

# 再生中断契機を考慮した動画データ放送における 待ち時間短縮手法の提案

## A Method to Reduce Waiting Time Considering Interruption of Playing Video Data

井上 勇† 後藤 佑介†  
Yu Inoue Yusuke Gotoh

### 1 はじめに

近年、計算機端末で動画を視聴するユーザが増加しており、サーバが動画データの配信で必要となる帯域幅は増大している [1]。このような場合、一定の帯域幅で同時に多数のクライアントに同じ動画データを配信する放送型配信が有効である。放送型配信では、サーバは使用する帯域幅を削減できるが、クライアントはデータの受信時に待ち時間が発生する。この待ち時間を短縮するため、動画データをセグメントと呼ばれる複数の部分に分割して複数の通信路で繰り返し配信することで待ち時間を短縮できる分割放送型配信の研究が行われている [2, 3]。

分割放送型配信において、複数のチャンネルによるセグメントの配信スケジュールを作成して待ち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きた。既存のスケジューリング手法である Earliest Deadline First scheduler (EDF 法) [9, 10] では、サーバはクライアントが動画再生中に途切れが発生する契機（以下、再生中断契機）に基づいて、配信するセグメントを決定する。EDF 法は、サーバが使用するチャンネル数が一定の場合に待ち時間を短縮する EDF considering Limited number of channels (EDF-L 法)、およびサーバがクライアントの再生中断契機に応じて使用するチャンネル数を変化させることで途切れが発生しない EDF considering Dynamic scheduling (EDF-D 法) の 2 種類に分類される [4]。しかし、EDF-L 法は、サーバで使用できるチャンネル数が固定であるため、同じ時間帯で配信するセグメント数がチャンネル数を上回る場合、クライアントは再生中に途切れが発生する。また、EDF-D 法では、サーバは動画データの受信を要求するすべてのクライアントに対して再生中の途切れが発生しないようにチャンネル数を決定するため、サーバが必要な帯域幅は大きく増加する。

本研究では、動画データの分割放送型配信において再生中断契機を考慮して再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。提案手法では、サーバが使用できる帯域幅および同じ時間帯で配信するセグメント数の両方を考慮してチャンネル数を設定することで、再生中の途切れの発生を抑えた上で待ち時間を短縮する。

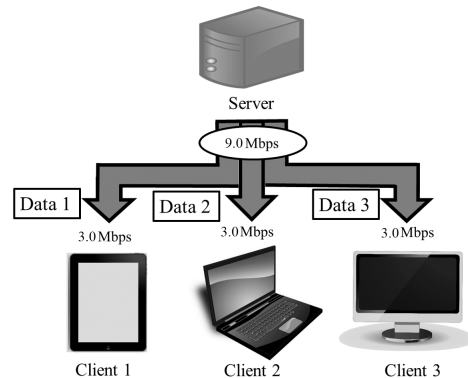


図 1 オンデマンド型配信による動画データの配信例

### 2 動画データの配信方式

#### 2.1 オンデマンド型配信

オンデマンド型配信は、YouTube [5] や Hulu [6] といった Video on Demand (VoD) による動画配信サービスで用いられる配信方式である。クライアントがサーバに動画データを要求すると、サーバは帯域幅を確保し、チャンネルを用いてクライアントに動画データを送信する。サーバはクライアントの要求に応じて動画データを送信するため、クライアントは要求した動画データを即時に再生開始できる。一方で、サーバはクライアントが動画データを要求するたびに帯域幅を確保する必要があるため、動画データを要求するクライアント数の増加に比例してサーバが使用する帯域幅は増加し、サーバの処理負荷は大きくなる。

オンデマンド型配信による動画データの配信例を図 1 に示す。図 1 では、3 台のクライアントがサーバに異なる動画データ 1, 2, 3 をそれぞれ要求する。サーバがクライアント 1 台あたり 3.0 Mbps の帯域幅を確保する場合、サーバが使用する帯域幅はクライアント数の増加に比例して増加するため、 $3.0 \times 3 = 9.0$  Mbps となる。

#### 2.2 放送型配信

放送型配信は、多くのクライアントが同じ動画データを受信する場合に用いられる配信方式である。即時性の高いスポーツ番組やコンサート映像のストリーミング配信、および特定の番組を一つのチャンネルで繰り返し配信する Communication Satellite (CS) デジタル放送 [7] における利用を想定している。

