



ローカル5Gバックホールの研究開発

国立大学法人東京大学

なか お
中尾 彰宏

1. はじめに

Beyond 5Gでは、従来の地上系ネットワークでは対応が困難であったカバレッジの広域性や被災時の冗長性を実現するため、非地上系ネットワーク（NTN）への関心が高まっている。

このような非地上系ネットワークの中でも、特に衛星通信は、広域性と可用性の観点から、地上系ネットワークを補完する基盤技術として重要な役割を担う。衛星リンクを5Gのバックホールとして用いることで、地上インフラに依存しない広域通信やエンド・ツー・エンドの直接接続が可能となり、大災害時における非常通信や通信サービスエリア外での接続手段の確保、高いセキュリティが要求される通信経路の構築などへの応用が期待される。

一方で、災害発生時には地上系通信の障害により通信需要が衛星リンクに集中するため、限られた衛星通信帯域において輻輳が発生し、通信品質が著しく劣化するという課題がある。このため、被災時における緊急通信や重要通信に対して、衛星リンクを優先的に利用可能とする通信制御技術が不可欠である。

本研究では、衛星リンク特有の伝搬遅延及び帯域制約を考慮した上で、災害時通信を想定した優先制御を含む衛星-地上統合技術の検討を行うことを目的とする。

東京大学はNICTが実施する委託研究『Beyond 5Gにおける衛星-地上統合技術の研究開発（採択番号 21901）』に

おいて、ローカル5Gバックホールに関する研究を担当する。

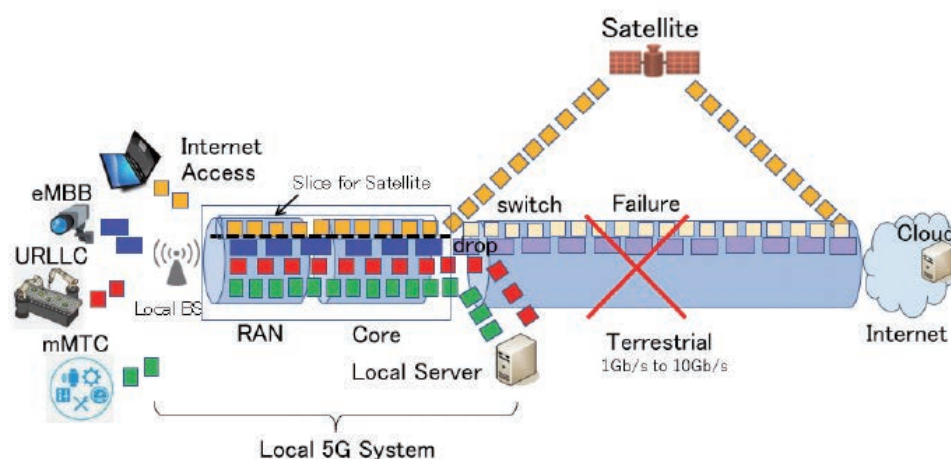
2. 研究概要

災害等で地上回線接続を失った際のバックアップとして、図1に示すように衛星通信の活用が期待されている。5G技術を活用した衛星・地上系統合通信技術のユースケースは、①大災害により地上系の通信が分断された時の非常通信、②通信事業者の通信サービスエリア外へのネットワーク接続のための通信手段確保、③高セキュリティが要求される通信経路の確保が考えられる。

しかし、ローカル5Gバックホールとして衛星リンクを利用するためには衛星リンクの遅延対策及び狭帯域での災害時のトラフィック輻輳を回避する優先制御の課題を解決する必要がある。

東京大学は、衛星リンクをローカル5Gのバックホールとして利用するため、衛星と地上系の5G技術の統合に向けた①SDN（Software Defined Networking：ソフトウェア定義型ネットワーク）/NFV（Network Functions Virtualization：汎用サーバー上でルーターやファイアウォールなどのネットワーク機能をソフトウェアで実現する仮想化技術）、②ネットワークスライシング、③ネットワーク管理の3つの技術的課題に係る研究開発を行い、課題解決を図る。

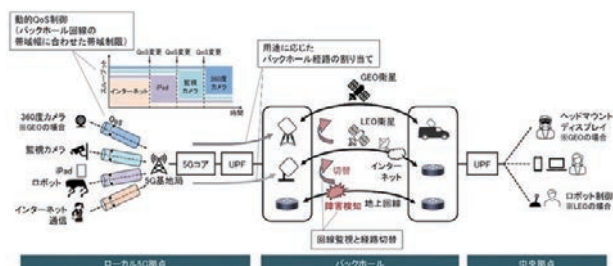
本実証実験では、回線監視や経路切替え、用途に応じたバックホール経路の割当て、バックホール回線の帯域幅に



