

選択型コンテンツの放送型配信におけるコンテンツ再生時の速度変更を考慮したスケジューリング手法の提案

福井 大地¹ 後藤 佑介¹

概要：ユーザが番組内のコンテンツを選択して視聴する選択型コンテンツを用いた放送型配信では、多くのユーザに一定の帯域幅で複数のコンテンツをまとめて配信できる。一方で、サーバが使用できる帯域幅の減少や配信するコンテンツ数の増加により、ユーザが複数のコンテンツを連続して再生する場合、コンテンツ間で待ち時間が発生する。このため、データの配信環境を考慮して各コンテンツの配信時間をスケジューリングすることで待ち時間を短縮する手法が提案されている。特に、ユーザが所望する再生速度でコンテンツを視聴したいという要求にもとづき、早送り再生を考慮したスケジューリング手法がこれまでに提案されてきた。これらの既存手法では、ユーザが早送りで再生するコンテンツの待ち時間が短縮するようにスケジューリングしているが、一方で通常再生を行うコンテンツの待ち時間が大きく長大化する問題がある。本研究では、選択型コンテンツの放送型配信において、コンテンツ再生時の速度変更を考慮したスケジューリング手法を提案する。提案手法では、番組の視聴構成とサーバが使用できる帯域幅をもとにチャンネル数を決定し、コンテンツを早送りで再生する部分と通常で再生する部分の二つに分けてスケジューリングすることで、番組再生時の待ち時間を短縮する。通常再生と倍速再生を組み合わせた番組視聴では、各チャンネルは再生レートの半分以上となる帯域幅をできるだけ確保して、通常再生で待ち時間が発生しないようにスケジューリングすることで、待ち時間の合計値を既存手法に比べて短縮できる。

1. はじめに

ユーザがコンテンツを選択して視聴する選択型コンテンツを用いた放送型配信に対する注目が高まっている。選択型コンテンツの放送型配信では、多くのユーザに一定の帯域幅で複数のコンテンツをまとめて配信できるが、サーバの配信環境に応じてユーザのデータ再生時にコンテンツ間で待ち時間が発生する。このため、サーバが配信する番組やユーザの視聴形式に応じて待ち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。特に、ユーザが所望する再生速度でコンテンツを視聴したいという要求が増加しており、早送り再生を考慮したスケジューリング手法はこれまでに提案されている。既存手法では、コンテンツを早送りで再生する部分と通常で再生する部分の二つに分けて、早送りで再生する部分をできるだけ早く配信するようにスケジューリングすることで、ユーザが早送りで再生するコンテンツの待ち時間を短縮する。一方で、通常で再生する部分が早送りで再生する部分の後にスケジューリングされるため、通常再生を行う場合に待ち時間が大き

く長大化する問題がある。

本研究では、選択型コンテンツの放送型配信において、コンテンツ再生時の速度変更を考慮したスケジューリング手法を提案する。提案手法では、サーバが配信する番組の視聴構成とサーバが利用できる帯域幅をもとにチャンネル数を決定する。その上で、コンテンツを早送りで再生する部分と通常で再生する部分の二つに分けて効率的にスケジューリングすることで、番組再生時の待ち時間を短縮する。

2. 選択型コンテンツ

2.1 コンテンツの配信方法

選択型コンテンツの配信方法は、放送型とオンデマンド型の2種類に分類できる。放送型配信では、サーバは一定の帯域幅で多くのクライアントに同じデータを繰り返して配信する。サーバは、クライアントの受信要求に応じて帯域幅を確保する必要がなく、クライアント数が増加してもサーバの処理負荷の増加を抑制できる。このため、放送型配信はクライアント数が多い場合に有効な配信方法である。しかし、クライアントは、データの受信を要求してから再生を開始するまで待つ必要がある。

一方、オンデマンド型配信では、サーバはクライアント

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

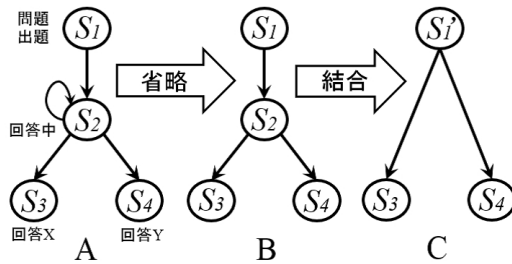


図 1 視聴順序グラフの簡単化

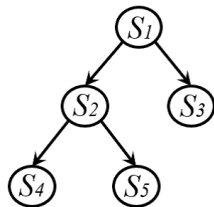


図 2 ニュース番組の視聴順序グラフ

の受信要求に応じて帯域幅を割り当てる。クライアントは、データの受信を要求するとすぐに受信を開始できるが、サーバの処理負荷はクライアント数の増加に比例して大きくなる。本研究では、サーバが多くのクライアントに同じ番組を配信する場合を想定しており、放送型による選択型コンテンツの配信について考える。

2.2 視聴順序グラフ

本研究では、選択型コンテンツの視聴順序を表記する状態遷移グラフを視聴順序グラフと呼ぶ。視聴順序グラフでは、各ノードは対応するコンテンツを再生している状態を示し、コンテンツの再生が終了すると、次の状態に移移する。例えば、クイズ番組の視聴順序グラフを図 1-A に示す。クイズ番組で、ユーザは提示された回答 X, Y から一方を選択し、正解もしくは不正解の映像を再生する。S₁ は、出題の映像を再生している状態であり、再生が終了すると S₂ に移移する。S₂ は、選択肢となる回答 X, Y の内容を表示している状態であり、この間にユーザは回答を選択する。S₂ の再生終了後、回答 X を選択すると S₃、もしくは回答 Y を選択すると S₄ といったように、選択されたコンテンツに応じた状態に移移する。ユーザが S₂ の再生中に回答を選択しなかった場合、再び S₂ に戻ること、および自動的に X または Y の回答が選択されることが考えられる。S₃ は、回答 X を選択したときの状態であり、正解の映像を再生する。S₄ は、回答 Y を選択したときの状態であり、不正解の映像を再生する。

