

# サーバ間の配信時間差の利用により視聴時の QoE を向上させた 動画ストリーミング方式の提案

## A Study on a Video Streaming Method for Improving QoE

佐藤優大<sup>†</sup>  
Yudai Sato

大島浩太<sup>‡</sup>  
Kohta Ohshima

寺田松昭<sup>‡</sup>  
Matsuaki Terada

### 1. はじめに

ブロードバンド環境および iPhone 等のスマートフォンの普及により、Ustream[1]に代表されるリアルタイム動画ストリーミングが注目されている。リアルタイムストリーミングでは QoE の確保が課題の 1 つであり、そのために対多送信による動画品質改善方式が提案されている[2]。[2]では、IP 放送向けに一定数遅延させたパケットによる追加マルチキャストを用いてザッピング時間の短縮を実現している。しかし、リアルタイムストリーミングでの QoE 確保において、再生時のデータ欠損防止も重要である。

そこで本稿では、遅延キャッシュによって QoE を向上させるリアルタイムストリーミング方式を提案する。本方式ではストリーミングを一時蓄積してから配信する遅延キャッシュサーバの導入によって、視聴時の再生待ち時間の短縮と、データ欠損の回復による動画の乱れの改善を行う。

### 2. リアルタイムストリーミングの課題

配信時のストリーミングデータの欠損は、動画の乱れを引き起こし QoE が低下する。データ欠損の原因にはジッタやパケットロスがある。ジッタ吸収にはバッファリング、パケットロス対策では FEC が一般的な対応手段である。FEC は送信データに冗長データを付加し、パケットロス発生時に冗長データから欠損データを復元する手法である。しかし、回復できる上限数を超えたパケットロスが発生した場合、欠損データを完全に復元することはできない。

一方、サーバに蓄積された動画を配信する VoD では、蓄積した動画データをバースト配信することで、十分なバッファリング量を確保する。さらに再送制御を適用することで、バッファが枯渇しない限りデータ欠損が起こらず、高いジッタ、パケットロス耐性を確保している。

しかし、リアルタイムストリーミングは VoD と異なり、ストリーミングデータがリアルタイムに逐次発生するため、将来のデータをバースト配信して十分なバッファリング量を確保することはできない。さらに、各データには再生すべき時刻があるため、一定以上の遅延を伴うパケットは破棄される。そのため、再送制御では、欠損データを再生時刻までに受信する必要がある。この遅延時間に対する制約を緩和するためにバッファリング量を多くする方法がある。しかし、バッファリング量の増加は再生待ち時間の増加につながるため、多くすることで QoE が低下するという課題がある。このため、リアルタイムストリーミングでは、遅

延時間の制約により再送制御を用いた欠損データの回復は難しい。

### 3. 提案方式

#### 3.1 概要

本稿では、オリジンサーバからキャッシュサーバを通してクライアントへストリーミング配信する形態を前提とする。

図 1 に提案方式の概要を示す。キャッシュサーバの他に遅延キャッシュサーバを新たに導入し、前述のリアルタイムストリーミングの課題の解決を図る。提案方式は、リアルタイムストリーミングの枠組みの中に、遅延キャッシュサーバにより VoD のようなバースト配信・欠損データ回復機能を組み込むことで QoE 向上を実現する。

遅延キャッシュサーバは、キャッシュサーバと同様に、オリジンサーバからストリーミングデータを受信し、さらに自身に蓄積する。新規視聴ユーザの視聴開始直後に、遅延キャッシュサーバから蓄積データをバースト配信することで、視聴開始直後の再生待ち時間を短縮する。キャッシュサーバからは通常通り視聴開始時からストリーミングデータを受信する。視聴中にデータ欠損が生じた場合は、遅延キャッシュサーバを用いた再送制御により欠損データを回復する。視聴開始直後のバースト配信により、ある程度のバッファリング量を確保できるため、この時間を用いて再送制御に必要な時間を確保することができる。

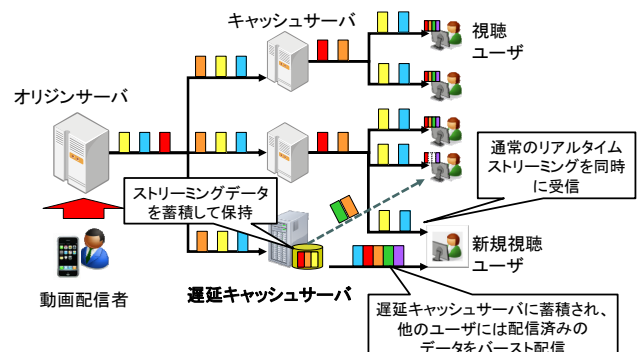


図1 システム概要

#### 3.2 再生待ち時間短縮方式

提案する配信方式を図2に示す。クライアントは新規視聴時にキャッシュサーバからのストリーミングと同時に、遅延キャッシュサーバからバースト配信されるデータをバッファリングする。このバースト配信されるデータを遅延データと呼ぶ。遅延データはキャッシュサーバが配信済みのデータである。クライアントはバッファリング済みの遅延データの先頭から再生を開始し、キャッシュサーバからのストリーミングデータはバッファリングを続ける。遅延

<sup>†</sup> 東京農工大学大学院 工学府  
Tokyo University of Agriculture and Technology, Graduate School of Engineering

<sup>‡</sup> 東京農工大学 大学院工学研究院  
Tokyo University of Agriculture and Technology, Institute of Engineering

データの再生が終了し次第、通常通りストリーミングデータの再生を始める。

クライアントは遅延データの再生中にストリーミングデータをバッファリングすることで、再生待ち時間を増加させることなく遅延データの再生時間分だけのバッファリング量を確保し、高いジッタ耐性を得ることが出来る。また、バースト配信により、通常ストリーミングより高速にバッファリングが可能で、再生待ち時間を短縮できる。なお、本方式では通常ストリーミング配信に比べ、遅延データの再生時間分だけ再生タイミングの遅延が生じる。

