ブロードバンドアクセスと FM 一括変換光映像配信システム

吉　永　尚　生

A Video Distribution System Employing FM Conversion Technique in Broadband Optical Access Networks

Hisao YOSHINAGA

Currently, voice, data, and video distribution services are being provided on the broadband optical access network. A system configulation of the optical access network depoloyed in Japan and the requirements for the video distribution system are reviewed. Then, the FM conversion video distribution system, which has been developed to meet the requirements, is described.

Key words: optical access network, FTTH, video distribution system, FM, optical heterodyne detection

光通信技術の進展により，FTTH（fiber-to-the-home）という形で通信センターとユーザー宅を結ぶアクセス系の光化が進んでいる．アクセス系の光化によって，伝送レートの高速化や波長多重技術によるサービス多重が可能となった．伝送レートの高速化によって通信回線を利用した IP パケット伝送による映像サービスが，また波長多重技術によって周波数多重された RF（radio frequency）キャリヤー変調信号を E/O 変換後に通信用光信号に波長多重する映像配信サービスが実用化され，音声，データサービスとあわせて提供されている．後者は RF 方式ともよばれ，TV 受信機等に内蔵されている既存のチューナーと親和性のあるインターフェースをメリットとして導入が進んでいる．この RF 方式については，ITU-T 勧告において FM 一括変換方式[1]，SCM（subcarrier multiplexing）方式[2] の 2 方式が標準化されている．FM 一括変換方式は SCM 方式における最小受光感度等の改善を目的として開発された方式であり，コア技術に光ヘテロダイン検波が用いられていることから，実用化されたコヒーレントシステムとしても興味深い．

本報告では，FTTH による映像配信サービスに導入されている FM 一括変換方式を開発するに至った経緯，およびその要素技術について，最近の伝送帯域拡大対応開発とあわせて紹介する．

1.　光アクセスシステムの構成

波長多重技術により RF 方式の映像配信サービスを提供する光アクセスシステムの構成を図 1 に示す．アクセス系のネットワークは，通信センターからユーザー宅までの間にパッシブな光部品である光スプリッターを設置し，通信センターから光スプリッターまでの 1 本の光ファイバーを複数のユーザーで共有する，PON（passive-optical-network）[3,4] とよばれる構成を採用している．PON 構成により，アクセス系の経済的な構築が可能となった．

音声およびデータ通信システムは，通信系 OLT（optical line terminal：局内設置装置），通信系 ONU（optical network unit：ユーザー宅設置装置）から構成される．現在のサービスでは通信系 OLT が 1 Gb/s Ethernet 技術に基づいた転送速度を処理し，これを光スプリッターの分岐数でもある 32 ユーザーで共有するシステムがおもに導入されている．

映像配信システムとしては光送信機（TX），映像系 OLT，映像系 ONU から構成される．映像系 OLT は中継伝送用および配信用のエルビウムドープファイバー光増幅器（EDFA）から構成される．ヘッドエンドにて生成された多チャネル映像信号は，TX において EDFA に対応する 1.55 μm 帯の光信号として送出され，中継用 EDFA で通信センター間を結ぶ中継ネットワークを経由して，ユー

日本電信電話(株)アクセスサービスシステム研究所（〒261-0023 千葉市美浜区中瀬 1-6）　E-mail: yoshinaga.hisao@ansl.ntt.co.jp

