

ユーザの課金状況を考慮した 分割放送型配信手法の提案

尼子 晴登¹ 後藤 佑介²

概要：ユーザが所望の動画を再生できる多くの動画配信サービスでは、再生中に一定の間隔でミッドロール広告のコンテンツが複数回挿入される。このとき、動画配信サービスに対して課金を行っていない無料会員である非課金ユーザは、動画の再生中にミッドロール広告が挿入されるため視聴意欲が低下する。一方で、動画配信サービスに対して課金を行った有料会員である課金ユーザは、再生中にミッドロール広告の挿入が無くなるため、視聴意欲が低下すること無く最後まで動画を視聴できる。動画データを複数のセグメントに分割して繰り返し配信する分割放送型配信においてデータ受信時の待ち時間を短縮する既存のスケジューリング手法では、できるだけ多くのユーザが一続きのデータを途切れ無く再生する場合のみを想定しており、課金ユーザと非課金ユーザが混在した配信環境を考慮していない。このため、課金ユーザと非課金ユーザとの間で待ち時間の差が大きくなり、実際のネットワーク環境において既存のスケジューリング手法の利用は難しい。本研究では、分割放送型配信において課金ユーザと非課金ユーザが混在した環境を考慮したスケジューリング手法を2種類提案する。提案手法では、再生中のミッドロール広告の挿入に対して待ち時間の短縮および帯域幅の削減をそれぞれ考慮して、各セグメントの分割比率を決定する。

キーワード：課金制動画配信、スケジューリング、分割放送型配信、待ち時間、ミッドロール広告

1. はじめに

近年、映像データの送受信で発生するトラフィックが全世界で急増しており、ネットワーク環境に適応した動画配信システムが求められている。動画配信方式の一つである放送型配信では、多くのクライアントに同じ動画データを同時に配信することでサーバの負荷を軽減でき、ネットワーク全体のトラフィックを削減できる。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が開始される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、動画データを複数のセグメントに分割して複数のチャンネルで配信する分割放送型配信が提案されており、分割放送型配信においてデータ受信時の待ち時間を短縮するスケジューリング手法が多数提案されている。

また、YouTube [1] や Twitch [2] といった動画配信サービスでは、ユーザが所望の動画を再生している間に広告動画の再生に強制的に切り替わる仕組みが導入されている。

このような広告はミッドロール広告と呼ばれ、長時間の動画再生では一定の間隔で複数回挿入される。このため、動画配信サービスに対する料金支払い（以下、課金）を行っていない無料会員のユーザ（以下、非課金ユーザ）は、動画の再生中にミッドロール広告が挿入されることで視聴意欲が低下する可能性がある。一方で、動画配信サービスに課金を行った有料会員のユーザ（以下、課金ユーザ）は、再生中にミッドロール広告の挿入を除去できるため、視聴意欲が低下すること無く最後まで動画を視聴できる。

分割放送型配信における既存のスケジューリング手法では、サーバは一続きのデータを途切れ無く再生する場合のみを想定しており、課金ユーザと非課金ユーザが混在した配信環境を考慮していない。このため、既存のスケジューリング手法では課金ユーザと非課金ユーザとの間で待ち時間の差が大きくなり、実際のネットワーク環境における利用は困難である。そこで、本研究では、分割放送型配信において課金ユーザと非課金ユーザが混在した環境を考慮したスケジューリング手法を2種類提案する。提案手法では、再生中のミッドロール広告の挿入に対して待ち時間の短縮および帯域幅の削減をそれぞれ考慮して、各セグメントの分割比率を決定する。

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

² 岡山大学学術研究院自然科学学域
Faculty of Natural Science and Technology, Okayama University

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、NHK オンデマンド [3] をはじめとするインターネットテレビや YouTube [1] 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。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ン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があるため、サーバが使用する帯域幅は動画を要求する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 CS デジタル放送 [5] といったサービスにおける利用を想定している。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。サーバは、マルチキャストやブロードキャストといった通信方式を用いてクライアントに放送型で配信することで、オンデマンド型配信に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が開始されるまでの間で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 1 に示す。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データを繰り返し配信する。図 1 の場合、クライアントが動画データの受信を開始する契機は動画データの先頭となるため、クライアントは動画データの受信を開始すると再生を開始できる。クライアントが動画データを受信するときの待ち時間は、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 1 周期分の $(60 \times 1.5)/3.0 = 30$ 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、0 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、 $(30 + 0)/2 = 15$ 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

