

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03422

研究課題名（和文）Beyond 5G時代を支える状況変化適応型Fiber Wireless制御技術

研究課題名（英文）Adaptive Fiber Wireless Control Technology to Support the Beyond 5G Era

研究代表者

加藤 寧（Kato, Nei）

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00236168

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）：無線アクセス網を広帯域光アクセス網（PON: Passive Optical Network）によって統合するFiber Wirelessシステムが有力視されている。Fiber Wirelessシステムでは、光帯域割当てと無線の周波数制御機能を有機的に連携し、高品質な通信を実現することは可能である。本研究では、各技術の比較を行い、光と無線の周波数・通信割当て機能を動的に再構成する統合FiberWirelessアクセスネットワークを提案した。提案による、多種多様な端末・サービスが存在するBeyond 5G環境において通信サービスの品質の飛躍的な向上を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Beyond 5G通信システムでは時間的・空間的に異なる通信要求が発生した場合、臨機応変的な対応が必要不可欠である。従来のFiber Wirelessシステムでは、状況の変化に適応するための動的設計理論が確立されておらず、複雑な環境に対応可能な新しい通信方式の実現が望まれている。本研究では、Beyond 5G通信システムが状況の変化を認識する機能、状況毎に通信要求特性を推定する機能、供給能力を算出する機能を体系的に統合することで動的設計理論の確立を目指した。更に本理論を実装することで、光と無線の周波数・通信機能構成を最適な状態にすることが可能となり、幅広い無線通信サービスの高品質化に寄与した。

研究成果の概要（英文）：Fiber Wireless systems, which integrate heterogeneous wireless access networks into a passive optical network (PON), are considered a promising option for Beyond 5G technology to realize ultrahigh-speed, low-latency, and high-density communications. In the Fiber Wireless system, optical bandwidth allocation and radio frequency control functions are organically linked to achieve high-quality communications. In this study, we compared each technology and proposed an integrated FiberWireless access network that dynamically reconfigures the optical and wireless frequency and communication allocation functions. We confirmed that the proposed network dramatically improves the quality of communication services in a Beyond 5G environment with a wide variety of terminals and services.

研究分野：総合領域

キーワード：光通信 無線通信 IoT Beyond 5G ネットワーク統合

1. 研究開始当初の背景

通信ネットワークの重要な一部として、アクセスネットワークはセントラルオフィス (CO: Central Office) から多数のエンドユーザーにデータを配信する役割を担っており、主に無線アクセスネットワークと有線アクセスネットワークの 2 種類から構成されている。無線アクセスネットワークについては、無線アクセスネットワーク (RAN: Radio Access Network) が電波を使用してユーザーと CO を接続し、柔軟でユビキタスな通信を低導入コストで提供する。有線アクセスネットワークの場合、光アクセスネットワーク (OAN: Optical Access Network) は光ファイバを主な伝送媒体として採用し、高データレートかつ長距離のデータ伝送を実現する。さらに OAN は、アクセスネットワークの光分配ネットワーク (ODN: Optical Distribution Network) に能動的な電子機器が含まれているか否かで、能動的な光ネットワークと受動的な光ネットワーク (PON: Passive Optical Network) に分けられる。第 5 世代モバイルネットワークの成熟に伴い、研究者は第 6 世代 (6G) モバイル通信技術、特にテラヘルツ (THz) 通信、Reconfigurable Intelligent Surface、指向性アンテナ、インテリジェント無線など、6G RAN を可能にする潜在的な技術により注目している。

6G 時代には、3D ホログラフィック通信、8K ビデオ・ストリーミング・サービス、物理世界のサイバーウィンなどを含むスーパーブロードバンド・アプリケーションが実現できると想定されている。これらのアプリケーションからの超ブロードバンド需要に動機付けられ、現在の OAN は次世代 OAN (NG-OAN: Next Generation - OAN) へと発展している。NG-OAN は、現在の OAN のアーキテクチャと技術を更新することで、大容量、低遅延、高信頼性、より優れたセキュリティを獲得することを目的としており、将来の 6G における超広帯域アクセスサービスを実現する有望な方式とみなされている。さらに、NG-OAN は、50G-PON や 100G-PON といった次世代 PON (NG-PON: New Generation - PON) を採用し、超広帯域サービスを提供することが一般的に認められている。現在の PON の進化形として、NG-PON は、より高いデータレート、より多くの波長チャネル、より長いファイバレンジ、より高い分割比、およびより広範な機能を提供することが期待されている。しかし、6G 時代に NG-OAN を開発するには、より高いデータレート、低遅延、大規模な接続性などを満たす新しいアーキテクチャや技術を設計する上で、多くの課題に直面する可能性がある。さらに、NG-OAN に人工知能 (AI: Artificial Intelligence) を採用することは、めまぐるしく変化する環境の中で、ユーザーのダイナミックな要求にスマートに応えるためのリソース配分が難しいという問題も残っている。

