



インターネットプロトコルを用いた 放送用非圧縮ハイビジョン映像の 長距離伝送技術

本田 彰

NTTコミュニケーションズ(株)
a.honda@ntt.com

はじめに

近年、放送業界におけるデジタル化が急速に進んでいる。映像・音声をデジタル信号で扱うことにより、高度な信号処理が可能となり、またLSI化しやすくなるため、必然的に映像・音声データは高精細・高品位化され、データ量もアナログに対して多くなる。そのデジタル化の恩恵を受け、地上波、BS、CSデジタル放送が次々と開始され、これまでのアナログ放送のおよそ6倍の高精細画質となるハイビジョンデジタル放送が一般的になろうとしている。しかし、デジタル化された各映像・音声機器が扱えるデータ量が増大するのに対し、そのデータを他の機器へ伝送するための技術、特に長距離伝送技術はまだまだ発展途上である。

既存の映像伝送技術の高度化によるハイビジョン映像のデジタル伝送だけでなく、通信技術の高度化・広帯域化に伴い、インターネットプロトコル(以下、IP)を使用したDVTSやMpeg2-TSなどの圧縮された映像データの伝送技術の開発も現在では盛んに行われ、一般化されつつある。しかし、圧縮される映像は圧縮・伸張処理に起因する遅延が発生するだけでなく、完全な可逆圧縮手法を用いていないために画質の劣化が発生してしまう。そのため、使用用途が素材転送用として映像を蓄積・補正・編集向けか、もしくはイベント会場などへの画質にシビアではない出力先へ映像配信する場合等に限定され、生中継を想定した放送用映像伝送システムとしての活用は難しい。

本稿では、放送用映像伝送システムとして実用に耐え得る技術として、映像インタフェースのネットワーク送出を非圧縮にて可能とする機器と、帯域制御を可能にし

た超高速IPネットワークの組合せによるハイビジョンクラスの映像・音声を伝送する技術と実運用による実証実験について述べる。

放送業界におけるハイビジョン映像の伝送技術

放送業務向けハイビジョン映像のベースバンド伝送用インタフェースとして、BTA S-004BおよびSMPTE 292Mで規定されている、高解像度シリアルデジタルインタフェース(High Definition - Serial Digital Interface : 以下、HD-SDI)がある。HD-SDIは、1.485Gbpsの帯域を使用し、ハイビジョン映像と音声の伝送方式が規定されており、高品質同軸ケーブルによる電気伝送時に最長100mまでの伝送距離が規定されている。シングルモードファイバによる光伝送時には、2kmもしくは40kmまでが規定されており、同一市内程度の近距離ビル間をベースバンドにより伝送することが可能である。

このHD-SDIは、主に放送局内、ならびに中継先の機器間接続用のベースバンド回線として、ほぼ業界標準として広く使用されているインタフェースである。

HD-SDIをベースバンドのまま光伝送距離をさらに伸ばす技術として、CWDM技術を利用した製品が登場しているものの、規定値として20～100km程度しか伝送距離を伸ばすことができない。

また、これまでの放送中継業務において基盤技術として使用されてきたマイクロ波伝送によるハイビジョン非圧縮映像伝送では、伝送されるデータ量が膨大であるため、広帯域無線技術、耐天候障害性、耐障害物迂回性などの技術的な問題が多く、現在では圧縮データを既存の



図-1 i-VistoゲートウェイXGとHD-SDIインタフェース

電波帯に乗せる技術によりハイビジョン映像の伝送を行う傾向にある。

インターネットプロトコルを使用した映像伝送の有効性

一度、映像ストリームをインターネットプロトコルによりカプセル化することができれば、インターネット、社内OAに代表されるEthernetやキャリアの基幹回線であるSONET/SDHといったさまざまな通信プロトコルを使用できることと、通信キャリアの通信サービスを利用することが可能となり、保守面など光ファイバーでは及ばないほどに安定した長距離送信を行うことが可能となる。

さらに、これまで1対1の送信を主眼に行ってきた映像送信を1対Nや、N対Nといった他地点放送をハイクオリティな画像で行うことが可能となり、放送分野での革新だけでなく、ハイビジョン映像の市場浸透性に大いに役立つと予想される。

映像伝送用機器 概要

HD-SDIのIP伝送を行う機器として、日本電信電話(株)にて研究・開発が行われている「IP多重伝送装置(以下、i-VistoゲートウェイXG)」がある(図-1参照)。

i-VistoゲートウェイXGは、HD-SDI規格にて入力される映像・音声ストリームのビット信号をクオリティを損なわないよう非圧縮状態でIPパケットに高速にカプセル化することにより、汎用的な通信ネットワークを使用して、距離依存がない遠距離間の映像送信を実現させることが可能となっている。

