

インターネット アクセス通信技術の現状

前編：有線技術



鈴木 豊 富士通 (株)
yutaka.suzuki@jp.fujitsu.com

はじめに

インターネットへのアクセス手段として、従来の電話やISDN回線速度を大幅に超える高速なアクセスネットワークが急速に普及しつつある。特に、2001年後半からブロードバンドインターネットサービスへの加入ユーザが着実に増加しており、2002年以降も間違いなく伸長する見通しである。この高速アクセスネットワークは、利用者に経済的かつレスポンスの早い快適なインターネット利用環境をもたらすが、一方で新しい課題も生じてきた。本稿では、主なインターネットアクセス通信技術について概要を紹介し、さらに各技術にかかわる課題や今後の展望について考察する。前編の今回は、有線系の技術に焦点をあて、ADSL、VDSL、CATV、光ファイバ（FTTx）、電力線を取り上げる。後編では無線系の技術（無線LAN、Bluetooth、IMT2000、ITS）を取り上げる。

ADSL

ADSL（Asymmetric Digital Subscriber Line）は、通常の電話サービスで用いられる一対のメタル回線上に音声信号の周波数帯域とは重ならない4kHz以上の周波数帯域を使用してデータ伝送を行う技術であり、既存電話設備の一部をそのまま利用してインターネットへ高速アクセスできる手段として普及が進みつつある。

ADSLの標準にはフルレートADSLとスプリッタレスADSL（ユニバーサルADSL）の2種類がある。ITU-Tに

おける勧告では、前者はG.dmt（G.992.1）、後者はG.lite（G.992.2）と呼ばれる。変調方式はどちらの標準でもDMT（Discrete Multitone）を用いる。DMTは、搬送波周波数の異なる音声モデムをいくつも束ねて使うような方式であり、デジタル信号はQAM（Quadrature Amplitude Modulation）という変調方式でアナログ信号に変換される。

フルレートADSLでは、スプリッタで音声とADSLの信号を分離する。ADSLの信号は、約4kHz幅のキャリアを合計288個（上り32個、下り256個）用い、各キャリアには最大15ビットを割り当てる（図-1参照）。1秒間の変調回数は4,000回である。使用する周波数帯域は26kHz～1.1MHz、伝送距離は3km～5km、最大伝送速度は上り640kbps、下り8Mbpsである。

ユニバーサルADSLでは、スプリッタを不要としており、ハイパスフィルタを用いてADSL信号部分を抽出する。ADSLの信号は、約4kHz幅のキャリアを合計121個（上り26個、下り95個）用い、各キャリアには最大8ビットを割り当てる（図-2参照）。使用する周波数帯域は26kHz～552kHz、伝送距離は3km～5km、最大伝送速度は上り512kbps、下り1.5Mbpsである。現状の日本のサービスでは、ユニバーサルADSLでありながらスプリッタを使用するケースが多い。これは電話通話への影響を最小限にするためであると考えられる。

G.dmtとG.liteには、地域性が認められており、北米仕様がAnnex A、欧州仕様がAnnex B、日本仕様がAnnex Cである。米国のISDNはエコーキャンセラ方式を用いているため、ISDNで使用する周波数帯域は80kHzであるのに対して、日本ではTCM（Time Compression Mode）

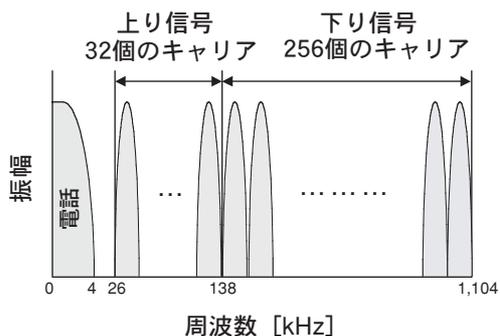


図-1 G.992.1の使用周波数帯域

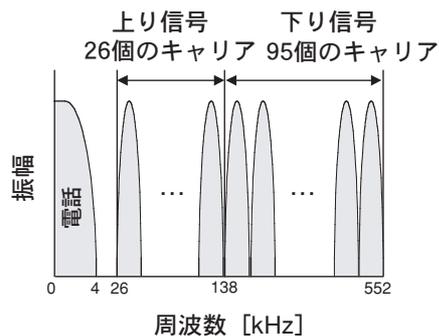


図-2 G.992.2の使用周波数帯域

伝送方式（通称ピンポン伝送方式）によりISDNで使用する周波数帯域は320kHzとなる。このため、ADSLで使用している周波数帯域と一部重なりがあり、ADSL回線に及ぼすノイズが大きい。ADSL回線とISDN回線のケーブル内の位置が近いと、ADSLの伝送速度が低下したり、通信できなくなってしまうという問題が生じてしまう。

