

放送通信融合環境における端末伝送型 ストリーミング配信を用いた再生中断時間短縮手法

高原 颯人¹ 後藤 佑介¹

概要: 近年の放送通信融合環境の急速な発達にともない、音楽や映像といった連続メディアデータを受信しながら再生するストリーミング配信が注目されている。放送通信融合環境では、サーバは放送方式と通信方式を両方用いて、データを複数のセグメントに分割してユーザに配信するネットワークを構築する。ユーザは、サーバが構築した配信ネットワークに接続して、放送方式でデータの後半部分のセグメントを受信しながら通信方式で残りのセグメントを受信することで、再生中断時間を短縮する。これまでの研究では、サーバは、各ユーザで算出される現在の再生時刻から次に再生中断が発生する時刻までの余裕時間を考慮して、放送方式と通信方式で配信するセグメントをそれぞれスケジューリングすることで、再生中断時間を短縮する手法が提案されてきた。しかし、データを視聴するユーザ数が増加すると、ユーザが所望するセグメントの配信時間が遅くなり、再生中断時間が長大化する。本研究では、放送通信融合環境において、ネットワークに接続している端末同士が必要なデータを送受信する端末伝送型ストリーミング配信を用いてユーザの再生中断時間を短縮する Shortest Extra Time considering User Behavior (SET-UB) 法を提案する。提案手法では、従来の放送方式と通信方式による配信とともに、すべてのセグメントをもつ端末であるスーパーノードが端末間でセグメントをストリーミング配信することで再生中断時間を短縮する。提案手法を用いた評価では、既存手法と比較して再生中断時間を最大で約 29.1% 短縮できることを確認した。

1. はじめに

デジタルネットワーク技術の急速な発達 [1] により、音楽や映像といった連続メディアデータを受信しながら再生するストリーミング配信が注目されている。ストリーミング配信の処理方式はいくつか挙げられるが、本研究で想定するストリーミング配信では、データはセグメントと呼ばれる複数の部分に分割され、サーバはデータを再生するユーザごとにあらかじめ設定し、ユーザは再生開始時刻にデータの再生を開始する。また、連続メディアデータは再生中に途切れが発生しない一続きのデータであるため、サーバは、ユーザがデータを途切れなく再生できるようにセグメントを配信する必要がある。

ストリーミング配信において、ユーザが再生開始時刻までにセグメントの受信を完了していない場合、ユーザの再生は中断する。そこで、この再生中断時間を短縮するスケジューリング手法が提案されている [2-7]。これらのスケジューリング手法は、放送方式を用いる手法と、通信方式

を用いる手法の 2 種類に分類される。放送方式でデータを配信する放送型配信では、サーバは複数のユーザにデータをまとめて配信でき、サーバの負荷を軽減できる。一方で、ユーザは再生に必要なセグメントが放送されるまで待つ必要があり、視聴要求と同時に再生を開始できない。通信方式でデータを配信するオンデマンド型配信では、サーバはユーザの視聴要求に応じて必要なセグメントを配信することで、ユーザは所望するデータを早く受信でき、再生中断時間を短縮できる。一方で、視聴要求が集中する人気番組を配信する場合、サーバはデータの配信に必要な帯域幅が増加し、通信速度は低下する。

放送方式および通信方式それぞれで構築する配信システムにおける問題点は、相補的な関係にある。そこで、ユーザが放送サーバと通信サーバの両方からデータを受信する環境として、放送通信融合環境が検討されている [8]。放送通信融合環境では、サーバは放送方式と通信方式を両方利用して、データを構成する複数のセグメントをユーザに配信するネットワーク（以下、配信ネットワーク）を構築する。ユーザは、サーバの配信ネットワークに接続して、放送方式でデータの後半部分のセグメントを受信しながら通信方式で残りのセグメントを受信することで、再生時に

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology,
Okayama University

発生する中断時間（以下、再生中断時間）を短縮する。

これまでの研究で、ユーザのデータ再生中に、サーバが各ユーザについて現在の再生時刻から次に再生中断が発生する時刻までの時間（以下、余裕時間）を考慮した上で、放送方式と通信方式でそれぞれ配信するセグメントをスケジューリングして再生中断時間を短縮する手法である Grouped Shortest Extra Time per Client（以下、G-SET-C 法）[10] が提案されてきた。また、筆者らの研究グループでは、G-SET-C 法において考慮されていないデータ視聴中に離脱したユーザの通信帯域幅を利用することで、G-SET-C 法に比べてより再生中断時間を短縮する SET-Hybrid Broadcasting（以下、SET-HB 法）[11] を提案した。しかし、これらの手法では、配信ネットワークに参加している間にユーザ数の増加や動画再生時間の長大化が発生すると、配信ネットワークに途中から参加したユーザが所望するセグメントの配信時間が遅くなり、再生中断時間は長大化する。

本研究では、放送通信融合環境において、ネットワークに接続している端末同士が必要なデータを送受信する端末伝送型ストリーミング配信を用いてユーザの再生中断時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、従来の放送方式と通信方式による配信とともに、すべてのセグメントをもつ端末であるスーパーノードが端末間でセグメントを配信することで、再生中断時間を短縮する。

2. 放送通信融合環境におけるデータ配信方式

2.1 概要

放送通信融合環境では、放送方式および通信方式の両方を用いて、ユーザにデータを配信する。放送方式では、サーバが放送帯域を用いてすべてのユーザに同じデータを同時に配信する放送型配信を用いる。また、通信方式では、サーバは通信帯域を用いてユーザごとにデータを送信するオンデマンド型配信を用いる。

