小特集

放送で活躍する 新制作技術

本年開催された冬季オリンピック（バンクーバー）、ワールドカップサッカー（南アフリカ）の中継映像は興奮とともに鮮明に私たちの脳裏に焼きついています。番組を制作する立場にとってこのように定期的に訪れる大イベントは、日々の時間制約に追われる番組制作とは別にある程度の準備をもって臨むことができ、新しい試みや技術開発がされるチャンスでもあります。

本小特集では、本年にちなんだライブイベント関連の番組の制作技術をはじめ、注目されている「3Dの番組制作」、またトレンドである「エコ」、「効率化」といったキーワードに関連した技術について、制作現場のニーズから研究開発に至る状況や実際の導入現場といった視点で記事を取り上げました。

本小特集は、相澤前編集長の下、関理事、柴田幹事、牧野幹事と私で担当しました。

前編集幹事 野崎秀人

1. 中継制作の新技術

1-1. IPネットワークによる ライブ映像伝送技術

(正会員)小田 周平[†]

キーワード IPネットワーク, ベストエフォート, ライブ映像伝送, エンコードレート

1. ま え が き

昨今のインターネット環境の向上により、動画サイトを通じて映像を視聴することは一般的なこととなっている。また、品質を考慮しなければ、市販のツールやフリーソフトウェアにより、簡単に映像を伝送することもできる。

このような状況の中、日常的に取材先から映像伝送を行うテレビ放送局各社も、伝送業務にインターネットを活用すべくさまざまな開発を行っている¹⁾。

現状、動画サイトの視聴では、ある程度の品質の劣化はやむを得ないものとされる一方で、テレビ局が取材先から映像を伝送する場合には、一定の品質の映像を所定時間内に確実に伝送する信頼性が要求される。特に、取材先からリアルタイムに直接映像を放送する番組中継では、低遅延で途切れないことが求められる。

本稿では、番組中継で求められる低遅延でかつ信頼性が求められるライブ映像の伝送を、帯域が保証されないIPネットワーク上で実現する技術について紹介する。まずはじめに、テレビ放送局による従来の番組中継方式と、IPネットワークによる番組中継の技術的な相違点を明らかにし、IPネットワーク上で映像を伝送するための一般的な技術を解説した後に、今回、新たな提案として、ネットワークの混雑状況に応じて動的にレートを制御する伝送装置を紹介する。

2. テレビ放送局の番組中継

放送局は、いち早く現場の状況を伝えるため、取材現場や伝送拠点から映像伝送を行う。どこからでも、迅速に、できるだけ高品質で、途切れることなく伝送できることが求められる。取材現場の様子を直接放送する生中継の場合は、途切れない信頼性が重要になるとともに、スタジオと現場の担当者が会話する「かけあい」と呼ばれる演出が行われることも考慮しなければならない。スタジオからの問いかけに対する現場からの返答が遅れると不自然な会話にな

るため、遅延が小さいことも重要視される。

2.1 専用線を用いた中継伝送

取材現場から映像を伝送する手段として、従来から、衛星回線や地上無線回線が広く用いられている。これらの回線は、専用回線と呼ばれ、帯域を占有して一定品質の映像、音声を実際に伝送することができる。このような専用線は、品質および利便性に優れるが、機材や回線の利用料が高価であり、利用できる回線数も限られている。

映像、音声信号のデジタルデータをそのまま伝送すると、データ量が大きいために非常に広い帯域が必要になるが、MPEGなどの符号化により映像、音声データを圧縮することで、帯域の狭い回線でも伝送することを可能としている。なお、圧縮率を高くすると、データ量は減少する一方で、映像、音声の品質は劣化してしまう。そこで専用回線で伝送する際には、映像、音声の品質を勘案しながら、確保できる専用回線の帯域の範囲内で、固定のエンコードレートを設定して伝送を行う。

2.2 IPネットワークを用いた中継伝送

一方、このような従来の専用線による伝送に加え、IPネットワークを用いた映像伝送が試みられている。特にインターネットを用いる場合には、さまざまな場所から安価に伝送できるという利点がある。

