Vol.2021-DPS-188 No.13
Vol.2021-EIP-93 No.13
2021/9/10

動画データの分割放送型配信におけるチャネルの帯域幅を考慮した配信スケジュールの動的更新手法の提案

勝野 恵太[1]　後藤 佑介[2]

概要：地上波デジタルテレビ放送やワンセグメント放送といったマルチメディア放送が普及し，音声や映像といった連続メディアデータを放送型で配信する技術に注目が集まっている．放送型配信では，多くのクライアントに一定の帯域幅でデータを受信できる一方で，クライアントはデータの受信要求から配信開始までの間で待ち時間が発生する．この待ち時間を短縮するため，データを幾つかのセグメントと呼ばれる部分に分割して複数のチャネルで配信する分割放送型配信に関する研究が進められ，セグメントの配信契機を決定するスケジューリング手法が数多く提案されている．既存のスケジューリング手法では，配信中に帯域幅の変化による配信環境の動的更新を考慮しておらず，配信開始後に配信スケジュールを更新できない．本研究では，動画データの分割放送型配信において帯域幅を考慮した配信スケジュールの動的更新手法を提案する．提案手法では，更新前後における帯域幅の変化に基づいて，すべてのクライアントが動画データを受信できるように配信スケジュールを更新することで，受信時の待ち時間を短縮する．

1. はじめに

近年，スマートフォンが急速に普及し，モバイル端末によるインターネットの利用が拡大している [1]．このため，インターネットによる映像視聴方法は多様化し，Internet Protocol (IP) ネットワークを用いて動画データを配信するサービスが増えている．

IP ネットワークを用いた動画データの配信方式の一つである放送型配信では，サーバは一定の帯域幅ですべてのクライアントに動画データを配信するため，クライアント数が増加しても使用する帯域幅は増加しない．一方で，放送型配信ではクライアントが受信を要求してから動画を再生するまでの間に待ち時間が発生する．この待ち時間を短縮するため，動画データを複数のセグメントに分割し，複数のチャネルで配信する分割放送型配信が提案されてきた．また，分割放送型配信において，データ受信時に発生する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いる．

動画配信サービスにおいて，ユーザの同時視聴数に基づく動画データの人気度は，曜日，時間帯，およびイベントの有無といった様々な要因で配信中に動的に変化する．サーバが複数の動画データを放送型で配信する場合，人気度が高い動画をより多くのユーザに視聴してもらうため，使用する帯域幅を増やして配信スケジュールを動的に更新し，待ち時間を優先して短縮する必要がある．しかし，既存のスケジューリング手法では，サーバの配信スケジュールを配信開始前に決定して配信終了まで固定することを想定しており，配信スケジュールを動的に更新できない．

本研究では，動画データの分割放送型配信においてチャネルの帯域幅を考慮して配信スケジュールを動的に更新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と動画データの分割数に応じてデータの分割比率を決定した上で，帯域幅の変化に応じて配信スケジュールを動的に変更することで，受信時の待ち時間を短縮する．

2. 動画データの配信方式

2.1 Video on Demand（VoD）

VoD は，オンデマンド型配信は，NHK オンデマンド [2] をはじめとするインターネットテレビ，および YouTube [3] や Netflix [4] といった動画配信サービスで用いられる配信方式である．VoD では，クライアントがサーバに動画データの受信を要求すると，サーバは帯域幅を確保した上でチャネルを用いて動画データをクライアントに送信する．サーバは，クライアントの受信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を即座に受信して再生を開始できる．しかし，クライアントが動画データの受信を要求するたびにサーバは帯域幅を確保する必要

