

# 高品質なストリーミング配信サービスのための設計指標

山本浩一郎 細淵貴司 森西優次 本多淳子 小池恵一 伊藤昌幸

日本電信電話株式会社 NTT サイバソリューション研究所

## 1. はじめに

ブロードバンドネットワークの普及により、映像コンテンツをストリーミング方式で配信するサービスが提供され始めている。しかし現在のサービスは、映像コンテンツの再生途中で映像の乱れや停止が頻繁に発生し、品質劣化が顕著に現れる。また、コンテンツの再生開始前に、できるだけ多くのデータをバッファリングする必要があり、再生開始までの遅延時間が非常に大きい。ユーザが日頃慣れ親しんでいる TV 放送と比較すると、上記映像品質の劣化と遅延時間は特に問題点である。よって今後、高品質なサービス（少なくとも TV 放送と同レベル）を提供するためには、サーバからクライアントまでの end-end で「データロス=0」を目標にした品質補償を行うこと、また遅延時間も考慮に入れた設計を行う必要がある。

本稿では、ストリーミング配信における品質劣化要因を抽出し、その課題を解決するための品質補償モデルを示す。そして、品質補償と遅延時間との関係を明確にし、総合的にサービス品質を向上させるための設計指標を示す。

## 2. 品質劣化要因

現在、ベストエフォート型ネットワークを用いてサービスを提供する場合、「ネットワーク上のパケットロス（課題 1）」が品質劣化に大きな影響を与える。ベストエフォート型ネットワークは、ネットワークの利用状況等に応じて刻一刻とその品質が変化するため、クライアントに安定してデータを供給できる保証がない。パケットロスの特性を大別すると、定常的なロスと連続的なロスがあり、特に連続的なロスが生じた場合、品質劣化が顕著に現れる。

次に、品質劣化に大きな影響を与える要因として、「パケットの不定期受信に起因するクライアントのバッファオーバーフロー/アンダーラン（課題 2）」が挙げられる。パケットの不定期受信は、サーバのバースト的なパケット送信やネットワークゆらぎの影響が大きい（図 1 参照）。

このように、ネットワークのみならず、サーバ・クライアントにも品質劣化要因が存在し、高品質なサービスを提供するためには、end-end で「データロス=0」を目標にした品質補償を行う必要がある。

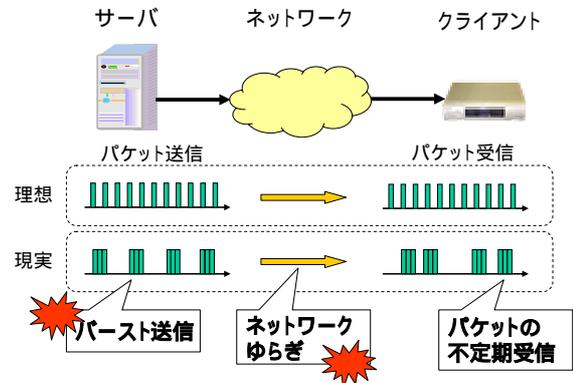


図 1: パケットの不定期受信

## 3. 品質補償モデル

本稿では、前節の 2 つの課題を取り上げ、その課題を解決するための品質補償モデル（図 2 参照）を示す。

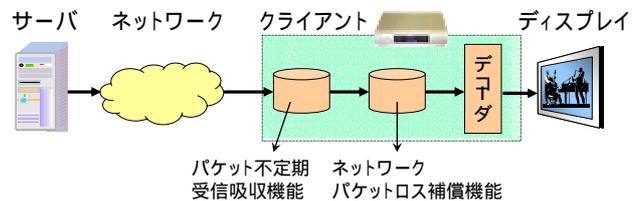


図 2: 品質補償モデル

### 課題 1 の対策（ネットワークパケットロス補償機能）

課題 1 を解決する方法として、主に「再送制御方式」と「FEC (Forward Error Correction) 方式」がある。再送制御方式は、サーバ側でパケットにシーケンス番号を付与しておき、パケットロスが生じた場合、その度にクライアントから再送要求を行う方式である。FEC 方式は、サーバ側で予め元データに冗長度を付加しておき、パケットロスが生じた場合、クライアント側で受信したデータのみから元データを復元し、ロス回復を自立的に行う方式である。FEC 方式は定常的なパケットロスに対して有効であり、連続的なパケットロスに対しては、インタリーブを併用することで対応できる（図 3 参照）。

### 課題 2 の対策（パケット不定期受信吸収機能）

課題 2 のバッファオーバーフローの問題は、バースト的なパケット受信を考慮して適切なバッファサイズをクライアントに設けることで解決できる。また、バッファアンダーランの問題は、パケットが到着しない最大時間を考慮して、予め適切な時間分だけ

けバッファリングしておくことで解決できる。

このように前節記述の課題に対して上記対策を施すことで、end-end で「データロス=0」を実現することが可能となり、映像品質の劣化を防ぐことができる。しかし、上記対策を実施するためには、予めデータがある程度バッファリングする必要があり、コンテンツの再生開始までに遅延時間が生じるというデメリットが存在する。