しかしながら、一般のIPネットワークは複数のユーザが帯域を共有するベストエフォートなネットワークであり、ライブ映像を伝送するために必要な帯域を常時確保することを保証できない。このようなネットワークは、蓄積されたテキストや静止画像データなどを伝送するにはあまり問題は無いが、ライブ映像のように常時データが生成されるストリームデータを、リアルタイム性を保った一定の間隔で伝送することが難しく、定まった帯域を確保できる専用回線と大きく性質が異なる。

IPネットワークを用いた番組中継で、帯域や遅延などの伝送品質が変化する条件の中でも、できるだけ高品質の映像、音声を伝送できることが求められる。

[†] NHK 放送技術研究所

"Recent Technologies of the Live-Broadcasting: Live Video Transmission Technology on IP Network" by Shuhei Oda (NHK Science and Technology Research Laboratories, Tokyo)

3. IPネットワークを用いた映像伝送技術の高品質化

3.1 IPネットワークの伝送品質の変化

インターネットのように不特定多数の利用者がインフラを共用するIPネットワークでは、ネットワークの混雑状況により、伝送品質が変化する。

例えば、複数の利用者が同時に伝送を行い、IPネットワーク上に一度に大量の packets が流れこむと、IPネットワークの途中区間を構成するルータやハブといった装置の中で packets が滞留するために、packets の到着が遅れることがある。さらに、ルータやハブの持つメモリの容量を超えて一度に packets が流れこんだ場合には、メモリからあふれた packets は廃棄される。これらの現象は、データを受信する装置では、RTT (Round Trip Time) の増加や packets ロスの発生として観測される。

こうした伝送品質の劣化に対し、IPネットワークで映像を送信する装置では、packets ロスの発生に対しデータを回復する手段として、一般にデータを再送する方法や、あらかじめ誤り訂正 packets を付加する方法が用いられる。前者はARQ (Automatic Repeat reQuest) 方式、後者はFEC (Forward Error Correction) 方式と呼ばれる。

3.2 再送方式の手法および特徴

再送方式によりデータを回復する場合、送信装置に対して再送要求を行い、再び同一の packets が送られてくるのを待つためのバッファが必要となる。このため、ライブ映像を送信する際には、再送方式によって packets ロスを回復する場合、受信側で再送待ちのための一定の時間(遅延)が必要となる。バッファ量が大きい、すなわち許容できる遅延量が多いほど、再送 packets を何回も要求して、より多くの packets ロスを回復することができる。

3.3 FEC方式の手法および特徴

再待ち時間のための遅延を抑えて packets ロスを回復させる方法にFEC方式がある。この方式は、事前に誤り訂正 packets を送信するものであり、再送を待たずに消失した packets を回復することができる。ただし、誤り訂正による packets ロス回復では、訂正能力が付加する誤り訂正 packets 量によって定まり、この訂正能力を超えたロスが発生してもこれを回復することはできない。一般に、ネットワークの混雑状況の変化とこれに伴う packets ロスの頻度を事前に予測することができないことから、訂正能力および必要な冗長量を適切に設定することは困難である。

3.4 FECとARQの組合せによる改善

IPネットワークで通信するための代表的なプロトコルであるTCP²⁾は、再送により packets ロスを回復するものであり、ARQ方式に分類される。この方式をそのまま採用した映像伝送装置もあるが、TCPでは一定のタイミングでデータを伝送することができず、受信側で多くの待ち時間を

必要とする。そのため映像伝送に特化した既存のIP伝送装置では、独自方式のARQおよびFEC方式の組合せにより packets ロスを回復するものが多い。

現在、広く用いられているIP伝送装置は、事前に回線測定を行い、伝送可能な帯域を見込んだ上で、固定のエンコードレートを設定し、packets ロス回復のための再送待ち時間や誤り訂正 packets の付加量といったパラメータも決定してから伝送を開始している。このような装置では、IPネットワークでの伝送品質の劣化を見越し、ある程度の余裕を持たせてパラメータを設定するが、想定を超える品質劣化が発生すると、packets ロスをすべて回復できなくなり映像、音声途切れることがあった。