[1] 岡山大学大学院自然科学研究科
[2] 岡山大学学術研究院自然科学学域

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

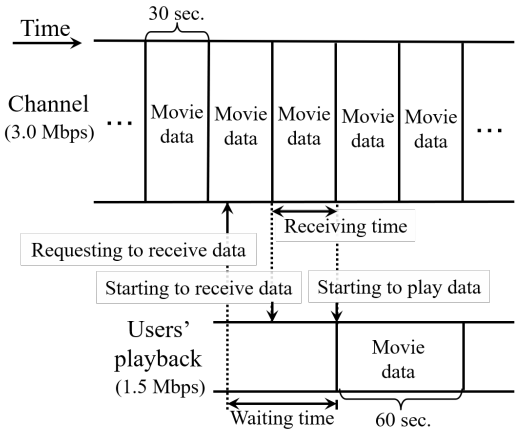

図 1 放送型配信で発生する待ち時間

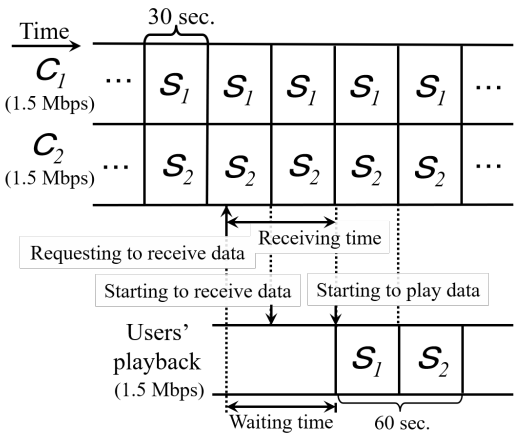

図 2 分割放送型配信のスケジューリング例

があるため，サーバが使用する帯域幅はクライアント数に比例して増加し，サーバの処理負荷は大きくなる．

2.2 放送型配信

放送型配信は，多数のクライアントに同じ動画データを配信する場合に用いられる配信方式である．放送型配信では，サーバとクライアントが一対多で通信するマルチキャストやブロードキャストを用いて動画を配信する．サーバは，同じ動画データを放送型で配信することで，クライアントの受信要求に応じて動画配信を行う VoD に比べて処理負荷や帯域幅を抑制できる．しかし，放送型配信では，クライアントは動画データの受信を要求してからサーバから動画の再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する．このため，クライアントは動画の先頭部分が配信される契機を意識して動画データの受信を要求する必要がある．

放送型配信において待ち時間が発生する様子を**図 1** に示す．チャネルの帯域幅を 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データを繰り返し配信する．図 1 の場合，クライアントは動画データの受信を完了すると再生を開始できる．この場合のクライアントの待ち時間は，サーバが動画データの先頭部分を配信した直後にクライアントが受信を要求した場合に最長となり，動画データ 2 周期分の $(60 \times 1.5)/3.0 \times 2 = 60$ 秒かかる．一方，動画データの先頭部分を配信する直前に受信を要求した場合に待ち時間は最短となり，動画データ 1 周期分の 30 秒となる．以上より，図 1 におけるクライアントの平均待ち時間は，$(60 + 30)/2 = 45$ 秒となる．

2.3 分割放送型配信

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部分（以下，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．

例えば，図 1 で用いたデータを 2 個のセグメント S_1，S_2 に等分割して，1.5 Mbps の 2 個のチャネル C_1，C_2 で S_1，S_2 をそれぞれ繰返し配信する場合のスケジューリングを**図 2** に示す．図 2 に示すように，クライアントは受信した S_1，S_2 を途切れなく順番に再生できる．

2.4 スケジューリング手法

分割放送型配信では，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．しかし，データサイズを小さくしすぎると，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，途切れ時間の分だけ動画データの再生が中断し，クライアントに与える影響は大きい．この場合，途切れ時間の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必要があり，全体の待ち時間が長大化する．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．

図 3 に，既存のスケジューリング手法である Fast Broadcasting (FB) 法 [5] による配信スケジュール例を示す．FB 法は，帯域幅を k 個のチャネルに分け，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 番目のチャネル C_i に連続した $2^i - 1$ 個のセグメントをスケジューリングする手法である．図 3 では，チャネルの帯域幅，動画データの再生レート，および再生時間は図 1 と同じとする．

図 3 の場合，サーバは使用できる帯域幅を 1.5 Mbps の 2 個のチャネル C_1, C_2 に分割した上で，一続きの動画データを 2 個のセグメント S_1, S_2, S_3 に分割して，C_1 で S_1，C_2 で S_2 と S_3 をそれぞれ繰り返し配信する．FB 法では，動画データを $2^k - 1$ 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 S_1 の先頭が配信されるまでの時間となり，最長で $(20 \times 1.5)/1.5 \times 2 = 40$ 秒，最短で