放送型配信による動画データの配信例を図 2 に示す。

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

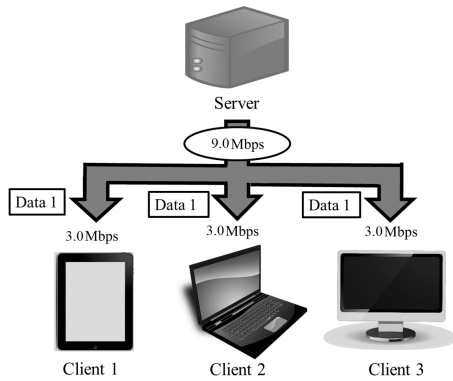


図2 放送型配信による動画データの配信例

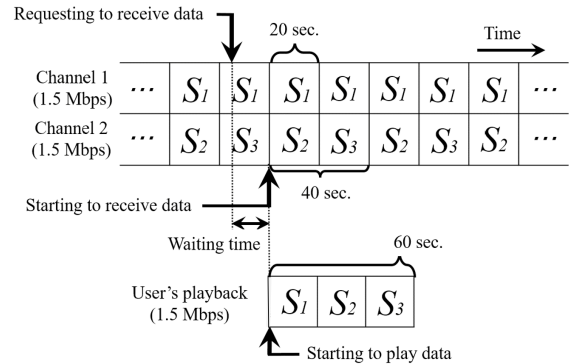


図4 FB法におけるスケジューリング例

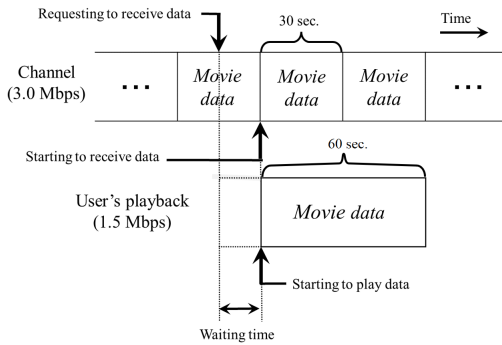


図3 放送型配信における待ち時間発生の様子

サーバは一定の帯域幅で同じ動画データを繰り返し配信し、クライアントは所望の動画データを受信して再生する。このため、サーバが使用する帯域幅は3.0 Mbpsとなる。放送型配信は、マルチキャストやブロードキャストといったサーバとクライアントが1対多の場合の配信方式であり、オンデマンド型配信と比べてサーバ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、クライアントは動画データの受信を要求してから再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する。

放送型配信において待ち時間が発生する様子を図3に示す。図3において、チャンネルの帯域幅を3.0 Mbps、動画データの再生レートを1.5 Mbps、再生時間を1分とする。サーバは複数のクライアントに同じ動画データを繰り返し配信する。放送型配信における待ち時間は、動画データの配信直後に受信要求を出した場合に最長となり、データ受信の1周期分となる。一方で、動画データの配信直前に受信要求を出した場合に最短となり、待ち時間の平均は0.5周期分となる。図3の場合、待ち時間の最長は $(60 \times 1.5) / 3.0 = 30$ 秒、最短は0秒となり、平均待ち時間は $(30 + 0) / 2 = 15$ 秒となる。

### 3 分割放送型配信

#### 3.1 概要

分割放送型配信は、放送型配信で発生する待ち時間を短縮するため、動画データを複数のセグメントに分割して、最初のセグメントを頻繁に配信することで待ち時間を短縮する配信方式である。最初のセグメントのデータサイズを小さくすることで再生開始までの待ち時間を短縮できるが、動画データの再生中にセグメント間で途切れが発生する。途切れが発生する場合、途切れ時間分だけ再生開始を遅らせて動画が途切れないようにするため、全体の待ち時間は長大化する。そこで、動画データの再生中に途切れが発生しないようにした上で待ち時間を短縮するため、動画データの配信条件に応じてセグメントの分割比率を決定するスケジューリング手法が提案されている。

