

グリーン・エラスティック超高速光アクセスシステムの研究開発 (105107001)

Research and Development of Elastic and Green Optical Access Systems

研究代表者

北山 研一, 大阪大学大学院工学研究科

Ken-ichi Kitayama, Graduate School of Engineering, Osaka University

研究分担者

丸田章博[†] 吉田悠来[†] 水落隆司[‡] 野上正道[‡] 小口和海[‡] 市川 俊亨[‡] 野田雅樹[‡] 斧原聖史[‡]

秋山祐治[‡] 吉間聡[‡] 吉田剛[‡] 石井健二[‡] 藤森崇文[‡]

Akihiro Maruta[†], Yuki Yoshida[†], Takashi Mizuochi[‡], Masamichi Nogami[‡], Kazuumi Koguchi[‡],
Toshiyuki Ichikawa[‡], Masaki Noda[‡], Kiyoshi Onohara[‡], Yuji Akiyama[‡], Satoshi Yoshima[‡], Tsuyoshi
Yoshida[‡], Kenji Ishii[‡], and Takafumi Fujimori[‡]

[†]大阪大学大学院工学研究科 [‡]三菱電機(株)

[†]Graduate School of Engineering, Osaka University [‡]Mitsubishi Electric Corporation

研究期間 平成 22 年度～平成 24 年度

概要

FTTH の普及に伴う消費電力の急増を抑制し、100Gbps 級大容量サービスを可能とする、グリーン・エラスティック光アクセスシステムの研究開発を実施した。新しい光マルチサブキャリア多重技術「光 SC-FDMA/IFDMA 変復調方式」に基づく光アクセスシステムを提案し、その実験的検証、及びリアルタイム試作器開発を行った。提案システムは 1~100Gbps の多様なユーザトラフィックを柔軟かつ効率的に収容可能であり、また信号生成回路の低消費電力化技術により、現行の PON システムと比較し CO₂ 排出量を最大 37.0% (2017 年時点) の削減を実現可能である。

1. まえがき

近年、高精細動画配信などのブロードバンドコンテンツの需要から、我が国の全ブロードバンド加入者のトラフィック総量は 1.9Tbps に達し、今後も増大が予想される。FTTH (Fiber-To-The-Home) サービスは、ブロードバンド情報インフラとして、トラフィック需要に応じる形で拡大し、平成 25 年現在、我が国の FTTH の契約加入者数は 2380 万加入を数える。これは、現行の 1Gbps FTTH サービスである GE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Networks) が開始された 2004 年時の約 90 倍に相当する。

爆発的な光アクセスシステムの拡大に伴い懸念されるのが、光アクセス装置の消費電力である。例えば、既存の光アクセス装置 (GE-PON, 10GE-PON) で、今後予測されるデータトラフィックを全て収容した場合、2017 年時点で 15.8 億 kWh、CO₂ 排出量換算で 88 万 t に達すると試算される。光アクセス網の消費電力の約 60% がユーザ端末 (ONU: Optical Network Unit) において消費されるとされており、次世代光アクセスサービスにおいては、大容量化と共に ONU の省電力化が重要な課題となる。

本研究開発課題においては、ONU 装置の消費電力を低減しつつ、1~100Gbps の柔軟なブロードバンドサービスを提供する次世代光アクセスシステムとして、光マルチサブキャリア多重技術「SC-FDMA/IFDMA 変復調方式」(Single Carrier Frequency Division Multiple Access/Interleaved FDMA) を用いた PON システムの研究開発を実施した。

2. 研究開発内容及び成果

図 1 は、SC-FDMA/IFDMA-PON システムの概念図である。提案システムでは、25GHz 程度の光波長帯域資源を、100~1000 の狭帯域直交サブキャリアに分割し、帯域要求に応じて ONU 毎に割り当てることで、1~100Gbps の多様な帯域要求を持つ ONU 群を効率的に収容する柔軟な光アクセスシステムを実現する。光サブキャリア割り