そこで、Annex CではTCM伝送の周期に同期させてADSL信号を送送させる2つの方式が標準化されている。1つは、FBM (FEXT Bitmap Mode) モードといい、TCM伝送方式におけるISDNノイズが一方の時間帯では大きく他方では小さいことから、このノイズの小さい時間帯のみにADSL伝送を行うものである。もう1つは、DBM (Dual Bitmap Mode) モードといい、近くのISDN機器が送信している時間帯（近端漏話の場合でノイズが大きい）にはADSL変調ビット数を減らし、近くのISDN機器が受信している時間帯（遠端漏話の場合でノイズが小さい）はADSL変調ビット数を増やす方式である。この2つの変調マップを持ち、時間帯によって切り

換えて使う。

また最近ではAnnex H (SSDSL (Synchronized Symmetric Digital Subscriber Line) とも呼ばれる) 技術も研究が進んでいる。この技術はADSLに分類されながら対象通信（上り下りとも1.5Mbps）が可能であり、上り方向の速度も重要となる法人向けサービスなどで採用が始まりつつある。

VDSL

VDSL (Very high bit rate Digital Subscriber Line) は、ADSLより伝送距離は短いですが、ADSLと同じく一対のメタル回線に音声信号の周波数帯域とは重ならない4kHz以上の周波数帯域を使用してADSLより高速のデータ伝送を行う技術である。

現在想定されるVDSLの最大速度は、非対称速度型の場合で下り52Mbps、上り6.4Mbps、対称速度型の場合で26Mbpsである。VDSLは、ADSLの約12倍に相当する25kHz～12MHzの周波数帯域を使用することで高速

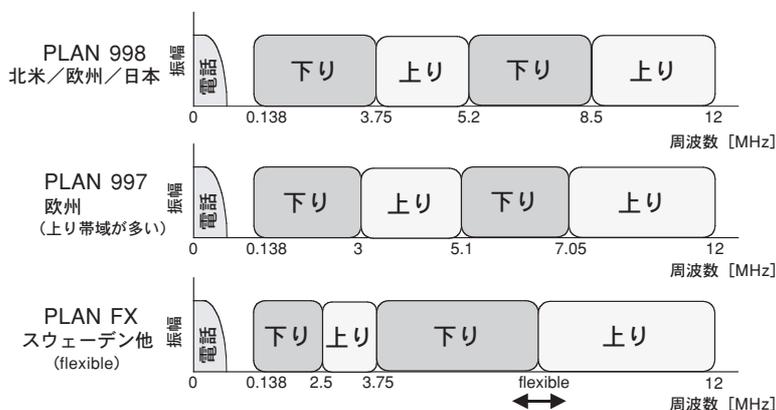


図-3 検討されているVDSLの周波数帯域

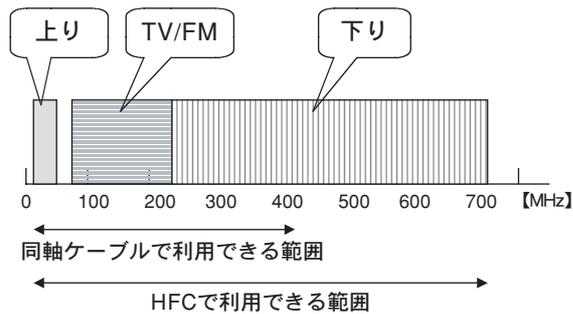


図-4 CATVの使用周波数帯域

伝送を実現するが、高い周波数の信号は減衰量も大きくなるため、伝送距離は300m～1km程度となる。

変調方式はCAP (carrierless amplitude/phase modulation) またはDMT (Double Multitone) である。VDSLの標準化は、ITU-TではG.993.1としてSG15/Q4にて、北米ではANSI T1E1.4にて、欧州ではETSI TM6にて標準化作業中である。周波数バンドの使用については図-3に示す3つのPLANが検討されている。

高い周波数帯域を使用するVDSLの技術的な課題としては耐ノイズが考えられる。VDSLに関するノイズの種類は、バックグラウンドノイズ、漏話、RFノイズ、インパルスノイズ、ISDNやADSL 等他回線との干渉などがある。日本の状況にあったVDSL仕様の作成をITU-Tに促し、日本でのVDSL普及を図るため、NTTおよびベンダ数社がITU-TにVDSLに関する2つの意見書を出している。1つは、“VDSL Band Plan for use in Japan”で、ITU-Tが定める周波数仕様計画のうちPlan 998を日本で利用することを宣言した。もう1つは、1,104KHz以下の周波数帯域において信号出力を低下させるオプションをVDSL規格に取り入れる提案であり、これによりSSDSLやADSLに対する干渉を減らすことができるためである。

