

インテリジェント QoS

PCS-G60	All
PCS-XA55	All
PCS-XA80	All
PCS-XG55/XG55S	All
PCS-XG80/XG80S	All
PCS-XL55	All

はじめに

ベストエフォート型である現在のインターネット環境では、パケットのロス率は平均約2%とされています。インターネット環境下で行われるビデオ会議に代表されるビジュアルコミュニケーションでは、通信中にパケット損失が発生すると、映像の劣化やフリーズ、音声が乱れるなどの不具合を引き起こします。このようなネットワーク品質の不具合に対し、ビデオやオーディオの品質を高く維持する品質制御 (QoS: Quality of Service) 機能が必須となります。

QoS機能は大きく分けて2つの技術に分類されます。1つは、送信・受信端末間で損失したパケットそのものを回復する損失パケット回復技術です。この技術には、パケット再送機能と、パケット単位で処理する誤り訂正符号機能が該当します。もう1つは、パケット損失の発生による映像の劣化を隠すエラーコンシールメント技術です。この技術には、直前のエラーのない映像を使って劣化した映像を補間する機能などが該当します。

例えば、ソニーのHDビジュアルコミュニケーションシステムにおいては、最大10Mbpsまでの通信レートで大容量のHD映像を伝送することがあります。大容量コンテンツを送るためには、より大きなネットワーク帯域が必要ですが、同じネットワーク条件では、HD映像はSD映像に比べ、1ビデオフレーム当たりのパケット損失数が大きく劣化が目立ってしまいます。そのため、回復後のパケットロス率を 10^{-5} 以下 (ITU-T Y.1541より) に減らすことが必要となります。この問題に対して、ソニーは、ビジュアルコミュニケーションシステム (以下、PCSという^{*1}) にインテリジェントQoS機能を導入しました。

本資料では、各QoS機能、自動帯域検出機能と、QoS ManagerのインテリジェントQoSアロケーションの仕組みについて説明します。

^{*1} 対象機種は、表紙を参照してください。

QoS(Quality of Service) 機能

この項では、PCSに搭載されているQoS機能として、端末間でサポートするエンドツーエンド QoSであるReal-time ARQ (パケット再送機能：Automatic Repeat reQuest)、FEC (前方誤り訂正機能：Forward Error Correction)、ARC (最適レート制御機能：Adaptive Rate Control)、およびネットワークがサポートしているDiffserv (Differentiated Services) などについて説明します。

Real-time ARQ (パケット再送機能：Automatic Repeat reQuest)

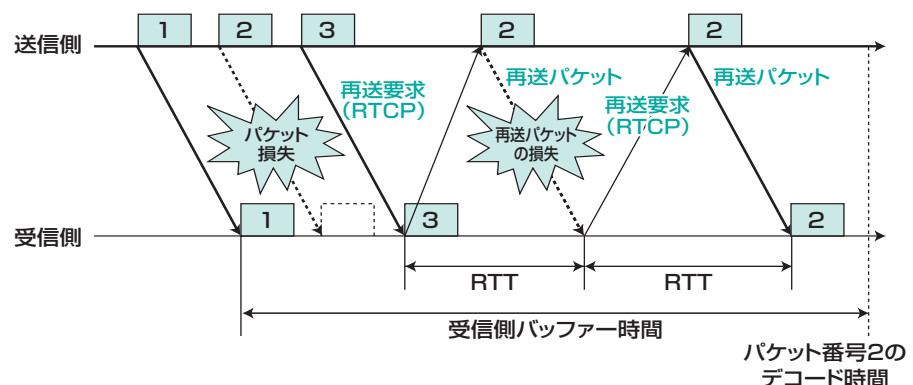
ARQは、受信側が検出した損失パケットを送信側に伝え、送信側がその損失パケットを再送する損失パケット回復技術です。Real-time ARQは、ネットワーク状況と遅延の両方を考慮し、スムーズなリアルタイムコミュニケーションを実現するようにARQを改善したものです。