2.2 放送型配信

図 1 に、放送型配信におけるネットワークの構成を示す。放送型配信では、サーバは受信を要求するすべてのユーザに同じデータを同時に配信できる。サーバは一定の帯域幅でデータを配信でき、ユーザの数が増加してもデータ配信の処理負荷や使用する帯域幅の増加を抑制できる。一方で、ユーザは、データを要求してから再生を開始するまでの間に再生中断時間が発生する。

2.3 オンデマンド型配信

図 2 に、オンデマンド型配信におけるネットワーク構成を示す。オンデマンド型配信では、サーバはデータの受信を要求するユーザごとに帯域幅を確保して、ユーザにデータを送信する。サーバは、ユーザの要求に応じてデータを

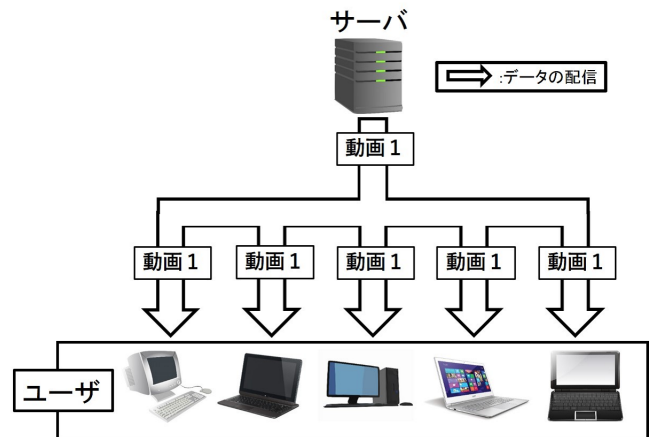


図 1 放送型配信のネットワーク構成

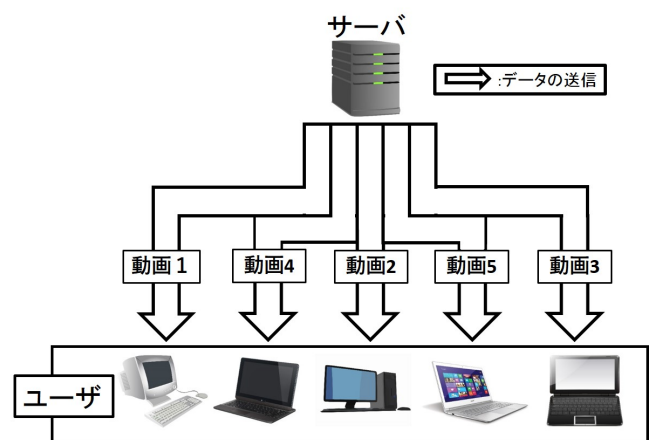


図 2 オンデマンド型配信のネットワーク構成

送信するため、ユーザの数が増加するほど、処理負荷や使用する帯域幅は増加する。一方で、ユーザが必要とする帯域幅の合計がサーバで使用できる帯域幅を上回ると、サーバにおけるデータの送信時間は長大化し、ユーザの再生中断時間は長大化する。

3. 放送通信融合環境

3.1 配信ネットワーク

図 3 に、放送通信融合環境における配信ネットワークの構成を示す。放送システムから放送型配信で放送されるデータを受信可能なエリア（以下、放送エリア）では、ユーザはデータを受信すると同時に、サーバからオンデマンド型配信で残りのデータを受信する。

3.2 再生中断時間発生仕組み

放送通信融合環境における再生中断時間発生仕組みについて説明する。図 4 に、ユーザがサーバからデータを受信しながら再生する様子を示す。サーバはデータを N 個のセグメント (S_1, \dots, S_N) に分割し、放送チャンネルと通信チャンネルを用いて、受信を要求するユーザにセグメントを配信する。 S_1 は連続メディアデータを N 分割したとき

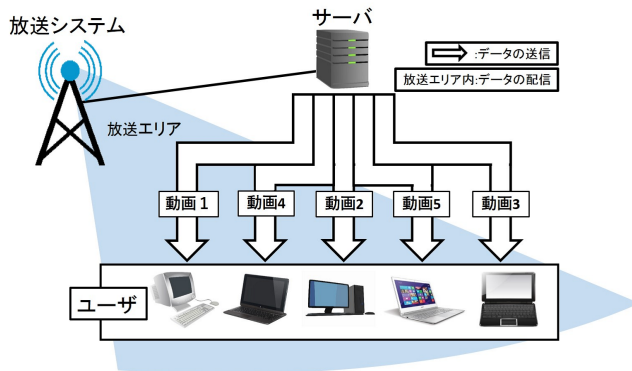


図3 放送通信融合環境における配信ネットワークの構成

の1番目の部分であり、右に行くほど時間が経過している。ユーザは、サーバにデータの受信を要求した後、次に配信されるセグメントから受信を開始する。受信したセグメントはバッファに保存され、ユーザは S_1 の受信が完了するとデータの再生を開始する。放送チャンネルと通信チャンネルの帯域幅はそれぞれ 5.0 Mbps、再生レートは 5.0 Mbps とする。サーバは、放送チャンネルと通信チャンネルを一つずつもち、ユーザ A、B とそれぞれ接続する。また、配信中は各タイムスロット $t_i (i \geq 0)$ において、サーバは放送チャンネルと通信チャンネルでそれぞれ配信するセグメントを決定する。