■図1. ローカル5Gにおける衛星通信の利用



応じた動的なQoS制御などの次世代通信技術の検証を実施している。また、衛星回線と5Gを組合せ、多様な用途や回線状況に合わせて柔軟に対応できるネットワーク基盤の実現性を確認するため、災害時を想定した実証実験も行う。図2に衛星-地上統合技術研究開発の実証実験の概要を示す。



■図2. 衛星-地上統合技術研究開発の実証実験

以下に、衛星-地上統合技術研究開発目標ごとに分類して各研究開発の達成概要を説明する。

3. 研究開発目標

上記課題を解決するために、本研究開発課題では、以下の3つの開発目標を掲げている。

目標1 SDN/NFV技術開発

衛星リンクの狭帯域+遅延大の制約対策として、緊急用トラフィック検出機能と輻輳制御機能及び遅延対策機能を実現するSDN/NFVを開発する。

目標2 ネットワークスライシング技術開発

ネットワークスライスのためのSDN/NFV技術で開発する機能の静的あるいは動的機能を配置する技術や、それに係わるネットワーク運用技術を開発する。

目標3 ネットワーク管理技術開発

衛星コンポーネントを含むネットワークスライスの生成・削除するための動的リソース管理技術を開発する。

3.1 研究成果

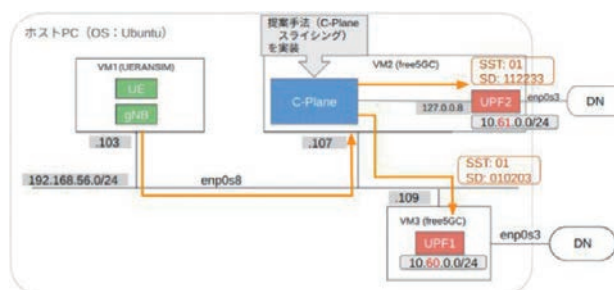
〈目標1 SDN/NFV技術開発〉

IoT端末等の多数同時接続において5Gの利用が期待されている。一方で、Internet of Things (IoT) を含む多数の端末、User Equipment (UE) が、5Gに同時接続する際に送信される制御信号が、5Gモバイルコアの大規模な輻輳を引き起こし、通信障害となる例が増えてきている。こうした通信障害は主にモバイルコア内の制御プレーン (C-Plane) で起きており、特にUEが5Gモバイルコアとの接続を確立する前の段階で輻輳が生じ接続に失敗することが問題であ

ることが知られている。

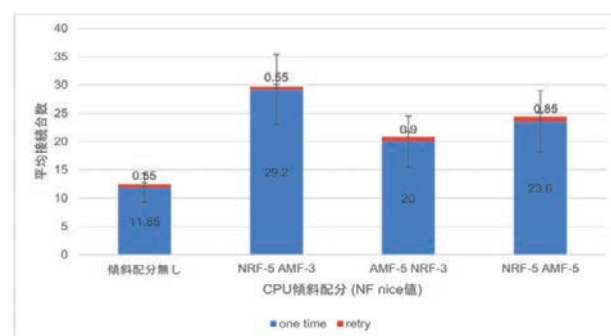
上記課題を解決するため、5Gモバイルコアの制御プレーンにNWスライシングを適用する制御プレーンスライシング (提案手法 図3) を提案する。UEと5GCとの接続における最初の処理における輻輳を軽減し、接続の失敗を防ぐことが目的である。

5Gモバイルコアで頻繁に輻輳が観測されるNF (Network Function) に制御プレーンスライシングを適用する。CPU資源をモバイルコアのNFに最適に配分するCPU傾斜配分を適用し、制御プレーンスライシングの性能の向上について示す。



■図3. Free5GC及びUERANSIMを利用した提案手法の評価環境図

CPU傾斜配分がPDUセッション確立時のUE収容性能に与える影響を評価するため、UEを70台同時に起動し、3種類のCPU優先パターンにおける平均接続台数を比較した。比較結果を図4に示す。CPU資源配分の設定にはLinuxのniceコマンドを用い、各値は、nice値を示している。これはカーネルスケジューラ内におけるプロセスの優先度をそのプロセスの実行時に設定するコマンドであり、プロセスの実行優先度をnice値で変更する。nice値は-20から19で定義され、デフォルト値は0であり値が小さいほど優先順位が高くなる。Linuxは時分割処理でCPUを使用しており、優先度の高いプロセスは多くのCPU時間を割り当てられる。