本装置は、映像インタフェースとしてHD-SDIおよびSD-SDIを持ち、ネットワークインタフェースとして10Gigabit Ethernet, Gigabit Ethernet, Packet over SONET/SDH(以下、POS)を用途に合わせて組み合わせることが可能である。また、IPアドレス形態として、IPv4、

項目	内容
IP変換機能	映像/IPプロトコル変換(HDTV/SDTV⇄IP変換)
ネットワークI/F	Ether系ネットワーク用: 10 Gigabit Ethernet : Gigabit Ethernet×2 SDH系ネットワーク用: 10 Gigabit POS : 2.4 Gigabit POS
映像I/F	非圧縮映像: HD-SDI(SMPTE 292M) : SD-SDI(SMPTE 259M) 圧縮映像: IEEE1394 : DVB-ASI
対応プロトコル	RTP および UDP/IP

表-1 i-VistoゲートウェイXGのインタフェース仕様

IPv6の両方に対応している(表-1参照)。

また、本装置は、装置筐体として専用ハードウェアを持たず、汎用的なDOS/Vコンピュータを基本筐体としており、映像入出力、ネットワーク通信をPCIカードの差し替えにより行うことができるため、多様な利用形態をとることが可能となっており、通信インタフェースと、映像インタフェースのそれぞれのプロトコルに対応したPCIカードも特注製品ではなく、汎用で買えるものを使用している。

i-VistoゲートウェイXGにおいて、重要技術であり研究課題となっている点は、映像インタフェースから入力された映像ストリームをIPパケットにカプセル化し、IPパケットとして広帯域ネットワークへの送出を行う技術と、受信IPパケットから映像ストリームの判別を行い、映像フレームに再構成した後に映像インタフェースから出力を行う技術を実用アプリケーションにて実現されていることである。

また、これらアプリケーションを動作させるベースとなるオペレーションシステムとして、装置筐体が汎用のDOS/Vであることから、同様に汎用のものを使用することが研究・開発課題となっている。そのため、無償配布されており、かつサーバ稼働等で実績の高いLinuxをベースOSとし、そのOSの機能を利用しつつパフォーマンスを最大に引き出せるアプリケーションがNTT研究所の囲い込み技術として研究開発され、製品化されたものである。

映像伝送時にネットワークに求められる条件

HD-SDIのデータ送出量を示すインタフェース速度は1.485Gbpsであるため、i-VistoゲートウェイXGによりIPパケット化され、ネットワークへ送出されるときは総IPトラフィック量は、IPパケットヘッダ分を含め約1.5Gbpsとなる。



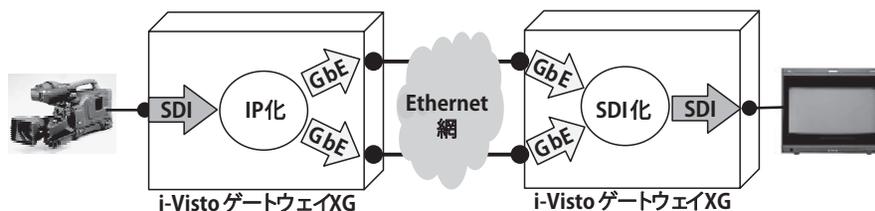


図-2 i-VistoゲートウェイXGのインバースマックス機能

映像インタフェースから入力されるデータは変動することなく1.485Gbpsであり、映像ストリームをIPパケットにカプセリングするためには、MTUサイズを1,500byteとした場合、約127,140回/s程度のカプセリング処理が発生する。そのため、完全に処理を完遂するためには現状では高スペックのDOS/V筐体が必要となる。i-VistoゲートウェイXGでは、映像ストリームをIPパケット化するための演算負荷を軽減するため、カプセリングするパケットサイズを変更できる機能を有しており、通常では6,000～8,000byteのパケットサイズにより伝送を行う。Ethernetをネットワークインタフェースとして使用した場合、EthernetフレームサイズもIPパケットサイズに比例し大きくなるため、EthernetのJumboFrame機能を利用してUDPパケットとしてネットワークインタフェースからネットワークへ送出される。

そのため、ネットワーク側に要求される安定運用のための必要条件は、

- ①1.5Gbps以上の伝送方式であること
- ②1.5Gbpsの帯域を保証できること
- ③6,000～8,000byteのIPパケットを伝送できることになる。

一般的なネットワーク技術において、IPパケットを1.5Gbps以上伝送できる方式は、POSか、Ethernetがある。

また、i-VistoゲートウェイXGには、IPパケットを2つのネットワークインタフェースを利用して送信、受信する『インバースマックス機能』があるため(図-2参照)、Ethernetを利用した1.5Gbps以上のネットワーク伝送手段としては、1000BASE-x×2、もしくは10GBASE-x×1のEthernetインタフェースによる伝送が可能となっている。