図4の場合、時刻 t_0 にユーザ A がデータの受信をサーバに要求すると、サーバは放送チャンネルで S_1 、通信チャンネルで S_2 を順番にスケジューリングし、ユーザ A に配信する。次に、時刻 t_1 にユーザ B がデータの受信を要求すると、サーバは放送チャンネルで S_1 、通信チャンネルで S_3 を順番にスケジューリングし、ユーザ A、B に配信する。このとき、ユーザ A は S_3 、ユーザ B は S_1 および S_3 をそれぞれ受信する。また、ユーザ B の再生中断時間は、ユーザ A と同様に、 S_1 の受信時間のみとなる。次に、時刻 t_2 では、サーバは放送チャンネルで S_2 、通信チャンネルで S_4 を順番にスケジューリングし、ユーザ A は S_4 、ユーザ B は S_2 および S_4 をそれぞれ受信する。最後に、時刻 t_3 以降では、ユーザ A、B は S_5 以降のセグメントを要求する。このとき、ユーザ A、B の再生中断時間は、どちらも S_1 の受信時間のみとなる。サーバは、通信チャンネルを用いず、放送チャンネルのみを用いて S_5 以降のセグメントを順番に配信する。以上より、サーバは、新規のユーザ要求に対して、通信チャンネルでセグメントを配信できる。また、サーバは、放送チャンネルと通信チャンネルを両方使用することで、受信を要求するユーザの平均再生中断時間を短縮できる。

4. 端末伝送型ストリーミング配信

4.1 概要

端末伝送型ストリーミングは、Peer-to-Peer (P2P) 技術を用いて配信ネットワークに接続している端末同士が必要

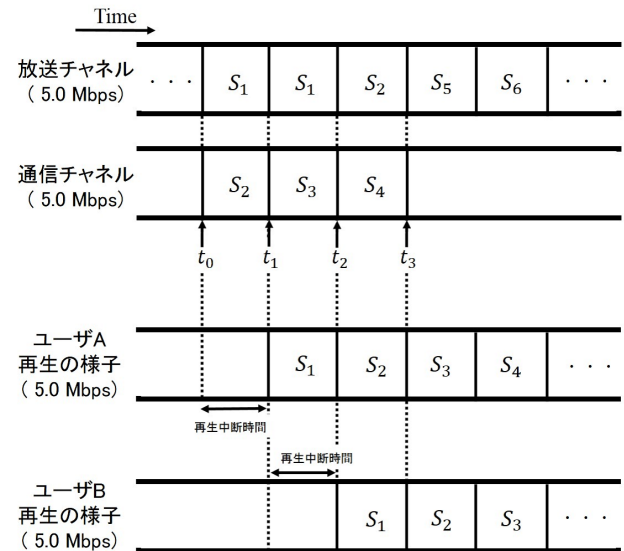


図4 放送通信融合環境におけるデータ配信

なデータを送受信する通信モデルである。各ユーザが不足するデータを互いに補うことで、再生中断時間を短縮し、サーバの負荷を軽減する。

端末伝送型ストリーミング配信の通信モデルとして、3種類挙げられる。一つ目は、サーバがユーザの IP アドレスをもち、データの送受信はユーザ同士で行うハイブリッド P2P である。二つ目は、IP アドレスの検索やデータの送受信をユーザのみで行うピュア P2P である。三つ目は、すべてのデータをもつスーパーノードがデータを送受信するスーパーノード型 P2P である。本研究では、サーバがユーザごとに配信するセグメントを算出する提案手法に適しているスーパーノード型 P2P を用いる。

4.2 提案手法の配信ネットワーク

本研究で想定するスーパーノード型 P2P による提案手法の配信ネットワークの構成を図5に示す。3章で述べた放送通信融合環境の配信ネットワークと同様に、ユーザは放送型配信とオンデマンド型配信を利用してデータを受信しながら、スーパーノードから端末伝送型ストリーミング配信を利用してデータを受信する。スーパーノードは、サーバ側で管理している配信ネットワークの情報を用いて、ユーザにセグメントを配信できる。

5. 関連研究

5.1 概要

放送通信融合環境において再生中断時間を短縮する既存のスケジューリング手法として、Shortest Extra Time per Client (SET-C) 法 [9]、G-SET-C 法 [10]、および筆者らの研究グループで提案した SET-HB 法 [11] の3種類が挙げられる。以下で、順番に説明する。

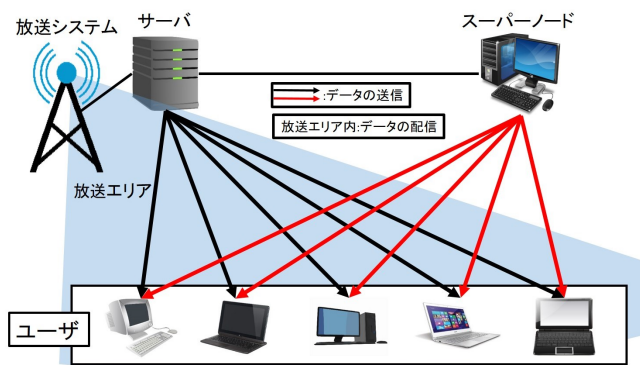


図 5 提案手法のネットワーク構成

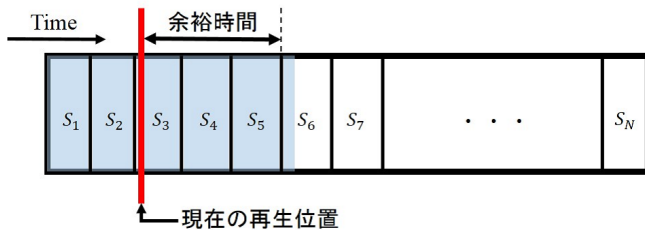


図 6 余裕時間の発生例

5.2 SET-C 法

SET-C 法では、サーバは、ユーザの余裕時間を考慮した上で、各セグメントの配信終了時刻において次に配信するセグメントを決定する。図 6 に、余裕時間の発生例を示す。赤の縦線は現在の再生位置を示し、青色部の領域は受信済みのデータを示す。図 6 において、ユーザは S_6 を受信しているため、余裕時間は現在時刻から S_6 の再生開始時刻までの時間である。