2 つの主流のスーパーブロードバンドアクセス技術として、6G RAN と NG-OAN の両方に長所と短所がある。6G RAN または NG-OAN だけに頼っているのは、将来のアプリケーションシナリオの多様な要件を満たすことはできない。6G 時代には、この 2 つが共存し、協調して発展していくことが期待されている。

2. 研究の目的

上記で述べたとおり、6G RAN と NG-OAN の 2 つが共存し、強調して発展していくことが期待されている。この目的に向けてまず、最近あまり注目されていない NG-OAN に関する議論を行い、6G RAN と NG-OAN の比較を行う。その後、将来のスーパーブロードバンド・アクセスネットワークを実現するための有望なソリューションとして、これら 2 つの技術の相補的な利点を活用する統合 Fiber Wireless アクセスネットワークの開発を提案する。光バックホールと無線フロントエンドの強力な統合により、Fiber Wireless アクセスネットワークは、予期せぬアプリケーションやシナリオにおいて、スケラブルでコスト効率に優れ、柔軟な通信を実現する。これによって、状況変化に応じて必要な通信要求特性を判断し、要求を満足するために光と無線の機能・周波数を再構成し、新しい通信機能の実現を目指す。

3. 研究の方法

前述したように、最近の NG-PON の進歩が NG-OAN の開発を加速させている。現世代の PON は、最大 10 Gb/s のレートを持つ NG-PON1 の段階にあり、特に 10G-EPON が大規模に展開されている。NG-PON1 の参加により、現在の OAN は 10Gb/s のデータレート、10ms を超えるエンド・ツー・エンドの待ち時間、約 20km の通信距離を実現している。通信ネットワークを前進させるため、PON の開発ペースは止まらない。図 1 から、主要な PON 標準化団体である IEEE と国際電気通信連合電気通信標準化部門 (ITU-T) は、ともに PON システムの公称回線レートを 50Gb/s に引き上げるための作業を進めていることがわかる。IEEE 802.3ca タスクフォースで研究されている 50G-EPON は、2 つの 25 Gb/s 波長チャネルを結合して 50 Gb/s のデータレートを実現し、20 km の光ファイバ到達距離をサポートする。ITU-T の高速 PON 勧告プロジェクトでは、高速 PON の目的を達成するために単一波長方式を採用し、さまざまなシナリオで 50Gb/s のデータレートと 10km ~ 60km の光ファイバ距離を可能にする。

バックホールとして NG-PON を採用するだけでなく、新しいアーキテクチャや技術も NG-OAN のデータレートの高速化、低遅延化、長距離化に貢献することができる。インターネット・トラフ