しかしながら、映像伝送機器の負荷を軽減させるためにパケットサイズが大きくなれば、1つのパケット内に含まれる映像・音声のストリームデータ量が多くなることになり、ネットワーク側でたった1つのパケットをロスした場合に、映像・音声ストリームに起こる影響範囲が大きくなることになる。1秒間に30フレームの映像ストリームの場合においては、1パケットのロスによる影

響は1フレーム内の数ライン分の有効画素と、数ms分の音声データを失うことになる。特に音声データの消失は、聴覚的に認知できるほどのノイズとなるため、パケットロスのほとんどない中継回線を用いないと、高品質な映像伝送を行うことができない。

また、片方向の映像配信であれば、多少の遅延は許容される場所であるが、双方向通信を行う場合においては、なるべく低遅延でリアルタイム性を損なわないようにしなければならない。放送用途において、双方向通信における遅延許容量は、おおよそ30ms以内(1フレーム分)であり、長距離伝送を行う場合には、中継回線に求められる品質が最も重要となる。

安定した映像品質を保つため長距離における中継回線を選択する場合、帯域保証があり低遅延な専用線サービスを選択することが最も有効な選択ではあるが、1対向のHD-SDI伝送では、既存の専用線サービスでは、

[2.4G SONET/SDH使用時]

$2.4\text{Gbps} - 1.5\text{Gbps} = 900\text{Mbps}$

[10G Ethernetもしくは10G SONET/SDH使用時]

$10\text{Gbps} - 1.5\text{Gbps} = 8.5\text{Gbps}$

と、帯域的に無駄が多い。

さらに、専用線サービスでは、1対1の通信を主にしたサービスであるため、IPを使う有効性となる容易な対地変更や1対N、N対N通信を行うために対地ごとに専用線を契約する必要があるなど、ユーザにかかる負担が非常に大きくなるため、実用的とは言えない。

対照的に、帯域的な無駄をなくするためには、広域Ethernet LAN等のベストエフォート型のEthernetプラットフォームサービスを選択すれば、他のユーザトラフィックとの統計多重効果によりコストも十分に抑えることが可能である。しかしながら、プラットフォームの帯域や使用状況により、Ethernetの特性であるバーストラフィックによる瞬間的なフレームドロップや、ジッタなどで1.5Gbpsのトラフィックを帯域保証することが困難な場合もあり、定常的に安定した映像品質を保証することは技術的には難しい。過去の実証実験において、現在

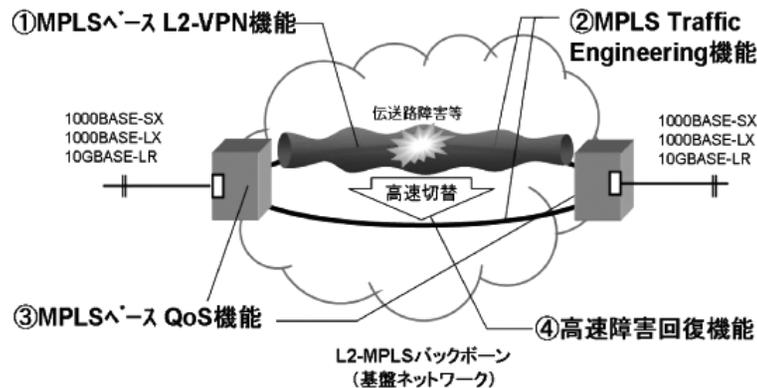


図-3 超高速IP基盤ネットワーク

の先端である10Gbpsにまで広帯域化されたEthernetプラットフォーム上でかつ、実行帯域が十分に空いているような環境である場合には、バーストラフィックによるフレームドロップやジッタによる遅延もなく、安定運用できることが証明されている。

Multi-Protocol Label Switchingを使った高速IP基盤ネットワーク技術

HD-SDIからの映像ストリームを非圧縮で長距離伝送する場合、これまでのキャリアの回線サービスでは、専用線サービスのように安定を重視し高コストをかけるか、プラットフォームサービスのようにコストを重視し品質に不安を残すかのどちらかの選択しかなかった。

NTTコミュニケーションズでは、帯域保証や高速な障害復帰などの専用サービスの特徴はそのままに、広帯域・柔軟性・経済性を実現するために、Multi-Protocol Label Switching（以下、MPLS）を利用したLayer2の高速IP基盤ネットワークを構築し、以下の技術を組み合わせたEthernet中継回線サービス、ならびに既存のアクセス回線サービスと一体化してユーザービル相互間をエンド・ツー・エンド接続サービスとして提供を行っている（図-3参照）。

- MPLSベースのL2-VPN
- MPLS Traffic Engineering
- MPLSベースのQoS
- 高速障害回復

●MPLSベースのL2-VPN

現在、ほぼ業界標準となっているpoint-to-point型のMPLSベースのL2-VPN技術であるMartiniの仮想専用線（Virtual Circuit）技術を採用し、Ethernetパスを提供して

