

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

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使用して、データを分割した複数のセグメントをユーザに配信するネットワークを構築する。ユーザは、サーバの配信ネットワークに接続して、放送方式で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、再生中に発生する再生中断時間を短縮する。これまでの研究では、サーバは、各ユーザにおいて余裕時間と呼ば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時間を考慮して、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、既存手法では、ユーザがデータの視聴契機として配信ネットワークに参加する場合のみを考慮しており、データ再生中に興味を失い、再生途中で配信ネットワークから離脱する場合を考慮していない。本研究では、放送通信融合環境において、ユーザの視聴契機として配信ネットワークへの参加および離脱の両方を考慮し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短縮する手法として、Shortest Extra Time on Hybrid Broadcasting (SET-HB法) を提案する。提案手法では、サーバは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セグメントをスケジューリングすることで、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では、一般に、データはセグメントと呼ばれる複数の部分に分割される。本研究では、データを構成する最初のセグメントを受信するとすぐに再生するストリーミング配信ではなく、データを再生するユーザごとにあらかじめ設定された再生開始時刻にデータの再生を開始するストリーミング配信を対象とする。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、再生が中断される。そこで、この再生中断時間を短縮する様々な手法が提案されている [2], [3], [4], [5], [6], [7]。これらの手法

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 Near Video on Demand (以下、NVOD) 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、放送方式と通信方式の両方を組み合わせたストリーミング配信環境として、放送通信融合環境が検討されている。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、放送方式で後半部分にセグメントを受信しながら通信方式で残り

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

の部分のセグメントを受信することで、再生中断時間を短縮できる。

これまでの研究で、ユーザのデータ再生中に、サーバ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）を考慮して、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することで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）[9] が提案されている。しかし、G-SET-C 法では、ユーザがデータを視聴する契機（以下、視聴契機）として配信ネットワークに参加する場合のみを考慮しており、データの再生中に興味を失い、再生を中止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。

本研究では、放送通信融合環境において、ユーザの視聴契機として配信ネットワークへの参加および離脱の両方を考慮した再生中断時間短縮手法を提案する。提案手法では、サーバは配信ネットワークから離脱したユーザの通信帯域を用いて次に配信する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。

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 NVoD 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 Near Video on Demand

図 2 に、Near Video on Demand (NVoD) におけるネットワーク構成を示す。NVoD 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、サーバではデータの送信時間が長大化し、再生中断時間が長大化する。