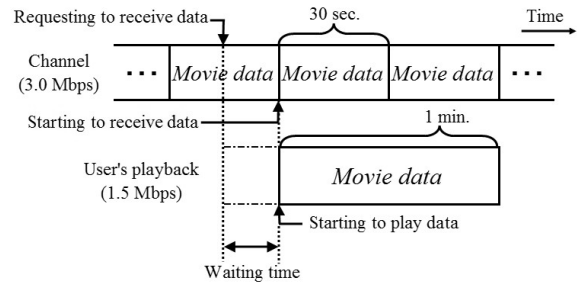


図 1 放送型配信における待ち時間発生の様子

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 個のチャンネルで S_1, S_2 をそれぞれ繰り返し配信する場合、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。このとき、クライアントの待ち時間は S_1 の先頭が配信されるまでの時間であり、最長で $(60 \times 0.5 \times 1.5)/1.5 = 30$ 秒、最短で 0 秒となり、平均の待ち時間は $(30 + 0)/2 = 15$ 秒となる。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より短縮できるが、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。再生中に途切れないように途切れ時間分だけ再生開始を遅らせるため、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を発生させずに受信時の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きた。

2.3.1 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。

例えば、衛星デジタル放送を想定した 24.0 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 2 に示す。 S_1 は、連続メディアデータを S_1, \dots, 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, \dots, S_3 のデータサイズは数式で与えられる。 C_1, \dots, C_3 は、 S_1, \dots, S_3 をそれぞれ繰り返し放送するチャンネルであり、BE-AHB 法の場合、各チャン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、平均待ち時間が約 83.7% 短縮する。

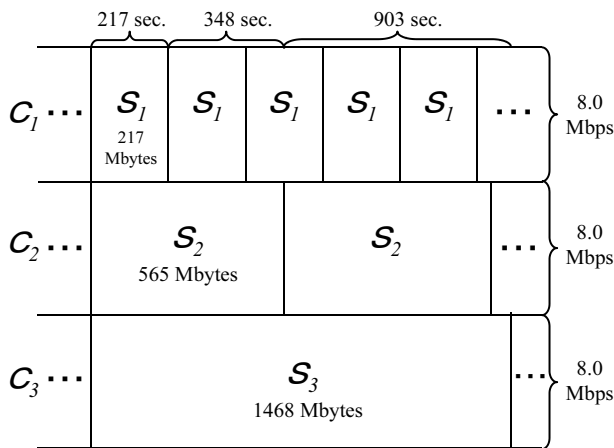


図 2 BE-AHB 法のスケジューリング例

3. 課金制分割放送型配信

3.1 特徴

課金制分割放送型配信は、ユーザの課金状況を考慮したスケジューリングを導入した動画配信システムにおいて、分割放送型で動画を配信する仕組みである。課金制分割放送型配信を利用するユーザは、無料で動画を視聴する非課金ユーザ、および有料で動画を視聴する課金ユーザの 2 種類から選択して、配信サービスに登録する。課金ユーザは、料金を支払うことで、受信時の待ち時間を非課金ユーザと比べて短縮するとともに、より高品質の動画を視聴できる。

3.2 ミッドロール広告

YouTube [1] や Twitch [2] といった動画配信システムでは、ユーザが所望の動画を再生している間に、ミッドロール広告と呼ばれる広告動画の再生に切り替わる仕組みが導入されている。

課金制分割放送型配信において、非課金ユーザは、動画の再生中に、ミッドロール広告が一定の間隔で複数回挿入される。一方で、課金ユーザは、動画の再生中にミッドロール広告の挿入を除去できるため、視聴意欲が低下すること無く最後まで動画を途切れなく視聴できる。

3.3 課金制動画配信サービスの利用例

YouTube [1] に代表される動画配信サービスにおいて、配信者は、一定時間以上の再生時間をもつ動画に対して、動画の再生中に挿入されるミッドロール広告を複数回再生できる。YouTube の場合、配信者は、8 分以上の動画に対して再生中にミッドロール広告を挿入できる。ユーザは、ミッドロール広告が再生されると最初の 5 秒間は広告コンテンツの再生を終了できない。

配信者が動画の再生中にミッドロール広告を挿入するスケジューリングで配信する場合、ユーザは、動画を一定時間視聴した後に、視聴意欲が高い状態でミッドロール広告

を再生するため、広告挿入に対してユーザの視聴意欲は大きく低下しない。このため、ユーザがミッドロール広告の挿入によって動画の視聴を終了する確率は、動画の再生開始前に広告を挿入する場合に比べて低い。従って、課金制動画配信サービスにおいて、ミッドロール広告の再生回数に応じて収入を得ることができる。

3.4 課金制分割放送型配信における課題

課金制分割放送型配信における課題として、広告挿入による動画再生中の途切れが挙げられる。従来のスケジューリング手法は、一続きのデータを途切れなしに再生する場合を想定しており、動画の再生中に広告コンテンツが挿入される場合には対応していない。

課金制分割放送型配信において、サーバは、非課金ユーザが現在再生しているセグメントの再生終了時刻から次のセグメントの再生開始時刻までの間でミッドロール広告を視聴するように配信スケジュールを作成する必要がある。一方で、サーバは、課金ユーザに対して動画の再生中に途切れが発生しない配信スケジュールを作成する必要がある。