当てやサブキャリア毎の変調方式の選択は、デジタル処理回路によって制御されるため、トラフィックの時間的変動に合わせて、適応的に最適化可能である。光マルチサブキャリア多重に基づく光アクセスは、近年、携帯電話網などに用いられる OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 方式を基礎としているが、本研究の特徴は光通信分野での実現は世界初となる光 SC-FDMA/IFDMA 変復調技術を開発し、省電力 ONU による光マルチサブキャリア多重システムを実現した点にある。ここでは要素技術である ONU 波長同期技術 と ONU 省電力化のためのサブキャリア生成回路簡素化技術 について述べる。

デジタル信号処理によるリモート ONU 波長同期技術

光アクセスシステムにおいては、光源の波長揺らぎにより ONU 毎の光搬送波周波数に CFO (Carrier Frequency Offset) が生じる。CFO は光サブキャリア間の衝突によるユーザ間干渉 (MUI: Multi-User Interference) を引き起こすため、光 OFDMA システムにおいては多数の ONU 間での高精度の周波数同期が要求される。そこで、低コスト・高精度の ONU 波長同期技術として、図 2 に示すリモート ONU 波長同期技術を提案した。提案手法は、親局装置 OLT (Optical Line Terminal) からの CFO 情報フィードバックをもとにした ONU 側 CFO 前置補償と、OLT 側での MUI 除去からなる。ONU 側 CFO 前置補償では、光変調器の広帯域性を生かし、信号スペクトラム自体をデジタル周波数シフトする。これにより、温度制御などによる光源波長安定化制御を不要とした。一方で、CFO 情報のフィードバック遅延に起因する残留 MUI は、OLT での MUI 除去処理によって低減される。フィードバック遅延に律速される ONU 側 CFO 前置補償と、除去量に制限のある OLT 側 MUI 除去処理の協調動作により、距離差 10km の 2ONU 間で、光サブキャリア間隔 79MHz の 30Gbps IFDMA 伝送に成功した。自走光源を用いた光直交サブキャリア多元接続の実証は世界初である。

極座標系を用いた ONU 変調回路の省電力回路実装

一般に OFDMA 方式におけるマルチサブキャリア生成には FFT (Fast Fourier Transform) 回路が用いられるが、100Gbps 級光アクセスシステムにおいては、高スループットの FFT 回路の消費電力が ONU 消費電力増大の要因となる。一方、IFDMA 方式は、楕形のサブキャリア配置の採用により、信号フレームの繰り返し処理と ONU 毎の位相回転処理 (図 3 a) により FFT 回路なしにマルチサブキャリア生成が可能である。提案システムでは、この IFDMA 方式を上り回線 (ONU→OLT) に採用することで、多数の ONU から FFT 回路を取り除き、OFDMA 方式と比較して PON システム全体の大幅な省電力化を実現する。本研究開発ではさらに、位相回転処理を極座標表現を用いた信号処理回路で実装することにより、回路負担の大きい乗算回路の大幅な削減を実現した (図 3 b, c)。提案サブキャリア生成回路は、OFDMA 方式と比較し 85%、従来 IFDMA 方式との比較で 55%の省電力化を達成可能である。さらに、40nm FPGA を用いて提案手法による 12Gbps IFDMA 送信回路のリアルタイムシステム実装に成功し、サブキャリア生成回路の消費電力として 0.82W を達成した。

CO₂ 削減効果の試算

100Gbps PON システムを提案アクセスシステムにて実現した場合と、既存の GE-PON 及び 10G-EPON システムで実現した場合の CO₂ 排出量及び削減効果の試算を実施した (図 4)。本開発成果により、2017 年における CO₂ 排出量は、55.3 万 t の実現が可能であると試算される。これは-37.0%以上 (-32.5 万 t) の削減量に相当する。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

研究開発成果については、2018 年頃に開始が予定される次世代光アクセス規格 NG-PON3 への標準化活動を含め、2020 年の実用化を目指し、事業展開を推進する。また、基盤技術である省電力回路設計技術や CFO 補償技術等のデジタル信号処理技術は、光アクセス系のみならず広く光通信システムに適用可能である。また、提案の SC-FDMA/IFDMA 方式による柔軟な帯域割当て技術は、コアメトロネットワークへの応用も期待される。

4. むすび

光サブキャリアを ONU 毎に柔軟に割り当てることで伝送レートを適応的に変化させるエラスティック光アクセスの実験的検証は世界初の成果である。加えて、光サブキャリアによる ONU の多元接続収容を実現する省電力リアルタイムシステムの開発に成功した。これら成果は、次世代の 100Gbps 級グリーン PON システムを実現する上で極めて有用である。