図1にReal-time ARQ の動作を示します。基本的なARQの仕組みは以下の通りです。

すべてのパケットには、RTP (Real-time Transport Protocol) によって順序を示すシーケンス番号と映像・音声の再生タイミングを示すタイムスタンプが付与されています。まず、受信側が受信したパケットのシーケンス番号を見てパケットの損失を検出し(図1のパケット番号2)、送信側にRTCP (RTP Control Protocol) を用いて再送要求を送ります。送信側は、送信済みパケットを送信バッファに保存しており、再送要求に応じて要求パケットを再送します。受信側は、受信バッファで再送パケットを含むすべてのパケットを正しい順序に並べ替え、デコード時刻までにデコーダーに送ります。

Real-time ARQは、リアルタイム性を保持しながらARQの回復性能を最適化しています。受信側は図1のように、再送要求を送ってからRTT(往復遅延時間：Round-Trip Time) 経った後に、再送パケットを受けとることができますが、再送パケットはデコード時刻までに到着しなければデコードされません。そこでReal-time ARQは、端末間のRTTを測定し、N回目(N=1,2,...) に要求した再送パケットがデコード時刻までに到着する場合のみ再送要求を行います。こうしてReal-time ARQは、回復能力を高め、かつ無駄な再送を防ぐことができます。一般的に、Real-time ARQはRTTが短いときに高い回復能力を発揮します。それは受信側と送信側で、デコード時刻までに複数回、再送パケットの送信ができるためです。しかしながら、反対にRTTが長い場合、ARQは適していません。例えばRTTが150ms、バッファ時間が100msのときは、デコード時刻までに再送パケットは届きません。言い換えると、Real-time ARQは、必要な回復能力を満足する限り、RTT、PLR (パケットロス率：Packet Loss Ratio) の測定値に合わせて受信側でのバッファ時間を短く、すなわちリアルタイム性を高くすることができます。

図1 Real-time ARQ 再送の仕組み
(再送要求 N=2 の場合)



Adaptive FEC (前方誤り訂正機能 : Forward Error Correction)

FECは、冗長符号化を用いた損失パケット回復技術です。送信側は、オリジナルデータパケットからパリティ（冗長）パケットを符号化し、受信側は、受信したオリジナルデータパケットとパリティパケットとを用いて復号することで、損失パケットを回復することができます。

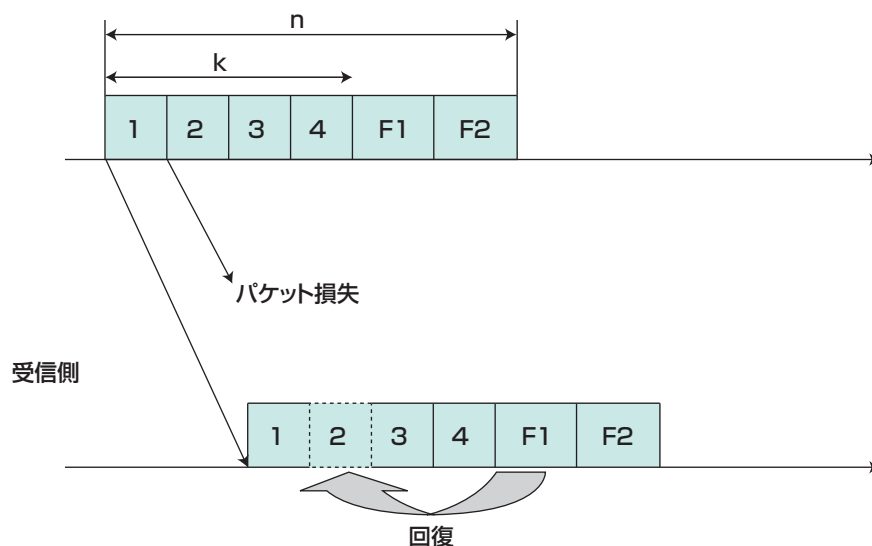
PCSは、FECコーデックとしてReed-Solomon (RS) 符号を採用しています。ここでRS (n,k) とは、k個のオリジナルデータパケットに対し、(n-k) 個のパリティパケットを生成することを示します。このn個のパケットを1つの単位とみなし、FECブロックと呼んでいます。図2は、RS (6,4) のFEC回復手順を示します。最初の4パケット（1から4）はオリジナルデータパケットで、後ろの2つ（F1、F2）は、パリティパケットです。これらで1つのFECブロックを構成します。このFECブロックの場合、パリティパケット数に等しい2個以下の任意の損失パケットを回復することができます。例えば、図2におけるパケット2が損失した場合は、同一FECブロック内の他の4パケット（例えば1、3、4とF1）からパケット2を回復することができます。