4. 関連研究

4.1 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]。Heterogeneous Receiver-Oriented Broadcasting (HeRO)[11] では、セグメントと呼ばれる分割したデータが $1, 2, 2^2, \dots, 2^{K-1}$ 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 番目のチャン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。

HB (Harmonic Broadcasting) 法 [12] では、連続メディアデータを N 個の部分に等分割する。分割したデータをセグメントと呼び、初めのセグメントから順に S_1, \dots, S_N で示す。さらに S_i ($i = 1, \dots, N$) を i 個のサブセグメント $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ に等分割する。 N 個のチャンネル C_1, \dots, C_N を使い、 C_i で $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ を繰り返して放送する。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 24.0 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、 $N = 67$ となり、67 個のチャンネルが必要になる。

AHB (Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [13] 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、使用するチャンネルの

数は再生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用いて、衛星デジタル放送を想定した 24.0 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合を考える。再生単位を 0.6 秒とすると、セグメント数は 6,000 個になり、使用するチャンネル数も 6,000 個と膨大になる。

広告再生を考慮したスケジューリング手法である Asynchronous Harmonic Broadcasting Considering Commercial (AHB-CC) 法 [14] では、データの再生中に広告を再生する場合を考慮し、再生中断時間を短縮している。また、広告の再生時間を考慮して、広告の再生終了時刻までに次のデータの再生を開始できるようにデータを分割して放送することで、データ受信時の待ち時間を短縮している。

5. 提案手法

5.1 特徴

本研究では、分割放送型配信において、ミッドロール広告を考慮した上で、課金ユーザと非課金ユーザの両方に対応してセグメントの分割比率を決定して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、課金ユーザはすべてのチャンネルを使用してセグメントを受信する場合の待ち時間を算出する。一方で、非課金ユーザは、課金ユーザと比較してすべてのチャンネルを使用できず、同時に使用できるチャンネルの上限数（以下、同時受信可能チャンネル数）に基づいてセグメントを受信することで、再生中の途切れ時間を含む待ち時間を算出する。

本研究では、動画配信システムにおける利用を想定して、2 種類の手法を提案する。一つ目は、待ち時間の短縮に着目したスケジューリング手法である Billing-based Asynchronous Harmonic Broadcasting Considering Waiting Time（以下、BAHB-W 法）である。BAHB-W 法では、サーバは使用できる帯域幅を最大限利用して配信スケジュールを作成することで、課金ユーザおよび非課金ユーザの待ち時間をそれぞれ短縮する。二つ目は、サーバが使用する帯域幅の削減に着目したスケジューリング手法である Billing-based Asynchronous Harmonic Broadcasting Considering Available Bandwidth（以下、BAHB-B 法）である。BAHB-B 法では、サーバは、セグメントを配信するチャンネルと異なる帯域幅をもつチャンネルで広告コンテンツを配信することで、帯域幅がすべて同じチャンネルで動画コンテンツと広告コンテンツの両方を配信する場合に比べて使用する帯域幅を削減できる。

以降の節で、これらの手法を順番に説明する。

5.2 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。

- 各チャンネルは、複数の動画データのセグメント

を組み合わせることでスケジューリングできる。

- サーバは、複数のチャン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、すべてのチャン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。

5.3 BAHB-W 法のスケジューリング手順

提案手法では、サーバは、クライアントの端末環境に応じて、使用できる帯域幅を最大限利用して配信スケジュールを作成する。クライアントは、同時に複数のチャンネルを使用してデータを受信することで、待ち時間を短縮する。

使用チャンネル数を M 、分割するデータサイズを初めから順に a_1, \dots, a_M とする。分割したデータをセグメントと呼び、 S_i ($i = 1, \dots, M$) で表す。サーバは、 S_i のデータサイズが a_i になるように動画データを分割する。使用する帯域幅を B 、動画データの再生時間を D 、再生レートを r としたとき、 $a_1 + \dots + a_M = Dr$ となる。

5.3.1 課金ユーザに対するスケジューリング手順

BAHB-W 法において、課金ユーザに対するスケジューリングは、以下の手順である。

- (1) M 個のチャンネル C_1, \dots, C_M を用いて、 C_1 の帯域幅を B_1 としたとき、 C_i ($i = 2, \dots, M$) の帯域幅 B_i を以下の式で与える。

$$B_i = \frac{B}{M} \quad (1)$$

- (2) 動画データを分割したセグメント S_i のデータサイズ a_i を以下の式で与える。

$$a_i = \frac{BD}{M} \times \frac{(1 + \frac{B}{Mr})^{i-1}}{(1 + \frac{B}{Mr})^M - 1} \quad (2)$$