ネットワークの急速な拡大とスーパーブロードバンド・アプリケーションの大量アクセスに伴い、NG-

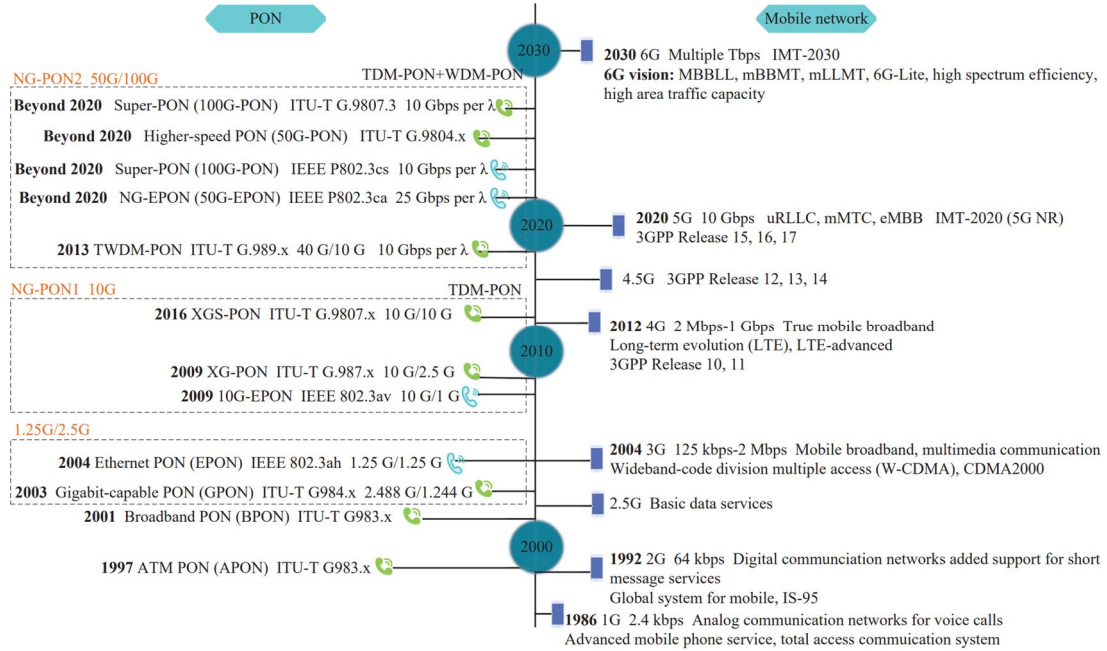


図 1. PON とモバイルネットワークの歴史

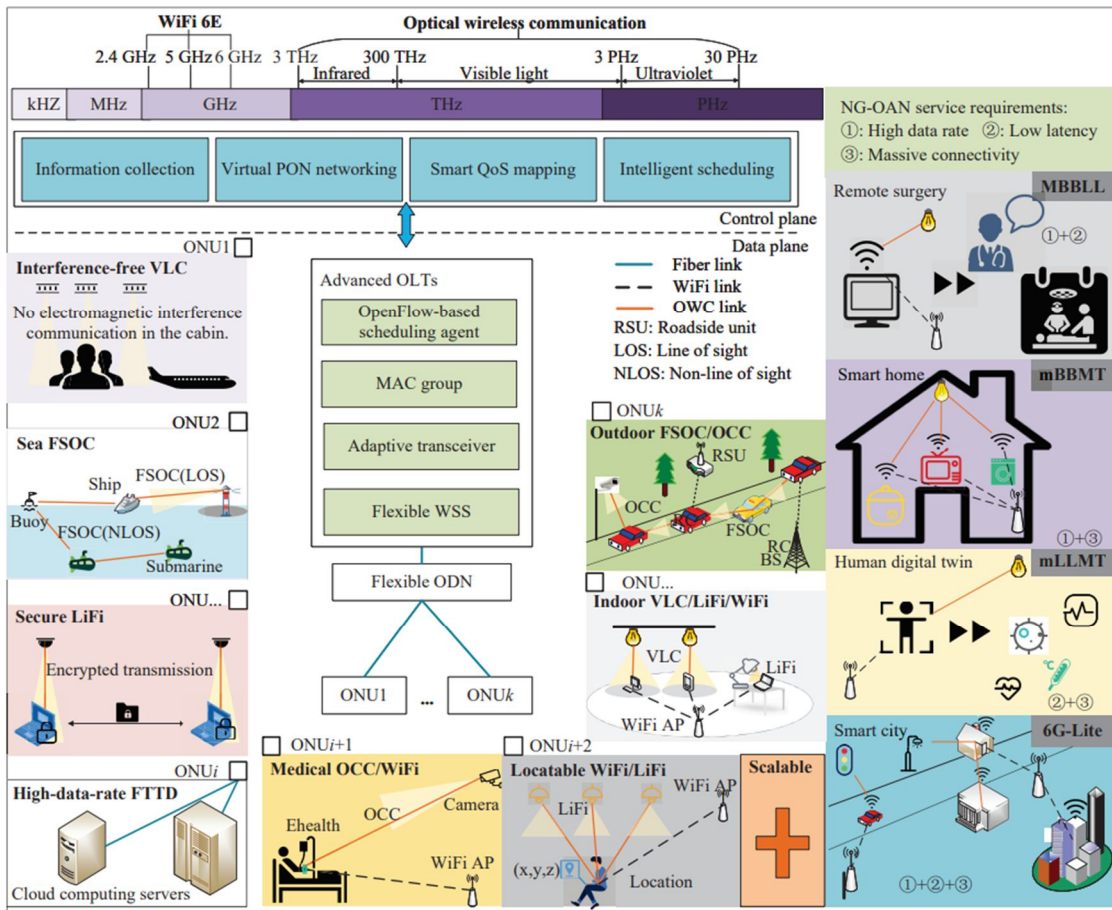


図 2. スーパーブロードバンドサービスを支える次世代光アクセスネットワーク

oan のアーキテクチャは、図 2 に示すように、パーソナライズされたサービス品質 (QoS: Quality of Service) 保証を提供し、スーパーブロードバンドサービスをサポートするインテリジェント化が予定されている。このアーキテクチャでは、制御プレーンがデータプレーンと相互作用して、モバイル広帯域低遅延 (MBLL: Mobile Broad Bandwidth and Low Latency)、マッシュ広帯域マシタイプ (mBBMT: massive Broad Bandwidth Machine Type)、マッシュ低遅延マシタイプ (mLLMT: massive Low Latency Machine Type)、6G-Lite (トレードオフ・ベースのモバイル広帯域、低遅延、マッシュ・マシタイプ) をカバーするコアサービスを提供する。

Control Panel は主に 4 つのモジュールで構成される。Information collection モジュールは、ネットワーク全体の利用可能なリソースと ONU の要求を収集する。Virtual PON networking モジュールは、仮想ネットワークを簡単に構築し、リソース割り当てを推定することができる。AI 技術を採用した Smart QoS mapping モジュールは、ユーザー中心の QoS 問題に対処することを目的としている。Intelligent scheduling モジュールは AI を応用し、ユーザーの要求と利用可能なリソースに基づいてリソースの制御・割り当てを行う。