) TCP
有線LAN	500ms (330~600ms)	271ms (233ms~300ms)	255ms (216ms~288ms)	270ms (242ms~295ms)	348ms (318ms~368ms)
ローカル5G	514ms (448ms~641ms)	455ms (399ms~548ms)	474ms (401ms~584ms)	799ms (617ms~916ms)	443ms (385ms~530ms)
モバイル SINET	-	-	1305ms (1083ms~1668ms)	-	-
フレッツ 折り返し	558ms (490ms~603ms)	491ms (467ms~505ms)	639ms (551ms~716ms)	555ms (484ms~648ms)	670ms (647ms~685ms)
Wi-Fi 6	440ms (367ms~583ms)	366ms (327ms~404ms)	375ms (322ms~431ms)	882ms (800ms~964ms)	663ms (632ms~684ms)

今回アプラインスで使った，BirdDog は，もう 1 つのアプライアンスである ZowieBox 有線 LAN で 450ms (430~460ms) と比較すると少し遅延が大きい．また，レートに関しては，BirdDog は，60Mbps 程度であり，ZowieBox のレート最大 50Mbps (Web 管理画面の表示) より帯域を必要とする．

4.3 ローカル 5G を用いた高精細映像配信技術の検証

2025 年 2 月に行われた名護さくら祭り実験で屋外の 8 K 映像カメラで撮影した素材を準同期を使いアップロードを行い，この素材を神奈川工科大で進めている SINET6 上のエッジ装置を用いた 8 K 映像処理機能と連携させて，ライブ編集後の映像を大阪のパブリックビューイングの場で見еいただいた．(図 4.3.1)

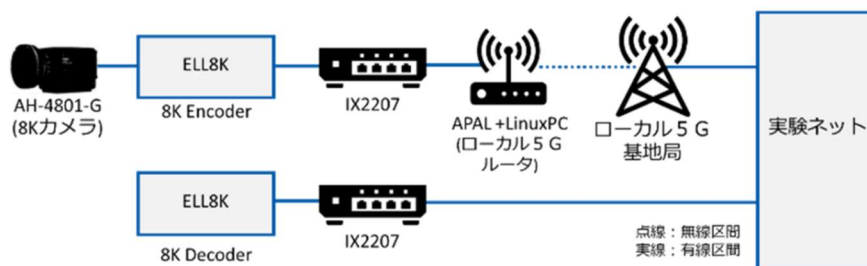


図 4.3.1 システム構成図

8 K エンコーダとデコーダは，ミハル通信の ELL8K を利用させていただいた．ローカル 5G の端末としては，APAL の USB 端末を LinuxPC に搭載したのものを使った．

ELL8K エンコーダ部とカメラ，マルチキャストトンネル用の IX2207 と LinuxPC をキャンプ用のポータブルバッテリーで駆動し，台車に搭載して屋外に持ち出せるようにした．当日の屋外からの 8 K 映像伝送模様を図 4.3.2 に示す．これを図 4.3.3 の先進技術研究所の基地局で受信している．