SET-C 法における放送方式では、サーバはすべてのユーザに対して余裕時間を計算し、余裕時間がもっとも短いユーザが要求するセグメントを配信する。すべてのユーザがデータの受信を完了するまでこの手順を繰り返すことで、再生中断時間を短縮する。一方、通信方式では、サーバはユーザの視聴要求と同時に、通信チャンネルで残りのセグメントを配信する。

SET-C 法の問題点として、セグメントの配信を完了するたびに、次に配信するセグメントを決定する必要がある。データ配信中に新規のユーザが受信を要求する場合、このユーザの余裕時間は 0 であるため、サーバは S_1 を放送する。このとき、他のユーザは既に S_1 を受信しているため、多くのユーザで余裕時間が短くなり、再生中断時間は長大化する。

5.3 G-SET-C 法

G-SET-C 法は、SET-C 法の問題点を改良したスケジューリング手法である。G-SET-C 法における放送方式では、余裕時間に基づいて、 $G(G \geq 1)$ 個のセグメントを同時に連続してスケジューリングする。このとき、SET-C 法では新

規のユーザの受信要求に応じて S_1 をスケジューリングするが、G-SET-C 法では多くのユーザが要求するセグメントを優先してスケジューリングすることで、SET-C 法に比べて平均再生中断時間を短縮する。一方、G-SET-C 法における通信方式では、5.2 節で述べた SET-C 法の通信方式と同じ条件で、配信するセグメントを決定する。

しかし、G-SET-C 法で考慮する視聴契機は、新規のユーザが配信ネットワークに参加する場合のみであった。このため、ユーザがデータの視聴を中断して配信ネットワークから離脱する場合を考慮していない。

5.4 SET-HB 法

SET-HB 法は、ユーザの視聴契機としてユーザが配信ネットワークに参加する場合だけではなく、離脱する場合も考慮してスケジューリングする手法である。サーバは、ユーザが配信ネットワークから離脱する場合、離脱したユーザに割り当てていた帯域幅を参加中のユーザに割り当てることで、ユーザの離脱を考慮していない G-SET-C 法に比べて、ユーザの再生中断時間を短縮する。

SET-HB 法の問題点として、配信ネットワークでユーザ数の増加や動画の再生時間の長大化が発生する場合、新規ユーザにおける前半部分のセグメントの受信時間が長大化し、ユーザ全体の平均再生中断時間は長大化する。

6. 提案手法

6.1 概要

放送通信融合環境において、端末伝送型ストリーミング配信を用いてユーザの再生中断時間を短縮するスケジューリング手法として、Shortest Extra Time considering User Behavior (SET-UB) 法を提案する。提案手法では、従来の放送方式と通信方式による配信とともに、すべてのセグメントをもつ端末であるスーパーノードが端末間でセグメントを配信する端末伝送方式を用いることで、再生中断時間を短縮する。

6.2 想定環境

提案手法における想定環境を箇条書きで記す。

- 放送方式では、放送型配信を行う。
- 通信方式では、オンデマンド配信を行う。
- 端末伝送方式では、端末伝送型ストリーミング配信により、スーパーノードが他の端末に端末間でデータを配信する。
- サーバが放送方式および通信方式でそれぞれ使用できる帯域幅は、それぞれ上限をもつ。
- サーバは、配信するデータをすべてもつスーパーノードと接続する。
- スーパーノードが使用できる帯域幅は上限をもつ。
- ユーザは、放送方式、通信方式、および端末伝送方式

でデータを受信できる。

- ユーザは、再生するデータを構成するすべてのセグメントを受信できる。
- ユーザは、データを最初から最後まで、早送りおよび早戻しをせずに再生する。
- ユーザは、セグメントの受信完了と同時に再生できる。
- ユーザは、データの蓄積に十分な容量のバッファをもつ。

6.3 スケジューリング手順

提案手法のスケジューリング手順について説明する。提案手法では、各タイムスロット t_j ($j = x, x+1, \dots, x+G-1$) において、放送方式、通信方式、および端末伝送方式の順番でセグメントをスケジューリングする。各タイムスロットでは、すべての方式でスケジューリングが終了した後、次のタイムスロットへ移動し、 G 個のタイムスロット t_x, \dots, t_{x+G-1} において、すべてのチャンネルでセグメントのスケジューリングが完了するまで繰り返す。また、 G 個のタイムスロットでスケジューリングが完了した後、次の G 個のタイムスロットでスケジューリングを行い、以降繰り返す。

各方式のスケジューリングについて、以降の項で説明する。

6.3.1 放送方式におけるスケジューリング

提案手法における放送方式では、各ユーザの余裕時間に着目する。配信ネットワークに参加するすべてのユーザに配信するセグメントをスケジューリングすることで、より多くのユーザの余裕時間を長大化する。

時刻 t_j ($j = x, x+1, \dots, x+G-1$) について、放送方式におけるセグメントのスケジューリング手順は以下の通りである。

- (1) サーバの配信ネットワークに接続している各ユーザの余裕時間を算出する。
- (2) サーバは、余裕時間が一番短いユーザが要求するセグメントを放送チャンネルにスケジューリングする。このとき、時刻 t_x の場合のみ、配信ネットワークに接続してデータを要求する新規ユーザは、スケジューリングの対象外とする。また、複数のユーザで余裕時間が同じとなる場合、サーバは、もっとも早い時刻にデータの受信を開始したユーザから順番に、要求するセグメントをスケジューリングする。