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

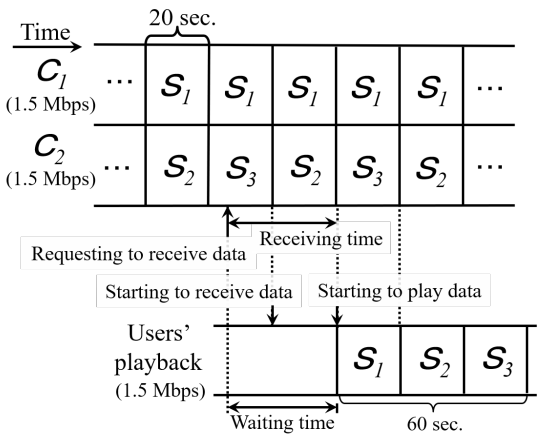

図 3 FB 法のスケジューリング例

20 秒となり，平均待ち時間は $(40+20)/2 = 30$ 秒となる．以上より，分割放送型配信におい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の導入は重要である．

2.5 BE-AHB 法

Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting (BE-AHB) 法 [6] では，連続メディアデータの分割放送型配信において，サーバが使用できる帯域とクライアントの再生レートをもとに連続メディアデータを幾つかの部分に分割して途切れなく放送する．

BE-AHB 法のスケジューリング手順を以下に示す．

1. 動画データを n 個のセグメント $S_1, \cdots, S_n$ に分割する．
2. チャネル $C_1, \cdots, C_n$ に対して，S_i の再生時間 d_i を下記の式で求める．

$$d_i = D \times \frac{(1+\frac{b}{r})^{i-1}}{(1+\frac{b}{r})^n - 1}. \quad (1)$$

$$T = \sum_{i=1}^{n} d_i. \quad (2)$$

3. C_i に割り当てた S_i を繰り返し配信する．

例えば，衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて，再生レートが 5.0 Mbps，再生時間が 60 分の MPEG2 で符号化された連続メディアデータを 3 分割して，BE-AHB 法でスケジューリングして放送する場合の例を**図 4** に示す．S_1 は，連続メディアデータを S_1，$\cdots$，S_3 に 3 分割したときの 1 番目の部分であり，S_2 は 2 番目の部分である．S_1，$\cdots$，S_3 のデータサイズは数式で与えられる．$C_1, \cdots, C_3$ は，S_1，$\cdots$，S_3 をそれぞれ繰返し放送するチャネルであり，BE-AHB 法の場合，各チャネルの帯域幅はすべて等しい．この図では，右に行くほど時間が経過している．このとき，待ち時間は平均で $217 \times 1.5 = 325.5$ 秒となり，分割しないときに比べて，平均待ち時間は約 83.7 % 短縮する．

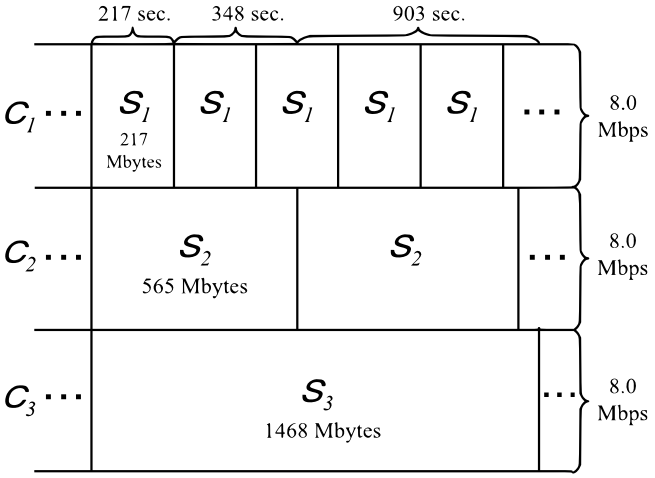

図 4 BE-AHB 法のスケジューリング例

3. 関連研究

3.1 スケジューリング手法

放送型配信において，受信中に発生する待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法はいくつか提案されている [7], [8], [9], [10], [11].