#### 3.2 スケジューリング手法による待ち時間短縮

既存のスケジューリング手法の一つである Fast Data Broadcasting and Receiving Scheme (以下、FB法) [8] について述べる。FB法は、帯域幅を  $k$  個のチャンネルに分け、動画データを  $2^k - 1$  個のセグメントに等分割した上で、 $i$  ( $1 \leq i \leq k$ ) 番目のチャンネル  $C_i$  に連続した  $2^{i-1}$  個のセグメントを配置する手法である。

FB法の配信スケジュールを図4に示す。サーバが利用できる帯域幅、動画データの再生レート、および再生時間は、図3と同じとする。図4では、サーバの帯域幅を1.5 Mbpsの2つのチャンネルに分割した上で、一続きの動画データを3つのセグメント  $S_1, S_2, S_3$  に分割し、それぞれのチャンネルで繰り返し配信する。FB法では、データを  $2^k - 1$  個のセグメントに等分割するため、 $S_1, S_2, S_3$  の分割比率は等しく、再生時間はそれぞれ20秒となる。このとき、待ち時間は動画データの受信要求から  $S_1$  の先頭を受信開始するまでの時間であり、最長で  $(20 \times 1.5) / 1.5 = 20$  秒、最短で0秒、平均待ち時間は  $(20 + 0) / 2 = 10$  秒となる。データを分割しない場合、およびデータを2つに等分割する場合の平均待ち時間はどちらも15秒であり、スケジューリング手法を導入することで待ち時間を約33.3%短縮できる。

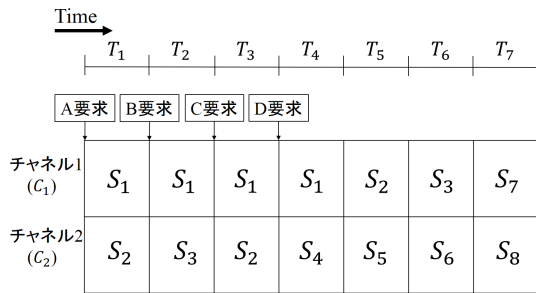


図5 EDF-L法におけるスケジューリング例

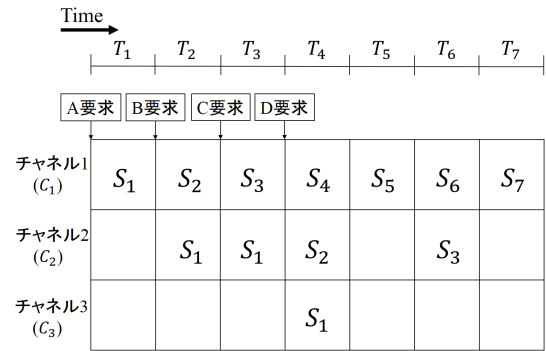


図6 EDF-D法におけるスケジューリング例

## 4 スケジューリング手法

### 4.1 Earliest Deadline First scheduler

既存のスケジューリング手法の一つである Earliest Deadline First scheduler (以下, EDF法) [9, 10] では, サーバは各クライアントの再生中断契機に基づいて再生中の途切れが発生する時刻 (以下, 途切れ発生時刻) を算出した上で, 途切れ発生時刻を考慮して配信するセグメントを決定することで, 再生中の途切れをできるだけ発生させないようにスケジューリングする。

EDF法は, 配信環境に応じて2種類のスケジューリング手法に分類される [4]。一つ目は, サーバが使用できるチャンネル数に上限をもつ EDF considering Limited number of channels (以下, EDF-L法) である。二つ目は, サーバが使用できるチャンネル数に上限がない EDF considering Dynamic scheduling (以下, EDF-D法) である。

#### 4.1.1 EDF-L法

EDF-L法では, サーバが使用できるチャンネル数に上限がある。各クライアントの途切れ発生時刻に基づいて同じ時間帯に配信する必要があるセグメント数がチャンネル数より少ない場合, サーバはこれらのセグメントを同じ時間帯ですべてスケジューリングする。一方で, 逆の場合では, サーバは同じ時間帯に配信する必要があるセグメントをすべて配信できず, 残りのセグメントを以降の時間帯で配信する。クライアントが配信すべき時間帯に配信できないセグメントを受信する場合, 再生中に途切れが発生する。

EDF-L法におけるスケジューリング例を図5に示す。図5では, サーバがスケジューリングで使用できるチャンネル数は二つとし, 各チャンネルの帯域幅はクライアントの再生レートと同じとする。また, クライアントA, B, C, Dがタイムスロットごとに連続して, サーバに動画の受信要求を行う。