Data plane において、Advanced OLTs(Optical Line Terminals) は、OpenFlow-based scheduling agent, MAC (Multiple Access Control), Adaptive transceiver, および Flexible WSS (Wavelength Selective Switch) を含む 4 つの部分を含んでいる。具体的には、OpenFlow-based scheduling agent は、OpenFlow プロトコルを用いて定期的に設定を行うことで、指示発行やスケジュール操作を行うためのテーブルを保持する。異種光ネットワークユニット (ONU: Optical Network Unit) の OLT へのアクセスは、MAC group による制御に依存する。OLT では、Adaptive transceiver を通じて、あらゆる形式のデータを転送・受信できる。Flexible WSS の機能は、OLT と ONU 間の任意の波長切り替えを実現することである。

一般に、NG-OAN と 6G RAN は、スーパーブロードバンド・アクセスネットワークを設計および実装するための 2 つのオプションソリューションであり、データレート、待ち時間、安定性などが異なるため、サービス可能なシナリオが異なる。したがって、異なる 6G アプリケーションシナリオでは、2 つのアクセスネットワークのどちらを選択するかという優先順位がある。そこで本研究では、6G RAN と NG-OAN の比較を行い、それをもとに将来のスーパーブロードバンド・アクセスネットワークを実現するための有望なソリューションとして、これら 2 つの技術の相補的な利点を活用する統合 Fiber Wireless アクセスネットワークの開発を提案する。