4. 伝送可能帯域に追従する映像伝送技術

4.1 動的な圧縮率の制御

上述の問題を解決するために、ネットワークの混雑状況に応じて動的に映像の圧縮率を変化させることで、映像、音声を途切れることなく伝送する手法を新たに開発した。

本手法では、再送と誤り訂正によって packets ロスを回復するとともに、受信装置にて検出される packets ロスの発生頻度から、時々ネットワークの利用可能帯域を推定し、すべてのデータを伝送できるだけのエンコードレートを算出して送信装置にフィードバックする。

本手法による装置の構成を図1に示し、動作を説明する。まず始めに、送信装置はベースバンドの映像、音声信号を圧縮の上、Transport Stream³⁾に多重化し、RTP⁴⁾ヘッダを付加したIP packets を送信する。RTPヘッダには packets の順番を識別するためのシーケンス番号が記述されている。受信装置はIP packets を受信すると、このシーケンス番号の連続性を確認することで packets ロスを検出し、誤り訂正や再送要求を行うとともに、全体の送信レートと packets ロスの関係から伝送可能なエンコードレートの算出を行う。算出したエンコードレートは送信装置にフィードバックされ、指定されたエンコードレートとなるようにエンコードを制御する。

4.2 レート制御

表1に示すレート制御のための設定パラメータ一覧に基づいて、packets ロス回復方法とレート制御動作を説明する。伝送装置は、設定した送信レート初期値Rsで送信を開始する。packets ロスの発生やRTTの増加が発生していなければ、全体の送信レートは送信レート増加値Raずつ徐々に増加するが、packets ロスが発生したり、RTTが増大すると減少に転ずる。仮に帯域が空いていても、設定した最大送信レートRm以上は送信レートは増加しない。これは画質が充分確保できるレートを超過して不要な送信を防ぐためである。

再送待ち時間Twは、エンコードデータを受信後に、図1に示した受信部からデコーダにデータが渡されるまでのパ

図1 開発装置の構成

表1 開発装置の設定パラメーター一覧

パラメータ名	説明
送信レート初期値:Rs[kbps]	伝送開始時の送信レート
送信レート増加値:Ra[kbps]	1回の制御あたりの送信レートの増加値
最大送信レート:Rm[kbps]	送信レートの最大値
レート余裕値:Rf[kbps]	付加するFECパケットの量
再送待ち時間:Tw[ms]	エンコードデータ受信後、デコーダにデータを渡すまでの、再送パケット到着待ち時間
再送要求間隔:Tr[ms]	受信装置が送信装置に対し再送を要求する間隔

ッファ時間であり、ここでバッファされる時間内に繰り返し再送要求を行い、再送データの到着を待つことができる。再送要求間隔Trの最適値は送受信装置間のRTTとなり、Tw/Tr回だけ再送パケットを要求することができる。

すなわち、再送待ち時間Twが長いほどより多くパケットロスを回復できるが、低遅延の達成とはトレードオフの関係となるため、利用者がかけあいのスムーズさとパケットロス発生率の変化の程度を勘案して決定する必要がある。

余裕値Rfは固定のFECパケット付加量である。値を大きくするとその分エンコードレートは低い値に制御されるが、急激にパケットロス率が増大するような回線では、再送に先駆けて誤り訂正を行いパケットロス耐性を高めることができる。

このように、パケットロスの発生状況とRTTの変化によって決まる全体の送信レート、再送データレートおよび固定のFECデータレートから、すべてのデータを伝送可能であることを保証できるエンコードレートを算出して制御することにより、途切れることのない映像、音声の伝送が可能となる。

5. 開発した装置の概要

本手法を導入したハイビジョンIP伝送装置の外観を図2に、装置の機能と諸元を表2に示す。

図2 開発装置の外観（ノートPCの利用はオプション）

表2 開発装置の機能、諸元

機能	諸元
映像入力(出力)	HD-SDI SMPTE-292 ⁵⁾ (BNCコネクタ)
音声入力(出力) (2ch)	SMPTE-299M ⁶⁾ (SDIエンベデッド) またはアナログ (XLRコネクタ)
映像圧縮方式およびレート可変範囲	ITU-T H.264 ⁷⁾ (約128[kbps]～60[Mbps])
音声圧縮方式およびレート可変範囲	MPEG-1 L2Audio ⁸⁾ (64[kbps]～384[kbps])
伝送インタフェース	Ethernet 10/100/1000 Base-T
電源	AC100V～240V
サイズ	350×210×44mm (送信装置・受信装置共通、突起含まず)