Heterogeneous Receiver-Oriented Broadcasting (HeRO)[12] では，セグメントと呼ばれる分割したデータが $1, 2, 2^2, \cdots, 2^{K-1}$ の比率になるように，データを K 個に分割する．使用できる帯域幅が小さいクライアントが，再生を開始するまでに発生する待ち時間に着目した手法である．しかし，K 番目のチャネルで放送するデータのサイズは，全体の約半分の大きさになるため，クライアントが受信を要求するタイミングによって，再生中に途切れが発生する可能性がある．

BroadCatch [13] では，放送するデータを 2^{K-1} 個のセグメントに等分割して，再生レートと等しい K 個のチャネルを用いて繰り返し放送する．チャネルによって，放送するデータの大きさを変えたり，再生を開始する時刻をずらすことで，クライアントがデータの受信を要求してから再生を開始するまでにかかる待ち時間を減少させる．しかし，使用する帯域幅がチャネルの数に比例するため，帯域幅に上限がある場合，放送に使用するチャネルの数を確保できない可能性がある．

Wrapped Harmonic Broadcasting（WHB) [14] 法では，複数のチャネルでデータの配信周期が短くなるように配信スケジュールを作成することで，待ち時間を短縮する．WHB 法では，動画データを n 個のセグメント S_i $(i = 1, 2, \cdots, n)$ に分割する場合，各セグメントにおけるデータサイズの比率は $1 : \frac{1}{2} : \cdots : \frac{1}{n}$ となる．また，S_1 のデータサイズに応じて配信周期を決定した後，$S_1, S_2, \cdots, S_n$ の順番でスケジューリングする．チャネルの帯域幅は，再生レートと等しい．すべてのチャネルについて，スケジューリング可能なデータサイズが S_i を下回る場合，新規のチャネルを

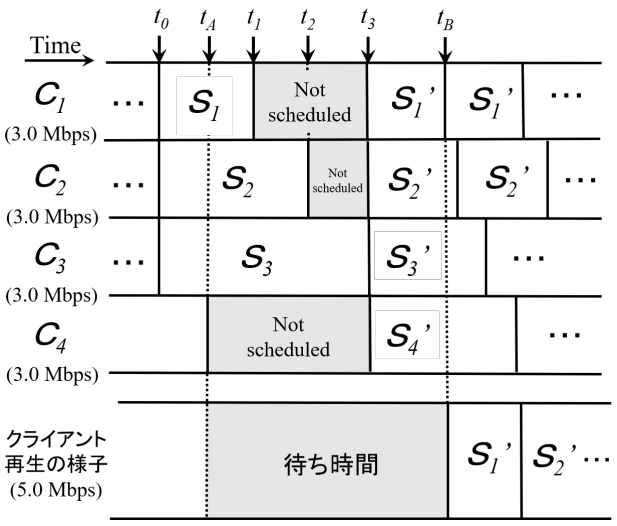

図 5 従来手法のスケジューリング例

作成して S_i をスケジューリングする．

Asynchronous Harmonic Broadcasting (AHB) 法 [15] では, MPEG2 の GOP (Group of Pictures) や MP3 のフレームといった再生の単位を考慮してスケジューリングすることで，HB 法に比べて平均待ち時間を短縮している．再生の単位ごとにデータを分割するため，使用するチャネルの数は再生の単位と同じ数になる．例えば，MPEG2 で符号化された 5.0 Mbps の 60 分の連続メディアデータを，衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合，再生の単位を 0.6 秒とすると、その数は 6,000 個になり、使用チャネル数も 6,000 個と膨大になる．

また，ライブ配信を考慮したスケジューリング手法として，The Scalable Binomial Broadcasting [16] が挙げられる．この手法では，配信が終了する予定時刻をもとに，FB 法や Harmonic Broadcasting (HB) 法 [17] といった既存のスケジューリング手法を用いて配信スケジュールを作成する．配信が終了する予定時刻を過ぎる場合，視聴中のクライアントの再生が途切れないように配信スケジュールを更新する．

3.2 既存のスケジューリング手法における問題点

動画配信サービスにおいて，ユーザの同時視聴数に基づく動画データの人気度は，曜日，時間帯，およびイベントの有無といった様々な要因で，配信中に動的に変化する．このため，サーバが複数の動画データを放送型で配信する場合，人気度が高い動画の待ち時間を優先して短縮するため，配信スケジュールを動的に更新する必要がある．

しかし，既存のスケジューリング手法で分割放送型配信を行う方法（以下，従来手法）の場合，サーバは配信開始前に決定した配信スケジュールを配信終了まで変更できない．従来手法のスケジューリング例を**図 5** に示す．従来手法で配信中に配信スケジュールを更新する場合，更新前の配信スケジュールによる配信を中断し，更新後の配信スケジュールで配信を再開する．更新時にデータを受信していたクライアントは，更新前の配信スケジュールで続きのデータを受信できず，更新後の配信スケジュールで動画データを再度受信する．従って，クライアントは動画を初めから再度再生することになり，待ち時間は長大化する．