一般的に、FECの回復能力はRTTの大小の影響を受けないため、RTTが長い場合にFEC機能を使うことは、ARQを使うよりも適切でかつ有効です。反面、FECは回復に必要なパケット量がARQより多くなります。

PCSが搭載するAdaptive FECは、FECブロックサイズを大きくすることで、損失パケットの回復性能を上げています。さらにAdaptive FECは、RTTやPLRなどネットワーク条件に合わせてFECブロック内のパリティパケットの比率を調整することで、回復能力を十分に保持しながらパリティパケットを減らすこと、すなわち画質の向上を可能にしました。この比率は、次項で説明するQoS Managerによって指定されます。

図2 FEC 回復の仕組み

送信側



ARC (最適レート制御機能: Adaptive Rate Control)

ARCは、ネットワーク状況に応じて映像の通信レートを制御する技術です。一般的にARCは、ネットワーク帯域に余裕があれば通信レートを高め、混雑している場合は通信レートを低くするように働きます。

HDビジュアルコミュニケーションでは、RTTが長い（例えば100ms）遠隔地との通信においても、高い通信レートでHD映像ストリームを伝送することが求められます。しかし、従来のTFRC（TCP-Friendly Rate Control=インターネット環境のRTTとPLRを考慮して通信レートを制御するレート制御アルゴリズム）では十分な通信レートを出せないことや、通信レートの収束が遅く不安定になることがありました。これに対しPCSのARCは、ネットワーク状態測定機能を強化し、あわせてTFRCのレート制御アルゴリズムを改良することで、HD映像ストリームに求められる高速かつ安定した通信レート制御機能を実現しました。

ネットワークレベルQoS

PCSは、IP Precedence、TOS (Type of Service) およびDiffservの設定が可能です。IPヘッダーのTOSフィールドは、IP PrecedenceとTOS、またはDiffserv用のDSCP (Differentiated Services Code Point) ビットのいずれかを定義するために使用されます。これらのサービスに対するフィールドの使用方法は、ネットワークサービス管理者が決めることができます。TOSフィールド構造は下記のように定義されています。

図3 ネットワークレベル QoS

● IP Precedence とTOS (Type of Service)

0	1	2	3	4	5	6	7
Precedence			遅延	スループット	信頼性	コスト	CU

CU: 現時点で未使用

● Diffserv (Differentiated Services)

0	1	2	3	4	5	6	7
DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	CU	CU

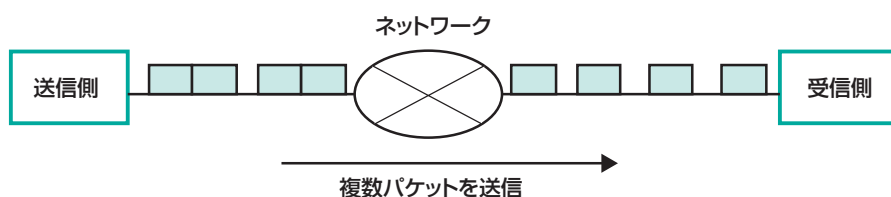
CU: 現時点で未使用

自動帯域検出

自動帯域検出は、端末間のネットワーク帯域幅などを推定する技術です。QoS機能の有効性を高める仕組みを提供します。

図4に自動帯域検出の動作を示します。基本的な自動帯域検出の仕組みは以下のとおりです。送信側は、通信開始前に測定のための連続したパケットのペアを複数個送出します。ネットワーク内でボトルネックとなっている狭い帯域の経路があると、そこを経由するパケットの間隔は広がります。受信側はこれらの変動するパケット受信間隔を測定し、経路上の帯域を推定します。この値をQoS機能に用いることによって、通信開始時から最適なQoS制御が可能となります。

図 4 自動帯域検出のしくみ



インテリジェント QoS アロケーション

インテリジェントQoSアロケーションとは、使用可能なネットワーク帯域の範囲内で、オリジナルビデオパケットと、ARQ（再送）、FEC（パリティ）によって生成される損失回復パケット（FECパリティパケット、ARQ再送パケット）との割合を制御する技術です。前述のように、各QoS機能は、最適な回復能力を達成するネットワーク条件がそれぞれ異なります。また、損失回復パケットの割合が増えるにつれ、パケット損失の回復能力は強まりますが、オリジナルビデオパケットの割合が小さくなるために映像品質は劣化します。そこで本技術では、映像品質を最大化するため、測定されたネットワーク条件下における回復能力と映像品質とのトレードオフ条件から、最適な割り当て量を求めています。