6.3.2 通信方式におけるスケジューリング

提案手法における通信方式では、各ユーザの再生中断時間に着目する。サーバは、再生中断時間が発生しているユーザに対してセグメントをスケジューリングすることで、ユーザの再生中断時間を短縮する。

通信方式を用いた場合におけるセグメントのスケジューリング手順は、以下の通りである。

- (1) 時刻 t_j に放送方式でスケジューリングしたセグメントを考慮して、サーバは時刻 t_j から t_{j+1} の間で再生中断時間が発生したユーザをすべて求める。
- (2) 手順 (1) で求めたユーザのうち、再生中断時間が一番長いユーザから順番に、要求するセグメントを通信チャンネルの数だけスケジューリングする。なお、再生中断時間が発生しているユーザの数が通信チャンネルの数を下回る場合、残りの通信チャンネルではセグメントをスケジューリングしない。また、複数のユーザで再生中断時間が同じとなる場合、サーバは、もっとも早い時刻にデータの受信を開始したユーザから順番に、要求するセグメントをスケジューリングする。

6.3.3 端末伝送方式におけるスケジューリング

提案手法における端末伝送方式では、各ユーザで要求するセグメント S_i の番号 i に着目する。既存手法では、通信方式において、サーバは時刻 t_{j+1} で余裕時間が 0 となるユーザが要求するセグメントをスケジューリングしない。提案手法では、端末伝送方式でスーパーノードがこのセグメントを配信することで、既存手法に比べて再生中断時間の発生回数を減少できる。

端末伝送方式を用いた場合におけるセグメントのスケジューリング手順は、以下の通りである。

- (1) 時刻 t_i において各ユーザが要求するセグメントを算出する。
- (2) サーバは、時刻 t_i においてもっとも若番のセグメントを要求するユーザに対して、スーパーノードとの端末間でチャンネルを作成し、要求するセグメントをスケジューリングする。

6.4 導入方法

6.3.1, 6.3.2 および 6.3.3 項で述べたスケジューリング手順をもとに、既存手法 SET-HB 法および提案手法 SET-UB 法のスケジューリング例を説明する。同時割り当てセグメント数 G は 2, 参加ユーザ数は 3, 放送帯域は 2.0 Mbps, 通信帯域は 1 ユーザのみに 2.0 Mbps を割り当てる。また、提案手法の場合、端末伝送方式で用いる端末間チャンネルの帯域幅は 2.0 Mbps とする。

6.4.1 SET-HB 法のスケジューリング例

図 7 に、SET-HB 法のスケジューリング例を示す。時刻 t_0 における余裕時間について、ユーザ 1 は S_5 を受信済みで 0.5 sec., ユーザ 2 は S_4, S_5 を受信済みで 1.0 sec., およびユーザ 3 は新規に受信を要求するため 0 sec. である。

はじめに、放送方式において、新規ユーザを除いて余裕時間が一番短いユーザ 1 が要求する S_6 をスケジューリングする。次に、通信方式において、 t_0 から t_1 の間で再生中断時間が発生するユーザ 3 が要求する S_1 をスケジューリングする。その後、タイムスロットが t_1 に移動する。

時刻 t_1 における余裕時間について、ユーザ 1 は S_6 を

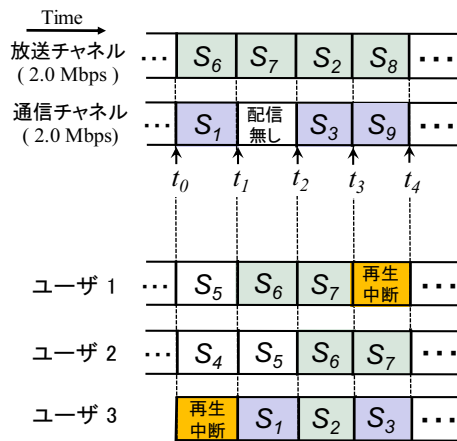


図 7 SET-HB 法のスケジューリング例

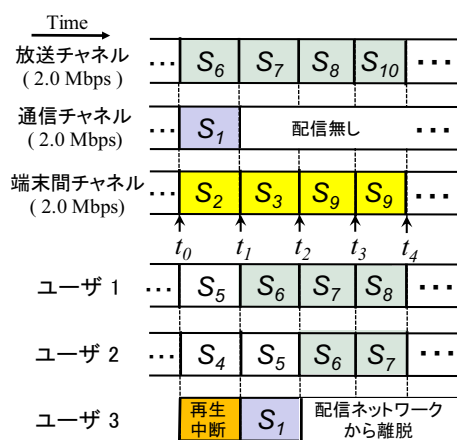


図 8 提案手法のスケジューリング例

受信済みで 0.5 sec., ユーザ 2 は S_5, S_6 を受信済みで 1.0 sec., およびユーザ 3 は S_6 を受信済みで 0.5 sec. である。はじめに、放送方式において、余裕時間が一番短いユーザ 1, 3 のうち、より早い時刻にデータの受信を開始したユーザ 1 が要求する S_7 をスケジューリングする。次に、通信方式において、 t_1 から t_2 の間で再生中断時間が発生するユーザは無いため、セグメントをスケジューリングしない。以降、 G 個ずつタイムスロットが移動してスケジューリングを行う。

図 7 の場合、ユーザ 1 における t_3 から t_4 の間、およびユーザ 3 における t_0 から t_1 と t_2 から t_3 の間で、再生中断時間がそれぞれ発生する。

