

アナログRoFを活用した 多様な高周波数帯無線システムの効率的収容

高周波数帯無線システムでは大容量無線伝送が可能となりますが、無線基地局を高密度に展開する必要があり、多様化するニーズにこたえるため無線システム数も増加することを想定すると、設置すべき無線基地局数は爆発的に増加すると想定されます。NTTアクセスサービスシステム研究所では、無線基地局数や運用稼働の抜本的な削減のため、アナログRoF (Radio-over-Fiber) を活用し、複数の高周波数帯無線システム間で無線設備を共用可能とするシステム構成を提案しています。本稿では、提案するシステム構成の詳細と、その要素技術である遠隔ビームフォーミング技術について紹介します。

いとう こうた すが みずき
伊藤 耕大 /菅 瑞紀
しらと ゆうし きた なおき
白戸 裕史 /北 直樹
おにざわ たけし
鬼沢 武

NTTアクセスサービスシステム研究所

背景

無線伝送容量のさらなる拡大のためには、広い帯域幅を確保できるミリ波^{*1}などの高周波数帯の電波を利用することが効果的です。しかし、電波は高周波数になるほど伝搬距離が短くなるため、高周波数帯無線システムで広いエリアをカバーするためには、無線基地局を高密度に設置する必要があります。また、従来は無線システムごとに無線基地局を設置する必要がありました。そのため、多様化するニーズに伴って高周波数帯無線システムが多様化していくと、膨大な数の無線基地局が設置されることになってしまいます。

そこで、設置すべき無線基地局数や運用稼働の抜本削減を目的とし、複数

の無線システムが無線基地局を共用できるようなシステム構成を提案しています。

本稿では、提案するシステム構成と、このシステム構成で高周波数帯無線システムを収容するとき必須となる遠隔ビームフォーミング技術について紹介します。

アナログRoFによる 機能分離・張出局簡易化

アナログRoF (Radio-over-Fiber)^{*2}とは、光信号を無線信号で強度変調し、無線信号のかたちをした光信号を光ファイバ伝送する技術で、伝送した光信号をO/E (Optical-to-Electrical) 変換^{*3}するのみで元の無線信号を取り出すことができます (図1)。

このアナログRoFを適用することで、従来の無線基地局の機能を集約局 (信号処理部) と張出局 (アンテナ部) に分離することができます (図2)。従来の無線基地局は、アンテナ・増幅器・E/O、O/E変換・信号処理という機能を持っていました。アナログRoFを適用して信号処理機能を集約局

- *1 ミリ波：波長が1～10 mmと非常に短い電波のことです。周波数は30～300 GHzになります。
- *2 RoF：無線信号の波形情報を光ファイバ伝送する技術です。アナログRoFは波形をそのままアナログ信号として、デジタルRoFは波形をデジタル信号に変換してから光ファイバ伝送します。アナログRoFは、デジタルRoFに比べ、A/D (Analogue-to-Digital)、D/A (Digital-to-Analogue) 変換が不要で、必要な光伝送帯域も狭くて済むというメリットがあります。
- *3 O/E変換：光信号を電気信号に変換することで、一般にフォトダイオードが用いられます。