- (3) N 個のサブチャンネル $c_{i,1}, \dots, c'_{i,N}$ ($i = 1, \dots, M$) を用いて、各サブチャンネルの帯域幅 $b_{i,j}$ を $b_{i,j} = \frac{B_i}{N}$ ($j = 1, \dots, N$) とする。また、 $c_{i,j}$ で放送するセグメント $s_{i,j}$ のデータサイズ $a_{i,j}$ を以下の式で与える。

$$a_{i,j} = \frac{B_i d_i}{N} \times \frac{(1 + \frac{B}{Nr})^{j-1}}{(1 + \frac{B}{Nr})^N - 1} \quad (3)$$

なお、3 式で用いた d_i は、 $a_{i,j}$ の導出に用いた変数であり、

$$d_i = \frac{a_i}{B_i} \quad (4)$$

とする。

- (4) $c_{i,j}$ で $s_{i,j}$ を繰り返して放送する。

以上の手順で、課金ユーザの配信スケジュールを作成する。

5.3.2 非課金ユーザに対するスケジューリング手順

BAHB-W 法において、非課金ユーザに対するスケジューリング手順を図 3 に示す。セグメントの分割手順は、式 1

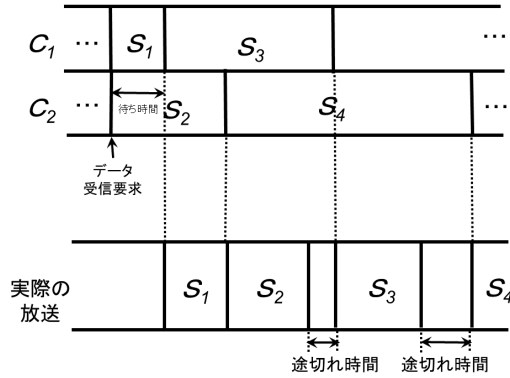


図 3 BAHB-W 法の放送スケジュール例

から式 4 の手順と同じである。

非課金ユーザは、同時受信可能チャンネル数に上限があり、セグメントの受信を完了したチャンネルを用いて未受信のセグメントを受信する。同時受信可能チャンネル数を 2 としたとき、チャンネル c_1 では、 s_1 を受信した後に s_3 を受信する。このとき、 s_3 の受信開始時刻は s_1 の受信時間分だけ遅れるため、非課金ユーザは、再生中にセグメント間で途切れ時間が発生する。チャンネル c_2 の配信についても同様に、再生中に途切れ時間が発生する。

5.3.3 BAHB-W 法の導入例

再生単位となるデータサイズごとに動画データを分割して、使用できる帯域幅に基づいて各サブチャンネルの帯域幅を設定する。次に、サーバは、配信スケジュールに基づいて、データを繰り返し配信する。実際にセグメントを配信する場合、セグメントの番号を判別するため、番号情報をセグメントのデータの初めに付加する。付加情報のデータサイズはセグメントのデータサイズに比べて非常に小さいため、本研究では付加情報の配信時間は無視する。

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、クライアントは複数のチャンネルで放送されている動画データの受信を開始し、 $s_{1,1}$ の受信完了と同時に再生を開始する。クライアントは、データの再生中も配信されたセグメントデータを受信し、バッファに保存する。 S_i ($i = 2, \dots, M$) のセグメントも同様に、受信が完了するとすぐに再生を開始する。

5.4 BAHB-B 法のスケジューリング手順

BAHB-B 法では、サーバは、はじめにチャンネルの帯域幅および再生レートを考慮してすべてのセグメントに対するスケジューリングを作成する。次に、セグメント間で再生するすべての広告コンテンツに対して、セグメントの終了後に途切れなく再生できるようにするため、セグメントを配信するチャンネルとは異なる帯域幅をもつチャンネルを追加する。従って、BAHB-B 法は、動画コンテンツと広告コンテンツに対してすべて同じ帯域幅をもつチャンネルを使用す

る場合に比べて、使用する帯域幅を削減できる。

5.4.1 課金ユーザに対するスケジューリング手順

BAHB-B 法において、課金ユーザに対するスケジューリングは以下の手順である。使用するパラメータは、5.3 節と同じである。

- (1) M 個のチャンネル C_1, \dots, C_M を用いて、 C_1 の帯域幅を B_1 としたとき、 C_i ($i = 2, \dots, M$) の帯域幅 B_i を以下の式で与える。

$$B_i = \frac{B}{M} \quad (5)$$

- (2) 動画データを分割したセグメント S_i のデータサイズ a_i を以下の式で与える。

$$a_i = \frac{BD}{M} \times \frac{(1 + \frac{B}{Mr})^{i-1}}{(1 + \frac{B}{Mr})^M - 1} \quad (6)$$