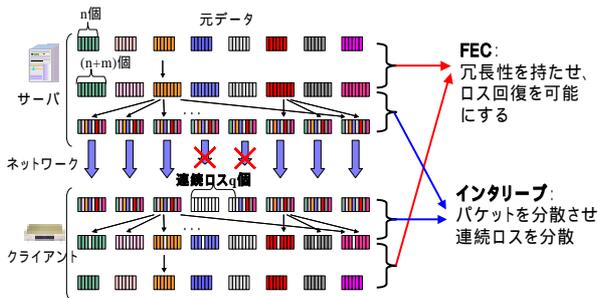


図3：FECとインタリーブの原理

#### 4．品質補償と遅延時間との関係

本節では、上記品質補償と遅延時間との関係をサーバ・ネットワーク・クライアントの各種パラメータを用いて明確にする。

##### ネットワークパケットロス補償機能における遅延時間

本節では、マルチキャストサービスにも適用可能なFEC方式を、そしてFEC方式の符号アルゴリズムはBS放送等で利用されているリードソロモン符号を取り上げ、遅延時間との関係を示す。まず、リードソロモン $(n+m, n)$ 符号を用いて(パケットロス率 $m/2(n+m)$ まで対応可能であることに注意)FECを適用した場合に必要な遅延時間 $T_{RS}$ は、コンテンツレート $B$ (B/s)、送信セグメントサイズ $e$ (B)とすると、

$$T_{RS} = n \times e / B \quad (1)$$

で表すことができる。また、連続パケットロスに対応するためにインタリーブを適用した場合に必要な遅延時間 $T_{inter}$ は、連続パケットロス数 $q$ (パケット)とすると、

$$T_{inter} = q \times n / m \times e / B \quad (2)$$

で表すことができる。つまり、ネットワークパケットロス補償機能で生じる遅延時間 $T_{FEC}$ は(1)(2)式を加えた

$$T_{FEC} = n \times e / B + q \times n / m \times e / B \quad (3)$$

となる。

##### パケット不定期受信吸収機能における遅延時間

ネットワークゆらぎ $k$ を正規分布と仮定すると、最大ネットワークゆらぎは $3k$ とみなすことができる。ここで、サーバが $Y$ 個の packets をまとめてパースト的に送信する場合、クライアントは最大 $(6k + e/B \times Y)$ 時間分だけ packets を受信できない可能性があり、バッファアンダーフローを回避するためには、その時間分のデータを予めバッファリングし

ておく必要がある。その遅延時間 $T_{BST}$ は、

$$T_{BST} = 6k + e/B \times Y \quad (4)$$

で表すことができる。また、バッファリング後のネットワークゆらぎに対して、バッファオーバーフローを回避するためには、最低 $(12k + e/B \times Y)$ 時間分のバッファサイズを設ける必要がある。

#### 5．設計指標

前節までは、end-end で品質補償を実現するモデルを示し、そして各々の機能で生じる遅延時間を明確化した。遅延時間は、ユーザビリティに影響を与えるため、総合的にサービス品質を向上させるためには、「データロス=0」という条件を満たすだけでなく、ユーザビリティ条件も考慮した設計指標が必要である。

ここで、図2の品質補償モデルを取り上げると、トータルの遅延時間 $T$ は、(3)(4)式を加えた

$$T = n \times e / B + q \times n / m \times e / B + 6k + e/B \times Y \quad (5)$$

である。よって、上記2つの条件を満たしたサービス品質を実現するためには、サーバ・ネットワーク・クライアントの要求条件を表1のように導き出すことができる。特に現在のサービスでは、(5)式中の $q$ の値が遅延時間に対して支配的要因( $q$ は数秒のオーダー[1])であるため、連続パケットロスが小さいネットワークを利用することが不可欠となる。

表1：要求条件

サーバ	ネットワーク	クライアント
・パースト的に packets を送信しない	・連続的パケットロス: 小 ・ゆらぎ: 小	・適切なFECパラメータの選択 ・適切なバッファサイズを設ける

また現実的には、コストや環境等の理由で、(5)式のパラメータ全てを制御できない場合が多い。その際は、遅延時間の条件(例えば $T$ は1秒以内など)から、制御可能なパラメータの条件を導き出すことができ、総合的にサービス品質を向上させるための設計指標を立てることができる。

#### 6．おわりに

現在のストリーミング配信サービスは、映像品質の劣化が頻繁に生じ、またコンテンツ再生開始までのバッファリング時間が長く、ユーザビリティにも問題があった。

本稿では、まずストリーミング配信において映像品質の劣化に影響を与える要因を抽出し、end-end で品質補償するモデルを示した。そして、品質補償に必要な遅延時間を明確にし、遅延時間も考慮に入れた総合的にサービス品質を向上させるための設計指標を示した。

#### 参考文献

[1] 本多, 他(2003):リアルタイム映像配信サービスにおけるネットワークアブライアンスの機能検証, 画像電子学会.