はじめに, T<sub>1</sub>でクライアントAが受信を要求する場合, サーバはC<sub>1</sub>でS<sub>1</sub>を配信する。このとき, 次のセグメントであるS<sub>2</sub>をC<sub>2</sub>で配信する。次に, T<sub>2</sub>でクライアントBが受信要求を行う場合, サーバは, クライアントA, Bの途切れ発生時刻に基づいて, C<sub>1</sub>でS<sub>1</sub>を配信し, C<sub>2</sub>で未受信のクライアント数が一番多いS<sub>3</sub>を配信する。このとき, T<sub>2</sub>において, クライアントAはS<sub>3</sub>, およびクライアントBはS<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>をそれぞれ受信す

る。また, T<sub>3</sub>においてクライアントCが受信要求を行う場合, クライアントA, B, Cの途切れ発生時刻に基づき, サーバはC<sub>1</sub>でS<sub>1</sub>, およびC<sub>2</sub>でS<sub>2</sub>を配信する。さらに, T<sub>4</sub>においてクライアントDが受信要求を行う場合, クライアントA, B, C, Dの途切れ発生時刻に基づき, サーバはC<sub>1</sub>でS<sub>1</sub>, およびC<sub>2</sub>でS<sub>4</sub>を配信する。T<sub>5</sub>において, クライアントA, B, C, Dの途切れ発生時刻に基づき, サーバはS<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>5</sub>を配信する必要があるが, チャンネル数が2であるためすべてのセグメントを配信できず, S<sub>2</sub>とS<sub>5</sub>をランダムにスケジューリングする。このとき, クライアントCはS<sub>3</sub>を受信できず, 再生途切れが発生する。以下, サーバはT<sub>6</sub>でS<sub>3</sub>およびS<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>でS<sub>7</sub>およびS<sub>8</sub>をそれぞれ配信する。

図5の場合, クライアントCはT<sub>5</sub>でS<sub>3</sub>を受信できず, 途切れ時間が発生する。このため, タイムスロットの再生時間を $t$ とすると, すべてのクライアントの平均待ち時間は $\frac{5}{4}t$ となる。

#### 4.1.2 EDF-D法

EDF-D法では, サーバが使用できるチャンネル数に上限がない。このため, サーバは, 各クライアントの途切れ発生時刻に基づいて, 時間帯に配信するセグメント数と同じ数のチャンネルを設定する。EDF-D法では, クライアント数の変化に応じてチャンネル数が変化するため, サーバはクライアントが再生中に途切れが発生しないようにスケジューリングする。

EDF-D法におけるスケジューリング例を図6に示す。図6では, 図5と同様に, クライアントA, B, C, Dがタイムスロットごとに連続して動画の受信要求を行う。はじめに, T<sub>1</sub>でクライアントAが受信を要求する場合, サーバはC<sub>1</sub>でS<sub>1</sub>を配信する。次に, T<sub>2</sub>でクライアントBが受信要求を行う場合, サーバは, クライアントA, Bの途切れ発生時刻に基づいて, S<sub>1</sub>およびS<sub>2</sub>をスケジューリングする必要がある。このため, サーバはチャンネル数を1から2に増やし, C<sub>1</sub>でS<sub>2</sub>, およびC<sub>2</sub>でS<sub>1</sub>を配信する。このとき, T<sub>2</sub>において, クライアントAはS<sub>2</sub>, およびクライアントBはS<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>をそれぞれ受信する。また, T<sub>3</sub>においてクライアントCが受信要求を行う場合, クライアントA, B, Cの途切れ発生時刻に基づき, サーバはC<sub>1</sub>でS<sub>3</sub>, およびC<sub>2</sub>でS<sub>1</sub>を配信する。さらに, T<sub>4</sub>においてクライアントDが受信要求を行う場合, クライアントA, B, C, Dの途切れ発生時刻に基づ



表 1 定式化のための変数

記号	説明
$r$	再生レート
$B$	サーバが使用できる帯域幅
$N$	動画データのセグメント数
$S_i$	セグメント, $i = 1, \dots, N$
$M$	チャンネル数, $M = \lfloor B/r \rfloor$
$C_j$	チャンネル, $j = 1, \dots, M, C_j = \frac{B}{M}$
$T_k$	タイムスロット, $k \geq 1$
$t_k$	$T_k$ の再生時間
$N_k$	$T_k$ で配信すべきセグメント数