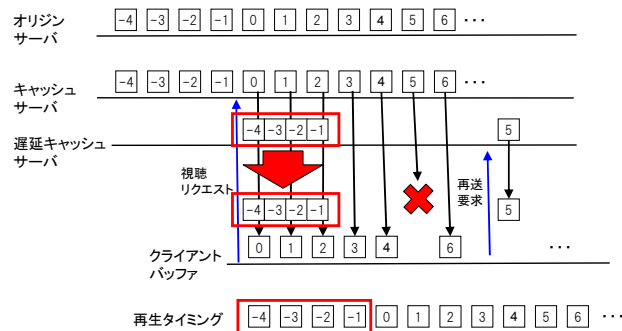


図2 遅延キャッシュサーバを利用した配信と再送制御

### 3.3 再送制御

本方式では、キャッシュサーバからクライアントへの配信中に欠落したと判断されたデータは、そのシーケンス番号を指定して再送制御を行う。再送制御は遅延キャッシュサーバが行う。ストリーミングデータの配信経路とは異なる経路で再送できるため、再送データの QoS 性能向上と QoE の改善が期待できる。

### 3.4 再送タイミング決定手法

再送制御は、クライアントがデータ欠損が発生したと判断した際にクライアントから遅延キャッシュサーバに再送要求することで行う。再送要求が早すぎた場合、ジッタによって到着が遅れていたデータを欠落データと誤判断し、無駄な再送処理を行う可能性がある。一方、再送要求が遅すぎた場合、欠落データの再生すべき時刻に再送処理が間に合わない恐れがある。このため、再送要求を行うタイミングを適切に決定する必要がある。

提案手法における再送タイミングの決定には、バッファに蓄積されたデータのシーケンス番号と到着時刻、再生すべき時刻（タイムスタンプ値）を用いる。ここでシーケンス番号  $i$  番目のデータのタイムスタンプ値を  $T_i$  とし、 $i$  番目のデータがクライアントに到着した時刻を  $R_i$  とする。

本手法では、再送タイミングの決定のために再送成功範囲を推定する。再送成功範囲とは、再送要求を行う上で、前述の問題が起こらないようにできる時間軸上の範囲である。再送成功範囲は、上限時刻  $b_{upper}$  と下限時刻  $b_{under}$  から定める。 $i$  番目のデータが到着しない場合を考えると、 $b_{upper}$  は再送に要する時間を考慮し、タイムスタンプ値  $T'_i$  から再送処理にかかる最長の時間を引いた時刻以前の、できるだけ遅い時刻とすることを目標とする。同様に下限時刻はジッタを考慮し、データ  $i$  がジッタによって最も遅れた場合の到着時刻以後の、できるだけ早い時刻とすることを目標とする。

上限時刻の推定のために、まず未知の  $T'_i$  を推定する必要がある。バーストロスに対応するため、 $T'_i$  以前のデータである  $T_{i-1}$  と  $T_{i-2}$  を用いて以下のように推定を行う。

$$T'_i = T_{i-1} + (T_{i-1} - T_{i-2}) \quad (1)$$

これは直前のデータのタイムスタンプ値  $T_{i-1}$ 、 $T_{i-2}$  の差分は  $T'_i$ 、 $T_{i-1}$  の差分に近いものとして推定を行っている。またバーストロスによって  $i+1$  番目のデータも到着しない場合、推定した  $T'_i$  を用いて同様に  $T'_{i+1}$  を推定する。

次に再送処理にかかる最長の時間  $RT_{max}$  は、再送処理を行う度に最大値で更新する。以上より、上限時刻  $b_{upper}$  を

$$b_{upper} = T'_i - RT_{max} \quad (2)$$

と推定する。 $RT_{max}$  の初期値は、往復伝搬遅延を考慮して決定する。

下限時刻の推定には、これまで受信したデータにおけるタイムスタンプ値と到着時刻の差を用いる。本方式では、クライアントのバッファリング量は再生開始時から維持される。そのため、受信したデータのジッタは、そのタイムスタンプ値と到着時刻の差の揺らぎとして現れる。つまりジッタによって到着が遅れるほど、タイムスタンプ値と到着時刻の差は小さくなる。したがって、 $i-1$  番目までに受信したデータの中で、到着が遅れる方向に最大のジッタが発生した場合の到着時刻とタイムスタンプ値の差  $B_{min}^{i-1}$  は、

$$B_{min}^{i-1} = \min(T_{i-1} - R_{i-1}, B_{min}^{i-2}) \quad (3)$$

で求めることができる。以上より、下限時刻  $b_{under}$  を

$$b_{under} = T'_i - B_{min}^{i-1} \quad (4)$$

と推定する。

最後に再送要求タイミングを再送成功範囲の中央値とし、この時刻までに  $i$  番目のデータが到着していない場合、再送要求を行う。

## 4. まとめ

本稿では遅延キャッシュサーバの導入により高いジッタ・パケットロス耐性を確保するストリーミング方式を提案した。今後は提案方式におけるパラメータ設定についての検討、提案システムの実装及び、提案システムによりストリーミングにおける QoE が向上されたかについて評価を行う。

## 参考文献

- [1] Ustream: <http://www.ustream.tv/> (accessed 2011.6)
- [2] 佐々木力、田上敦士、長谷川輝之、阿野茂浩、“複数マルチキャストを用いた IP 放送の高速チャネルザッピング手法”、電子情報通信学会論文誌.B, Vol.J92-B, No.4, pp.615-623, Mar.2009