エンコードレートの算出方法やARQ、FECの送信方法は独自のものであるが、将来的な装置間の互換性を考慮して、符号化多重方式やパケットフォーマットなどは、既存の方式を採用している。

どのような回線状況の変化にも追従できるように、映像エンコードレートは128kbps～60Mbpsと非常に幅広く、制

図3 開発装置のレート制御監視画面

御可能である。例えば、回線状況が悪化して1Mbps程度の非常に低いエンコードレートとなった場合、ハイビジョン画質を確保することは困難であり、高解像度成分は失われてぼやけた映像になってしまう。それでも映像、音声が届切れないように伝送を継続できることが本装置の最大の特徴である。

開発した装置では、外部にPCを接続することで、パケットロスの発生状況とレートの制御の様子を確認することができる。図3に本装置のレート制御監視画面を示し、パケットロスの発生に対するエンコードレートの制御動作を説明する。

軽微なパケットロスが発生している場合は、まずは誤り訂正で回復を行い、回復できなかったパケットがある場合には再送要求を行う。ここで、混雑してパケットロスが発生しているネットワークにさらに再送パケットを送信すると、より一層ネットワークが混雑してしてしまうことから、再送分だけエンコードレートを下げることで全体の送信レートを増加させないように制御している(図中①)。

また激しいパケットロスが発生している場合には、パケットロスが発生しなくなるまで送信レートを減少させて、ネットワークの混雑を解消するように動作する(図中②)。パケットロスが発生していなければエンコードレートを増加させ、できるだけ高画質な映像を伝送している(図中③)。

6. む す び

本稿では、番組中継における一般的な映像音声の伝送方法を解説し、帯域が保証されないIPネットワーク上でのラ

イブ伝送に対する課題について述べた。この課題を解決するための技術として、IPネットワーク上でも映像音声の途切れることのないリアルタイム伝送の手法、および、この手法を導入したレート制御型ハイビジョンIP伝送装置を紹介し、その動作を説明した。

本伝送装置は、ネットワークが混雑している場合には、画質を劣化させてでも途切れないように映像、音声の伝送を継続することを目的として開発した装置であり、一定の品質を確保して確実に伝送する、専用回線を用いた従来の伝送手段を置き換えられるものではない。

しかし、IPネットワークの高速化が進み、一般に広く普及する中、例えば、海外など専用回線の確保が困難な場所から、映像の伝送を可能とする技術として、広い用途で活用されることが期待できる。

当初、文書や画像などのデータを伝送するために使われてきたIPネットワークは、広範な普及と高速化に伴って、映像伝送などの新たな用途に使われるようになり、求められる機能や性能が変化しつつある。IPネットワークによる映像伝送に対する課題を解決する方法の一つとして、本稿で説明した技術が貢献できれば幸いである。最後に、装置の開発、実用化に向けた関係者の方々のご支援に対し厚く御礼申し上げたい。

(2010年7月29日受付)

〔文 献〕

- 1) Yusuke Mita: "NHK's Challenge for IP-Based Transmission of Broadcast Materials", ABU Technical Committee 2009 Annual Meeting (Oct. 2009)
- 2) J. Postel: "Transmission Control Protocol", RFC793 (Sep. 1981)
- 3) ISO/IEC 13818-1, ITU-T Rec. H.222.0 "Generic coding of moving pictures and associated audio information: systems" (2000)
- 4) H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson: "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC3550 (July 2003)
- 5) SMPTE292M: "1.5 Gbps Signal/Data Serial Interface" (2008)
- 6) SMPTE299M: "24-Bit Digital Audio Format for SMPTE 292 Bit-Serial Interface" (2004)
- 7) ISO/IEC 14496-10, ITU-T Rec. H.264 "Advanced video coding for generic audiovisual services" (2003)
- 8) ISO/IEC 11172-3: "Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbps -- Part 3: Audio" (1993)

小田 周平 1999年、早稲田大学大学院理工学研究課修了。同年、NHK入局。秋田放送局、放送技術局を経て、2006年より、放送技術研究所にて、IPネットワークの放送利用に関する研究に従事。正会員。