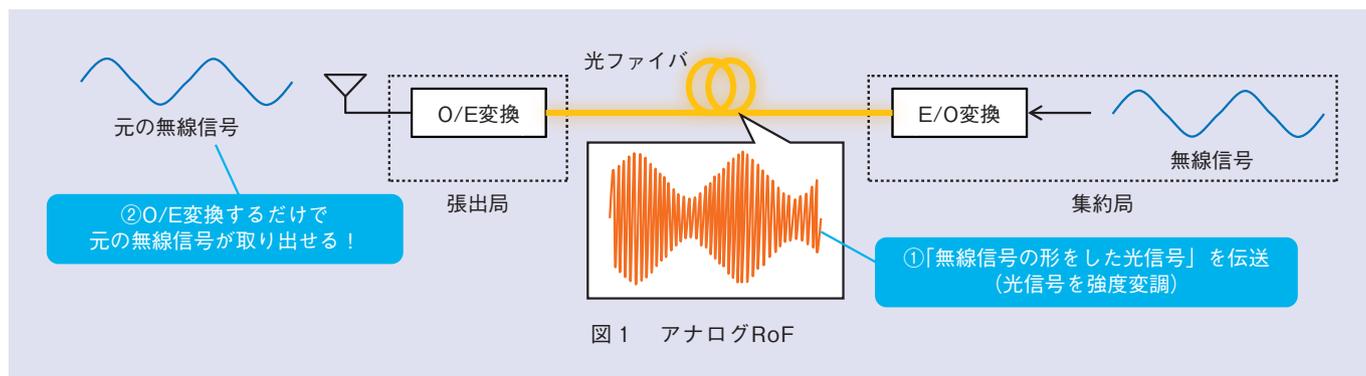


図1 アナログRoF

に集約することで、張出局の機能簡易化が可能になります。これにより、張出局の小型化・低消費電力化による設置性や経済性の向上が期待できます。

また、無線システム依存の信号処理機能を集約局に集約することで、張出局には無線システムに依存しない共通機能のみを残すことができます。そのため、アンテナや増幅器の対応する周波数の範囲であれば、複数の無線システム間で張出局を共用することが可能になります。

さらに、無線システムの新設や更改などの対応も、集約局側のオペレーションのみで行うことができるようになります。効率的な無線システムの展開・

運用が可能になります。

これらにより、無線基地局数や運用稼働・コストの抜本的な削減が期待できます。

遠隔ビームフォーミング技術

伝搬距離の短い高周波数帯無線システムでは、ビームフォーミング*4が必須となります。従来の無線基地局は、信号処理部にこのビームフォーミング機能を持っていました。アナログRoFによる機能分離・張出局簡易化を行った場合、信号処理機能を持たない張出局のビームフォーミングをどう行うかが課題となります。そこで、張出局が形成するビームを集約局で遠隔に制御

することができる遠隔ビームフォーミング技術を提案し^{(1),(2)}、検討を進めてきました。

提案する遠隔ビームフォーミング技術について受信側を例に説明します(図3)。複数のアンテナ素子を持つ張出局に無線信号が到来すると、各アンテナ素子は位相差のついた無線信号を受信します。この位相差を保持したまま、各アンテナ素子で受信した無線信

*4 ビームフォーミング：複数のアンテナ素子を並べたアレイアンテナを利用し、指向性を電氣的に制御する技術です。各アンテナ素子が送受信する電波の位相を制御することで、特定方向に向かう電波を強めて送信したり(送信ビーム)、特定方向から到来する電波を強めて受信したり(受信ビーム)することができます。