CATV

TVの難視聴解消のために立てられた共同視聴のアンテナを使用した放送中継が始まりといわれるCATV (Cable Television) は、業者の自主放送を含む多チャンネルサービス、さらにその双方向性と広帯域性を活かしたインターネット接続サービスや電話サービスを提供するインフラへと進展を遂げている。

インターネット接続をする際に必要となるケーブルモデムの準拠する仕様としては、米国のCATV業界団体MCNS (Multimedia Cable Network System partners Ltd.)

の策定したDOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) が主流である。1996年頃にはIEEE802.14委員会やDAVIC (Digital Audio Visual Council) でも標準化が行われている混沌とした状況にあり、相互接続性が保証されず、構成デバイスのコストダウンも進まない状況にあった。各ベンダは標準化の完了を待たずに独自仕様で製品を出荷していたが、1998年から1999年にかけて、下り (CATV局_加入者) が30Mbps、上り (加入者_CATV局) が回線品質に応じて288kbpsから4.6Mbpsの範囲で速度が可変できる非対称型MCNS仕様 (DOCSIS1.0) に準拠した製品が出始め、相互接続性が確保されるようになった。2000年には品質制御機能を備えたDOCSISの最新バージョン1.1に対応した製品が登場し、IP電話等のリアルタイムアプリへの対応を売りにした製品も出てきた。

DOCSIS1.1のサポートするQoS (Quality of Service) は、各モデムの通信速度をある一定値に抑える機能を指す。この機能により、ある特定ユーザが帯域を独占することを防ぐことができる。

CATV信号の伝送に使用するケーブルには、同軸ケーブルと光ファイバがある。ケーブル自体の伝送能力は、同軸ケーブルが約450MHz、光ファイバを用いるHFC (Hybrid Fiber/Coax) で約750MHzである (図-4参照)。既存のCATV網すべてがインターネット接続サービスの提供が可能なのではなく、伝送路が双方向対応になっている必要がある。現在主流である、上りと下りの通信速度が異なる非対称型の双方向通信を行う場合、10～50MHzは上り方向の通信に割り当てられる。76～222MHzの帯域はVHF (テレビとFM) がそのまま載せられ、そこから上の帯域に、複数のチャンネルが多重されて載せられる。1つのチャンネルは6MHzを使用し、同軸ケーブルであれば38チャンネル、HFCであれば88チャンネルまで多重可能である。

CATVでデータ通信を行うために、チャンネルにデジ

タル信号を載せている。下り方向では、直行振幅変調 (QAM : Quadrature Amplitude Modulation) を用いるのが一般的である。この方式は1チャンネル (6MHz) を使用して30Mbpsの伝送速度を持つ。上り方向は、CATVの仕様上、各家庭で発生したノイズや無線電波等のノイズが加算され、さらに中継機で増幅されるため、品質が悪く、下り方向のような細かい変調方式は使用できない。一般的にはPSK (Phase Shift Keying) が用いられる。これは1チャンネル (6MHz) で10Mbps程度の伝送速度を持つ。この変調/復調を行う装置がケーブルモデムと呼ばれるものである。非対称型のDOCSISが規定されるまでは、対象型のケーブルモデムもあったが、速度の出ない上り方向の速度に合わせて10Mbps程度の速度しか出せないため、下り方向の流量が多いインターネット接続において有利な非対称型が業界標準化の対象となった。実際に提供されているサービスでは、通信帯域を複数のユーザでシェアすることになるため、1ユーザあたりの通信速度は、下り64k~1.5Mbps、上り32kbps~512kbps程度になっている。

FTTx

FTTH (Fiber To The Home) は光ファイバを加入者宅まで引き込む形態あるいは技術をいう。一方、アクセス回線の「起線点」までを光ファイバ化し、そこからのラストマイルに既設のメタリック線を使用したものをFTTC (Fiber To The Cabinet/Curb) と呼ぶ。その他、接続形態によっていくつかのバリエーションがあるが、本稿ではこれらを総称して“FTTx”と記述する (一般