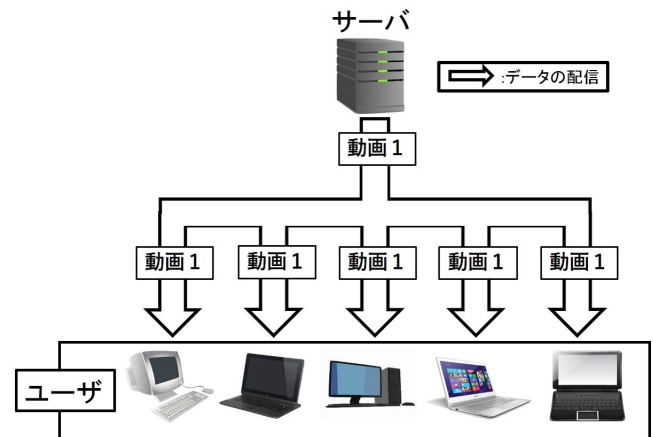


図 1 放送型配信のネットワーク構成

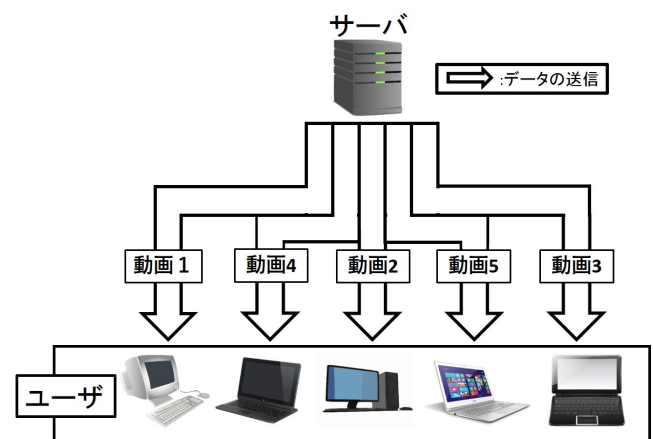


図 2 Near Video on Demand (NVoD) のネットワーク構成

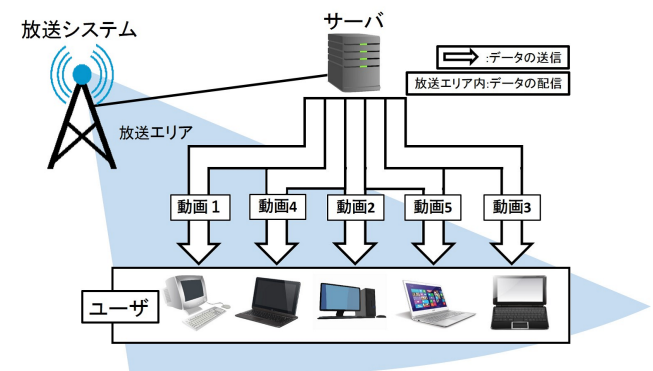


図 3 放送通信融合環境のネットワーク構成

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。放送システムによるデータ放送を受信可能なエリア（放送エリア）では、ユーザは放送システムから放送型配信で配信されるデータを受信すると同時に、サーバから NVoD で残りのデータを受信する。

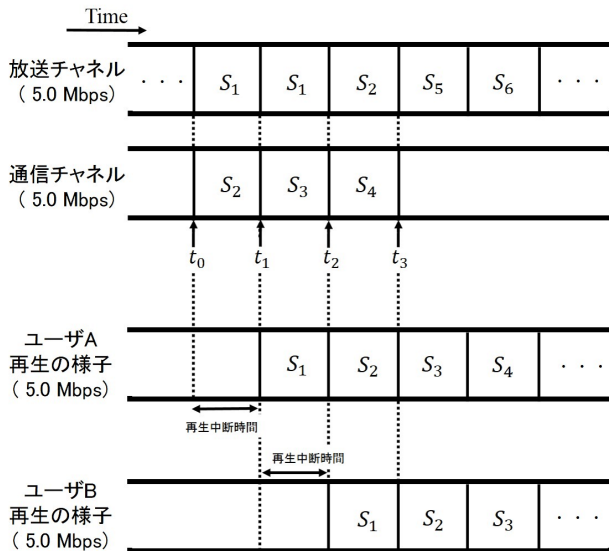


図 4 放送通信融合環境におけるデータ配信

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。ユーザがサーバからデータを受信して再生する様子を図 4 に示す。理解しやすい例として、ここでは、サーバがデータを N 個のセグメント (S_1, \dots, S_N) に分割して配信する場合を考える。 S_1 は、連続メディアデータを N 分割したときの 1 番目の部分である。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すると、次に放送されるセグメント (S_1) 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、 S_1 の受信が完了するとデータの再生を開始する。また、放送チャンネルと通信チャンネルの帯域幅をそれぞれ 5.0 Mbps、再生レートを 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。

図 4 の場合、ユーザ A が時刻 t_0 に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_2 をそれぞれ配信する。このとき、ユーザ A の再生中断時間は、 S_1 の受信時間のみとなる。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 をそれぞれ配信し、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。このとき、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。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 をそれぞれ配信し、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 とともに放送チャンネルで S_5 以降を順番に受信するため、通信チャンネルは利用しない。以上より、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、効率的にセグメントを配信できる。