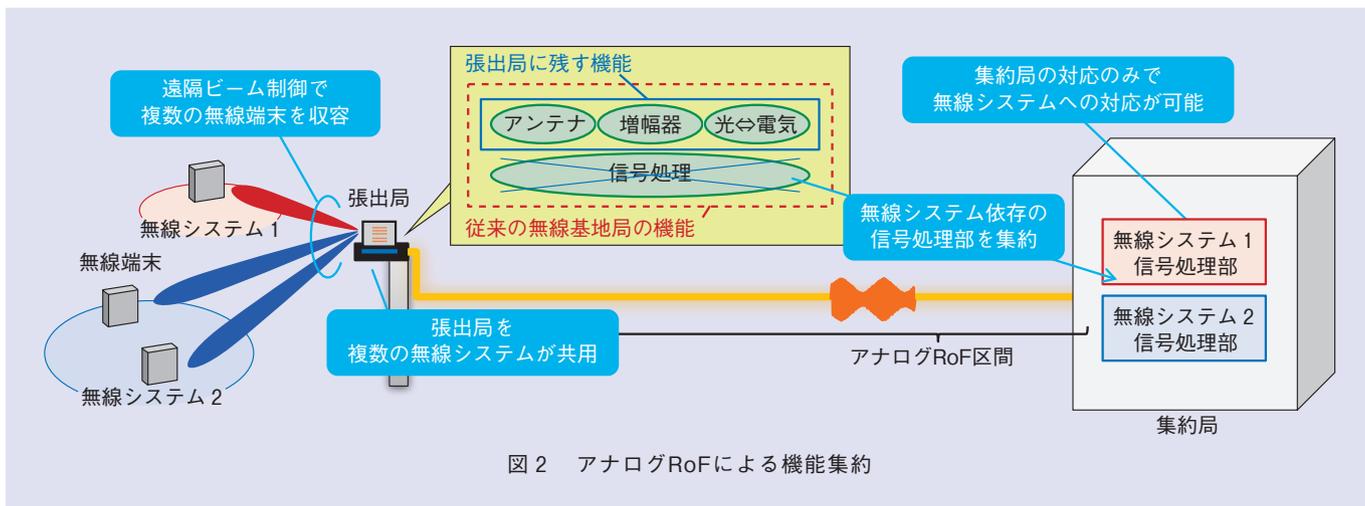


図2 アナログRoFによる機能集約

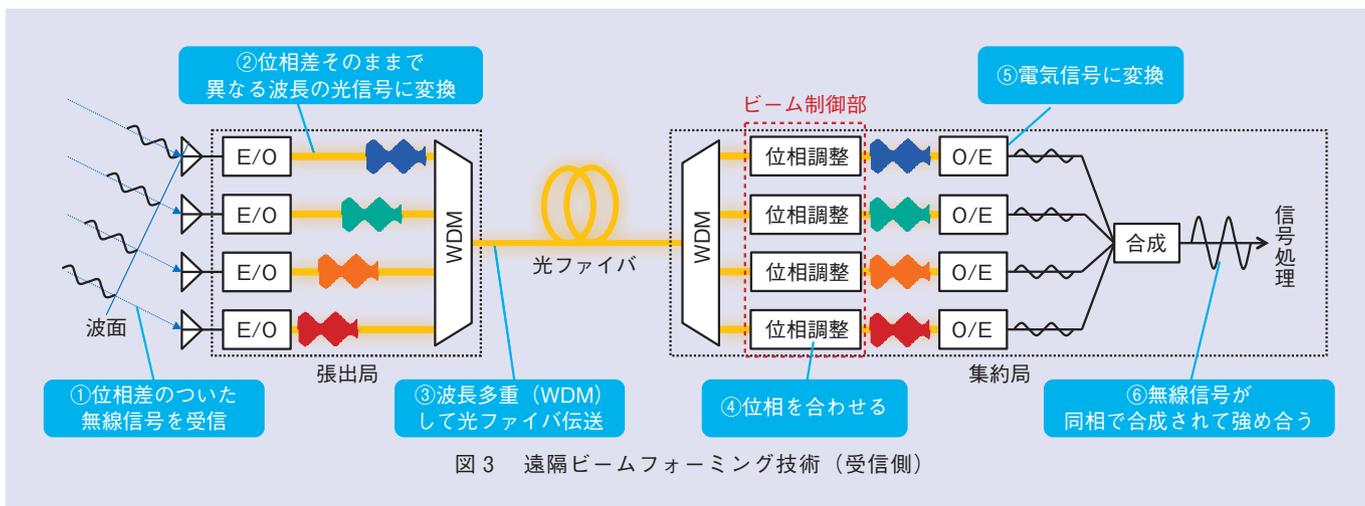


図3 遠隔ビームフォーミング技術(受信側)

携しながら実用化に向けた検討を進めていきます。

■参考文献

- (1) K. Ito, M. Suga, Y. Shirato, N. Kita, and T. Onizawa: "A novel centralized beamforming scheme for radio-over-fiber systems with fixed wavelength allocation," IEICE Communications Express, Vol.8, No.12, pp.584-589, 2019.
- (2) M. Suga, K. Ito, Y. Shirato, N. Kita, and T. Onizawa: "Fiber Length Estimation Method for Beamforming at millimeter Wave Band RoF-FWA System," IEICE Communications Express, Vol.8, No.11, pp.428-433, 2019.
- (3) T. Nagayama, K. Furuya, S. Akiba, J. Hirokawa, and M. Ando: "Millimeter-wave antenna beam forming by radio-over-fiber with 1.3 μm light source and variable delay line," OECC and PGC2017, pp. 1-2, Singapore, July-Aug. 2017.
- (4) M. Tadokoro, T. Taniguchi, and N. Sakurai: "Optically-controlled beam forming technique for 60 GHz-ROF system using dispersion of optical fiber and DFWM," OFC/NFOEC 2007, pp. 1-3, Anaheim, U.S.A., March 2007.
- (5) S. Akiba, M. Oishi, Y. Nishikawa, K. Minoguchi, J. Hirokawa, and M. Ando: "Photonic architecture for beam forming of RF phased array antenna," OFC 2014, pp. 1-3, San Francisco, U.S.A., March, 2014.