- (3) c_i で S_i を繰り返して放送する。

5.4.2 非課金ユーザに対するスケジューリング手順

広告コンテンツを A_k ($k = 1, \dots, M-1$)、広告コンテンツを配信するチャンネルを c_{A_k} 、 S_i の放送にかかる時間を t_i とすると、非課金ユーザのスケジューリングは、以下の手順である。

- (1) M 個のチャンネル C_1, \dots, C_M を用いて、 C_1 の帯域幅を B_1 としたとき、 C_i ($i = 2, \dots, M$) の帯域幅 B_i を以下の式で与える。

$$B_i = \frac{B}{M} \quad (7)$$

- (2) 動画データを分割したセグメント S_i のデータサイズ a_i を以下の式で与える。

$$a_i = \frac{BD}{M} \times \frac{(1 + \frac{B}{Mr})^{i-1}}{(1 + \frac{B}{Mr})^M - 1} \quad (8)$$

- (3) 広告コンテンツ A_k の放送にかかる時間を T_k 、 c_{A_k} の帯域幅を b_{A_k} とすると、 T_k を以下の式で与える。

$$T_k = \begin{cases} (1 + \frac{B_1}{r})t_1 & (k = 1) \\ (1 + \frac{B_k}{r})^k t_1 + \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{k-1} b_{A_i} T_i & (k \geq 2) \end{cases} \quad (9)$$

- (4) c_i で S_i 、 c_{A_k} で A_k をそれぞれ繰り返して放送する。

5.5 導入例

再生単位となるデータサイズごとに動画データを分割して、使用できる帯域幅に基づいて各チャンネルの帯域幅を設定する。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、クライアントは複数のチャンネルで放送されている動画データの受信を開始し、 S_1 の受信完了と同時に再生を開始する。クライアントは、データの再生中も配信されたセグメントデータを受信し、バッファに保存する。 S_i ($i = 2, \dots, M$) のセグメントをすべて受信すると、すぐにセグメントの番号順に結合して S_i を再生する。

例えば、図 4 において、時刻 t_0 で受信を開始し、 t_1 で S_1

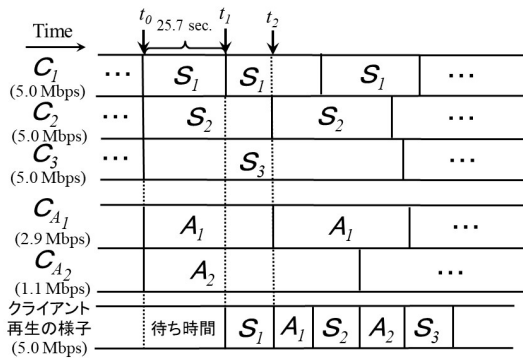


図 4 BAHB-B 法の放送スケジュール例

の受信完了後に再生開始する場合を考える。このとき、 C_1 の帯域幅は 5.0 Mbps となるため、 S_1 の受信時間は 25.7 秒となる。 t_2 に A_1 の受信が完了するため、 S_1 の再生終了後すぐに A_1 を再生でき、最後まで途切れずに再生できる。一方で、広告コンテンツを配信するチャンネルの帯域幅を一定にする場合、現在再生中のセグメントの再生終了までに広告コンテンツの受信を完了できないため、途切れ無く再生できない。

6. 評価

6.1 評価環境

評価では、計算機上でシミュレーション環境を構築し、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの待ち時間を算出する。待ち時間は、受信開始から再生開始までの待機時間と再生中の途切れ時間の合計とする。コンテンツの再生時間は 180 秒とする。番組を構成するコンテンツ数は 4 とし、ユーザは、番組の視聴要求後にこれらのコンテンツを連続して再生する。チャンネル数は 4、サブチャンネル数は 3、非課金ユーザの同時受信可能チャンネル数は 2 とする。クライアントが使用できる帯域幅は 15.0 Mbps、再生レートは 5.0 Mbps とする。

6.2 評価項目

評価では、課金ユーザおよび非課金ユーザがそれぞれデータを受信する場合における待ち時間および帯域幅を比較評価する。BAHB-W 法では、動画コンテンツの再生時間、動画コンテンツ数、サブチャンネル数、および同時受信可能チャンネル数の 4 種類について、待ち時間を比較評価する。次に、BAHB-B 法では、動画コンテンツの再生時間、動画コンテンツ数、および広告コンテンツの再生時間の 3 種類について、サーバが必要な帯域幅を比較評価する。