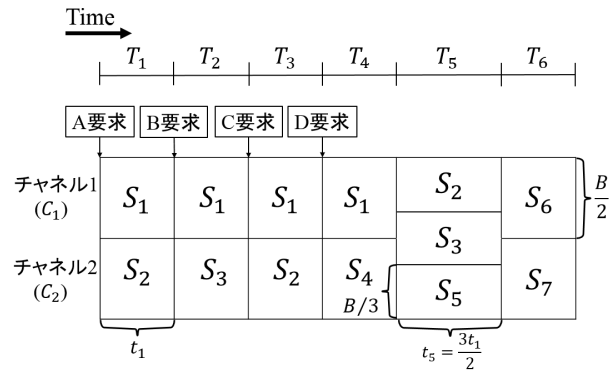


図 7 H-EDF 法におけるスケジューリング例

き, サーバは使用するチャンネル数を 2 から 3 に増やし,  $C_1$  で  $S_4$ ,  $C_2$  で  $S_2$ , および  $C_3$  で  $S_1$  を配信する. 以下, サーバはタイムスロットごとにチャンネル数を変化させて,  $T_5$  で  $S_5$ ,  $T_6$  で  $S_6$  および  $S_3$ ,  $T_7$  で  $S_7$  を配信する.

図 6 の場合, すべてのクライアントで再生中に途切れが発生せず, 平均待ち時間は  $t$  となり, EDF-L 法より短い. 一方で, サーバが使用する帯域幅は, EDF-L 法と比べて最大で 1.5 倍となる.

## 5 提案手法

### 5.1 概要

動画データの分割放送型配信において, 既存のスケジューリング手法である EDF-L 法および EDF-D 法を組み合わせる再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法として, Hybrid broadcast scheduling for Earliest Deadline First (以下, H-EDF 法) を提案する. H-EDF 法では, サーバは使用できる帯域幅をすべて用いた上で, 動画の受信要求を行うクライアントの途切れ発生時刻に基づいて, 同じ時間帯で配信するセグメント数と同じ数のチャンネルを用いてスケジューリングすることで, クライアントにおける再生中の待ち時間を短縮する.

### 5.2 想定環境

H-EDF 法を用いた配信において, 想定する環境を以下に示す.

- サーバは, 複数のチャンネルから同時にセグメントを配信できる.
- クライアントは, セグメントを完全に受信してから動画の再生を開始する.
- クライアントは, 動画データの蓄積に十分な容量のバッファをもつ.

### 5.3 スケジューリング手順

提案手法 H-EDF 法のスケジューリングは以下の手順で行う. 手順で用いる記号を表 1 に示す.

- (1)  $T_k$  において, 各クライアントの再生中断契機に基づき, 配信する必要があるセグメント数  $N_k$  を算出する.
- (2)  $N_k$  個のセグメントについて, 以下の条件に従いスケジューリングする.
  - (A)  $M = N_k$  の場合, 途切れ発生時刻に近いクライアントが必要とするセグメントから順番に,  $C_j$  にスケジューリングする.

- (B)  $M > N_k$  の場合, (A) と同様に,  $N_k$  個のセグメントを順番にスケジューリングする. 次に,  $N_k < \lfloor B/r \rfloor$  であれば, 未受信のクライアント数が多いセグメントを若番から順番に,  $(M - N_k)$  個のチャンネルにスケジューリングする. そうでなければ,  $M$  の値を  $N_k$  に更新する.

- (C)  $M < N_k$  の場合,  $M$  の値を  $N_k$  に更新した上で  $C_j$  を更新し, (A) と同様に,  $N_k$  個のセグメントを  $C_j$  に順番にスケジューリングする.

- (3)  $T_k$  を更新して, すべてのセグメントを配信するまで手順 (2) を繰り返す.

### 5.4 導入方法

H-EDF 法によるスケジューリング例を図 7 に示す. 図 7 では, 図 5 と同様に, クライアント A, B, C, D がタイムスロットごとに連続して動画の受信要求を行う.  $B = 6.0$  Mbps,  $r = 3.0$  Mbps とすると, 5.3 節のスケジューリング手順より,  $M = \lfloor 6.0/3.0 \rfloor = 2$ ,  $C_1 = C_2 = 3.0$  Mbps となる.