6.4.2 提案手法のスケジューリング例

図 8 に、SET-UB 法のスケジューリング例を示す。条件は 6.4.1 項と同じであり、ユーザ 3 が時刻 t_0 で配信ネットワークに接続し、時刻 t_2 で配信ネットワークから離脱する場合を考える。

時刻 t_0 において、放送方式で S_6 、通信方式で S_1 をそれぞれスケジューリングする。次に、端末伝送方式では、ユーザ 1, 2 が S_7 、ユーザ 3 が S_2 をそれぞれ要求しており、ユーザから要求されたセグメントのうちもっとも若番

となる S_2 をスケジューリングする。この後、タイムスロットが t_1 に移動する。

時刻 t_1 において、放送方式で S_7 をスケジューリングし、通信方式では該当するユーザが無いためスケジューリングしない。次に、端末伝送方式では、ユーザ 1, 2 が S_8 、ユーザ 3 が S_3 をそれぞれ要求しており、ユーザから要求されたセグメントのうちもっとも若番となる S_3 をスケジューリングする。

時刻 t_2 において、ユーザ 3 が配信ネットワークから離脱する。このとき、放送方式で S_8 をユーザ 1, 2 に配信し、端末伝送方式で S_9 をユーザ 1 に配信する。また、時刻 t_3 において、放送方式で S_{10} をユーザ 1, 2 に配信し、端末伝送方式で S_9 をユーザ 2 に配信する。なお、通信方式では、時刻 t_2, t_3 それぞれにおいて、セグメントをスケジューリングしない。以降、 G 個ずつタイムスロットを移動させてスケジューリングを行う。

図 8 の場合、再生中断時間の発生はユーザ 3 における t_0 から t_1 の間のみとなり、既存手法に比べて再生中断時間を短縮する。また、SET-UB 法では、ユーザの離脱を考慮したスケジューリングを行うことで、再生中断時間の発生を抑える。

7. 評価

7.1 評価環境

提案手法である SET-UB 法の性能について、計算機シミュレーションによる評価を行う。はじめに、評価に用いる数値を表 1 に表す。評価に用いるデータは、MPEG2 の Low プロファイルで符号化した再生時間が 1 分の動画を想定する。セグメントは、0.5 秒分の GOP (Group of Pictures) をセグメントのデータサイズとする。また、各ユーザの通信帯域は一定とし、ユーザが使用する通信帯域の合計がサーバで使用できる帯域幅を上回る場合、各ユーザの通信帯域はサーバで使用できる帯域幅をユーザ数で除した値とする。ヘッダのサイズは、セグメントあたり 4 バイトとしたとき、データの ID、セグメントの ID、および合計セグメント数の情報を格納するため、合計で 12 バイトとなる。セグメントサイズは、GOP を想定したデータサイズとヘッダのサイズの合計となり、 $2.0Mbps/8 \times 0.5sec \times 1000 + 12Bytes/1000 = 125.012KBytes$ とする。同時に配信スケジュールへ割り当てられるセグメント数 G は 8、離脱ユーザ割合は 50% とする。

7.2 評価に用いる手法

本研究では、提案手法の有用性を確認するため、提案手法である SET-UB 法、および既存手法 G-SET-C 法と SET-HB 法の 3 種類について、平均再生中断時間を比較する。平均再生中断時間は、すべてのユーザにおける再生中断時間の合計を最後まで接続したユーザ数で除した値である。評価では、7.1 節で述べた評価環境に基づき、以下の 5

表 1 評価に用いる項目および値

項目	値
動画の再生時間	1 分
再生レート	2.0 Mbps
放送チャンネル数	1 個
放送帯域幅	8.0 Mbps
通信帯域幅	1.0 Mbps
スーパーノードの帯域幅	8.0 Mbps
サーバが使用できる帯域幅	30 Mbps
参加ユーザ数	200 人
離脱ユーザ割合	50%(100 人)
セグメントのデータサイズ	125.012 kBytes
ヘッダのサイズ	12 Bytes
同時割り当てセグメント数 G	8

項目について平均再生中断時間を導出する。評価に用いる値を以下に示す。

- サーバの放送帯域
- ユーザの通信帯域
- 同時割り当てセグメント数 G
- 参加ユーザ数
- 離脱ユーザ割合

7.3 ユーザの視聴契機

提案手法におけるユーザの平均参加間隔また平均離脱間隔は、一般的な到着間隔であるポアソン分布に従う。また、配信ネットワークから離脱するユーザは、参加中のユーザからランダムに選択される。

7.4 サーバの放送帯域における影響

サーバの放送帯域が 1.0 Mbps から 8.0 Mbps の範囲で変化した場合における平均再生中断時間の変化について、動画の再生時間が 1 分の場合の結果を図 9 に示す。横軸はサーバの放送帯域、縦軸は平均再生中断時間とする。

図 9 より、提案手法の平均再生中断時間は既存手法 G-SET-C 法および SET-HB 法より短い。サーバの放送帯域が増加すると G 個のセグメントの配信時間が短くなり、再生中断時間は短縮する。また、放送帯域が 1.0 Mbps から 2.0 Mbps の間で、平均再生中断時間は大きく変化した。サーバの放送帯域が 1.0 Mbps の場合、ユーザの通信帯域と同じとなる。このとき、通信方式によるセグメントの配信回数が増加し、ユーザ全体で使用する通信帯域が増加するため、再生中断時間が長大化するユーザ数が増加し、平均再生中断時間は長大化する。

7.5 ユーザの通信帯域による影響

ユーザの通信帯域が 1.0 Mbps から 8.0 Mbps の範囲で変化した場合における平均再生中断時間の変化について、動画の再生時間が 1 分の場合の結果を図 10 に示す。横軸はユーザの通信帯域、縦軸は平均再生中断時間とする。ま