クライアントが動画を再生している間、スケジューリングの影響で途切れが発生する。本研究では、受信要求から第 1 セグメントの受信開始までのロード時間、および再生

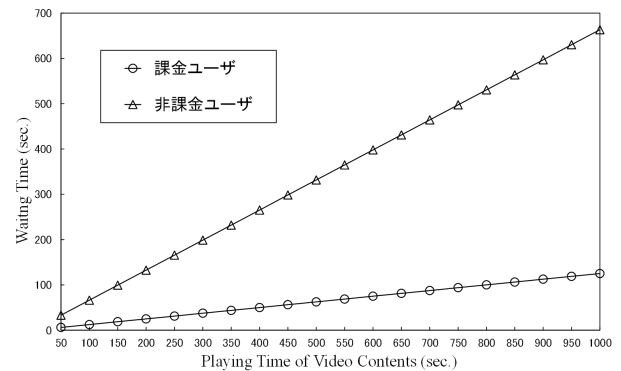


図 5 動画コンテンツの再生時間の変化に対する待ち時間

中に発生する途切れ時間の合計を待ち時間とする。

6.3 BAHB-W 法

6.3.1 動画コンテンツの再生時間の変化による影響

動画コンテンツの再生時間に応じた待ち時間の変化に着目して、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの待ち時間を算出した。評価結果を図 5 に示す。横軸は動画コンテンツの再生時間、縦軸は待ち時間である。

図 5 より、課金ユーザおよび非課金ユーザそれぞれについて、動画コンテンツの再生時間が長大化すると番組全体の放送時間が比例して長大化するため、ユーザの待ち時間は長大化する。また、非課金ユーザは同時受信可能チャンネルが 2 個に制限されているため、非課金ユーザの待ち時間は課金ユーザに比べて C_1 および C_2 で配信するコンテンツの放送周期分だけ長い。動画コンテンツの再生時間が長大化すると、 C_1 および C_2 における放送時間も長大化するため、非課金ユーザと課金ユーザとの間で待ち時間の差は大きくなる。例えば、15.0 Mbps の帯域幅を用いて 200 秒の動画コンテンツを 4 個連続して再生する場合の待ち時間は、課金ユーザで約 25.0 秒、非課金ユーザで約 132.7 秒となり、課金ユーザは非課金ユーザに比べて待ち時間を約 81.1% 短縮できる。

6.3.2 動画コンテンツ数の変化による影響

動画コンテンツ数に応じた待ち時間の変化に着目して、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの待ち時間を算出した。評価結果を図 6 に示す。横軸は配信する動画コンテンツ数、縦軸は待ち時間である。

図 6 より、課金ユーザおよび非課金ユーザそれぞれについて、動画コンテンツ数が増加すると番組全体の配信時間が比例して長大化するため、ユーザの待ち時間は長大化する。また、非課金ユーザに対する動画コンテンツ数ではコンテンツ数とチャンネル数が同じ値であり、コンテンツ数が同時受信可能チャンネル数を上回る場合に途切れ時間が発生するため、課金ユーザに比べて待ち時間が長大化する。例えば、15.0 Mbps の帯域幅を用いて 180 秒の動画コンテンツを 4 個連続して再生する場合の待ち時間は、課金ユーザ

