

高QoSマルチメディア光配信システムの研究開発 — COFトランシーバ —

鹿嶋 正幸
沓澤 聡子

松野 和彦
牛窪 孝

総務省の調査によるインターネットの加入数はADSL（最大24Mbit/s）が約1180万加入，CATV（最大30Mbit/s）が約266万加入，FTTH（最大100Mbit/s）が約133万加入となっており¹⁾，ブロードバンドインフラが急速に普及し，インターネットの利用者が急増している。しかし，これらのサービスはベストエフォートであるため，1つの回線を多数のユーザが共有した状況や，常に大容量を使うユーザが存在すると実行速度が低下する。このように現状のネットワークインフラでは十分なサービスを受けることができなくなるため，今後のアクセスネットワークには帯域管理が必要になる。また，これからADSL並に普及が予測されているFTTHでは光ファイバの敷設量・センタ装置の設置スペース・消費電力等の問題が発生するため，パッシブな光部品で分配することによりセンタ装置および光ファイバを共有するPON（Passive Optical Network）システムが有望視されている。しかし，PONシステムは接続されている全てのユーザ向け情報を全てのユーザに分配し，ユーザが自宛の情報を選択するため，セキュリティ性が欠けるという問題がある。これは単にユーザ情報の保護というだけではなく，課金サービス（映像配信など）を侵害することもあり，新サービスの進展が望めなくなる恐れがある。

したがって，次世代のアクセスシステムは，帯域管理とセキュリティを考えなければならない。

光符号分割多重技術（OCDM）

このような問題を解決するために，我々は光符号分割多重技術（OCDM: Optical Code Division Multiplexing）の開発を行っている。CDMA（Code Division Multiple Access）とは，無線通信で利用されている技術であり，コードパターンによりチャンネルを識別する技術である。ここで，符号多重の原理を説明する。データを $D(t)$ ，コードを $C(t)$ とすると，拡散信号は $D(t) \times C(t)$ となり，多重された信号は $D1(t)C1(t)+D2(t)C2(t)+\dots$ となる。チャンネル1を取り出すには，この多重信号に $C1(t)$ を掛け

合わせればよく，受信の復調（相関）は，

$D1(t)C1(t)C1(t)+(D2(t)C2(t)+D3(t)C3(t)+\dots)C1(t)$ となり， $C1(t)C1(t)=1$ であることから，上式は， $D1(t)+(D2(t)C2(t)+D3(t)C3(t)+\dots)C1(t)$ となる。

上式の左項が復元データである。右項は $C1(t)$ で拡散されたこととなるため，ノイズとなる。このように帯域で拡散することにより多重を行うため，帯域を有効に利用できる。すなわち，大容量な多重やランダムアクセスが容易に行える。また，コードが合致しないとデータを取り出せないのも，秘話性も優れている。

以上のようなOCDM技術において，我々は2通りの方式を開発している。一つは，次期アクセス市場をターゲットに，低コストで実現できる電気符号処理による光伝送方式（COF: CDMA on Fiber）である²⁾。これは無線通信のCDMAとは異なり，ベース信号の状態で符号処理を行うため，チャンネル当り100Mbit/sが実現できるものである。すなわち，無線通信の約20倍，現アクセスシステムの10倍の通信速度である。この技術を用いて，次世代の光アクセスシステムとして，マルチメディア対応，且つ，セキュリティ性の高いネットワークインフラの商品開発を行っている。しかし，電気処理には限界があるため，チャンネル当りギガbit/s以上の通信速度を実現するのは困難である。そこで，もう一つはアクセスだけではなく，バックボーンもターゲットとし，大容量（ギガbit/s以上）を狙った純粋な光による符号処理方式である³⁾。この方式はパッシブな光デバイス（FBG: Fiber Bragg Grating）を用いて符号処理を行い，光の帯域を有効に利用するものである。また，この方式は次世代の光ルータにおけるキー技術である光ラベル処理としても検討されている⁴⁾。