図 5 では，時刻 t_A に配信スケジュールの更新を要求した場合，更新後の配信スケジュールを S_3 の配信終了時刻である t_3 まで配信開始できず，C_1 で t_1 から t_3 の間，C_2 で t_2 から t_3 の間，および新規のチャネルである C_4 で t_A から t_3 の間で，スケジューリングを行わない時間帯が発生する．このとき，クライアントの待ち時間は，t_A から S_1' の受信終了時刻である t_B までの間となる．

本研究では，動画データの配信中に配信スケジュールを更新可能な手法を提案し，待ち時間を評価する．

4. 提案手法

4.1 概要

本研究では，分割放送型配信において帯域幅を考慮した配信スケジュールの動的更新手法を提案する．提案手法では，配信スケジュールの更新時に，現在配信中のセグメントの配信終了時刻が早いチャネルから順番に更新後のセグメントを割り当てることで，配信が中断する従来手法と比較して待ち時間を短縮する．

4.2 想定環境

本研究で想定する分割放送型配信の環境について，以下に箇条書きで示す．

- 各チャネルの帯域幅は，再生レートと等しい．
- 各チャネルは，複数の動画データのセグメントを組み合わせてスケジューリングできる．
- サーバは，複数のチャネルから同時に動画データを放送できる．
- クライアントは，すべてのチャネルから同時に受信できる．
- 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．

4.3 スケジューリング手順

提案手法に用いるスケジューリング手法は，BE-AHB 法 [6] を用いる．BE-AHB 法では，配信するセグメントごとに設定する各チャネルの帯域幅はすべて等しい．配信スケジュールを更新する場合，サーバが使用できる帯域幅は分割数の増減に応じてチャネル単位で変化する．本研究では，サーバが 2.5 節で述べた BE-AHB 法のスケジューリング手順をもとに n 個のセグメントを分割放送型で配信している状況で，配信スケジュールの更新時に更新前のチャネルと同じ帯域幅をもつ新規のチャネルを 1 個追加してス

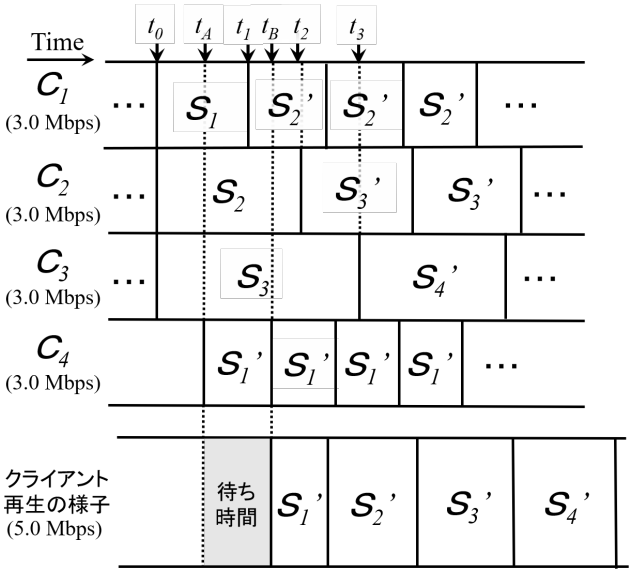

図 6 提案手法のスケジューリング例

ケジューリングを更新する場合を考える．

提案手法を用いて，サーバが配信スケジュールを更新する場合のスケジューリング手順を以下に示す．

1. 更新開始時刻 t_A に，チャネル C_{n+1} を新規に作成して，S'_1 を割り当てる．
2. チャネル $C_1, \cdots, C_n$ に対して，現在配信中のセグメントの配信終了時刻が早いチャネルから順番に，更新後のセグメント $S'_2, \cdots, S'_n$ を割り当てる．
3. 各チャネルに割り当てた更新後のセグメント S'_i を繰り返し配信する．

4.4 導入例

図 6 に，提案手法で配信する場合のスケジューリング例を示す．今回は，時刻 t_0 から t_1 の間で，時刻 t_A にスケジューリングの更新を要求する場合を考える．各チャネルの帯域幅は 3.0 Mbps，再生レートは 5.0 Mbps とする．更新前のチャネル数およびセグメント数は 3 とし，配信スケジュールの更新時に更新前のチャネルと同じ帯域幅をもつ新規のチャネルを 1 個追加する．