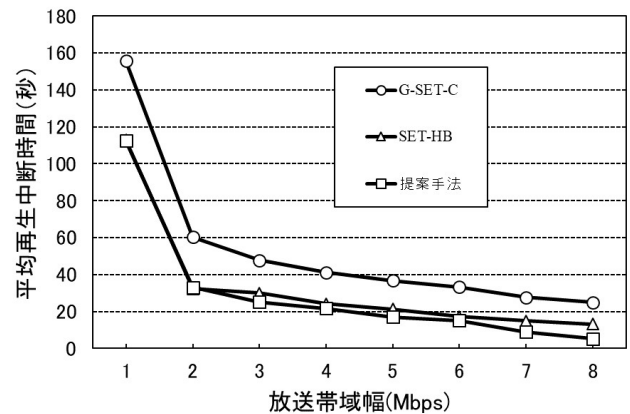


図 9 サーバの放送帯域と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

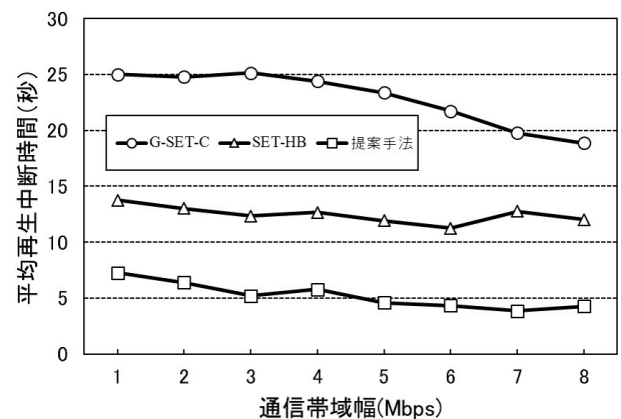


図 10 ユーザの通信帯域と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

た、受信を要求するユーザ数の増加に応じて通信帯域の割当て契機を同じにするため、ユーザの通信帯域に比例してサーバが使用できる帯域幅を変化させる。例えば、ユーザの通信帯域が 1.0 Mbps およびサーバで使用できる帯域幅が 30 Mbps の場合、ユーザの通信帯域を 2.0 Mbps に変化すると、サーバで使用できる帯域幅は $30 \times 2 = 60$ Mbps となる。

図 10 より、提案手法の平均再生中断時間は既存手法 G-SET-C 法および SET-HB 法より短い。ユーザの通信帯域が増加すると、セグメントの配信時間が短くなり、平均再生中断時間は短縮する。

7.6 同時割り当てセグメント数 G による影響

同時割り当てセグメント数 G が 1 から 10 の範囲で変化した場合における平均再生中断時間の変化について、動画の再生時間が 1 分の場合の結果を図 11 に示す。横軸は同時割り当てセグメント数 G 、縦軸は平均再生中断時間とする。

図 11 より、提案手法の平均再生中断時間は既存手法 G-SET-C 法および SET-HB 法より短い。しかし、すべての手法について、 G が変化しても平均再生中断時間はそれ

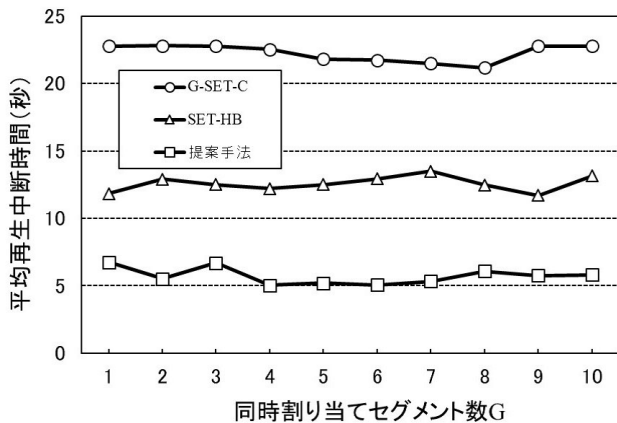


図 11 同時割り当てセグメント数 G と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

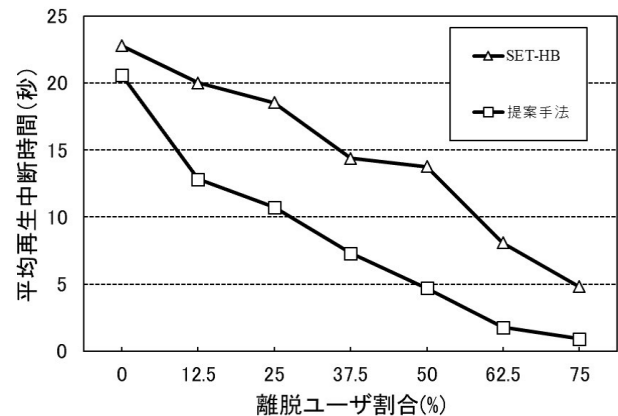


図 13 離脱ユーザ割合と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

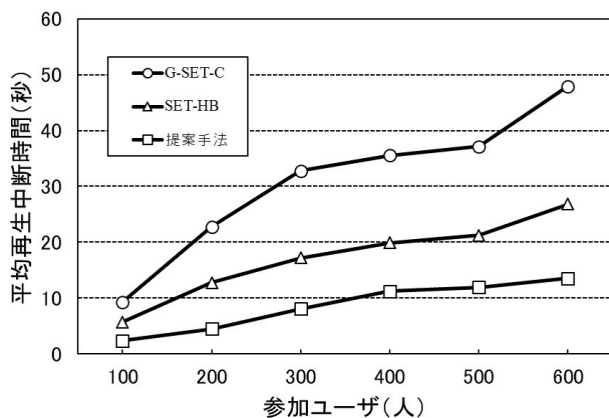


図 12 参加ユーザ数と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

ほど変化しなかった。評価に用いたスケジューリング手法では、余裕時間を計算した上で、ユーザが要求するセグメントを割り当てることができている。

7.7 参加ユーザ数による影響

参加ユーザ数が 100 から 600 の範囲で変化した場合における平均再生中断時間の変化について、動画の再生時間が 1 分の場合の結果を図 12 に示す。横軸はユーザ数、縦軸は平均再生中断時間とする。