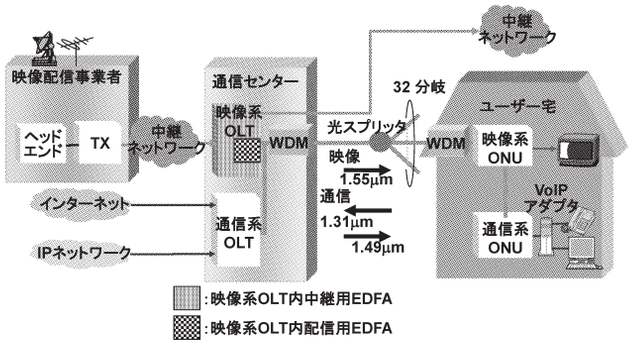

図1　光アクセス系のシステム構成図．

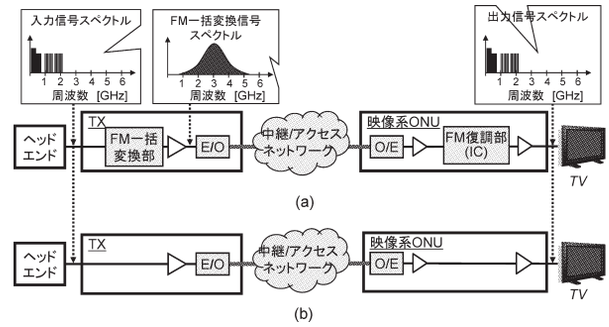

図2　映像配信システム構成図．(a) FM 一括変換方式，(b) SCM 方式．

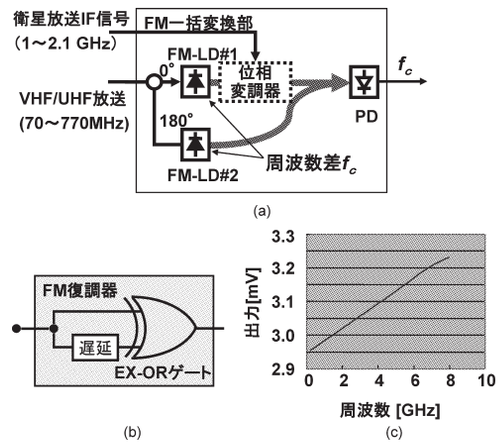

図3　FM 一括変換部および復調部．(a) FM 一括変換部構成図，(b) FM 復調部構成図，(c) FM 復調 IC 特性．

ザーが収容される通信センターまで伝送される．ここで配信用 EDFA によって増幅された後，通信用光信号と波長多重されてユーザー宅まで配信される．

2.　光映像配信システムへの要求条件

FTTH による映像配信システムとしては，1997 年に半導体レーザー (LD) の直接変調を行う SCM 方式が商用サービス向けに初めて導入された．当時の FTTH システムは通信系が電話および ISDN サービスであった点で現在とは若干状況が異なるが，地上アナログ放送等で用いられており高品質が要求される AM 映像信号を含む映像系サービスと通信系サービスとを経済的にシステムインテグレーションするために，以下の項目についてさらなる改善が求められた．① 映像配信システムにて使用する 1.55 μm 波長とアクセス網を構成する 1.3 μm ゼロ分散ファイバーの組み合わせによる高分散領域伝送の影響が小さいこと，② 光コネクター接続点を設けることによる保守運用面の改善を図るために光コネクター等で生じる反射に強いこと，③ 通信センターからユーザー宅間の伝送距離に対応して ONU 受光パワーのダイナミックレンジが広いこと，④ 映像システムと通信システム間の漏れ込み光や非線形光学効果によって発生するクロストークを抑えられること，⑤ 映像システムと通信システムに同等の線路損失設計が適用できること，⑥ 映像システムのヘッドエンドが広範囲のエリアをカバーするために EDFA を多段中継伝送できること．これらの要求を満たす方式として，FM 一括変換方式が提案され，開発が進められた[5–8]．

3.　FM 一括変換方式

FM 一括変換方式の構成を SCM 方式と対比する形で図 2 に示す．SCM 方式では TX において入力信号をそのまま光強度信号に E/O 変換して伝送し，映像系 ONU で O/E 変換して出力する．これに対し，FM 一括変換システムでは，TX への入力信号を FM 一括変換部において 1 つの FM 信号に変換後，この FM 信号を光強度信号に E/O 変換する．光伝送区間は劣化に強い FM 信号として伝送し，映像系 ONU の FM 復調部にて入力信号と同じ信号形式に復調後出力する．入力信号を一括して FM 変換する方法はすでに提案されていた[9] が，映像配信システムのように 70～770 MHz またはそれ以上の帯域をもつ入力信号を一括して 1 つの FM 信号に変換できる FM 変調器の実現が困難であった．この FM 変調器を実現可能にしたのが光ヘテロダイン検波技術である．

図 3 (a) に FM 一括変換部の構成を示す．図中の FM-LD は注入電流の変化によってその光周波数が効率よく変化するように設計された半導体レーザーである．FM 一括変換部は 2 つの FM-LD の出力をヘテロダイン検波する構成を基本としており，必要に応じて位相変調器が追加される．まず FM-LD による FM 一括変換信号生成について述べる．TX に入力された電気信号は FM 一括信号生成部において位相が 180° 異なる 2 つの信号に分配され，FM-LD に印加される．2 つの FM-LD の光中心周波数は，その差が，生成したい FM 信号の搬送波周波数 fc になるように制御されている．FM-LD は，注入電流を変化させることにより光出力強度とあわせて光周波数も変化するこ

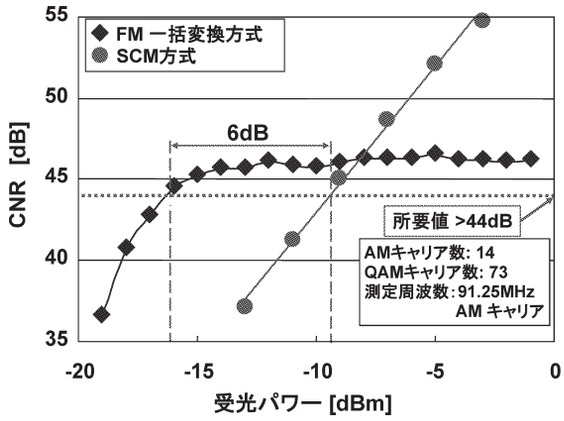

図4　受光パワーに対するCNR特性．

とから，この2つのFM-LDからの光信号をヘテロダイン検波することにより，中心周波数がfcのFM一括変換信号が生成される．また，FM-LDに印加される信号は互いに逆位相をもたせたことから，生成されたFM一括変換信号には入力信号による強度変調成分がキャンセルされる．ここでFM-LDの位相雑音は，入力信号の低域側キャリヤーのCNR（carrier-to-noise ratio）劣化につながることから，本方式では半値全幅が80 kHz以下のFM-LDが用いられている[10]．