手順 1 で，更新開始時刻 t_A に，チャネル C_4 を新規に作成して，S'_1 を割り当てる．手順 2 で，現在配信中のセグメント S_1, S_2, S_3 のうち，配信終了時刻が早いチャネルから順番に，更新後のセグメント S'_2, S'_3, S'_4 を割り当てる．図 6 の場合，時刻 t_1 に，S'_2 を C_1 に割り当てる．次に，時刻 t_2 に，S'_3 を C_2 に割り当てる．同様に，時刻 t_3 に，S'_4 を C_3 に割り当てる．最後に，手順 3 で，各チャネルに割り当てた S'_i を繰り返し配信する．

図 6 では，従来手法のスケジューリングと比較して，スケジューリングを行わない時間帯は発生しない．また，クライアントの待ち時間は S'_1 の受信時間のみとなり，最終セグメントである S_3 の配信終了後に更新後のスケジューリングで配信する従来手法に比べて待ち時間を短縮できる．

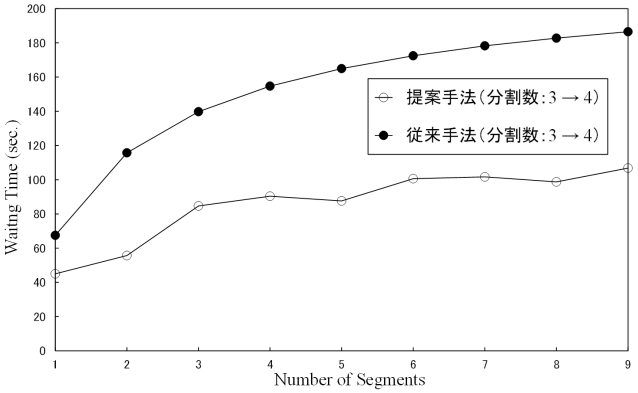

図 7 分割数の変化に対する待ち時間

5. 評価

5.1 評価環境

本研究では，計算機によるシミュレーション環境を用いて提案手法を評価する．評価では，動画データの分割数，使用できる帯域幅，再生時間，および更新契機の割合の 4 種類について，待ち時間の変化をそれぞれ評価する．

評価で用いる手法について，動的更新を考慮した BE-AHB 法のスケジューリングを提案手法，動的更新を考慮していない BE-AHB 法のスケジューリングを従来手法とする．

動的更新における帯域幅の変化について，4.3 節で述べたように，本研究では n 個のセグメントを分割放送型で配信している状況で，配信スケジュールの更新時に更新前のチャネルと同じ帯域幅をもつ新規のチャネルを 1 個追加してスケジューリングを更新する．再生レートは 5.0 Mbps とする．

5.2 分割数と待ち時間

動画データの分割数の変化に応じた待ち時間の変化について評価する．評価結果を**図 7** に示す．横軸はセグメントの分割数，縦軸は待ち時間である．使用できる帯域幅は 10 Mbps，再生時間は 180 秒，再生レートは 5.0 Mbps とし，更新後に分割数が 3 から 4 に増加する場合を考える．また，配信スケジュールの更新契機は，配信開始から S_1 の配信時間の半分が経過した時点とする．

図 7 より，提案手法の待ち時間は従来手法に比べて短くなる．提案手法では，更新開始の時点で新規のチャネルに更新後のセグメントを配信することで，更新後のスケジューリングにおける待ち時間を短くする．一方，従来手法では，更新前の最終セグメントの配信終了時刻まで待つため，待ち時間が長大化する．例えば，分割数が 3 の場合