4. 研究成果

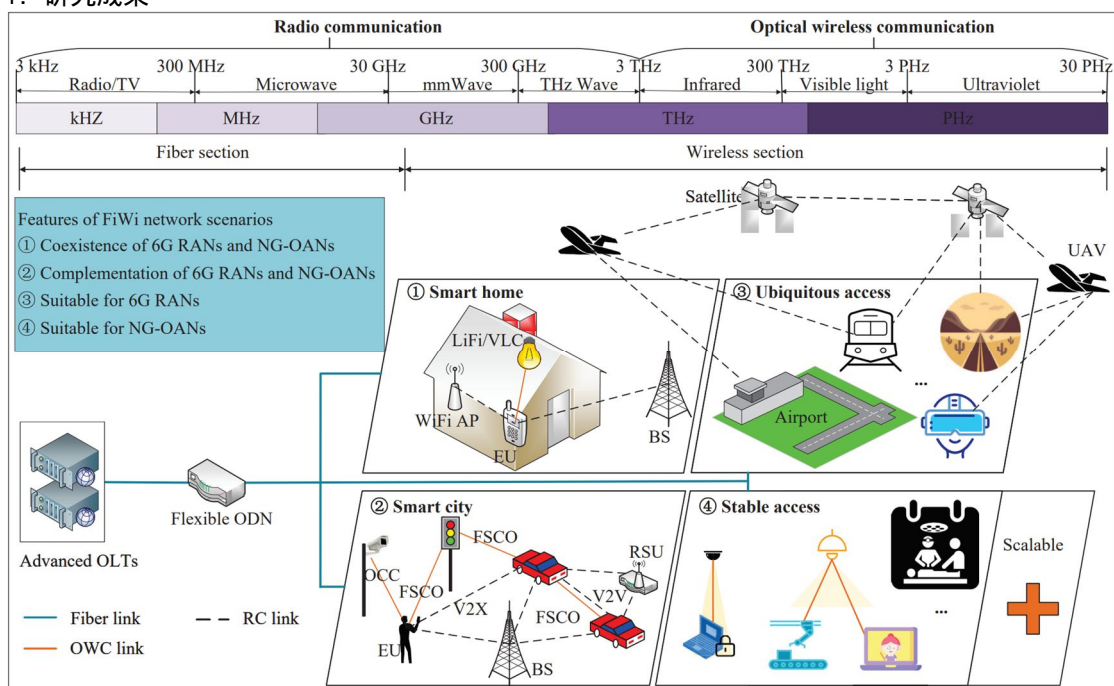


図 3. 6G における統合 Fiber Wireless アクセスネットワークのビジョン

6G RAN と NG-OAN に関して、安定性、コスト、サービスエリアの観点で比較を行った結果を以下に示す。

(1) 安定性

NG-OAN では、ポートを共有するユーザーを制御できるため、適切な帯域幅割り当てが保証される。さらに、NG-OAN のチャンネルは外部信号による干渉を受けない。これとは対照的に、いつでもどこでもネットワークにアクセスする干渉や制御不能なユーザーの影響を受け、6G RAN は不安定な要素を持っている。つまり、6G RAN は NG-OAN に比べて安定性に欠ける。

(2) コスト

ワイヤレス・ネットワークの構築は、新しい世代が開発されるたびに打倒し、再スタートしなければならない。その後の光ブロードバンドネットワークのアップグレードは、CO 装

置とユーザーの端末装置を交換するだけでよい。したがって、6G-RAN のネットワーク展開コストは NG-OAN のそれよりも高い。しかし、光ファイバの 1 回限りの基本投資コストは比較的高い。

(3) サービスエリア

OAN は、ギガビット・レートを提供する能力を持ち、数億人のホーム・ユーザーと多数の中小企業ユーザーをカバーしている。RAN は、屋外でのモバイル・シナリオや、垂直型産業で有線モードを採用することが現実的でない一部のシナリオに精通している。さらに、一時的なカバレッジを迅速かつ柔軟に提供することができる。

以上の比較から、長距離リンク、高データレート、高安定性、高セキュリティといった高い要件が求められるシナリオでは、NG-OAN がサービスを提供することが期待されると結論付けた。とはいえ、動きの速いシナリオや有線ネットワークの展開が困難なシナリオでサービスが必要な場合は、6G RAN が実現可能なソリューションとなる。さらに、NG-OAN と 6G RAN の技術は補完的であり、今後数十年にわたって共存することが期待される。

6G における統合 Fiber Wireless アクセスネットワークのビジョンについて、以下のように展望を示す。Fiber Wireless ネットワークは、光バックホールと無線フロントエンドの 2 つのコンポーネントで構成される。従来の Fiber Wireless ネットワークでは、光バックホールは GPON, EPON, 10G-EPON をバックホールとして伝送するのが一般的であった。ワイヤレスフロントエンドの技術には、WiMAX, Fiber Wireless, ワイヤレスモバイルネットワーク (WMN: Wireless Mobile Network), LTE/LTE-A, ギガビット級 WLAN などがあり、これらは主に無線通信 (RC: Radio Communication) に属する。しかし、図 3 に示す統合 Fiber Wireless アクセスネットワークでは、光バックホールは、より大容量、長距離、広帯域、より多くのユーザーをサポートするため、伝送に NG-PON を採用している。さらに、ワイヤレスフロントエンドでは、従来の RC 技術をベースに、OWC (Optical Wireless Communication) 技術を取り入れることで、周波数帯域を拡大し、周波数リソースの利用率を向上させる。つまり、6G 時代の統合型 Fiber Wireless アクセスネットワークでは、光バックホールと無線フロントエンドの両方に、新しい技術、特に光技術が適用されることになる。

以上から、本研究で提案する 6G-RAN と NG-OAN 両方の技術の相補的な利点を活用する統合 Fiber Wireless アクセスネットワークによって、多種多様な端末・サービスが存在する Beyond 5G 環境において通信サービスの品質が向上可能だと結論付けられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------