はじめに,  $T_1$  でクライアント A が受信要求を行う場合, サーバは, クライアント A の途切れ発生時刻に基づいて,  $C_1$  に  $S_1$  をスケジューリングする. このとき, 次のセグメントである  $S_2$  を  $C_2$  で配信するようにスケジューリングする. このため, クライアント A は  $T_1$  で  $S_1$  と  $S_2$  を受信する.

次に,  $T_2$  でクライアント B が受信要求を行う場合, クライアント A, B の途切れ発生時刻に基づいて,  $C_1$  に  $S_1$  をスケジューリングする. また, 未受信のクライアント数が一番多い  $S_3$  を  $C_2$  にスケジューリングする. よって,  $T_2$  において, クライアント A は  $S_3$ , クライアント B は  $S_1, S_3$  を受信する.

$T_3$  でクライアント C が受信要求を行う場合, クライアント A, B, C の途切れ発生時刻に基づき, サーバは  $S_1, S_2$  を配信するようにスケジューリングする. また,  $T_4$  においてクライアント D が受信要求を行う場合, クライアント A, B, C, D の途切れ発生時刻に基づき, サーバは  $S_1, S_4$  を  $C_1, C_2$  で配信するようにスケジューリングする.

$T_5$  において, クライアント A, B, C, D の途切れ発生時刻に基づき, サーバが配信する必要があるセグメントは  $S_2, S_3, S_5$  の 3 個となる. この場合, サーバは使用

表 2 スケジューリング手法の比較

	H-EDF 法	EDF-L 法	EDF-D 法
チャンネル数 ( $M$ )	$N_k > \lfloor B/r \rfloor$ のとき: $N_k$ 上記以外: $\lfloor B/r \rfloor$	$\lfloor B/r \rfloor$	$N_k$
チャンネルの 帯域幅 ( $C_j$ )	$B/M$	$B/M$	$r$
サーバの 帯域幅の 上限	$B$	$B$	$\infty$

するチャンネル数を 2 から 3 に増やし、 $C_1, C_2, C_3$  で  $S_2, S_3, S_5$  をそれぞれ配信するようにスケジューリングする。このとき、 $M = 3, C_1 = C_2 = C_3 = \frac{6.0}{3} = 2.0$  Mbps,  $t_5 = \frac{3}{2}t_1$  となる。最後に、 $T_6$  において、サーバが配信する必要があるセグメントは  $S_6, S_7$  の 2 個となるため、 $M = 2, C_1 = C_2 = \frac{6.0}{2} = 3.0$  Mbps,  $t_6 = t_1$  となり、 $C_1$  で  $S_6, C_2$  で  $S_7$  をスケジューリングする。

### 5.5 スケジューリング手法の比較

提案手法 H-EDF 法、既存手法 EDF-L 法および EDF-D 法の 3 種類について、チャンネル数、チャンネルの帯域幅、およびサーバの帯域幅の上限の関係を表 2 に示す。H-EDF 法では、サーバは配信するセグメント数によってチャンネル数を動的に変化させることで、チャンネル数が  $\lfloor B/r \rfloor$  に固定される EDF-L 法に比べて待ち時間を短縮する。また、EDF-D 法では、サーバは配信するセグメントの数だけチャンネル数を確保する必要があるため、サーバの帯域幅の上限はない。

## 6 評価

### 6.1 概要

提案手法である H-EDF 法について、待ち時間を評価する。本研究では、受信要求から  $S_1$  の受信完了までの初期遅延、および再生中に発生する動画データの途切れ時間の合計を待ち時間とする。比較対象として、EDF-L 法を用いる。EDF-D 法は、サーバの帯域幅に上限がないため途切れは発生せず、待ち時間は初期遅延のみとなり、途切れの影響がないため、評価に用いない。

### 6.2 評価環境

評価では、動画の受信時に発生する平均待ち時間を計算機シミュレーションで測定する。EDF-L 法において、配信するセグメント数がチャンネル数より多い場合、配信するセグメントの候補のうちチャンネルと同じ数のセグメントをランダムに選択してスケジューリングする。このため、EDF-L 法では、待ち時間の評価を 10 回行った平均値を用いる。