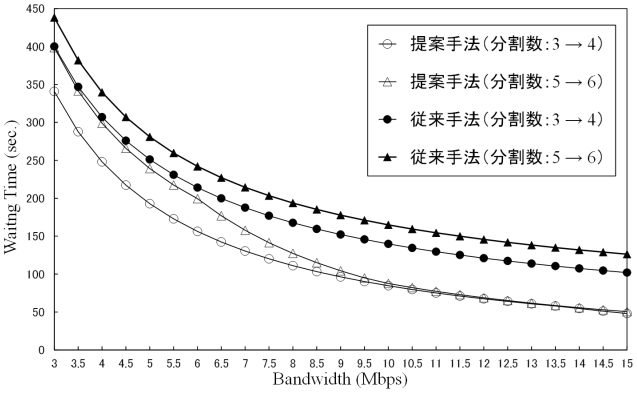

図 8 使用できる帯域幅の変化に対する待ち時間

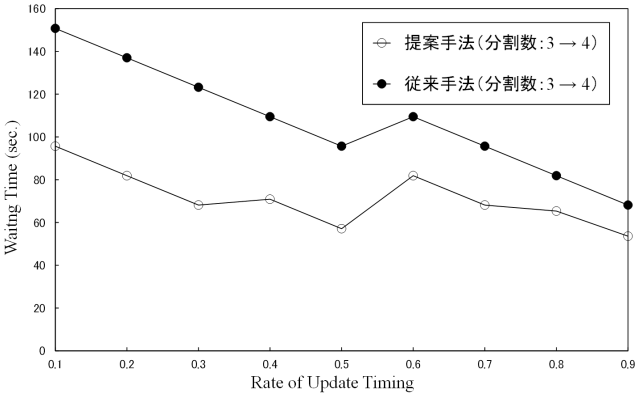

図 10 動的更新の契機の変化に対する待ち時間

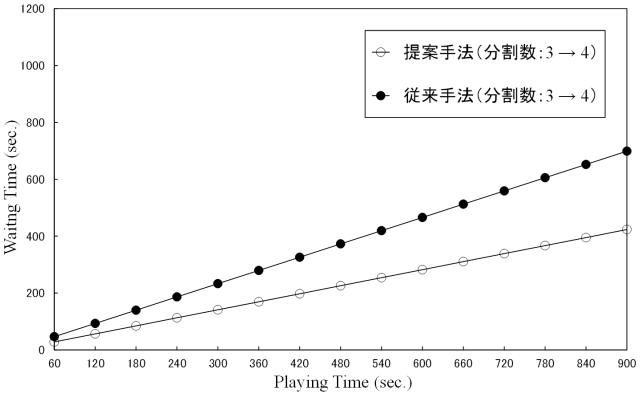

図 9 再生時間の変化に対する待ち時間

の待ち時間は提案手法で約 84.7 秒，従来手法で約 139.8 秒となり，提案手法は従来手法に比べて待ち時間を約 39.4 % 短縮できる．

5.3 使用できる帯域幅と待ち時間

サーバが使用できる帯域幅の変化に応じた待ち時間の変化について評価する．評価結果を**図 8** に示す．横軸はサーバが使用できる帯域幅，縦軸は待ち時間である．分割数は 3，再生時間は 180 秒，再生レートは 5.0 Mbps とし，更新後に分割数が 3 から 4，および 5 から 6 に増加する 2 種類の場合を考える．また，配信スケジュールの更新契機は，5.2 節と同じとする．

図 8 より，提案手法の待ち時間は従来手法に比べて短くなる．提案手法では，帯域幅の増加分を用いて新たなセグメントをスケジューリングすることで，動画データの最初のセグメントである S_1' の受信時間が短くなり，待ち時間は短縮する．例えば，使用できる帯域幅が 7.5 Mbps，更新前の分割数が 3 の場合の待ち時間は，提案手法で約 120.1 秒，従来手法で約 176.9 秒となり，提案手法は従来手法に比べて待ち時間を約 32.1 % 短縮できる．

5.4 再生時間と待ち時間

動画データの再生時間の変化に応じた待ち時間の変化について評価する．評価結果を**図 9** に示す．横軸は動画データの再生時間，縦軸は待ち時間である．使用できる帯域幅は 10 Mbps，分割数は 3，再生レートは 5.0 Mbps とし，更新後に分割数が 3 から 4 に増加する場合を考える．また，配信スケジュールの更新契機は，5.2 節と同じとする．

図 9 より，再生時間が長くなると，両方の手法で待ち時間は長大化し，待ち時間の差は大きくなる．提案手法では，配信スケジュールの更新時刻に更新後の S_1 を配信開始することで待ち時間を短縮する．一方で，従来手法では更新前のすべてのセグメントを配信終了した後に更新後の配信スケジュールを適用する．このため，再生時間が長くなると，S_1 より S_n の配信時間の増加率が大きくなり，提案手法と従来手法との間で待ち時間の差は大きくなる．