■図4. NFに対する割当CPUを変化 (CPU傾斜配分) による平均接続台数の比較結果



CPU傾斜配分を行わない場合の平均接続台数は12.4台であったのに対し、傾斜配分を適用した場合は、NRFを最優先としたパターン①が29.75台、AMFを最優先としたパターン②が20.90台、NRF及びAMFを同等に優先したパターン③が24.45台となった。特に、NRFを最優先とするパターン①では、平均接続台数が非適用時と比較して約2.4倍に向上し、CPU傾斜配分及び優先対象NFの選択がUE収容性能に大きく影響することが分かる。

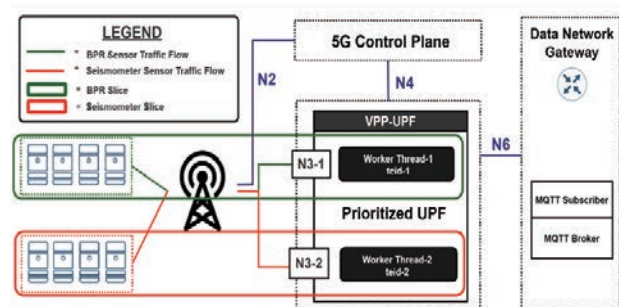
3.2 研究成果

〈目標2 ネットワークスライシング技術開発〉

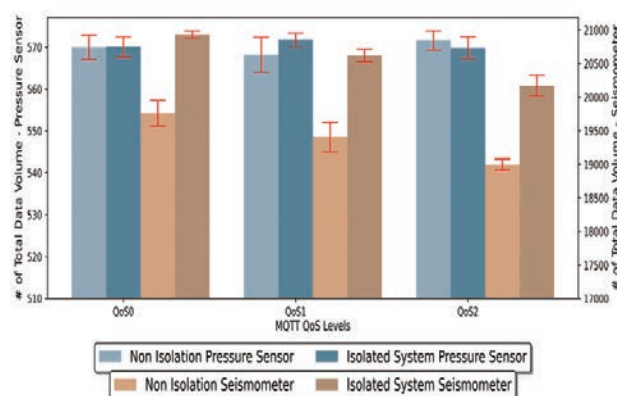
災害監視システムでは、IoT用途の通信プロトコルであるMessage Queuing Telemetry Transport (MQTT) がセンサデータの送受信に適用されることが多い。MQTTは、IoT用途の軽量データ配信プロトコルとして知られており、広く利用されている。システム全体の通信性能の向上には、MQTTの性能向上も求められる。

上記に対して、ネットワークスライシングの災害監視システムへの適用に向けて、IoT通信プロトコルとして知られているMQTT (Message Queuing Telemetry Transport) の通信性能向上可能なネットワークスライシング方式を提案する。図5に提案手法、図6に評価結果を示す。

BPRセンサはメッセージの送信頻度が小さいため、提案手法（スライシングの適用）の有無によらず、結果はほぼ同程度である。一方で、地震計のような高頻度な通信が行



■図5. MQTTの通信性能向上可能なネットワークスライシング方式



■図6. 提案手法の有無による各MQTT通信の合計メッセージ送信数（Non Isolation：比較手法、Isolated：提案手法）

われる場合、提案手法によって、MQTTのQoSレベルによらずに、平均で約1000メッセージの送信データ数の増加が分かる。

確立した方式より、ネットワークスライシングを利用しない方式と比較して、MQTTの送信メッセージ数を1000メッセージ以上増加できることが分かる。

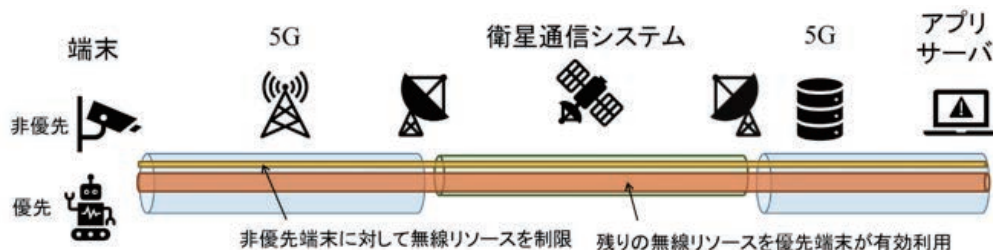
本年度は主としてスループット観点の評価を実施しているが、ミッションクリティカルなユースケースにおいては、遅延やジッタ要件も重要である。そのため、提案手法による遅延性能の評価を実施するとともに、遅延・ジッタの安定化に向けた方式の改良を検討していく。