そこで，本稿では，次期アクセス市場投入を目指しているCOFトランシーバを紹介する。また，本製品のプロトタイプにより性能評価を行ったので，併せて報告する。

マルチメディア光配信システム

まず，COFトランシーバの用途となるマルチメディア

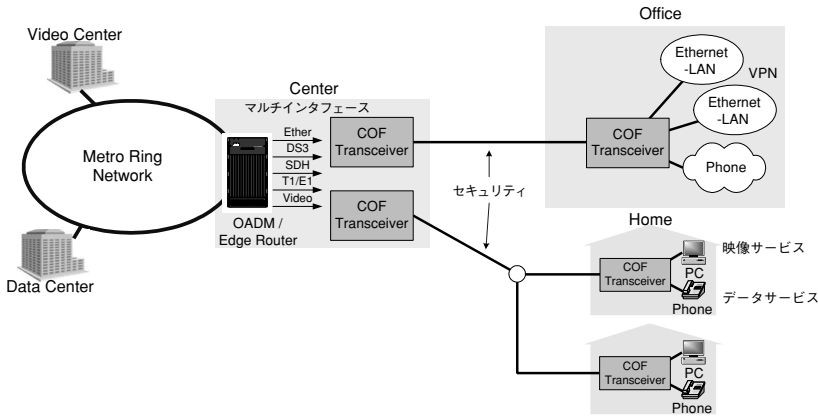


図1 マルチメディア光配信システムの概要

光配信システムを説明する。図1にマルチメディア光配信システムの概略図を示す。COFとは、CDMA on Fiberの略であり、光ファイバ上でCDMAの通信を行うという意味である。マルチメディア光配信システムは、COFトランシーバを使用して、バックボーン（Metro Ring Network）とユーザ端末を接続することにより、メトロネットワークからドロップされるさまざまな信号（Ethernet, SDH, T1/E1等）を多重して、ユーザに提供する。CDMA技術は、ビット単位で符号処理を行うため、符号チャンネルに異なるインタフェースのデータを載せて転送することができる。すなわち、COFトランシーバは、バックボーンからドロップした各信号を一つのインタフェースに統合することなくユーザへ配信することができる。また、これまでのアクセスネットワークと異なり、センタとユーザ間は、帯域保証が行えるため、高品質な通信を提供できる。さらに、符号キーを知らないユーザは伝送信号をタップしても、ソフト処理では読解できず、情報を見ることはできないので、秘話性も高い。したがって、このシステム上で提供できるサービスは、たとえば、オフィスビルにおけるPBX（交換機）サービスや各企業にLANを提供するVPNサービスなどである。また、COFトランシーバは1本の光ファイバで接続することができるので、運用コストを低減できるというメリットもある。また、ユーザ宅では、映像サービス、データ転送サービスや電話サービス等を符号チャンネルに載せることで安定した品質を実現できる。

COFトランシーバ

次に、このCOFトランシーバを紹介する。図2にCOFトランシーバの構成を示す。COFトランシーバは、さまざまなユーザインタフェースを終端するユーザインタフェース部、符号化を行うデジタルエンコーダ部、各チャ

ネルの符号信号を多重するMUX部、電気/光変換のE/O、光/電気変換のO/Eを行う光変換部、多重信号からデータの復号を行うデコーダ部で構成する。符号化の方法は、データ1ビットに対して、符号パターンをEXNORで演算する。データが“1”のときは、符号をそのまま出力し、データが“0”のときは、符号の反転パターンを出力する。符号多重の分離は相関された強度を識別することでデータを復元する。このため、MUXは拡散された各信号の強度を保持する必要があり、アナログ加算を行う。すなわち、出力は多

値信号となる。復号は符号相関を行うのだが、方法は、デジタルマッチドフィルタ（DMF）とアナログマッチドフィルタ（AMF）がある。マッチドフィルタを図3に示す。マッチドフィルタはデータに位相差（時間差）を与えるシフトレジスタ、符号演算および加算器（積分器）で構成する。符号パターンが一致すると、ピークパルスが出力される（自己相関という）。パターンが一致しなければ、小さいパルスが出力される（相互相関という）。この自己相関を検知（+/-の判定）することで、データが復号される。DMFとAMFは、これらの処理をデジタルで行うかアナログで行うかの違いである。また、DMFを用いた受信器は、A/Dコンバータにより、強度のデジタル情報に変換した後にDMFで相関演算を行う。このため、数十メガbit/s以上の通信速度を実現するにはギガbit/s以上のA/Dコンバータが必要となり、DMFを用いた高速受

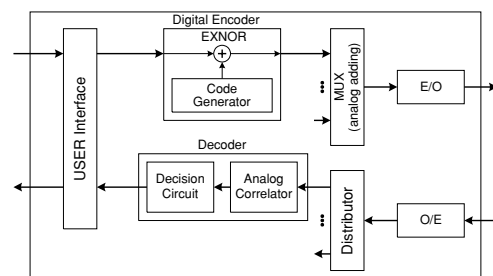


図2 COFトランシーバの構成

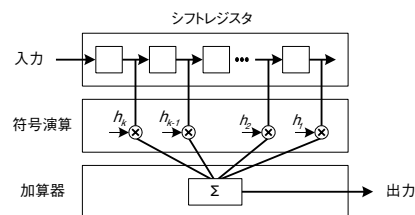


図3 マッチドフィルタ

信器の実現は難しい。ところが、アナログマッチドフィルタは受信信号を直接相関できる。この相関後のアナログ信号（自己ス相関パルス信号）をコンパレータによりデジタル信号に変換するので、高速受信器が期待できる。たとえば、アナログマッチドフィルタはCCDを用いて電荷転送を行うことにより、シフトレジスタが形成でき、高速なマッチドフィルタを実現できる。CCDマッチドフィルタの処理速度は数ギガbit/sが報告されている⁵⁾。すなわち、このような高速なAMFを用いて受信器を構成したところが、COFトランシーバの大容量化を実現する特徴である。