いる。これは一種のトンネリング技術で、ラベルをパケットに付与してネットワーク内を透過伝送するという方式である。

●MPLS Traffic Engineering

効率的なトラフィック収容のための経路制御のためMPLS-TE技術を採用することにより、以下のような運用を可能にしている。

- 同一対地に異経路パスの設定
- トラフィックの分散収容によるリンク利用効率の向上
- プロテクション機能（バックアップLSP：Label Switch Pathの異経路・ホットスタンバイ設定による高速切り替え）
- 運用系が把握できることからリソース管理や故障時の影響範囲の特定

●MPLSベースのQoS制御

契約回線単位でのQoS制御を行うために、網の入り口でラベル内にあるEXPビットを用いて優先度が付与される。便宜上優先度をGreen、Yellow、Redと表現している。万が一の輻輳時に優先度に応じて非優先のパケットを廃棄したり、リアルタイム性の強いサービスクラスのパケットを優先的に転送することにより、QoS制御を実現している。

現在定義しているサービスクラスは、3種類（低遅延保証型のCBR-rt、最低帯域確保型のCBR+、ベストエフォート型のUBR）である。たとえばCBR+のサービスクラスを実現する際は、MPLSネットワーク内では申告帯域（契約帯域）の部分については、輻輳時に最優先で転送することを示すGreenでEXPビットをマーキングし、申告帯域を超えた場合は、輻輳時は最優先で廃棄することを示すRedでマーキングして転送している。Redでマーキングされたパケットは輻輳時には、最優先で廃棄される



特集

通信と放送の融合

2

インターネットプロトコルを用いた
放送用非圧縮ハイビジョン映像の長距離伝送技術



図-4 放送番組における入り中継映像

が、輻輳していない場合は廃棄されずに転送される。また、物理インタフェース速度が上限のUBRの場合は、輻輳時に優先（2番目）で廃棄することを示すYellowカラーでマーキングし、GreenとRedの中間的な扱いをしている。また、CBR-rtのようなリアルタイム性が要求されるサービスクラスの場合は、Queueを分けて待ち合わせを行い、優先的に出力を行うことで遅延に対する優先制御を可能としている。

●高速障害回復機能

中継障害時のサービス高速復旧のために、バックアップLSPを事前設定し、各LSP単位に切り替えることにより影響を最小化する機能(LSP Protection)を採用している。

なお、IPインフラ(MPLS網)とサービスノード間でリンク断が発生した場合に、高速な切り替えが行えるようなリンク断転送機能(リンクパススルー機能)も装備している。

愛・地球博における放送生中継による実証実験

2005年3月から9月まで開催されていた愛・地球博において、愛知万博会場内の愛・地球広場～朝日放送大阪本社を、NTTコミュニケーションズの超高速IP基盤ネット

ワークによりEthernet 1Gbps回線(800M帯域保証)を2本とi-VistoゲートウェイXGによるインバースマックス機能により双方向非圧縮ハイビジョン伝送システムとして構築し、会期中半年間の運用試験を行った。

結果として、超高速IP基盤ネットワーク上に他のユーザトラフィックが高負荷的に存在していた状況であったにもかかわらず、QoS制御が十分に働きパケットドロップは皆無であった。また、半年間のうちに障害による回線切り替えも1度もなかった。

また、映像品質も半年間ノイズ等障害も発生することなく、高品質を保つことができた。

これまでも多くの実証実験を行った経緯があり、すでに朝日放送では実用レベルであるとの判断から、運用試験中であった本システムを使用し、朝日放送の番組において入り中継映像として本放送内で使用する実験も行われ、通常の中継回線と同様の感覚で、非圧縮ハイビジョンによる生中継を行うことができることを実証するに至った(図-4参照)。

まとめ・今後の課題

放送業界において標準となっているHD-SDIインタフェースでの映像・音声伝送を、インターネットテクノロジーと融和させ、次世代の放送中継手段の中核になる技術の開発・検証は完遂できた。これまでの実証実験において、1対1の非圧縮ハイビジョン映像の伝送は、既存のEthernet上で実現可能であることを証明することができた。

しかしこれはまだ、単にHD-SDIインタフェースの物理的な距離延長を安価に実現可能であることに過ぎず、通信と放送の融合の第一歩を踏み出したに過ぎない。

今後の課題として、マルチキャスト技術を利用した1対Nでの高品質動画の他地点送信や、アプリケーション技術による映像切り替え、地点切り替えなど、既存の放送分野ではなし得ない、もしくは高価な対価を必要としなければ実現できなかったことを、より安価かつ容易に活用できる放送システムを目指していかなければいけない。

(平成17年12月7日受付)