### 6.3 平均待ち時間と帯域幅

サーバの帯域幅に応じた平均待ち時間を比較評価した。クライアント数が 50 の場合を図 8、100 の場合を図 9 にそれぞれ示す。横軸はサーバが使用できる帯域幅とし、30 Mbps から 60 Mbps で変化させた。縦軸は平均待ち時間を示す。クライアント数は 50 および 100 とし、クライアントはタイムスロットごとにサーバに受信要求を行う。動画データの再生レートは 10 Mbps とした。チャンネル数は、サーバで使用できる帯域幅が 30

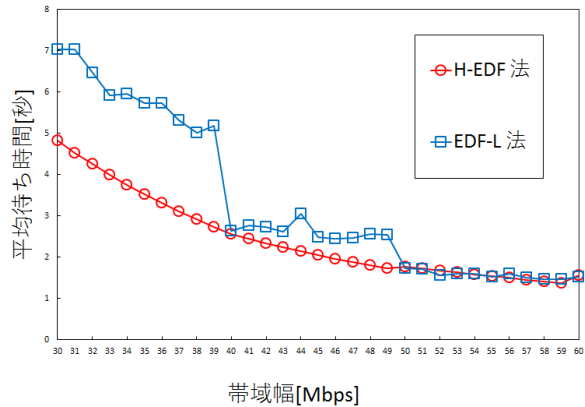


図 8 帯域幅と待ち時間 (クライアント数 = 50)

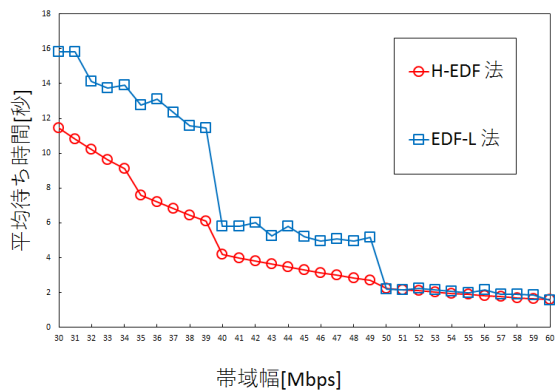


図 9 帯域幅と待ち時間 (クライアント数 = 100)

Mbps から 39 Mbps の場合は 3、40 Mbps から 49 Mbps の場合は 4、50 Mbps から 59 Mbps の場合は 5、および 60 Mbps の場合は 6 となる。

図 8, 9 より、クライアント数に関係なく、サーバで使用できる帯域幅が 49 Mbps 以下の場合、提案手法である H-EDF 法の平均待ち時間は既存手法である EDF-L 法より短い。H-EDF 法では、チャンネル数を変化して同じ時間帯で配信すべきセグメントをすべて配信するようにスケジューリングするため、再生中の途切れ発生を抑制できる。一方、EDF-L 法ではチャンネル数が固定されるため、同じ時間帯で配信すべきセグメントをすべてスケジューリングできない場合、待ち時間が長大化する。

また、サーバで使用できる帯域幅が 50 Mbps 以上の場合、H-EDF 法および EDF-L 法で平均待ち時間の差は小さい。使用する帯域幅の増加によりチャンネル数が増加し、H-EDF 法と EDF-L 法のスケジューリングはほぼ同じになる。

さらに、図 8, 9 より、クライアント数が増加すると、H-EDF 法および EDF-L 法における平均待ち時間の差は大きくなる。EDF-L 法ではチャンネル数を固定するため、受信要求を行うクライアント数の増加により途切れ時間が発生するクライアント数が増加し、平均待ち時間が長

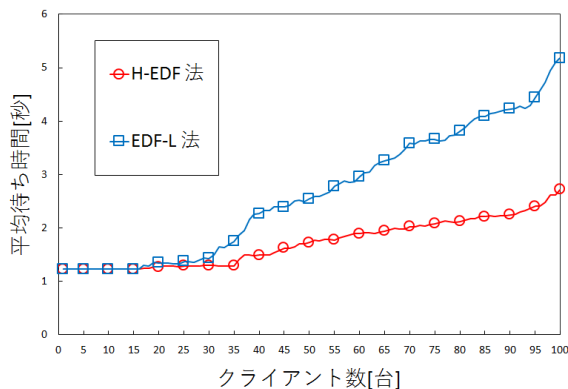


図10 クライアント数と待ち時間 (帯域幅 = 49 Mbps)