また、使用する符号は直交符号である。直交符号は、同期を行うことにより、自己相関位置で相互相関値が“0”となり、他チャンネルの相互相関の影響を受けないため、多重数が多く取れる。たとえば、16チップ（符号長）の直交符号は16通りあり、16多重（チャンネル）が実現できる。符号処理の速度は、（データレート）×（符号長）となる。この符号処理の速度は、AMFのデバイス性能で制約されるために、一定となる。したがって、データレートとチャンネル数はトレードオフの関係となる。図4に符号処理速度が1.6Gbit/sにおけるデータレートとチャンネル数の関係を示す。

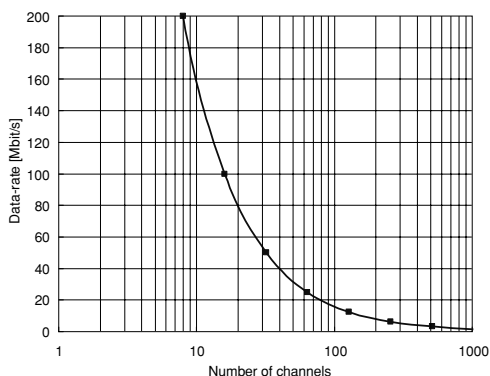


図4 データレートとチャンネル数の関係

以上のことから、COFトランシーバは、データレートが100Mbit/s、チャンネル数が16の仕様を実現できる。

COFトランシーバのプロトタイプ

我々は、COFトランシーバの商品開発における技術確認を行うために、プロトタイプを作製した。プロトタイプは早期技術確認を行うために30Mbit/s×4チャンネルで実現した。これはハイビジョン映像をMPEG-2で圧縮した信号を伝送できる速度である。写真1にプロトタイプの概観、表1に仕様を示す。符号長は16チップ、データレートは31.25Mbit/sである。図2で示した各ブロックを評価す



写真1 プロトタイプの概観

表1 プロトタイプの仕様

項目	性能
データレート (チャンネル当り)	31.25Mbit/s
チャンネル数	4
符号	直交符号
伝送距離	30km以上
光波長	CWDMグリッド
ユーザインタフェース	100Base-T
電源	AC100~200V
サイズ	430×340×135mm

るために、それぞれ単体で作製するというので装置は大きくなっている。製品では、各ブロックをLSIに集積し、装置サイズおよびコストを縮小する。

デモンストレーション

次に、COFトランシーバのプロトタイプを用いて、方式の評価を行った。評価は波形の観測およびビットエラーレートを測定した。構成はCOFトランシーバの4chタイプを用い、測定チャンネルにはパルスパターン発生器とビット誤り率測定器を接続し、他のチャンネルにはLANテスト（IPパケットを発生する）を接続し、30kmのシングルモードファイバ（SMF）上を伝送させた。送信パワーは、チャンネルあたりの電力を一定とし、多重なし、2多重、4多重を評価した。まず、図5に4多重の送信波形を示す。通常の光NRZ伝送信号とは異なり多値信号のため、図のように、4つのアイパターンが重なった波形となる。この信号を伝送し、受信側で相関した波形を図6に示す。