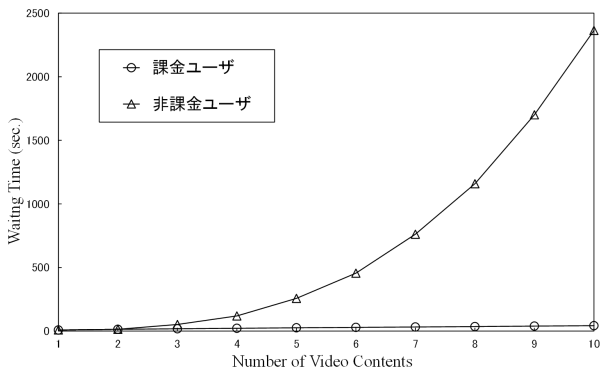


図 6 動画コンテンツ数の変化に対する待ち時間

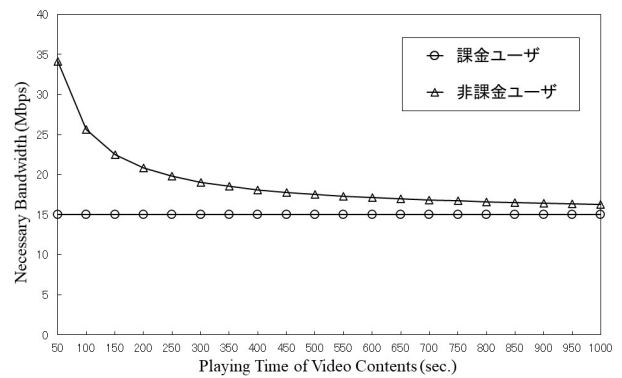


図 8 動画コンテンツの再生時間の変化に対する必要な帯域幅

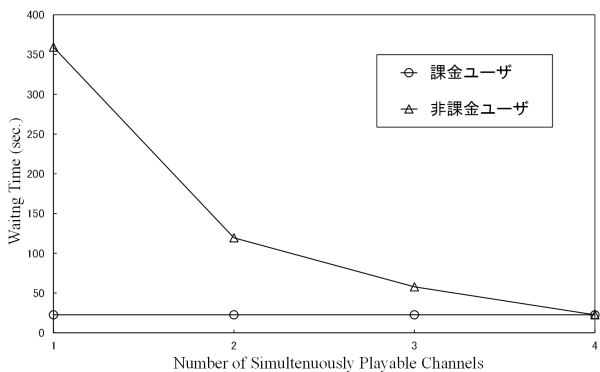


図 7 同時受信可能チャンネル数の変化に対する待ち時間

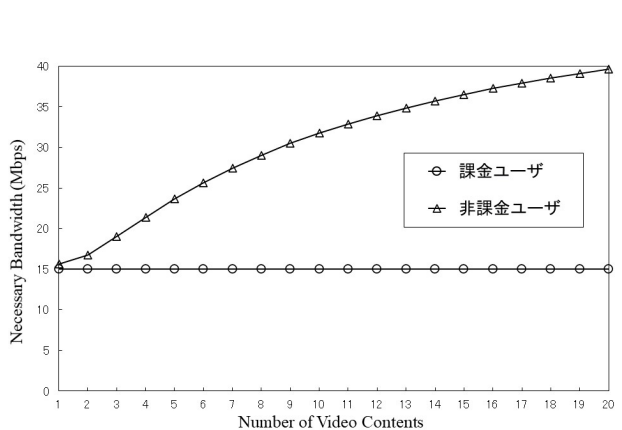


図 9 動画コンテンツ数の変化に対する必要な帯域幅

では約 22.5 秒、非課金ユーザでは約 119.4 秒となり、課金ユーザは非課金ユーザに比べて待ち時間を約 81.1% 短縮できる。

6.3.3 同時受信可能チャンネル数の変化による影響

同時受信可能チャンネル数に応じた待ち時間の変化に着目して、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの待ち時間を算出した。評価結果を図 7 に示す。横軸は同時受信可能チャンネル数、縦軸は待ち時間である。

図 7 より、チャンネル数が同時受信可能チャンネル数を上回ると、動画コンテンツ間で途切れ時間が発生する。このため、同時受信可能チャンネル数が減少すると、課金ユーザの待ち時間は一定となる一方で、非課金ユーザの待ち時間長くなる。例えば、同時受信可能チャンネル数が 2 個の場合、15.0 Mbps の帯域幅を用いて 180 秒の動画コンテンツを 4 個連続して再生する場合の待ち時間は、課金ユーザで約 22.5 秒、非課金ユーザで約 119.4 秒となり、課金ユーザは非課金ユーザに比べて待ち時間を約 81.1% 短縮できる。

6.4 BAHB-B 法

6.4.1 動画コンテンツの再生時間の変化に対する影響

動画コンテンツの再生時間に応じた必要な帯域幅の変化に着目して、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの必要な帯域幅を算出した。評価結果を図 8 に示す。横軸は動画コンテンツの再生時間、縦軸は必要な帯域幅である。

図 8 より、動画コンテンツの再生時間が長大化すると、

広告コンテンツの配信時間が長大化する。このため、課金ユーザが必要な帯域幅は一定となる一方で、非課金ユーザが必要な帯域幅は減少する。例えば、15.0 Mbps の帯域幅を用いて 180 秒の動画コンテンツを 4 個連続して再生し、各動画コンテンツの間で 30 秒の広告コンテンツを合計 3 個再生する場合において必要な帯域幅は、課金ユーザで 15.0 Mbps、非課金ユーザで約 21.4 Mbps となり、課金ユーザは非課金ユーザに比べて帯域幅を約 30.5% 短縮できる。

6.4.2 動画コンテンツ数の変化に対する影響

動画コンテンツ数に応じた必要な帯域幅の変化に着目して、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの必要な帯域幅を算出した。評価結果を図 9 に示す。横軸は動画コンテンツ数、縦軸は必要な帯域幅である。

図 9 より、動画コンテンツ数が長大化すると広告コンテンツの挿入回数が長大化する。このため、課金ユーザの必要な帯域幅は一定となる一方で、非課金ユーザの必要な帯域幅は長大化する。例えば、15.0 Mbps の帯域幅を用いて 180 秒の動画コンテンツを 10 個連続して再生し、各動画コンテンツの間に 30 秒の広告コンテンツを合計 9 個再生する場合において、必要な帯域幅は、課金ユーザで 15.0 Mbps、非課金ユーザで約 31.8 Mbps となり、課金ユーザは非課金ユーザに比べて帯域幅を約 52.8% 短縮できる。