当初は入力信号として770 MHzまでのVHF，UHF帯テレビジョン信号を想定していたが，昨今の衛星放送の普及を背景として衛星放送再送信の要望が高まり，衛星放送の中間周波数帯（IF帯）である1 GHz～2.1 GHzまで拡張したシステムの開発を行った．FM一括変換部としては衛星放送対応時も従来と同様，FM-LDに衛星IF帯信号もあわせて印加する案も考えられるが，FM-LDの帯域特性，所要電力，追加開発規模の観点から，衛星IF帯信号を伝送する場合は図3 (a) に破線で示す位相変調器を追加してこれに衛星IF帯信号を印加している．

一方，映像系ONUのFM復調部は，図3 (b) に示すようにEX-ORゲートを用いた遅延線検波方式によりFM信号波形の立ち上がり，立ち下がりを検出してFM復調を行っている．このFM復調部はSiGeプロセスによるICとして量産化されており，その復調特性を図3 (c) に示す．6 GHz以上の広帯域にわたって，入力信号周波数に比例した出力電圧が得られている．

FM一括変換方式による改善効果について，受光パワー特性を図4に示す．FTTHで求められるCNR特性値を44 dB[11]とすると，最小受光感度は6 dB改善されており，受光パワーのダイナミックレンジの拡大とともに，通信系と同等の許容光線路損失値を実現している．既存のSCM方式との比較において，反射耐力で15 dB以上[5]，非線形クロストークを引き起こすファイバー入力パワーで15 dB[7]改善され，また高分散領域において分散補償なしで20 km伝送時に劣化しないことも確認されている[5]．

光アクセス系のシステム構成と映像配信サービスの要素技術であるFM一括変換方式について述べた．本システムを開発する要因となったアナログ放送が2011年に放送停止となる一方で，アナログに近い品質が要求される256 QAM（quadrature amplitude modulation）以上のディジタル多値変調方式の導入がCATV等で進んでいる．また，IP方式（IPパケットを伝送する映像配信方式）による映像配信サービスが普及しつつあるが，当面はRF方式とIP方式がそれぞれの利点を生かして並存していくものと考えられることから，FM一括変換技術も引き続き映像配信サービスを支えていくであろう．

文　　献

1) ITU-T: “Transmission equipment for transferring multi-channel television signals over optical access networks by FM conversion,” ITU-T Rec. J. 185 (2002).
2) ITU-T: “Transmission equipment for transferring multi-channel television signals over optical access networks by sub-carrier multiplexing (SCM),” ITU-T Rec. J. 186 (2002).
3) J. R. Stern, J. W. Balance, D. W. Faulkner, S. Humung and D. B. Payne: “Passive optical local networks for telephony applications and beyond,” Electron. Lett., **23** (1987) 1255-1256.
4) N. Tokura, K. Oguchi and T. Kanada: “A broadband subscriber network using optical star coupler,” *IEEE Globecom‘87*, 37.1 (1987) pp. 1439-1443.
5) K. Kikushima, H. Yoshinaga, H. Nakamoto, C. Kishimoto, M. Kawabe, K. Suto, K. Kumozaki and N. Shibata: “A super wideband optical FM modulation scheme for video transmission systems,” IEEE J. Sel. Areas Commun., **14** (1996) 1066-1075.
6) 布施　優，石井義一，工藤義春，野嶋一宏，川島勢一郎，森倉　晋：“広帯域FM変調技術を用いた光映像伝送システムのCNR特性”，電子情報通信学会論文誌（B），**J81-B-1** (1988) 557-565.
7) 柴田　宣，菊島浩二，桜井尚也，渡辺隆市：“FM一括変換方式を用いた光映像分配システム”，電子情報通信学会論文誌（B），**J83-B** (2000) 948-959.
8) 佐伯直人，石黒　誠，米田純一，萩原幸雄，渋谷　真，江村克己：“FM一括変換型光映像伝送方式における光ヘテロダイン形FM変換器の強度変調成分抑圧法”，電子情報通信学会総合大会予稿集 B-10-166 (1998) p. 630.
9) K. Kaede, S. Suzuki, T. Ohsawa and Y. Furuya: “A passive double star optical subscriber system with frequency division duplex transmission and flexible access,” IEICE trans. Commun., **E74-B** (1992) 841-849.
10) 狩野文良，横溝克也，平野雄一，浅岡淳一，大橋弘美：“光ヘテロダインAM/FM一括変換用DFBレーザ”，電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会，C-3-128 (1997) p. 237.
11) 日本CATV技術協会：“FTTH型ケーブルテレビシステム，” JCTEA STD-018-1.0 (2007) p. 27.

(2008年12月12日受理)