大化する。一方、H-EDF法では、同じ時間帯で配信すべきセグメントをすべて配信するようにスケジューリングするため、クライアント数が増加しても平均待ち時間の長大化を抑制できる。

#### 6.4 平均待ち時間とクライアント数

クライアント数に応じた平均待ち時間を評価した。評価結果を図10に示す。横軸はクライアント数であり、タイムスロットごとにクライアントを一つずつ追加した場合の最大数とした。縦軸は平均待ち時間である。動画データの再生レートを10 Mbps、サーバの帯域幅を49 Mbpsとする。この場合、H-EDF法およびEDF-L法のチャンネル数は4、各チャンネルの帯域幅は12.25 Mbpsとなる。

図10より、クライアント数に関係なく、H-EDF法の平均待ち時間はEDF-L法の平均待ち時間よりも短い。特に、クライアント数が100の場合、H-EDF法の待ち時間は約2.77秒、EDF-L法の待ち時間は約5.18秒となり、提案手法であるH-EDF法の待ち時間は既存手法であるEDF-L法と比べて約52.5%短縮した。

以上より、提案手法であるH-EDF法は、クライアント数が多い場合、および使用できるチャンネル数が少ない場合において、既存手法と比べて待ち時間を短縮できる。

## 7 おわりに

本研究では、動画データの分割放送型配信において、再生中断契機を考慮して再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法としてHybrid broadcast scheduling for EDF (H-EDF法)を提案した。提案手法では、サーバが使用できる帯域幅と同じ時間帯に配信する必要があるセグメント数の両方を考慮してチャンネル数を設定することで、再生中の途切れ発生を抑え、待ち時間を短縮する。評価の結果、クライアント数が多い場合、また、使用できるチャンネル数が少ない場合、提案手法H-EDF法の待ち時間は既存手法であるEDF-L法に比べて短縮できることを確認した。例えば、クライアント数が100台、およびサーバで使用できる帯域幅が49 Mbpsの場合、H-EDF法の待ち時間は約2.77秒、EDF-L法の待ち時間は約5.18秒となり、H-EDF法の待ち時間はEDF-L法と比べて約52.5%短縮する。

今後の予定として、クライアントの受信要求がポアソン分布に従う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)、および公益財団法人電気通信普及財団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.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h29/pdf/index.html>> (参照2018-06-27).
- [2] Yoshihisa, T. and Nishio, S.: A Division-based Broadcasting Method Considering Channel Bandwidths for NVoD Services, *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.59, Issue 1, pp.62-71 (2013).
- [3] 井上祐輔, 木村明寛, 後藤佑介: 複数動画を同期配信する分割放送型配信システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.58, No.2, pp.356-365 (2017).
- [4] Aggarwal, V., Calderbank, R., Gopalakrishnan, V., Jana, R., Ramakrishnan, K. K. and Yu, F.: The Effectiveness of Intelligent Scheduling for Multicast Video-on-Demand, *Proc. 17th ACM Int. Conf. Multimedia*, pp.421-430 (2009).
- [5] YouTube: YouTube(オンライン), 入手先 <<https://www.youtube.com/>> (参照2018-06-27).
- [6] Hulu: Hulu(オンライン), 入手先 <<https://www.happyon.jp/>> (参照2018-06-27).
- [7] (一社)衛星放送協会: 衛星放送協会のしくみ, 衛星放送協会(オンライン), 入手先 <<http://www.eiseihoso.org/guide/howto.html>> (参照2018-06-27).
- [8] Juhn, L. and Tseng, L.: Fast Data Broadcasting and Receiving Scheme for Popular Video Service, *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.44, No.1, pp.100-105 (1998).
- [9] Moyal, P.: On Queues with Impatience: Stability, and The Optimality of Earliest Deadline First, *Queueing Systems: Theory and Applications*, Vol.75, Issue 2-4, pp.211-242 (2013).
- [10] Doytchinov, B., Lehoczky, J., and Shreve, S.: Real-time Queues in Heavy Traffic with Earliest-deadline-first Queue Discipline, *The Annals of Applied Probability*, Vol.11, No.2, pp.332-378 (2001).