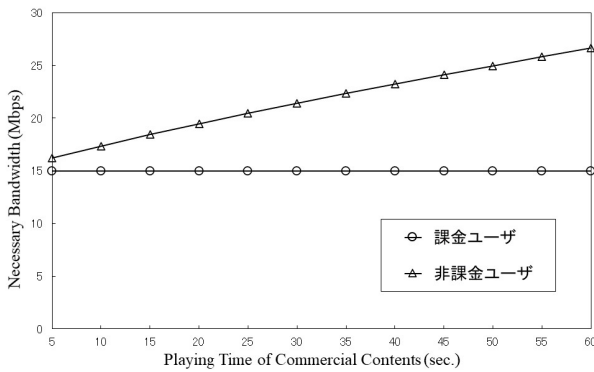


図 10 広告コンテンツの再生時間の変化に対する必要な帯域幅

6.4.3 広告コンテンツの再生時間の変化に対する影響

広告コンテンツの再生時間に応じた必要な帯域幅の変化に着目して、課金ユーザと非課金ユーザそれぞれの必要な帯域幅を算出した。評価結果を図 10 に示す。横軸は広告コンテンツの再生時間、縦軸は必要な帯域幅である。

図 10 より、広告コンテンツの再生時間が長大化すると、広告コンテンツの配信時間が長大化する。このため、課金ユーザの必要な帯域幅は一定となる一方で、非課金ユーザの必要な帯域幅は長大化する。例えば、15.0 Mbps の帯域幅を用いて 180 秒の動画コンテンツを 4 個連続して再生し、各動画コンテンツの間に 40 秒の広告コンテンツを合計 3 個再生する場合において、必要な帯域幅は、課金ユーザで 15.0 Mbps、非課金ユーザで約 23.2 Mbps となり、課金ユーザは非課金ユーザに比べて帯域幅を約 35.3% 短縮できる。

7. おわりに

本研究では、課金ユーザと非課金ユーザが混在した環境を考慮した課金制分割放送型配信におけるスケジューリング手法を提案した。BAHB-W 法では、非課金ユーザは同時受信可能チャンネル数をもとに一部のチャンネルを使用してセグメントを順番に受信する一方で、課金ユーザはすべてのチャンネルを使用してすべてのセグメントを同時に受信することで、待ち時間をより短縮できることを確認した。BAHB-B 法では、非課金ユーザは広告コンテンツと動画コンテンツを両方受信する必要がある一方で、課金ユーザは動画コンテンツのみを受信することで、待ち時間をより短縮できることを確認した。

今後の予定として、BE-AHB 法以外のスケジューリング手法に基づく課金型広告を含むスケジューリング手法の提案、および本研究のスケジューリング手法を適用した分割放送型配信システムの実装を行う。

謝辞 本研究は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究 (B) 課題番号：21H03429, 22H03587）、日本学術振興会二国間交流事業（課題番号：JPJSBP120229932）、および（公財）日揮・実吉奨学会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] YouTube: Google (online), available from < <https://www.youtube.com/> > (accessed 2022-01-20).
- [2] Twitch: Amazon (online), available from < <https://www.twitch.tv/> > (accessed 2022-01-20).
- [3] NHK: NHK オンデマンド, NHK (online), available from < <https://www.nhk-ondemand.jp/> > (accessed 2022-01-20).
- [4] Netflix : Netflix (online), available from < <https://www.netflix.com> > (accessed 2022-01-20).
- [5] (一社)衛星放送協会: 衛星放送協会のしくみ, 衛星放送協会 (online), available from < <https://www.eiseihoso.org/guide/howto.html> > (accessed 2022-01-20).
- [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ンネル数について, 日本データベース学会 Letters, Vol.4, No.3, pp.5-8 (2005).
- [7] B. Jinsuk, and F.P. Jehan: 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] J.-F. Paris: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01), pp.347-353 (2001).
- [9] L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, Proc. ACM Multimedia, pp.22-27 (2006).
- [10] Y. Zhao, D.L. Eager, and M.K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, Proc. of IEEE INFOCOM, Vol.3, pp.1522-1533 (2004).
- [11] K.A. Hua, O. Bagouet, and D. Oger: A Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers, Proc. of MMCN, pp.220-231 (2003).
- [12] R. Janakiraman, and M. Waldvogel: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, Proc. IEEE INFOCOM, pp.920-929 (2002).
- [13] T. Yoshihisa, M. Tsukamoto, and S. Nishio: A Broadcasting Scheme for Continuous Media Data with Restrictions in Data Division, Proc. IPSJ Int. Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU '05), pp. 90-95 (2005).
- [14] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, H. Taniguchi, and M. Kanazawa: A Scheduling Method for Continuous Media Data Broadcasting Considering Commercial Contents, International Journal of Pervasive Computing and Communications (IJPC), Vol.8, Issue.1, pp.92-106 (2012).
- [15] 木村明寛, 後藤佑介, 谷口秀夫: 動画データを分割配信するシステムの実現と評価, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J96-B, No.10, pp.1217-1225 (2013).