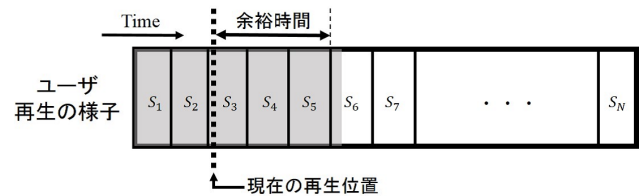


図 5 余裕時間の発生例

4. 関連研究

4.1 概要

放送通信融合環境では、通信方式および放送方式の配信状況をそれぞれ考慮して配信するセグメントを決定することで、再生中断時間を短縮するスケジューリング手法が数多く提案されている。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 [8]、および Grouped SET-C (G-SET-C) [9] 法の 2 種類が挙げられる。以下で、順番に説明する。

4.2 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、放送するセグメントを動的に決定する。余裕時間とは、現在の再生時刻から次に再生が中断する可能性がある時刻までの時間を表す。図 5 に、余裕時間の発生例を示す。太い点線は現在の再生位置を示し、灰色部の領域は受信済みのデータを示す。図 5 において、ユーザは S_6 の受信中であり、現在時刻から S_6 の再生開始時刻までの時間が余裕時間となる。

SET-C 法では、余裕時間がもっとも短いユーザに対してセグメントを配信するとともに、通信方式で残りのセグメントを配信する。放送方式では、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。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セグメントを配信するようにスケジューリングする。

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点が挙げられる。データ配信中に新規のユーザ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、サーバは放送方式で S_1 を配信する。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。

4.3 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セグメントを $G(G \geq 1)$ 個ずつスケジューリングする。新規のユーザの受信要求に応じてすぐに S_1 を配信せず、多くのユーザが要求するセグメントを先にスケジューリングすることで、SET-C 法に比べて再生中断時間を短縮する。一方、通信方式では、4.2 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。

G-SET-C 法では、余裕時間を考慮して、 G 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とで、SET-C 法に比べて再生中断時間を短縮する。しかし、G-SET-C 法で考慮する視聴契機は、ユーザが新たに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、ユーザが途中で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. 提案手法

5.1 概要

放送通信融合環境においてユーザの視聴契機を考慮して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 on Hybrid Broadcasting (以下、SET-HB 法) を提案する。サーバの配信ネットワークに対するユーザの視聴契機として参加と離脱の両方を考慮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。

5.2 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、NVod を行う。
- 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、上限をもつ。
- ユーザは、放送方式および通信方式の両方から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。

5.3 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基づいて、セグメントを G 個ずつスケジューリングする。また、スケジューリングした G 個のセグメントがすべて配信されると、次にスケジューリングする G 個のセグメントを決定する処理を繰り返す。

以下の手順で、配信スケジュールを作成する。

- (1) サーバの配信ネットワークに接続しているすべてのユーザの余裕時間を算出する。
- (2) 手順 1 で算出した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スケジューリングする。このとき、新たに配信ネットワークに参加して S_1 の受信を要求するユーザの余裕時間は 0 であるが、サーバはすぐに S_1 をスケジューリングせず、すべてのユーザの余裕時間に基づいて決定する。また、 $G=1$ の場合、手順 6 へ。
- (3) 直前にスケジューリングしたセグメントの放送終了時刻に基づき、すべてのユーザの余裕時間を算出する。
- (4) 手順 3 で算出した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スケジューリングする。
- (5) G 個のセグメントがスケジューリングされるまで手順 3, 4 を繰り返した後、サーバはスケジューリングされた G 個のセグメントを順番に放送する。
- (6) G 個のセグメントを放送完了後、手順 1 に戻り、すべてのユーザがデータの受信を完了するまでスケジューリングを繰り返す。

なお、余裕時間が同じユーザが複数ある場合、もっとも早い時刻に視聴要求を行ったユーザを優先する。

5.4 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、サーバはユーザの視聴要求と同時に、通信チャネルでセグメントを配信する。このとき、サーバは以下の条件 1, 2, 3 を考慮して、通信方式で配信するセグメントを決定する。

- (条件 1) 放送完了時刻までに再生中断が発生するセグメント
- (条件 2) 通信方式による受信完了時刻が放送方式より早いセグメント
- (条件 3) 現在の再生位置に近いセグメント

次に、通信方式でセグメントを配信する手順は、以下の通りである。

- (1) 放送チャネルで次に配信するセグメントの配信終了時刻に基づいて、すべてのユーザで再生中断時間を算出する。
- (2) 手順 1 で算出した再生中断時間が一番長いユーザを候補とし、この再生中断時間が通信方式によるセグメントの受信時間より長い場合、サーバは候補となるユーザが次に再生するセグメントをスケジューリングする。一方、逆の場合は、放送チャネルで次のセグメントを配信する時間帯において、通信チャネルでセグメントをスケジューリングしない。
- (3) 放送予定となる G 個のセグメントそれぞれについて、手順 1, 2 を繰り返す。

表 1 評価に用いる値

項目	値
動画の再生時間	1分, 5分
再生レート	2.0 Mbps
放送チャンネル数	1個
サーバが使用できる帯域幅	30 Mbps
セグメントのデータサイズ	125.012 kBytes
ヘッダのサイズ	12 Bytes
視聴要求するユーザの到着間隔	1秒 (一様分布)
セグメントの同時スケジューリング数 (G)	8

5.5 離脱契機

配信ネットワークにおける離脱契機について説明する。本研究では、放送チャンネルにスケジューリングした G 個のセグメントの配信時間を周期として、一定の周期でランダムに選択されたユーザが再生を中止し、配信ネットワークから離脱する。例えば、周期 L が 2 の場合、データ再生中のユーザのうち、2 周期ごとに 1 人のユーザを選択する。選択されたユーザは、再生を中止して配信ネットワークから離脱する。

6. 評価

6.1 評価環境

提案手法である SET-HB 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、5 分の 2 種類の動画を想定する。セグメントは、GOP (Group of Pictures) と呼ばれる再生の単位として、0.5 秒分の GOP をセグメントのデータサイズとする。放送チャンネルは 1 個とし、ユーザがデータの視聴要求を行う到着間隔は 1 秒で、一様分布とする。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が使用できる帯域幅を上回ると、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 バイトとする、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、 $2.0\text{Mbps}/8 \times 0.5\text{sec} \times 1000 + 12\text{Bytes}/1000 = 125.012\text{kBytes}$ とする。セグメントの同時スケジューリング数 G は 8 とする。また、離脱契機の周期は L とする。 $L = 0$ の場合、離脱を考慮しない場合であり、既存手法である G-SET-C 法と同じスケジューリングとなる。

6.2 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 SET-HB 法、および既存手法 G-SET-C 法の平均再生中断時間をそれぞれ比較する。平均再生中断時間は、すべて

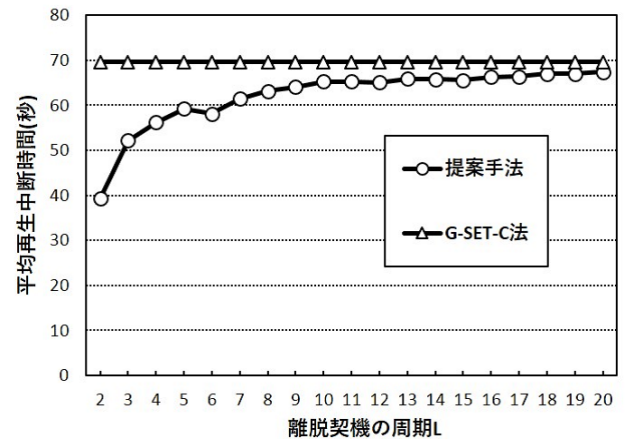


図 6 離脱契機の周期と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

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、6.1 節で述べた評価環境に基づき、再生時間が 1 分、5 分の 2 種類の動画データそれぞれについて、離脱契機の周期、サーバの放送帯域、ユーザの通信帯域、およびユーザ数の 4 項目で平均再生中断時間を評価する。

6.3 離脱契機の周期による影響

離脱契機の周期の変化に応じた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 6、および 5 分の場合の結果を図 7 にそれぞれ示す。横軸は離脱契機 L の周期、縦軸は平均再生中断時間とする。サーバの放送帯域は 8.0 Mbps、およびユーザの通信帯域は 1.0 Mbps とする。離脱契機の周期 L は 2 から 20 で変化させた。なお、 $L = 1$ の場合は、ユーザの参加契機よりも短い間隔で離脱が発生し、ユーザ数がとなるため、除外した。

図 6 および図 7 より、提案手法の平均再生中断時間は G-SET-C 法より短い。提案手法では、サーバは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ため、離脱契機を考慮しない G-SET-C 法と比べて再生中断時間を短縮できる。また、離脱契機の周期 L が増加すると、離脱するユーザ数が減少するため、離脱契機が発生しない G-SET-C 法の平均再生中断時間との差は小さくなる。例えば、動画の再生時間が 1 分で $L = 5$ のとき、提案手法の平均再生中断時間は約 59.2 秒、G-SET-C 法は約 69.4 秒となり、提案手法は G-SET-C 法に比べて平均再生中断時間を約 14.7% 短縮する。

6.4 サーバの放送帯域における影響

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 8、および 5 分の場合の結果を図 9 にそれぞれ示す。横軸はサーバの放送帯域、縦軸は

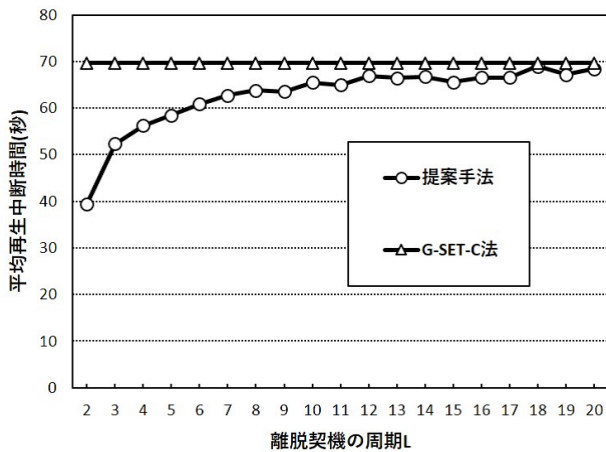


図 7 離脱契機の周期と平均再生中断時間 (動画: 5 分)

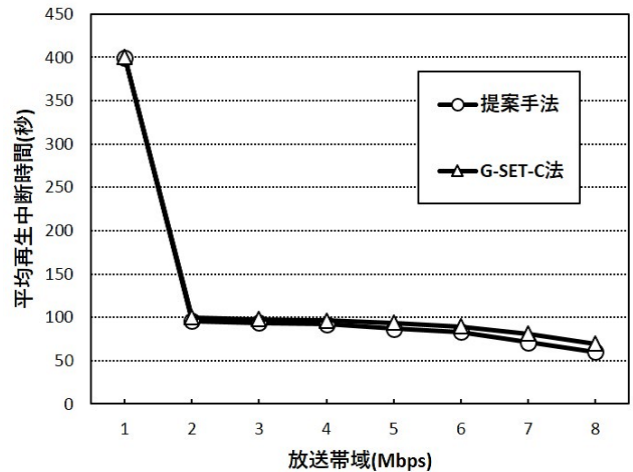


図 9 サーバの放送帯域と平均再生中断時間 (動画: 5 分)

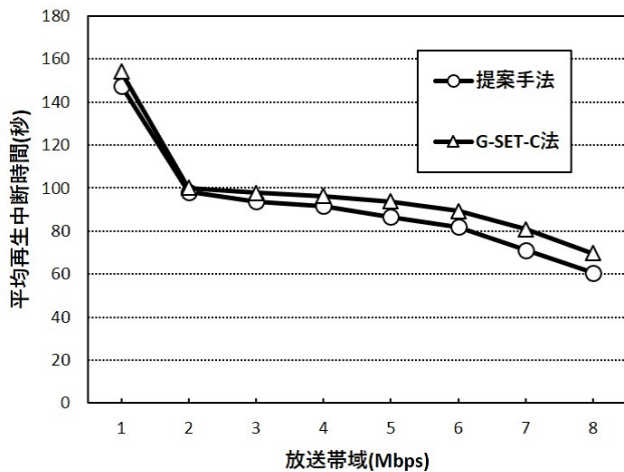


図 8 サーバの放送帯域と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

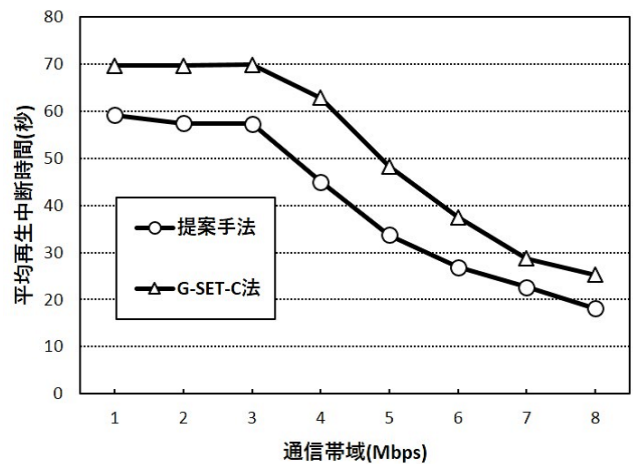


図 10 ユーザの通信帯域と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

平均再生中断時間とする。また、ユーザの通信帯域は 1.0 Mbps、および離脱契機の周期 L は 5 とする。

図 8 および図 9 より、提案手法の平均再生中断時間は G-SET-C 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、平均再生中断時間が長大化する。

6.5 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、および 5 分の場合の結果を図 11 にそれぞれ示す。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。サーバの放送帯域は 1.0 Mbps、および離脱契機の周期 L は 5 とする。また、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する。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、ユーザの通信帯域が 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 および図 11 より、提案手法の平均再生中断時間は G-SET-C 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。例えば、動画の再生時間が 1 分で通信帯域が 5.0 Mbps のとき、提案手法の平均再生中断時間は約 33.7 秒、G-SET-C 法は約 48.2 秒となり、提案手法は G-SET-C 法に比べて平均再生中断時間を約 30.1%短縮する。

6.6 ユーザ数の影響

ユーザ数が 100 から 600 の範囲で変化した場合における

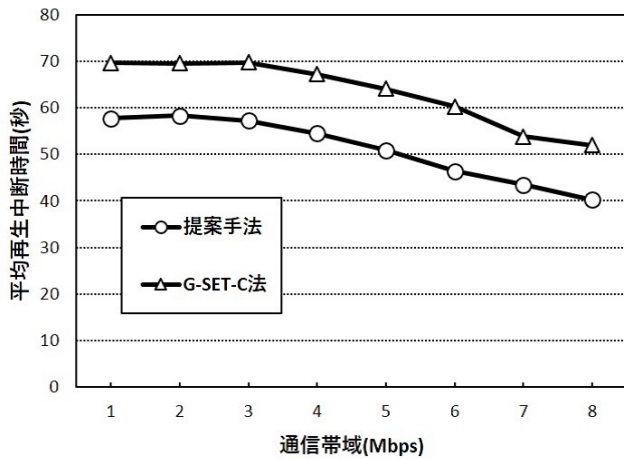


図 11 ユーザの通信帯域と平均再生中断時間 (動画: 5 分)

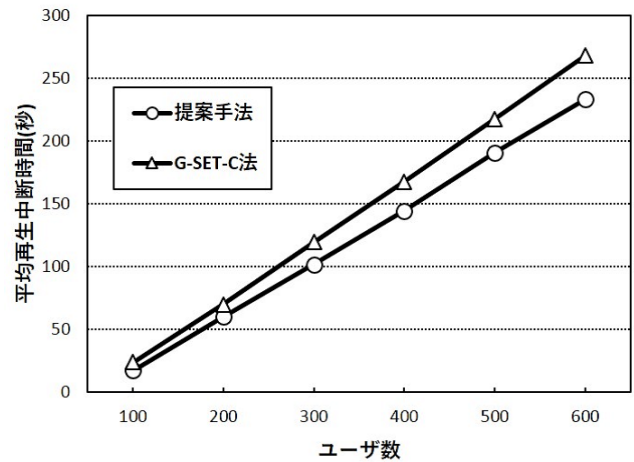


図 13 ユーザ数と平均再生中断時間 (動画: 5 分)

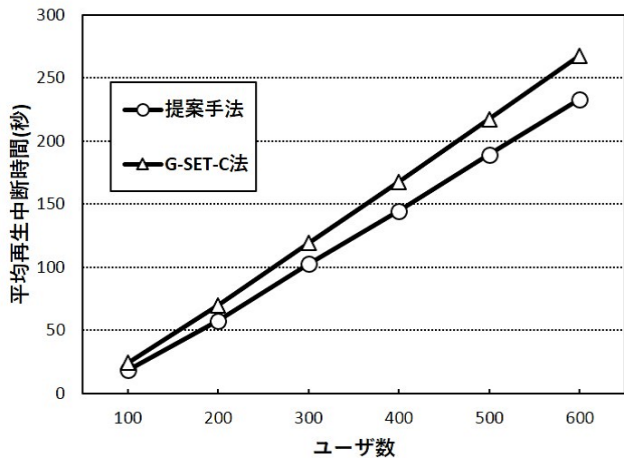


図 12 ユーザ数と平均再生中断時間 (動画: 1 分)

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、および5分の場合の結果を図13にそれぞれ示す。横軸はユーザ数、縦軸は平均再生中断時間とする。また、サーバの放送帯域は1.0 Mbps、ユーザの通信帯域は1.0 Mbps、および離脱契機の周期 L は5とする。

図12および図13より、提案手法の平均中断時間はG-SET-C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。

また、図12および図13の結果はほぼ同じであった。3.2節で説明したように、動画の再生時間が5分の場合、すべてのユーザが1分の動画の受信を完了する時刻において、サーバはユーザの余裕時間を考慮して、放送チャンネルのみを用いてセグメントを配信する。このため、動画の再生時間に関わらず、再生中断時間が長大化するユーザは発生せず、再生中断時間に影響を与えない。

7. おわりに

本研究では、放送通信融合環境においてユーザの視聴契機を考慮して再生中断時間を短縮するスケジューリング手法としてSET-HB法を提案した。提案手法では、サーバの配信ネットワークに対するユーザの視聴契機として参加と離脱の両方を考慮してセグメントをスケジューリングすることで、再生中断時間を短縮する。評価では、離脱契機の周期、サーバの放送帯域、ユーザの通信帯域、および受信要求を行うユーザ数の4種類について、提案手法および既存手法G-SET-C法でそれぞれ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、提案手法は再生中断時間をG-SET-C法に比べて短縮できることを確認した。

今後の予定として、動画の再生時間やユーザ数が膨大となる場合、およびユーザの平均到着間隔がポアソン分布となる場合における提案手法の評価が挙げられる。

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:18K11265,16K01065)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: 情報通信白書平成29年版(オンライン), 入手先 <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/>> (参照2018-04-17).
- [2] Cohen, B.: Incentives Build Robustness in BitTorrent, Proc. 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, pp.1-5 (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] 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).

- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 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).