にもあまり区別されることなく、単に“FTTH”と称されることが多い)。

(1) メディアコンバータによるシングルスター方式

イーサネットメディアコンバータを用いたシングルスター方式では、ベストエフォートで最大10Mbpsや100Mbpsまで利用できる上、設備導入が比較的簡単にできるため、早期にサービスを提供することができる。イーサネットメディアコンバータは、電気信号と光信号を相互に変換する装置であり、光ファイバを2芯収容するタイプと、1芯収容するタイプがある。2芯タイプは送信用と受信用で物理的に光ファイバを分け、1芯タイプは送信用と受信用の波長を1芯の光ファイバ上にWDM (Wavelength Division Multiplex) 技術で多重する構造になっている。2芯式タイプの光ファイバのインタフェースは100BASE-FX (IEEE802.3ではMMF (Multi-Mode Fiber) のみを規定) で最長2kmとしているが、独自仕様でSMF (Single Mode Fiber) 対応とし20km~60km程度まで延長しているものが製品化されている。1芯タイプの光ファイバはSMF対応のものほとんどで、やはり20km程度の長距離伝送が可能である。

(2) PON方式

PON (Passive Optical Network) とは、光ファイバによるアクセスネットワークの途中の部分 (電柱など) に光を分岐する装置を設置することにより、1本の光ファイバを複数のユーザ宅に引き込む技術である。光の分岐装置が電源を必要としない受動素子を使用するため、「Passive」という名称が付けられている。キャリア