(左から) 北 直樹/ 菅 瑞紀/
伊藤 耕大/ 白戸 裕史/
鬼沢 武

通信トラフィックの増加に対応するため、高周波数帯無線システムの必要性は高まってくると考えています。その導入を簡単に・低コストで行えるよう、さらなる研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
無線エントランスプロジェクト
基幹方式グループ
TEL 046-859-3366
FAX 046-859-4311
E-mail ekig-p-ml@hco.ntt.co.jp

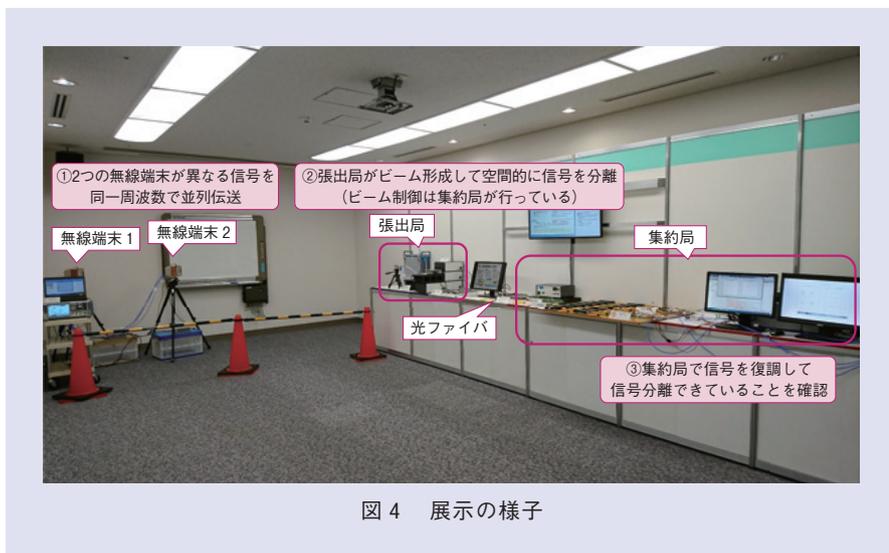


図4 展示の様子

号をそれぞれ異なる波長の光信号に変換し、波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) して集約局まで光ファイバ伝送します。集約局では、波長多重された信号を波長ごとに分波し、これらの光信号の位相を合わせ、O/E変換して合成します。すると、元の無線信号が位相の合った状態で合成されて強め合い、無線信号の到来方向に受信ビームを形成することができます。図3では光信号に対して位相調整を行っています。O/E変換した後の電気信号に対して位相調整を行い合成することも可能です。また、送信ビームの形成も同じ原理で行うことが可能です。このとき、張出局は受けた信号のO/E, E/O変換をしているだけで、一切の制御を必要としていません。

従来の遠隔ビームフォーミング技術としては、各アンテナ素子に別々の光ファイバ (マルチコアファイバの場合は別々のコア) を割り当てる方式⁽³⁾や、波長分散^{*5}を利用し、各アンテナ素子に割り当てる波長を変えることでビー

ム方向を切り替える方式^{(4),(5)}がありました。提案する遠隔ビームフォーミング技術は、各アンテナ素子に割り当てる波長を固定することで従来技術の課題を克服し、①使用する光ファイバ数 (コア数) は1本のみ、②光ファイバの距離情報が必要でない、③張出局の光フィルタの制御が不要、④高周波数帯・長距離光ファイバを適用しても無線信号の形式に制約がない、といったメリットを持っています。

この遠隔ビームフォーミング技術により、高周波数帯無線システムの通信品質確保はもちろん、張出局が複数の無線端末を空間多重 (SDM: Space Division Multiplexing) して同時に收容することも可能になります。さらに、ビーム方向を遠隔で制御できるので、張出局の設置時に物理的にアンテナ方向を調整する必要もありません。

NTT R&Dフォーラム2019では、受信系の遠隔ビームフォーミング技術を動態デモで紹介しました (図4)。

今後の展望

今後は、遠隔ビームフォーミング技術の改良により波長利用効率向上をめざすとともに、光通信の研究部とも連

*5 波長分散: 光ファイバ中を伝搬する光の速度が波長によって異なるため、伝搬時間に差が生じる現象です。光ファイバの屈折率が波長依存性を持つために起こります。