図 12 より、提案手法の平均中断時間は既存手法 G-SET-C 法および SET-HB 法より短い。ユーザ数が増加すると、スケジューリングの候補となるセグメント数が増加する。このとき、ユーザの受信時間が増加するため、平均再生中断時間は長大化する。

7.8 離脱ユーザ割合による影響

離脱ユーザ割合が 0% から 75% の範囲で変化した場合における平均再生中断時間の変化について、動画の再生時間が 1 分の場合の結果を図 13 に示す。横軸は離脱ユーザ割合、縦軸は平均再生中断時間とする。なお、既存手法 G-SET-C

法は離脱が発生しない手法であるため、提案手法と既存手法 SET-HB 法で比較する。参加ユーザ数は 200 とし、ユーザ離脱割合に応じたユーザが離脱する。例えば、離脱ユーザ割合が 25% の場合、離脱ユーザ数は $200 \times 0.25 = 50$ となる。

図 13 より、提案手法の平均中断時間は既存手法 SET-HB 法より短い。提案手法では、既存手法 SET-HB 法で用いている配信ネットワークから離脱するユーザが使用していた通信帯域を用いてスケジューリングする。また、スーパーノードを用いて、ユーザが要求するセグメント S_i の中で i が最小であるセグメントをスケジューリングする。このため、SET-HB 法と比べて再生中断時間を短縮できる。また、離脱ユーザ割合が増加すると、離脱するユーザ数が増加するため、平均再生中断時間は短縮する。

8. おわりに

本研究では、放送通信融合環境において、端末伝送型ストリーミング配信を用いて配信スケジュールを作成することでユーザの再生中断時間をより短縮する SET-UB 法を提案した。提案手法では、放送方式と通信方式とともに、スーパーノードから端末伝送型ストリーミング配信を用いた端末伝送方式でセグメントを配信することで、ユーザの再生中断時間を短縮する。評価では、サーバの放送帯域、ユーザの通信帯域、同時割り当てセグメント数 G 、参加ユーザ数、離脱ユーザ割合の 5 種類について、提案手法である SET-UB 法、および既存手法である G-SET-C 法と SET-HB 法で発生する再生中断時間を比較した。評価の結果、すべての評価項目について、提案手法は G-SET-C 法および SET-HB 法に比べて再生中断時間を短縮できることを確認した。

今後の予定として、スーパーノードを複数用いた場合のスケジューリングの評価が挙げられる。また、スーパーノード以外のユーザが他のユーザに対してセグメントを送受信できるデータ配信環境の構築が挙げられる。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C））（課題番号：18K11265）の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 総務省：情報通信白書令和元年版（オンライン），入手先 <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/>>（参照 2019-11-18）.
- [2] Guo, Y., Suh, K., Kurose, J. and Towsley, D. : A Peer-to-Peer On-demand Streaming Service and Its Performance Evaluation, Proc. 2003 IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2003), pp.649-652 (2003).
- [3] Tran, D., Hua, K. and Do, T. : Zigzag: An Efficient Peer-to-Peer Scheme for Media Streaming, Proc. 22nd IEEE INFOCOM Conference, Vol.2, pp.1283-1292 (2003).
- [4] Cohen, B. : Incentives Build Robustness in BitTorrent, Proc. 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, pp.1-5 (2003).
- [5] Guo, Y., Suh, K., Kurose, J. and Towsley, D. : P2Cast: Peer-to-peer Patching Scheme for VoD Service, Proc. 12th International Conference on World Wide Web (WWW), pp.301-309 (2003).
- [6] Xu, D., Hefeeda, M., Hambrusch, S. and Bhargava, B. : On Peer-to-Peer Media Streaming, Proc. 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2002), Vol.1, pp.363-371 (2002).
- [7] Shah, P. and Paris, J.-F. : Peer-to-Peer Multimedia Streaming Using BitTorrent, Proc. 26th International Performance of Computers and Communication Conference (IPCCC 2007), pp.340-347 (2007).
- [8] NHK : 放送通信融合の現在と今後に向けた研究の取り組み，入手先 <<https://www.nhk.or.jp/strl/publica/rd/rd142/>>（参照 2019-11-18）.
- [9] 梅澤真弘，義久智樹，原隆浩，西尾章次郎：放送通信融合型ストリーミング配信環境における再生途切れ時間短縮のための動的なスケジューリング手法，電子情報通信学会技術研究報告（インターネットアーキテクチャ研究会 IA2012-52），Vol.112, No.302, pp.1-6 (2012).
- [10] 梅澤真弘，義久智樹，原隆浩，西尾章次郎：放送通信融合環境における再生端末の受信済みデータを考慮したストリーミング配信手法，情報処理学会論文誌，Vol.54, No.11, pp.2349-2359 (2013).
- [11] 高原颯人，後藤佑介：放送通信融合環境におけるユーザの視聴契機を考慮した再生中断時間短縮手法の提案，情報処理学会研究報告，Vol.2018-DPS-175, No.22, pp.1-7 (2018) .