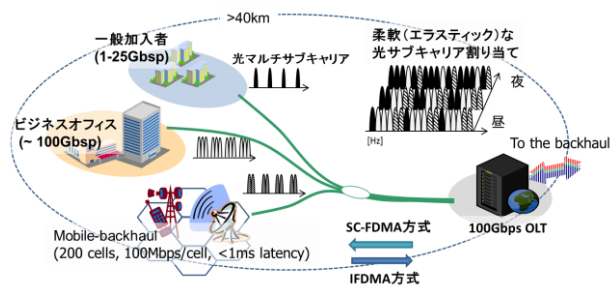


図 1 SC-FDMA/IFDMA-PON の概念図

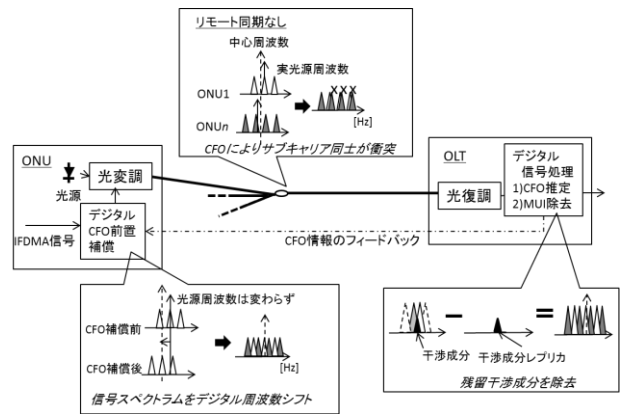


図 2 リモート ONU 波長同期手法の概念図

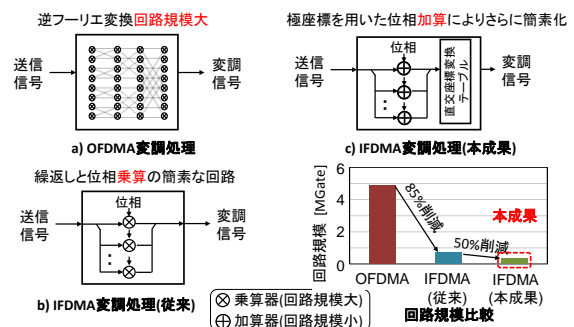


図 3 IFDMA-PON サブキャリア生成手法と回路規模比較

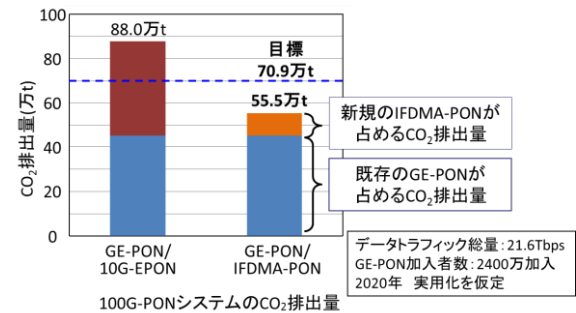


図 4 SC-FDMA/IFDMA-PON による省電力 (CO₂ 削減) 効果

【誌上发表リスト】

- [1] Y. Yoshida, et al., "An Energy-efficient and Elastic Optical Multiple Access System based on Coherent Interleaved Frequency Division Multiple Access," *Optics Express*, Vol.21, No.10, pp.12282-12301, 2013.
- [2] K. Kitayama, et al., "Elastic and green optical access based upon coherent interleaved frequency division multiple access (IFDMA)," *Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference & Exposition (OFC/NFOEC), OM2A.4 (Mar. 2013)*.
- [3] K. Ishii, et al., "Implementation of power-efficient ONU for elastic-bandwidth IFDMA-PON uplink by employing polar-coordinate transformed PSK mapping," to be published in *JOCN 2013*.

【申請特許リスト】

- [1] 鈴木巨生、低消費電力多位相サンプリング回路およびデータ再生回路、日本、2011年3月30日
- [2] 石井健二、低クロストーク光送受信器、日本、2011年5月16日
- [3] 秋山祐治、PON サブキャリアアクセス制御装置および方法、PCT 各国、2011年6月17日