視聴順序グラフに対して、状態遷移の省略、状態の結合、および状態の分割といった 3 種類の操作を行うことで、視聴順序グラフを簡単な形状に変形でき、配信スケジュールの作成が容易になる。例えば、図 1-A の視聴順序グラフは、図 1-B, C に簡単化される。

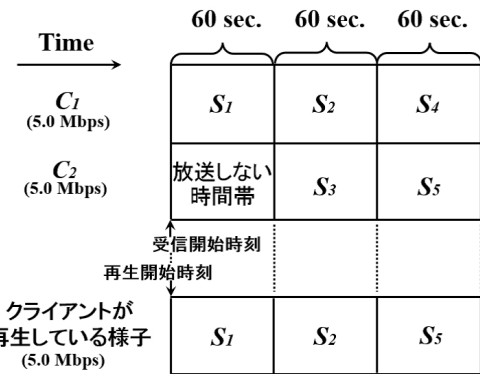


図 3 単純手法の配信スケジュール例 (使用帯域幅 10 Mbps)

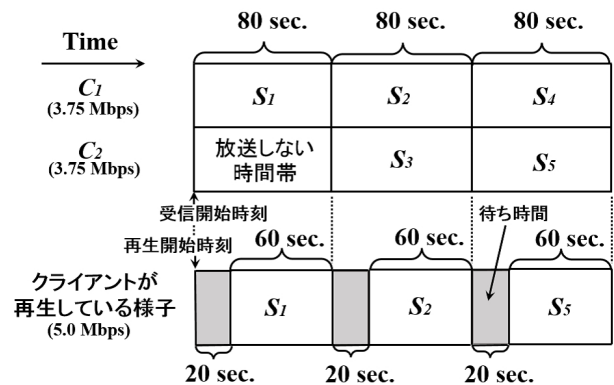


図 4 単純手法の配信スケジュール例 (使用帯域幅 7.5 Mbps)

2.3 スケジューリング手法

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバはいくつかのコンテンツを同時に放送するため、クライアントがデータを最後まで途切れず再生する場合に必要な帯域幅は増加する。しかし、選択型コンテンツの視聴順序にもとづいて複数のコンテンツをスケジューリングすることで、サーバは必要な帯域幅を削減できる。また、サーバが配信に必要な帯域幅が使用できる帯域幅を上回ると、各コンテンツの配信時間は長大化し、クライアントは再生中に待ち時間が発生する。このため、待ち時間を短縮するスケジューリング手法が必要となる。以下で、既存のスケジューリング手法を順番に説明する。

2.3.1 単純手法

単純なスケジューリング手法（以下、単純手法）では、サーバはいくつかの放送チャネルを用いて、各コンテンツを再生開始時刻と同時に配信する。放送に用いるチャネルの数は、選択型コンテンツの各深さにおける選択肢の数の最大値と等しい。また、各チャネルの帯域幅はすべて等しい。

サーバが図 2 に示すニュース番組を想定した選択型コンテンツを配信する場合の配信スケジュールを図 3 に示す。m 個のチャネル C₁, ..., C_m を用い、各コンテンツの再生時間は 60 秒とする。選択肢の数の最大値は 2 となるため、

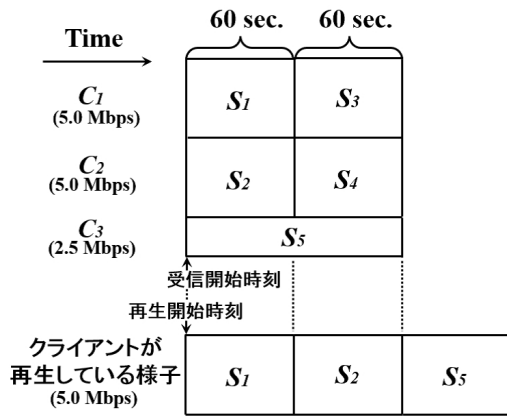


図 5 CCB 法の配信スケジュール例 (使用帯域幅 12.5 Mbps)

単純手法で使用するチャネルの数 m は 2 となる。このとき、再生レートを 5.0 Mbps とすると、サーバが必要な帯域幅は $5.0 \times 2 = 10$ Mbps となる。単純手法では、ある深さにおける選択枝の数がすべての深さにおける選択枝の数の最大値を下回る場合、コンテンツを放送しない時間帯をもつチャネルが発生する。例えば、図 3 の場合、 C_1 で S_1 を放送する時間帯において、 C_2 では何も放送しない。

次に、使用できる帯域幅に上限がある場合を考える。例えば、使用できる帯域幅の上限が 7.5 Mbps であるとき、図 2 に示す選択型コンテンツを放送する場合を図 4 に示す。図 3 の配信スケジュールにおいて、単純手法では 10 Mbps の帯域幅が必要であるが、図 4 の例では、最大で 7.5 Mbps しか帯域幅を確保できない。このとき、チャネル C_1 , C_2 の帯域幅は $7.5 / 10 = 0.75$ 倍され、それぞれ $5.0 \times 0.75 = 3.75$ Mbps となる。コンテンツのデータサイズは $60 \times 5.0 / 8 = 37.5$ Mbytes であり、サーバはすべてのコンテンツを 3.75 Mbps の帯域幅で放送するため、コンテンツの配信時間は $37.5 \times 8 / 3.75 = 80$ 秒となる。コンテンツの再生時間は 60 秒であるため、クライアントは S_1 の再生を開始するまで $80 - 60 = 20$ 秒待つ必要がある。 $S_2, \dots, S_5$ についても同様に、それぞれ 20 秒の待ち時間が発生する。例えば、クライアントが S_1, S_2, S_5 の順に再生する場合、再生時の待ち時間は 60 秒となる。

2.3.2 使用する帯域幅を削減するスケジューリング手法

選択型コンテンツの放送型配信において、単位時間あたりにサーバが使用する帯域幅を削減する手法として、Contents Cumulated Broadcasting (CCB) 法 [1] がある。CCB 法で図 2 に示す選択型コンテンツを配信する場合の配信スケジュールを図 5 に示す。CCB 法では、どの視聴順序を選択しても再生中に途切れが発生しないように配信スケジュールを作成する。また、単純手法でコンテンツをスケジューリングしていない時間帯にスケジューリングすることで、CCB 法は使用する帯域幅と放送時間との積を単純手法に比べて小さくする。例えば、図 5 の場合、再生レート 5.0 Mbps と同じ帯域幅を C_1, C_2 に割り当て、 C_1

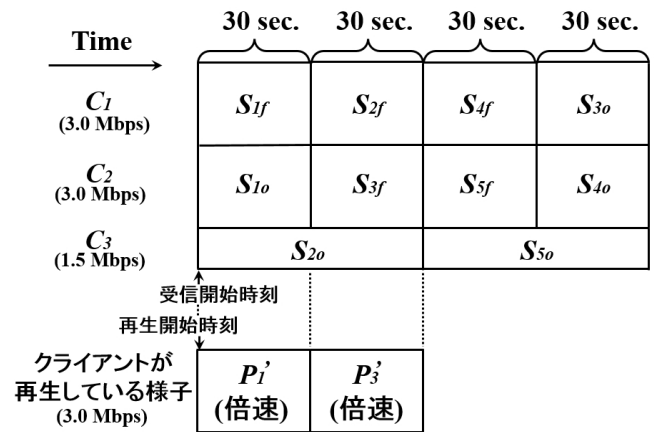


図 6 CCB-CP 法の配信スケジュール例

で S_1 と S_3 , C_2 で S_2 と S_4 をそれぞれスケジューリングする。また、 S_5 は放送開始時刻から 120 秒かけて放送するため、 C_3 は $5.0 \times 60 / 120 = 2.5$ Mbps となる。このとき、サーバは $5.0 \times 2 + 2.5 = 12.5$ Mbps の帯域幅で、すべてのコンテンツを 120 秒かけて配信する。

しかし、放送に必要となる帯域幅が使用できる帯域幅の上限を上回る場合、クライアントは再生時に待ち時間が発生する。例えば、使用できる帯域幅の上限が 7.5 Mbps である場合を考える。このとき、CCB 法によるスケジューリングでは 12.5 Mbps の帯域幅が必要であるが、使用できる帯域幅の上限は 7.5 Mbps であるため、各チャネルの帯域幅は $7.5 / 12.5 = 0.6$ 倍され、チャネル C_1, C_2 の帯域幅は $5.0 \times 0.6 = 3.0$ Mbps、チャネル C_3 の帯域幅は $2.5 \times 0.6 = 1.5$ Mbps となる。サーバが 60 秒のコンテンツを配信する時間は $37.5 \times 8 / 3.0 = 100$ 秒となるため、クライアントが S_1, S_2, S_5 の順に再生する場合、 S_1 の再生開始までに 40 秒の待ち時間が発生する。

2.4 早送り再生を考慮したスケジューリング手法

早送り再生を行う場合に待ち時間が発生する仕組みについて説明する。なお、巻戻し再生については、図 1-A, B で示した状態遷移の省略により実現できる。

早送り再生を考慮したスケジューリング手法である Contents Cumulated Broadcasting Considering Prefetching (CCB-CP) 法 [2] を用いて、図 2 に示す視聴順序グラフをもとに選択型コンテンツを配信する場合の配信スケジュールを図 6 に示す。CCB-CP 法は、再生レートと等しい帯域幅のチャネルををできるだけ確保した上で、コンテンツを早送りで再生する部分と通常で再生する部分の二つに分けてスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。サーバが使用できる帯域幅が 12.5 Mbps、再生レートを 5.0 Mbps とすると、CCB-CP 法の場合と同様に、 C_1, C_2 の帯域幅は 5.0 Mbps、 C_3 の帯域幅は 2.5 Mbps となる。図 6 において、クライアントが 2 倍速（以下、倍速）

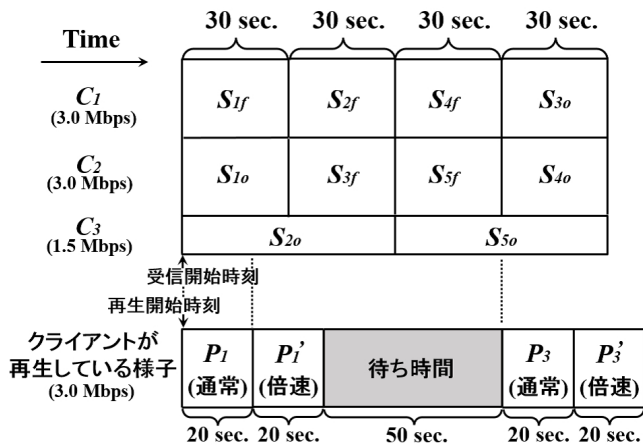


図 7 再生速度の変更を考慮した CCB-CP 法の配信スケジュール例

で番組を再生する場合、 n 個のコンテンツそれぞれを倍速再生で使用する部分 S_{if} ($i = 1, \dots, n$) とそれ以外の部分 S_{io} の二つに分割する。このとき、視聴順序グラフにおけるどの経路を選択しても待ち時間は発生しない。

しかし、CCB-CP 法では、ユーザが早送りで再生するコンテンツの待ち時間を短縮するようにスケジューリングするため、通常再生を行う場合は待ち時間が発生する。図 2 に示す視聴順序グラフを用いて、クライアントが各コンテンツで最初の 20 秒間を通常再生し、その後の 20 秒間を倍速再生する場合について、CCB-CP 法の配信スケジュールを図 7 に示す。コンテンツの再生時間は 60 秒とし、クライアントは S_1 , S_3 の順に視聴する場合を考える。また、クライアントが S_i を通常再生する場合は P_i 、倍速再生する場合は P'_i で表現する。クライアントが S_3 を通常再生する場合、倍速再生の部分である再生時間 30 秒の早送り用コンテンツ S_{3f} と残りの部分である再生時間 30 秒の通常再生用コンテンツ S_{3o} を用いて通常再生する。このとき、早送り用コンテンツ S_{3f} の放送開始時刻は放送開始から 30 秒後となる。一方で、通常再生用コンテンツ S_{3o} の放送開始時刻は放送開始から 90 秒後となるため、クライアントは S_3 の通常再生を行う場合、 S_{3o} の放送開始時刻まで待つ必要がある。 S_1 の再生終了時刻は放送開始から 40 秒後であるため、クライアントは S_1 の再生終了から S_3 の再生開始までの間で $90 - 40 = 50$ 秒の待ち時間が発生する。

2.5 関連研究

選択型コンテンツの放送型配信において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法はいくつか提案されている [3], [4]。Contents Cumulated Broadcasting - Considering Bandwidth (CCB-CB) 法 [5] では、再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ確保してコンテンツをスケジューリングすることで、CCB 法に比べて待ち時間を短縮する。また、選択型コンテンツの放送型配信におけるスケジューリング手法として、Extended Cumulated

Broadcasting (ECB) 法 [6] では、クライアントの再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ確保し、選択肢となる複数のコンテンツのうち一つのコンテンツを選択する確率（以下、選択確率）が高い順にスケジューリングすることで、選択確率を考慮しない場合に比べて平均待ち時間を短縮できる。

音声や映像といった一続きのデータ（以下、連続メディアデータ）の放送型配信では、多くのスケジューリング手法が提案されている [7], [8], [9], [10]。Cautious Harmonic Broadcasting (CHB) 法 [11] は、連続メディア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放送することで、クライアントの平均待ち時間を短縮する。

また、CHB 法を拡張して、早送り再生を考慮したスケジューリング手法として、Discontinuous Interactive Cautious Harmonic Broadcasting (DICHB) 法 [12] がある。DICHB 法では、サーバは連続メディアデータを通常速度の再生用データと早送り再生用データに分けて配信スケジュールを作成する。クライアントは、再生速度に応じて再生するデータを選択することで、再生中の途切れは発生しない。

また、放送型配信以外の選択型コンテンツのスケジューリング手法として、Restricted waiting time for Selective Contents (RSC) 法 [13] がある。RSC 法では、オンデマンド配信において、視聴するコンテンツを選択してから再生が開始されるまでの選択後の待ち時間に上限を設定することで、待ち時間を一定値以下に短縮する。

3. 提案手法

3.1 概要

選択型コンテンツの放送型配信において、コンテンツ再生時の速度変更を考慮したスケジューリング手法として Contents Cumulated Broadcasting for Switching Speed (CCB-SS) 法を提案する。CCB-SS 法では、番組の視聴構成とサーバが使用できる帯域幅をもとにチャンネル数を決定する。また、各コンテンツを早送りで再生する部分と通常速度で再生する部分に分割して各チャンネルにスケジューリングすることで、既存手法に比べて番組再生時の待ち時間を短縮する。

コンテンツを倍速再生用コンテンツと通常再生用コンテンツに分割する場合、各チャンネルの帯域幅が再生レートの半分以上であれば、これら 2 種類のコンテンツを異なるチャンネルで同じ放送開始時刻にスケジューリングしても、待ち時間なく通常再生できる。このため、提案手法では、各チャンネルに再生レートの半分以上となる帯域幅をできるだけ割り当てる。

3.2 想定環境

本手法を提案するにあたり、想定する環境を箇条書きで

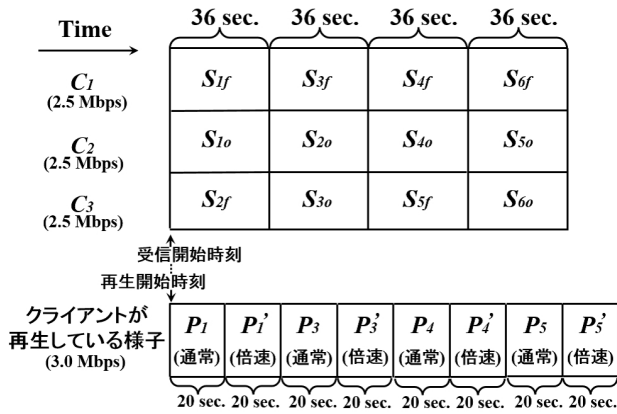


図 8 提案手法の配信スケジュール例

示す。

- 放送する番組は、選択型コンテンツである。
- コンテンツの再生時間はすべて同じとする。
- サーバは、複数のチャネルを用いて同時にデータを放送できる。
- クライアントは、コンテンツの蓄積に十分な容量のバッファをもつ。
- クライアントは、放送開始後に番組を構成するすべてのコンテンツを受信する。
- クライアントは、コンテンツを倍速再生で視聴できる。

3.3 スケジューリング手順

コンテンツ数を n 、視聴順序グラフにおける深さを d 、サーバが使用できる帯域幅を B 、再生レートを r とする。また、コンテンツ S_i ($i = 1, \dots, n$) について、倍速再生用コンテンツを S_{if} 、通常再生用コンテンツを S_{io} とするとき、以下の手順でスケジューリングする。

(1) チャネル数 m を下記の式で算出する。

$$m = \begin{cases} \lceil \frac{2n}{d} \rceil & (B \geq \frac{r}{2} \times \lceil \frac{2n}{d} \rceil) \\ \lfloor \frac{2n}{d} \rfloor & (B < \frac{r}{2} \times \lceil \frac{2n}{d} \rceil) \end{cases} \quad (1)$$

- (2) サーバはチャネル $C_1, \dots, C_m$ に帯域幅 B/m をそれぞれ割り当てる。
- (3) 根から葉の順番に、まだスケジューリングされていない深さにあるコンテンツを候補としてすべて選択する。
- (4) 候補となるコンテンツについて、 i が小さいコンテンツから順番に、 $C_1, \dots, C_m$ で放送開始時刻がもっとも早い部分に S_{if} を順番にスケジューリングする。その後、 S_{io} についても同様に、 $C_1, \dots, C_m$ で放送開始時刻がもっとも早い部分に S_{io} を順番にスケジューリングする。
- (5) 手順 (3) および (4) を繰り返し行い、すべてのコンテンツをスケジューリングしたら終了する。

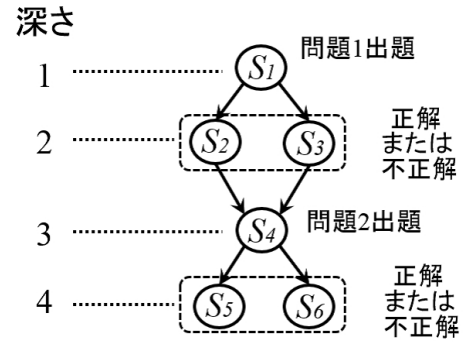


図 9 クイズ番組の例

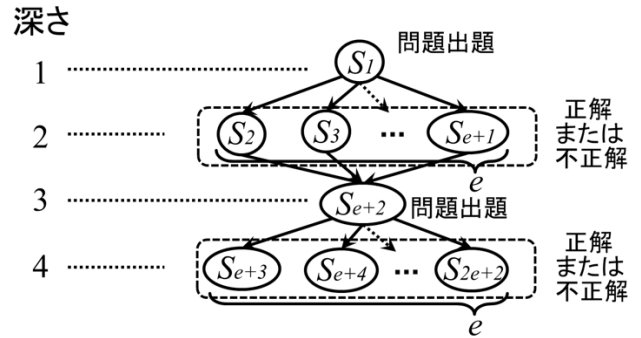


図 10 クイズ番組の視聴順序グラフ

3.4 導入方法

図 8 に、提案手法による配信スケジュールを示す。視聴順序グラフは、図 9 に示すクイズ番組の例を用いる。コンテンツの再生時間は 60 秒、使用できる帯域幅を 7.5 Mbps、再生レートを 3.0 Mbps とする。3.3 節で示したスケジューリング手順 (1) より、チャネル数は 3 となり、手順 (2) で各チャネルに $7.5/3 = 2.5$ Mbps の帯域幅が割り当てられる。手順 (3) で深さ 1 のコンテンツである S_1 を候補として選択し、手順 (4) で倍速再生用コンテンツ S_{1f} を C_1 に、通常再生用コンテンツ S_{1o} を C_2 にそれぞれスケジューリングする。次に、手順 (3) で深さ 2 のコンテンツである S_2, S_3 を候補として選択し、手順 (4) で S_{2f} を C_3 、 S_{3f} を C_1 、 S_{2o} を C_2 、および S_{3o} を C_3 にそれぞれスケジューリングする。同様の手順で、 S_4, S_5 、および S_6 の倍速再生用コンテンツと通常再生用コンテンツを各チャネルにスケジューリングする。例えば、クライアントが S_1, S_3, S_4 、および S_5 の順番で、各コンテンツについて最初の 20 秒間を通常再生し、残りの 40 秒間を倍速再生で 20 秒間再生する場合、待ち時間は発生しない。

4. 評価

4.1 概要

番組を放送する場合、さまざまな形状の視聴順序グラフが存在する。しかし、すべての視聴順序グラフについて提案手法を評価することは難しい。そこで、本研究では、図 10 に示すクイズ番組の視聴順序グラフを用いて評価を

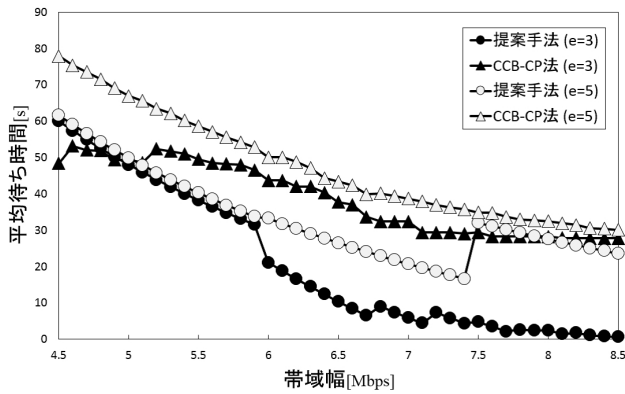


図 11 帯域幅と平均待ち時間（通常再生中に倍速再生へ切り替える場合）

行う。各問題には e 個の選択肢があり、一つは正解のコンテンツ、残りは不正解のコンテンツで構成されている。コンテンツの選択後、次の問題を視聴する。

これらの視聴順序グラフで構成される番組は、必ずしもすべての番組構成に当てはまらないが、提案手法の評価を行う上で一般化したものとして用いる。また、比較手法として、2 章で説明した既存手法である CCB-CP 法を用いる。

4.2 帯域幅と平均待ち時間

サーバが使用できる帯域幅が増加すると、同時に配信できるコンテンツ数が増加し、待ち時間は短くなる。そこで、コンテンツの通常再生中に倍速再生へ切り替える場合、最初から通常再生のみ行う場合、および最初から倍速再生のみ行う場合の三つについて、帯域幅の変化に応じて平均待ち時間がどの程度になるかを比較評価した。評価結果を図 11、図 12、および図 13 にそれぞれ示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸は平均待ち時間とする。コンテンツ数は 30、コンテンツの再生時間は 60 秒、および再生レートは 5.0 Mbps とする。また、通常再生中に倍速再生へ切り替える場合は、最初の 20 秒間を通常再生し、その後 20 秒間を倍速再生することとする。

4.2.1 通常再生中に倍速再生へ切り替える場合

図 11 より、 $e = 3$ の場合において、提案手法は CCB-CP 法に比べて平均待ち時間が短いことが分かる。提案手法では、各チャンネルに再生レートの半分以上となる帯域幅を割り当てる。各コンテンツは倍速再生用コンテンツと通常再生用コンテンツに分割しており、これらのコンテンツが異なるチャンネルで同じ放送開始時刻にスケジューリングされたとき、各チャンネルに再生レートの半分以上の帯域幅が割り当てられていれば、待ち時間なく通常再生できる。このため、コンテンツを通常再生する場合、既存手法に比べて待ち時間を短縮できる。また、提案手法では、各コンテンツについて、倍速再生用コンテンツと通常再生用コンテンツを深さごとに放送開始時刻が早い部分にスケジューリン

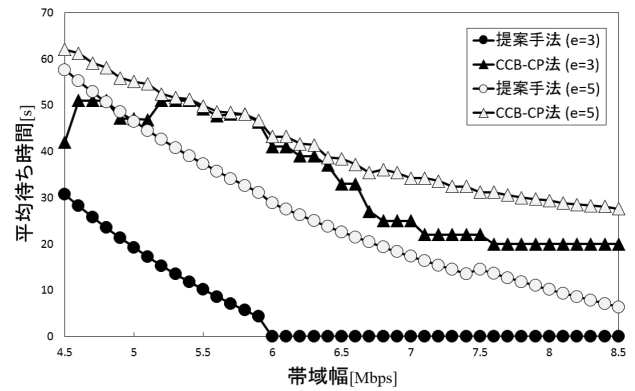


図 12 帯域幅と平均待ち時間（最初から通常再生のみ行う場合）

グする。このとき、倍速再生用コンテンツと通常再生用コンテンツがスケジューリングされる時間帯をできるだけ近づけることで、通常再生中に倍速再生へ切り替えても待ち時間は長大化しない。

一方で、CCB-CP 法では、初めにすべての倍速再生用コンテンツを放送開始時刻ができるだけ早い部分にスケジューリングした後、通常再生用コンテンツをスケジューリングされていない部分にスケジューリングする。コンテンツを通常再生する場合、コンテンツに対応する通常再生用コンテンツと倍速再生用コンテンツ両方が必要であるため、通常再生用コンテンツと倍速再生用コンテンツでスケジューリングされた時間帯が離れている場合、通常再生時に待ち時間は長大化する。例えば、使用できる帯域幅が 7.0 Mbps のとき、 $e = 3$ において、提案手法は約 5.9 秒、既存手法である CCB-CP 法の待ち時間は約 32.3 秒となり、提案手法の平均待ち時間は既存手法に比べて約 81.8% 短縮できる。

4.2.2 最初から通常再生のみ行う場合

図 12 より、提案手法は CCB-CP 法に比べて平均待ち時間が短いことが分かる。また、 $e = 3$ において、帯域幅が 6.0 Mbps 以上の場合、提案手法では待ち時間が発生しない。提案手法では、3.3 節に示したスケジューリング手順に従い、各チャンネルに再生レートの半分以上となる帯域幅をできるだけ割り当てる。この場合、通常再生用コンテンツと倍速再生用コンテンツを同じ放送開始時刻に異なるチャンネルでスケジューリングしても待ち時間なく通常再生できるため、最初から通常再生のみ行う場合、待ち時間は発生しない。

4.2.3 最初から倍速再生のみ行う場合

図 13 より、提案手法は CCB-CP 法に比べて平均待ち時間が長いことが分かる。提案手法では、サーバが使用できる帯域幅をチャンネル数で割った帯域幅を各チャンネルに割り当てる。このとき、各チャンネルに再生レートの半分以上となる帯域幅を割り当てるが、再生レートに比べて小さいため、倍速再生用コンテンツの再生開始時刻は遅くなる。このため、倍速再生のみを行う場合、待ち時間は長大化する。

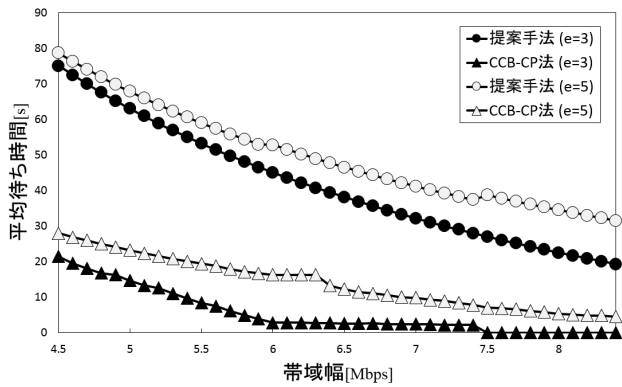


図 13 帯域幅と平均待ち時間（最初から倍速再生のみ行う場合）

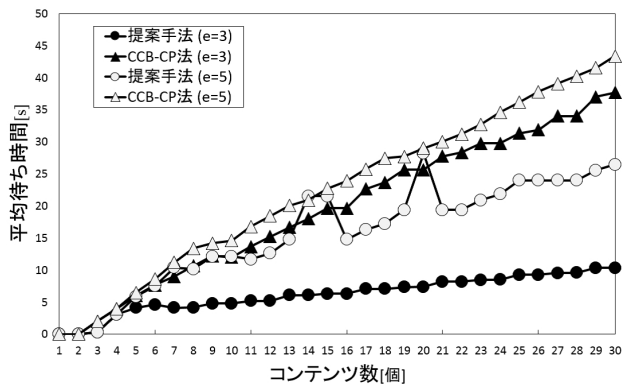


図 14 コンテンツ数と平均待ち時間（通常再生中に倍速再生へ切り替える場合）

しかし、本研究では、クライアントは初めに通常再生を行い、コンテンツに興味をもてば最後まで通常再生し、興味をもたなければ倍速再生に切り替える視聴形態を想定している。このため、コンテンツを最初から倍速再生する視聴形態は一般的ではないと考える。

4.3 コンテンツ数と平均待ち時間

サーバが配信するコンテンツの数によってスケジューリングは変化し、平均待ち時間も変化する。そこで、通常再生中に倍速再生へ切り替える場合、最初から通常再生のみ行う場合、および最初から倍速再生のみ行う場合の三つについて、コンテンツ数の変化に応じた平均待ち時間がどの程度になるかを比較評価した。評価結果を図 14、図 15、および図 16 にそれぞれ示す。横軸はコンテンツ数、縦軸は平均待ち時間とする。サーバが使用できる帯域幅は 6.5 Mbps、コンテンツの再生時間は 60 秒、および再生レートは 5.0 Mbps とする。また、通常再生中に倍速再生へ切り替える場合は、最初の 20 秒間を通常再生し、その後 20 秒間を倍速再生することとする。

4.3.1 通常再生中に倍速再生へ切り替える場合

図 14 より、提案手法は CCB-CP 法に比べて平均待ち時間が短いことが分かる。また、 $e = 5$ の場合、コンテンツ数が 19 から 20 に増加するときに提案手法の平均待ち時間は

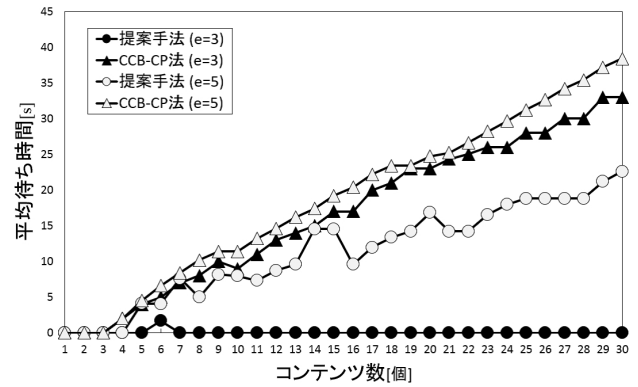


図 15 コンテンツ数と平均待ち時間（最初から通常再生のみ行う場合）

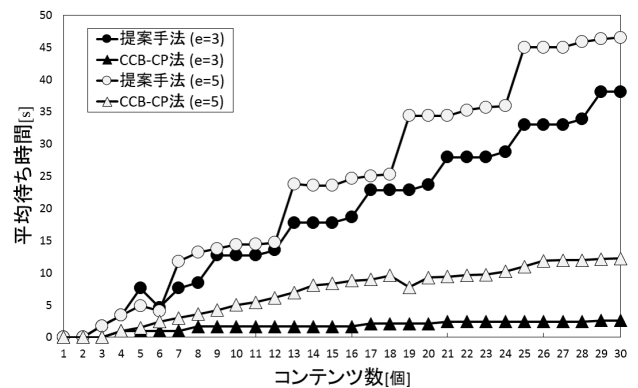


図 16 コンテンツ数と平均待ち時間（最初から倍速再生のみ行う場合）

長大化する。提案手法では、コンテンツ数の増加にともない、チャンネル数を増加させることで、各チャンネルに割り当てる帯域幅は再生レートに比べて小さくなる。このとき、倍速再生用コンテンツの再生開始時刻は遅くなり、通常再生から倍速再生に切り替えたときに発生する待ち時間は長大化する。

4.3.2 最初から通常再生のみ行う場合

図 15 より、提案手法は CCB-CP 法に比べて平均待ち時間が短いことが分かる。通常再生を行う場合、通常再生用コンテンツと倍速再生用コンテンツの両方が必要となる。通常再生用コンテンツと倍速再生用コンテンツの放送開始時刻が離れている場合、通常再生用コンテンツの放送開始時刻まで通常再生の開始を待つ必要がある。提案手法では、倍速再生用コンテンツと通常再生用コンテンツがスケジューリングされる時間帯をできるだけ近づけることで、平均待ち時間は長大化せず、CCB-CP 法に比べて平均待ち時間は短くなる。

4.3.3 最初から倍速再生のみ行う場合

図 16 より、 $e = 5$ において、コンテンツ数が 6 から 7 に増加する場合、提案手法の平均待ち時間は長大化する。コンテンツ数が 7 の場合、深さ 3 に問題出題のコンテンツが追加される。問題出題のコンテンツはすべての視聴経路で視聴されるが、問題出題のコンテンツが追加されても、視

聴経路の数は変化しない．一方で，全体の待ち時間は長大化するため，コンテンツ数が7の場合の平均待ち時間は，コンテンツ数が6の場合の平均待ち時間に比べて長大化する．

5. おわりに

本研究では，選択型コンテンツの放送型配信において，コンテンツ再生時の速度変更を考慮して待ち時間を短縮するスケジューリング手法であるCCB-SS法を提案した．CCB-SS法では，番組の視聴構成とサーバが使用できる帯域幅に応じてチャンネル数を決定し，コンテンツを早送りで再生する部分と通常で再生する部分の二つに分けてスケジューリングする．また，各チャンネルは再生レートの半分以上となる帯域幅を確保して，通常再生で待ち時間が発生しないようにスケジューリングすることで，通常再生と倍速再生を組み合わせた番組視聴で発生する待ち時間の合計値を既存手法に比べて短縮できる．例えば，使用できる帯域幅が7.0 Mbpsで，各選択部分に3個の選択肢があるクイズ番組において，最初の20秒間を通常再生し，その後20秒間を倍速再生する場合，提案手法であるCCB-SS法は約5.9秒，既存手法であるCCB-CP法の待ち時間は約32.3秒となり，提案手法の待ち時間は既存手法に比べて約81.8%短縮できる．

今後の予定として，早送り再生が可能な視聴順序グラフにおいてユーザの選択確率を考慮したスケジューリング手法の提案がある．

謝辞 本研究の一部は，JSPS 科研費 26730059, 15H02702, (公財) ウエスコ学術振興財団，ならびに総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) による成果である．ここに記して謝意を表す．

参考文献

- [1] 義久智樹, 金澤正憲: 選択型コンテンツの放送型配信におけるスケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3296-3307 (2006).
- [2] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Taniguchi, H., Kanazawa, M., Rahayu, W., and Chen, Y.P.P.: A Scheduling Method for Selective Contents Broadcasting with Fast-forwarding, Proc. 2nd International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2011), pp.344-349 (2011).
- [3] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Kanazawa, M., and Takahashi, Y.: A Scheduling Method to Reduce Waiting Time Considering Transition Probability for Selective Contents Broadcasting, IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems 2008 (ISWCS'08), pp.149-153 (2008).
- [4] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Taniguchi, H., and Kanazawa, M.: A Scheduling Method on Selective Contents Broadcasting with Node Relay Based Webcast Considering Available Bandwidth, Proceedings of the 5th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management (NCM 2009), pp.1368-1373 (2009).
- [5] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 帯域幅を考慮した選択型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮手法, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.5, pp.1692-1701 (2008).
- [6] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲, 高橋 豊: 選択確率を考慮した選択型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮手法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.2, pp.882-892 (2009).
- [7] Viswanath, S., and Imilelinski, T.: Pyramid broadcasting for video on demand service, Proc. SPIE Multimedia Computing and Network Conf. (MMCN'95), pp.66-77 (1995).
- [8] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M., and Nishio, S.: A scheduling scheme for continuous media data broadcasting with a single channel, IEEE Trans. Broadcasting, Vol.52, pp.1-10 (2006).
- [9] Mahanti, A., Eager, D., Vernon, M., and Stukel, D.: Scalable on-demand media streaming with packet loss recovery, IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.11, pp.195-209 (2003).
- [10] Zhao, Y., Eager, D., and Vernon, M.: Scalable on-demand streaming of nonlinear media, Proc. IEEE INFOCOM (2004).
- [11] Paris, J-F., Carter, S.W. and Long, D.D.E.: Efficient Broadcasting Protocols for Video on Demand, Proc. ACM International Multimedia Conference (Multimedia '99), pp.189-197 (1999).
- [12] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 早送りを考慮した連続メディアデータ放送におけるスケジューリング手法, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.45, No. SIG7(TOD22), pp.179-188 (2004).
- [13] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 選択型コンテンツのオンデマンド配信における待ち時間短縮のためのスケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.716-726 (2008).