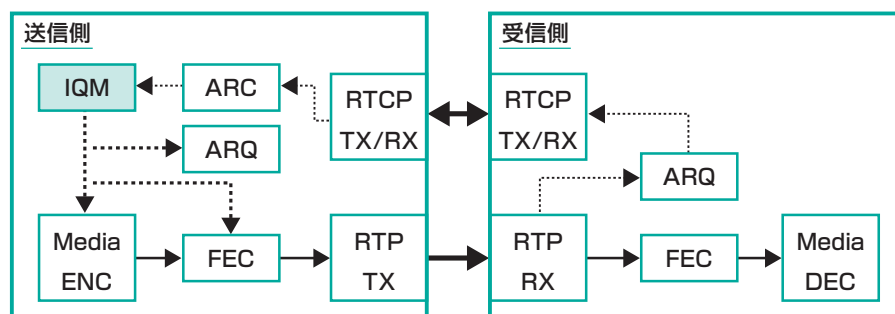
インテリジェントQoSアロケーションは、送信側に搭載されたQoS Manager（図5のIQM）において実行されます。QoS Managerは、ARC、ARQおよびFEC機能を通じて、ネットワーク状況（RTT、PLR）および、損失回復パケットとオリジナルビデオパケットの送信に使われる全体の通信レートを監視します。これらの情報を元に、ARQ再送パケット、FECパリティパケット、オリジナルビデオパケットに使われる通信レートの割当量を決定します。まず、ARQの損失回復能力と再送パケットに使われる通信レートをRTTとPLRから算出し、さらにFECのパリティパケットに使われる通信レートをARQ回復後のPLR、RTT、全体の通信レートから算出します。オリジナルビデオパケットに割り当てられる通信レートはARQ再送パケットとFECのパリティパケットの通信レートから算出されます。

図6はインテリジェントQoSアロケーションの例を示しています。RTTが短い場合（国内など比較的近い拠点との通信）、ARQの再送パケットに通信レートが割り振られます。一方RTTが長い場合（海外など遠隔地との通信）は、ARQが効率的に機能しないため、FECパリティパケットの割合が大きくなります。PLRが増加すると、損失回復パケットの占める割合が大きくなり、反対にオリジナルビデオパケットの割合は小さくなります。

このようにインテリジェントな制御によりRTTの大小にかかわらず、一定以上の品質を確保することができます。結果として高いQoE（Quality of Experience）ユーザー体感品質を映像通信で実現します。

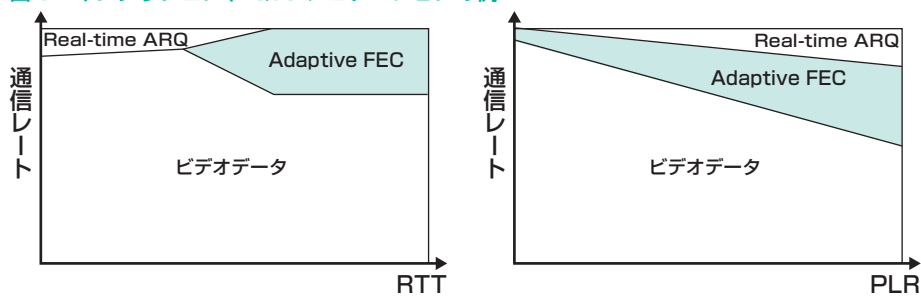
音声通信では、音声パケットを2回送ることによって、オリジナルパケットが損失した場合にもFECと同等の役割を果たしています。音声データは映像データと比較してサイズが非常に小さいため、このような方式で十分に対応可能です。

図 5 QoS モジュールダイアグラム



TX:送信、RX:受信

図 6 インテリジェント QoS アロケーションの例



- Real-time ARQ は、ソニー株式会社の登録商標です。
- IPELAおよびインテリジェント QoSは、ソニー株式会社の商標です。

SONY