3.3 研究成果

〈目標3 ネットワーク管理技術開発〉

衛星地上統合システムのためのネットワークスライシング・ネットワーク管理手法を確立した。ネットワークスライシングによるリソース制御手法に関して図7に示す。

無線リソースの制御をネットワークスライシングの5QI (5G QoS Identifier) に基づくQoS制御により実現している。5QIは5Gが定義するQoSクラスとして知られ、Non-GBR (Guaranteed BitRate) クラスとGBRクラスに大別される。各クラス内では、想定するアプリケーションが定められてお



■図7. ネットワークスライシングによるリソース制御（非優先端末に対して無線リソースをGBRクラスにより制限）



り、優先度や許容遅延、要求パケットエラーが異なる5QI値を持つ。Non-GBRクラスは、帯域制御までは設定されていない一方で、GBRクラスは、最大と最低ビットレートの帯域制御まで設定可能となる。

今回、GBRクラスに該当する5QIに基づくQoS制御を適用し、提案手法の実装を行っている。まず、アプリケーションごとに、異なるネットワークスライスのS-NSSAIと5QIを予め割り当てておく。アプリケーション開始時は、ネットワークスライスに割り当てられる初期設定した5QIで運用される。優先させたいアプリケーションの要求が利用者から出たタイミングで、優先する必要のないアプリケーションの5QIをGBRクラスに変更し、変更したGBRクラスが持つ最大・最小帯域の値を設定することで、可能な限りネットワークスライスの帯域を制限させる。これにより、優先させたいアプリケーションの帯域を確保することが可能となる。

確立したネットワークスライシング管理手法により、遠隔での災害監視をユースケースとして定め、オンデマンドなニーズ（例えば、品質を確保したいカメラを切り替えたいなど）に対応可能なコントローラを実装し、動的にネットワークスライシングの可用帯域を変化させることで、品質を確保したいカメラの画質劣化やフリーズ時間を抑制できることを確認している。

今後は、緊急時のようなヒューマンエラーを可能な限り避ける必要のあるユースケースにおいて、利用するアプリケーションに応じて、設定したポリシーに従い、ネットワークスライスの自動適用するアプリケーションの開発が必要であると考えられる。

4. まとめ

衛星通信をバックホールとするローカル5Gシステムの実現に向けた本研究において、東京大学の担当は、SDN/NFV、ネットワークスライシング、統合ネットワーク管理技術に基づく衛星一地上統合技術の確立である。

本研究開発では、狭帯域かつ大きな遅延を有する衛星リンク環境においても、柔軟かつ安定した通信サービスを提供可能とする制御・管理手法の確立を実現することで制御プレーンの優先制御や動的スライスが可能とする技術の確立することを目的としている。

システム設計を行い、実証実験による評価を行った結果、UE収容性能の向上や重要通信の品質維持が可能であること、実衛星回線を用いたテストベッド環境において、災害監視やIoT通信などのユースケースに対し、ネットワークスライシング及び統合管理技術が有効に機能することを確認している。

この結果は、衛星通信を活用したローカル5Gの実運用に向けた技術の有効性を示すとともに、Beyond 5G時代における災害時通信や非地上系通信基盤への展開可能性を示している。

これらは、単に災害対応にとどまらず、日常的な社会の安全保障や、交通、医療、農業などの分野にも適用が可能である。特に、衛星と地上通信の統合システムを実現することにより、これらの分野での柔軟な通信制御が可能となり、災害時や緊急事態において、より迅速で効果的な対応が可能となる。

今後、ローカル5Gの普及期が訪れることが予測されており、その実装と社会受容性の向上に向けて、更なる研究開発が進むことが期待される。特に、商用システムへの実装や、社会的受容性を考慮した機能の追加・改良が不可欠である。これにより、ローカル5Gは単なる通信インフラを超えて、社会全体の「次世代サイバーインフラ」として広く普及し、我が国の安全・安心を支える重要な基盤となると展望を描いている。

最終的には、これらの取り組みが、日本全体のレジリエンスを高め、未来社会における持続可能で強靱な情報通信基盤を築くための礎となることを期待する。