図7はシミュレーションによる相関波形である。自己相

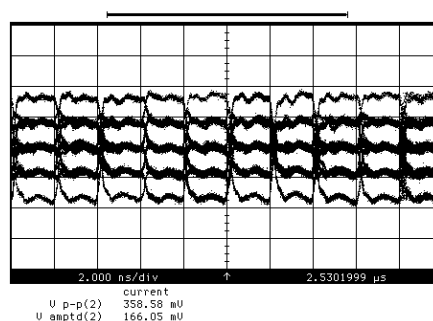


図5 送信波形（4多重の場合）

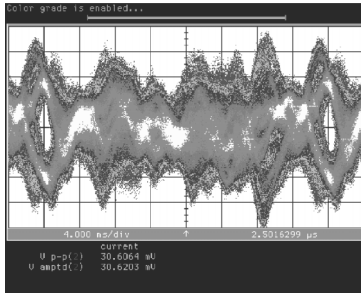


図6 相関波形

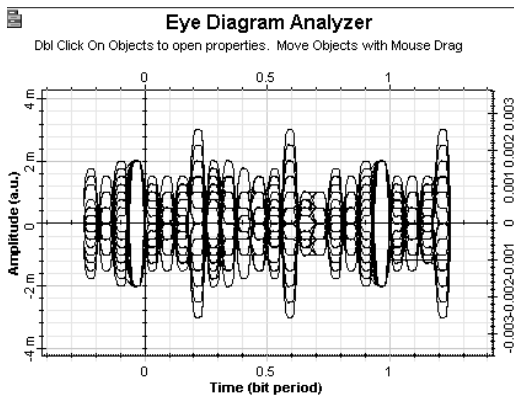


図7 相関波形 (理論値)

関位置では、相互相関の影響は受けないため、この部分のみでデータの判定を行う。しかし、実際の波形を観測すると、自己相関のアイ開口は、相互相関の影響を受けて、小さくなっている。すなわち、SN比が劣化している。これは自己相関位置前後の相互相関の影響およびAMFデバイスの特性により、相互相関値が“0”にならないために発生するノイズである。次に、ビットエラーレートの測定結果を示す。図8には伝送しない場合における多重なし、2多重、4多重のビットエラーレートを、図9には30km伝送した場合における多重なし、2多重、4多重のビットエラーレートを示す。図8において、多重によるペ

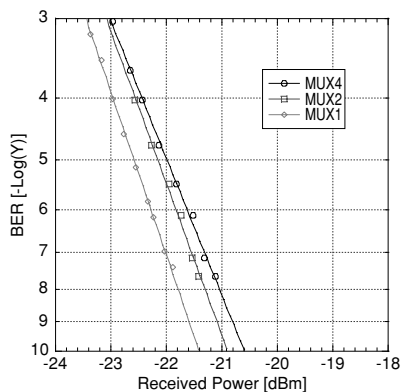


図8 ビットエラーレートの測定結果 (伝送なし)

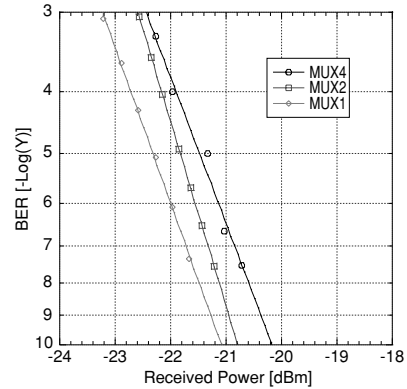


図9 ビットエラーレートの測定結果 (30km伝送)

ナルティは約1dBとなった。この結果は4多重であり、16多重を想定すると、さらに12倍のノイズ (相互相関) が加わるため、ペナルティが増える。したがって、16多重度を実現するためには、AMFの性能改善が必要である。次に、図8と図9を比較した結果、30kmの光伝送におけるペナルティは、約0.4dBとなった。したがって、光伝送に関しては、ほぼ劣化はないといえる。

以上、プロトタイプでは30km伝送ができることを確認した。今後は、多チャネル化を目指し、AMFの性能向上を図る。



参考文献

- 1) 「インターネット接続サービスの利用者数等の推移」総務省報道資料 16年6月30日
http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040630_4.html
- 2) M. Kashima, *et al.*: “Bidirectional Guaranteed OCDM-PON System”, IEICE Trans. Commu., Vol.E86-B, No.8, Aug. 2003
- 3) S. Kutsuzawa, *et al.*: “Demonstration of data rate enhancement up to 10 Gbit/s on Fiber-Bragg-Grating-Based time-spread / wavelength-hopping optical code division multiplexing”, OECC2002, 11A1-5, Jul. 2002
- 4) N. Wada, *et al.*: “40Gbit/s, multi-hop optical packet routing using optical code label processing based packet switch prototype”, OFC2004, FO7, Feb. 2004
- 5) A. La Rue, *et al.*: “Performance of Modulation-Doped Charge-Coupled Devices (MD-CCD1s) in the Microwave and Millimeter-Wave Bands”, IEEE Trans. Electron Devices, vol.ED-41, pp.10-18, Jan. 1994

筆者紹介

鹿嶋正幸: Masayuki Kashima. 研究開発本部 先端デバイスラボラトリ
松野和彦: Kazuhiko Matsuno. 研究開発本部 先端デバイスラボラトリ
杏澤聡子: Satoko Kutsuzawa. 研究開発本部 先端デバイスラボラトリ
牛窪孝: Takashi Ushikubo. 研究開発本部 先端デバイスラボラトリ チームリーダー