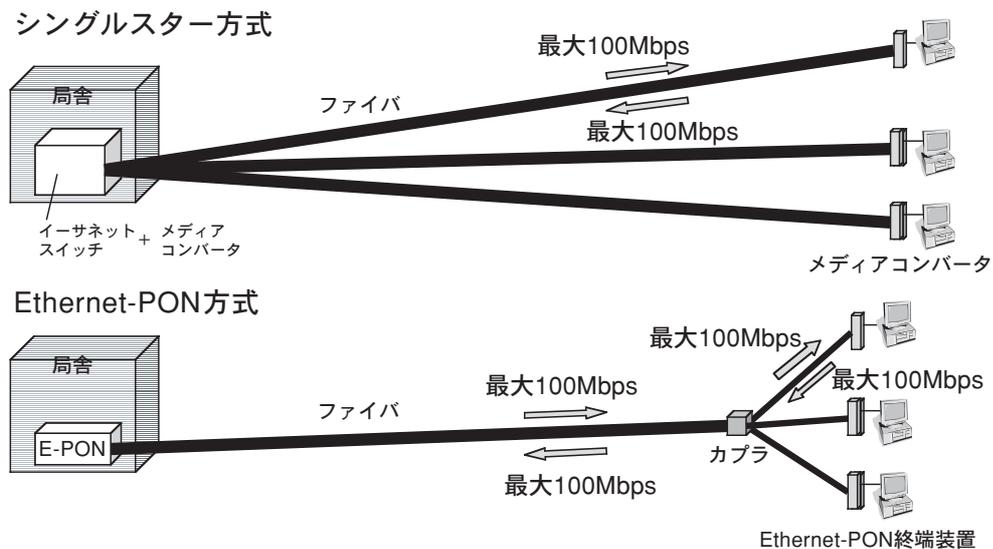


図-5 シングルスター方式とEthernet-PON方式

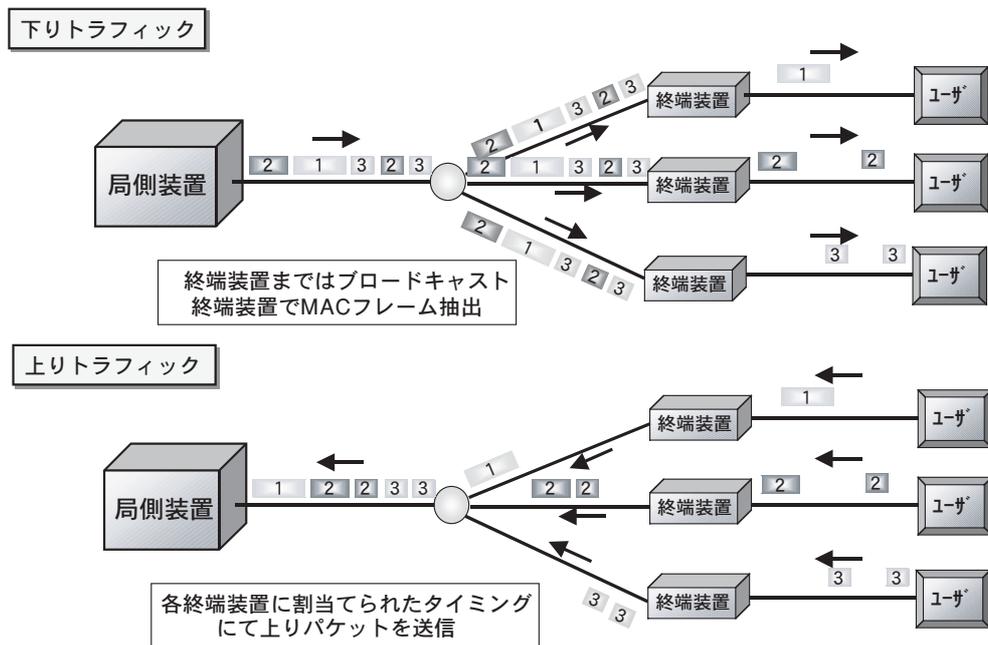


図-6 Ethernet-PON方式の一例

(通信事業者)の建物から各ユーザ宅まで1本ずつ光ファイバを敷設するシングルスター方式では加入者数が増えてくると、光ファイバ設備に係る費用も膨らみ、回線を収容するセンター側の装置も大規模になってしまう。一方、PON方式では密集した多くの加入者を効率的に収容できるという大きなメリットがある。日本では、NTTが中心となって研究・開発を行ってきたSTM-PDS (Synchronous Transfer Mode - Passive Double Star) を用いたFTTxシステムが実用化されており、一部実サービスとして提供されている。

さらに、VPN (Virtual Private Network) やMAN (Metro Area Network) の領域と同じように、アクセス回線においても汎用で安価なイーサネット機器を適用する動きが出てきたため、イーサネットのコストパフォーマンスと、PONの光ファイバ敷設コスト削減メリットを併せ持ったEthernet-PON技術にも注目が集まっている(図-5参照)。仕組みとしては、STM-PDSと同じく上り方向は複数の加入者からの信号が衝突しないように制御し多重するTDMA (Time Division Multiple Access) 技術で衝突を回避し、下り方向についてはブロードキャストで配信し、Ethernet-PONを終端する装置が自身の配下の装置宛の情報のみ取り出して伝送する(図-6参照および図-7参照)。

電力線通信

電力線通信 (PLC : Power Line Communication) は、電力線をデータの伝送路として用いるための技術である。電話線よりも普及率が高く、日本においてはほぼ100%の一般家庭に電力線が引かれているため、これを用いてインターネット接続ができれば、ADSLやCATVよりも有利なインフラとなり得る。さらに、電力線の一端はほとんどの部屋にも具備されているため、家庭内に新しくネットワークインフラを配線する必要がなくなるという利点もある。電力線通信の適用領域は、送電線を利用するバックボーンネットワーク、低圧配電線を利用するアクセスネットワーク、家庭内の電灯線を利用する家庭内LANの3つがある。ここでは、アクセスネットワークに限定して記述する。

データ伝送の仕組みとしては、ADSLと同じであり、主目的(この場合電力搬送)に使用していない周波数帯域を用いて信号を伝送する。日本の場合の電力搬送の使用周波数は、東日本地域で50Hz、西日本地域で60Hzであるので、ここを避けてモデムで信号を変調して送信する。ただし、現状の日本の電波法のもとでは10kHz~450kHzの範囲しか利用できない。高周波帯域



(a) 局側装置



(b) 終端装置

図-7 富士通のEthernet-PON装置

を使用するため、ノイズに弱いという問題点もADSLと同じである。特に家庭内の家電製品からのノイズが大きなネックとなるといわれている。

しかしながら電力線搬送通信設備に使用する周波数帯域の拡大(2MHz~30MHzを追加)が総務省で検討され始めているため、今後の発展が期待される。

今後の動向

アクセス通信の高速化という観点で今後の動向を予想すると、メタル回線では、現状のVDSLを100Mbpsのファストイーサネット相当に近づけられるか、また、到達距離やノイズ耐力をいかに向上させ、環境条件に依存しない安定した品質を供給できるかがキーポイントとなると考える。電力線に関しては、法的整備がこれからであるため、実サービスの提供時期については

今後の検討課題である。光ファイバについては、当面100Mbpsまでの需要が続くと思われるが、1Gbpsへの高速化や、光ファイバ接続工事の簡易化を促進する技術が求められるであろう。さらにアクセスの高速性を十分に活かせるリッチコンテンツの整備・運用と安心してユーザが利用できる仕組み作りが重要なポイントとなると考える。

参考文献

- 1) 日経ニューメディア 2001年1月29日号。
- 2) 日経コミュニケーション 2001年2月19日号。
- 3) INTERNET Watch (<http://www.watch.impress.co.jp/internet/www/article/2001/0416/plc.htm>).

(平成14年1月31日受付)