図 4.3.2 屋外からの 8 K映像配信模様



図 4.3.3 基地局で映像素材を受信

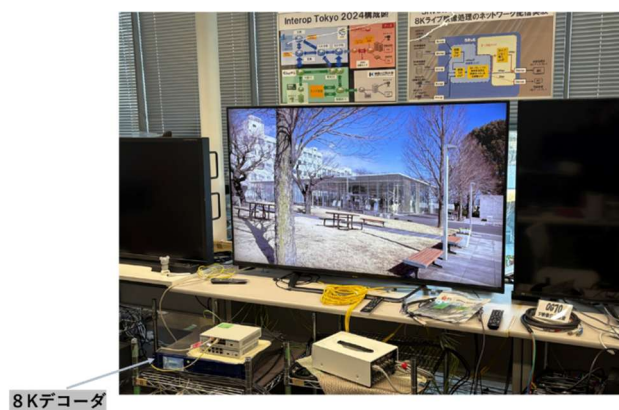


図 4.3.4 大学内のローカル 5G 受信画面

図 4.3.4 が大学内で受信確認している映像である。その下にデコーダ装置が設置されて

いる。デコーダ装置の上部がトンネル用の IX2235/IX2207 である。

屋外から大学内までの 8K 素材伝送レートは、ペイロード 144Mbps, IP 化された 148Mbps までは安定して伝送する事ができた。これ以上になると画面乱れが起きた。従来, NICT 小金井等で実験した同期モードでは 80Mbps 以下でかつ不安定だったが, 今回は, 148Mbps まで安定して伝送する事ができた。しかしながら, iperf 等での測定では, 300Mbps 程度までの送出性能を持っている事から, 今後何が影響しているかの調査を行い性能改善を試みる。

ミハル通信とは, 8K 映像を使った生配信の映像ワークフローの実現を目指し, 10Gbps を超える非圧縮 8K 映像ストリームデータをソフトウェアのみでリアルタイム処理可能な映像処理機能 VVF (Virtualized Video handling Function) の開発と, 複数の VVF 間を SRv6 (Segment Routing over IPv6) のサービスチェイニングにより自在に連動させるシステム開発を行っている。2025 年 2 月に実施した名護さくら祭りでは, 図 4.3.6 に示すように SINET6 の相模原 DC のエッジ装置を使い, SRv6 を使って複数の異なる伝送路を切り替えると共に, 使用している伝送路に応じたキャプション挿入を行う映像処理を展示実験した。その素材の 1 つとして, ローカル 5G 経由の屋外映像を使用した。このため, 屋外から送出された 8K 映像を学内で SRv6 カプセル化(Encap)して, 相模原のエッジ装置に伝送している。

最終的に大阪のうめきた会場では, 図 4.3.7 のような表示をお客様に見ていただいた。

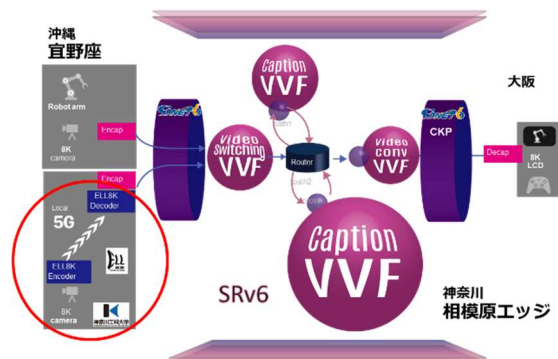


図 4.3.6 VVF による映像処理



図 4.3.7 うめきた会場での映像表示

5. 今後の計画

今回達成したローカル 5 G を用いた 8 K 超高精細映像の性能評価をさらに進めると共に、さらなる高スループット化が図られないかの検討を行う。また、現在、総通局に端末のドローン搭載免許申請を出しているので、免許が下り次第ドローンからの 8 K 超高精細映像伝送実験を行う予定である。

また、KAIT モビリティリサーチキャンパスへの適用や遠隔診断業務への適用性についても併せて検討を進める。

6. 研究成果の発表

- [1] 樋口駿, 渡邊和樹, 石川雅隆, 畠中悠太郎, 三浦凱都, 瀬林克啓, 小宮聖司, 脇田敏裕, 丸山 充 “ローカル 5 G を用いた映像伝送システム” 神奈川工科大学 IT を活用した教育研究シンポジウム 2024, 第 17 巻, ISSN 2432-0285, Vol. 19, 2025. 3. 12.
- [2] 丸山 充, “ローカル 5G を用いた高精細映像配信技術の検証,” 先端モバイル駆動研究センター 令和 6 年度成果発表会, 実証実験 2, NII, 2025. 3. 21.
- [3] 丸山 充, 瀬林克啓, 岩田一, 栗本崇, 仲地孝之, 加藤康久, “広帯域インラインコンピューティングの実現,” 2025 年電子情報通信学会総合大会, BK-2 次世代サイバーインフラの実現に向けたチャレンジ, BK-2-05, 2025. 3. 27.