5.5 更新契機の割合の変化による影響

更新契機の割合の変化に応じた待ち時間の変化について評価する．評価結果を**図 10** に示す．横軸は更新契機の割合，縦軸は待ち時間である．使用できる帯域幅は 10 Mbps，分割数は 3，再生時間は 180 秒，再生レートは 5.0 Mbps とし，更新後に分割数が 3 から 4 に増加する場合を考える．

配信スケジュールの更新契機について，配信開始時刻から最終セグメントである S_n の配信終了時刻までの間で発生する．S_n の配信終了時刻を更新時刻で除した値を更新契機の割合として，0 から 1 までの間で表す．

図 10 より，更新契機の割合が 1.0 に近づくと，待ち時間は短縮する．これは，配信スケジュールの更新時刻から更新後のセグメントを配信開始するまでの時間が短くなり，途切れ時間が短縮されるためである．また，更新契機の割合が 0.3 から 0.4 まで，および 0.5 から 0.6 までの間では，提案手法の待ち時間は長大化する．この時間帯では，更新前のセグメントを配信するチャネル数が多くなり，各チャネルで更新後の配信スケジュールに切り替わる契機が遅くなる．

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

6. おわりに

本研究では，分割放送型配信において，動画データの動的更新を考慮したスケジューリング手法を提案した．提案手法では，配信スケジュールの更新時に，現在配信中のセグメントの配信終了時刻が早いチャネルから順番に更新後のセグメントを割り当てることで，待ち時間を短縮する．実際のネットワーク環境を想定したシミュレーション評価では，提案手法の待ち時間は従来手法に比べて短くなることを確認した．

今後の予定として，動画データの動的更新を考慮したスケジューリング手法を配信システムに設計，実装し，有用性を評価する．

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，および基盤研究（B）課題番号：21H03429）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 3 年版（オンライン），入手先 <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/index.html>（参照 2021-08-10）．
[2] NHK: NHK オンデマンド，入手先 <https://www.nhk-ondemand.jp/>（参照 2020-08-10）．
[3] YouTube: YouTube，入手先 <https://www.youtube.com/>（参照 2021-08-10）．
[4] Netflix: Netflix，入手先 <https://www.netflix.com/>（参照 2021-08-10）．
[5] 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).
[6] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎：再生単位を考慮したスケジューリング手法における使用チャネル数について，日本データベース学会 Letters, Vol.4, No.3, pp.5-8 (2005).
[7] Jinsuk, B. and Jehan, F.P.: A Tree-Based Reliable Multicast Scheme Exploiting the Temporal Locality of Transmission Errors, Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC 2005), pp.275-282 (2005).
[8] Paris, J.-F.: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01), pp.347-353 (2001).
[9] Shi, L., Sessini, P., Mahanti, A., Li, Z., Eager, D.L.: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, Proc. ACM Multimedia, pp.22-27 (2006).
[10] Zhao, Y., Eager, D.L., Vernon, M.K.: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, Proc. of IEEE INFOCOM, Vol.3, pp.1522-1533 (2004).
[11] Gotoh Y., Yoshihisa T., Taniguchi H. and Kanazawa M.: A Scheduling Method for Heterogeneous Clients on Media Data Broadcasting, International Journal of Pervasive Computing and Communications (IJPCC), Vol.9, Issue 2, pp.98-114 (2013).
[12] Hua, K.A., Bagouet, O., Oger, D.: A Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers, Proc. of MMCN, pp.220-231 (2003).
[13] Tantaoui, M., Hua, K., Do, T.: BroadCatch: A Periodic Broadcast Technique for Heterogeneous Video-on-Demand, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol.50, Issue 3, pp.289-301 (2004).
[14] Wang, X., Cai, G., and Men, J.: Wrap Harmonic Broadcasting and Receiving Scheme for Popular Video Service, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol.66, Issue 1, pp.78-87 (2020).
[15] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M., Nishio, S.: A Broadcasting Scheme for Continuous Media Data with Restictions in Data Division, Proc. IPSJ Int. Conf. on Mobile Compuring and Ubiquitous Networking (ICMU '05), pp.90-95 (2005).
[16] Yang, Z.Y., Chen, Y.M. and Tseng, L.M.: A Seamless Broadcasting Scheme with Live Video Support, International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, Vol.2012, pp.1-8 (2012).
[17] Juhn L. and Tseng L.: Harmonic broadcasting for video-on-demand service, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol.43, No.3, pp.268-271 (1997).

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan