

選択型コンテンツの放送型配信における ユーザの視聴形態を考慮したスケジューリング手法

福井 大地¹ 後藤 佑介¹

概要：選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは多くのクライアント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、配信するコンテンツ数や使用できる帯域幅に応じて、ユーザは番組視聴中に待ち時間が発生するため、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。これまでの手法は、ユーザが所望する再生速度でコンテンツを視聴するため、すべてのコンテンツで早送り再生が可能な場合の配信スケジュールを作成していた。しかし、配信するコンテンツ数が増加すると、等速再生を行う場合に待ち時間が長大化する問題がある。本研究では、コンテンツごとに許容される再生速度が異なる番組構成におい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。ユーザの視聴形態を考慮した評価の結果、提案手法は既存手法に比べて平均待ち時間を短縮することが分かった。

A Scheduling Method for Selective Contents Broadcasting Considering Watching Style

DAICHI FUKUI¹ YUSUKE GOTOH¹

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。例えば、ユーザはニュースの概要を視聴した後、見たいニュースのトピックを選択し、選択に応じた番組を視聴する場合が考えられる。選択型コンテンツを提供することで、ユーザは自分の嗜好に応じたコンテンツを視聴できるが、選択型コンテンツを提供するサーバは、選択肢となるいくつかのコンテンツを配信する必要がある。また、サーバが提供するコンテンツ数が増加すると、コンテンツを配信するためにより多くの帯域幅が必要となる。

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは多くのクライアント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。配信するコンテンツ数や使用できる帯域幅に応じて、ユーザは番組視聴中に待ち時間が発生するため、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。これまでの手法は、ユーザが所望する再生速度による

コンテンツの視聴を実現するため、すべてのコンテンツで早送り再生が可能な場合の配信スケジュールを作成していた。しかし、配信するコンテンツ数が増加すると、等速再生時に待ち時間が長大化する問題がある。また、ユーザの視聴形態において、サーバはコマーシャルといったコンテンツを早送りせずにユーザに視聴してもらおう場合、等速度による再生(以下、等速再生)による視聴設定にする必要がある。本研究では、コンテンツごとに許容される再生速度が異なる環境において、ユーザの視聴形態を考慮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、早送り再生が可能なコンテンツに加えて等速再生のみ可能なコンテンツを再生時に待ち時間ができるだけ発生しないようにスケジューリングすることで、番組視聴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二種類に分類される。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

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

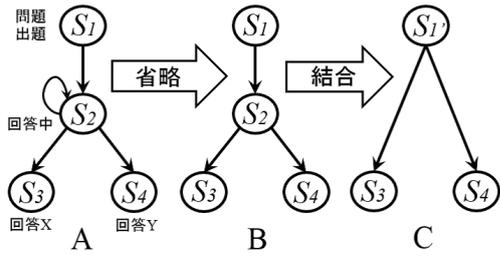


図 1 視聴順序グラフの簡単化

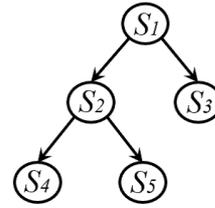


図 2 ニュース番組の視聴順序グラフ

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方法である。しかし、サーバが使用できる帯域幅には限りがあるため、コンテンツ数が増加すると、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、オンデマンド型では、サーバはクライアント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、データの受信をサーバに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。以下で、視聴順序グラフについて簡単に説明する。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、次の状態に遷移する。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 に遷移する。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遷移する。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。また、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。

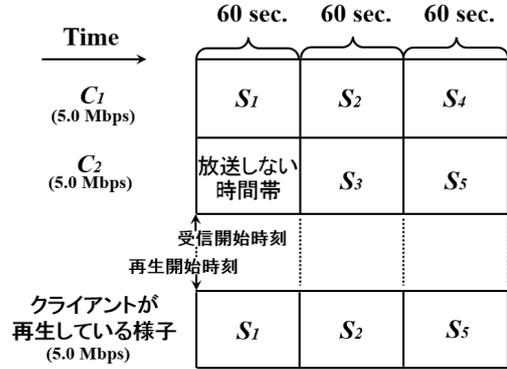


図 3 単純手法の配信スケジュール例 (使用帯域幅:10 Mbps)

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、各チャンネルの帯域幅は減少する。このとき、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を検討する必要がある。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。放送に用いるチャンネルの数は、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、各チャン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 個のチャンネル 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、単純手法で使用するチャンネルの数 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 × 2 = 10 Mbps となる。単純手法では、ある深さにおける選択肢の数がすべての深さにおける選択肢の数

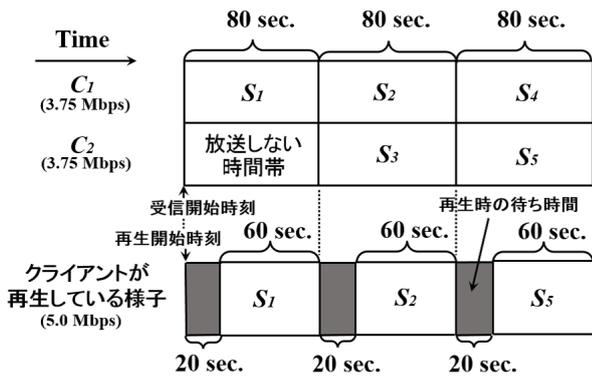


図 4 単純手法の配信スケジュール例 (使用帯域幅:7.5 Mbps)

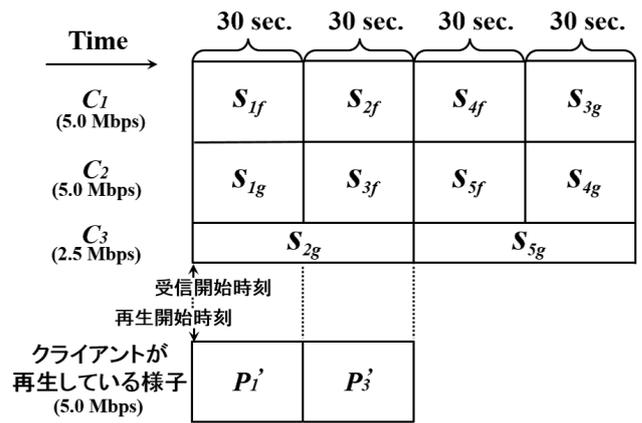


図 6 CCB-CP 法の配信スケジュール例

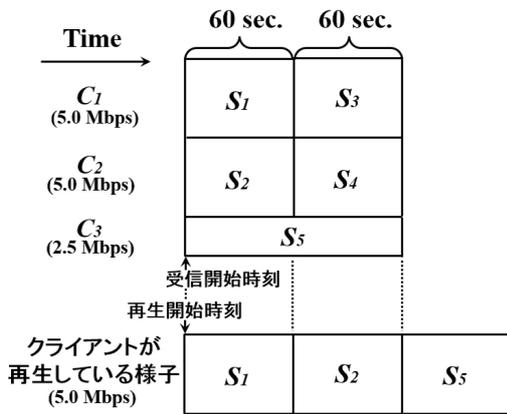


図 5 CCB 法の配信スケジュール例 (使用帯域幅:12.5 Mbps)

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ンネルが発生する。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 のとき、図 2 に示す選択型コンテンツを放送する場合の配信スケジュールを図 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 の場合は、最大で 7.5 Mbps しか確保できない。このとき、チャンネル 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合計で 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、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

ント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、単純手法ではスケジューリングする場合にコンテンツを放送していない時間帯があるが、CCB 法ではこの時間帯にも放送するようにコンテンツをスケジューリングすることで、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、再生レートである 5.0 Mbps と同じ帯域幅を C_1 、 C_2 に割り当て、 C_1 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、サーバが放送に必要な帯域幅は $5.0 \times 2 + 2.5 = 12.5$ Mbps となる。

しかし、放送に必要な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。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、各チャンネルの帯域幅は $7.5 / 12.5 = 0.6$ 倍され、チャンネル C_1 、 C_2 の帯域幅は $5.0 \times 0.6 = 3.0$ Mbps、チャンネル 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 $37.5 \times 8 / 3.0 = 100$ 秒となり、クライアントが各コンテンツの再生を開始する場合、それぞれ $100 - 60 = 40$ 秒待つ必要がある。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合計で 80 秒となる。

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 Prefetch-

ing (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ンネル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等速再生するために必要とな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-CB 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）でコンテンツを再生する場合、 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_{ig} の二つに分割する。倍速再生を行う場合は s_{if} のみを用いて再生し、等速再生を行う場合は s_{if} と s_{ig} を両方用いて再生する。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、クライアントが視聴順序グラフにおける根から葉までのすべてのコンテンツを早送りで再生する場合に待ち時間を短縮するスケジューリング手法であるため、等速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、クライアントがコンテンツを倍速再生で視聴した後に、次に視聴するコンテンツを等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 を等速再生する場合は 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 を等速再生する場合、倍速再生の部分である再生時間 30 秒のコンテンツ s_{3f} と残りの部分である再生時間 30 秒のコンテンツ s_{3g} を両方用いる。 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、 s_{3g} の放送開始時刻は放送開始から 90 秒後となるため、クライアントが S_3 の等速再生を行う場合、 s_{3g} の放送開始時刻まで待つ必要がある。このとき、 S_1 の再生終了時刻は放送開始 30 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に $90 - 30 = 60$ 秒の待ち時間が発生する。本研究では、コンテンツごとに許容される再生速度が異なる環境を考慮することで、クライアントがコンテンツを等速再生する場合に発生する待ち時間を短縮する。

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]。Contents Cumulated Broadcasting - Considering Bandwidth (CCB-CB) 法 [4] 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、Extended Cumulated Broadcasting (ECB)

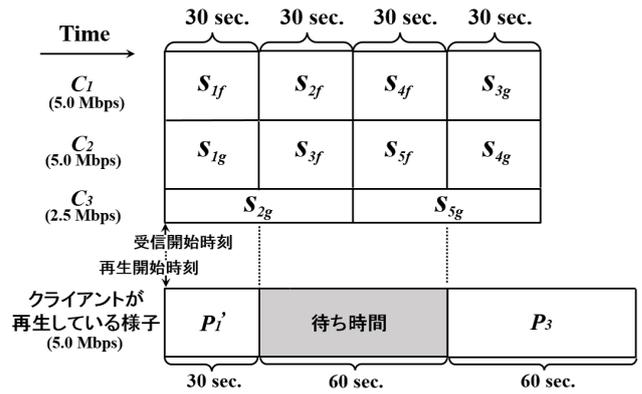


図 7 等速再生を考慮した CCB-CP 法の配信スケジュール例

法 [5] 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 [6], [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、Continuous Interactive Cautious Harmonic Broadcasting (CICHB) 法 [12] と Discontinuous Interactive Cautious Harmonic Broadcasting (DICHB) 法 [13] がある。CHB 法では C_1 で S_1 のみを放送するが、CICHB 法では、各チャンネルの帯域幅を大きくして C_1 で複数のセグメントを放送することで、クライアントは早送り再生で発生する途切れ時間を短縮できる。DICHB 法では、サーバは連続メディアデータを等速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、選択型コンテンツのオンデマンド型配信におけるスケジューリング手法として、Restricted waiting time for Selective Contents (RSC) 法 [14] がある。RSC 法では、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、コンテンツごとに許容される再生速度が異なる環境を考慮したスケジューリング手法として Contents Cumulated Broadcast-

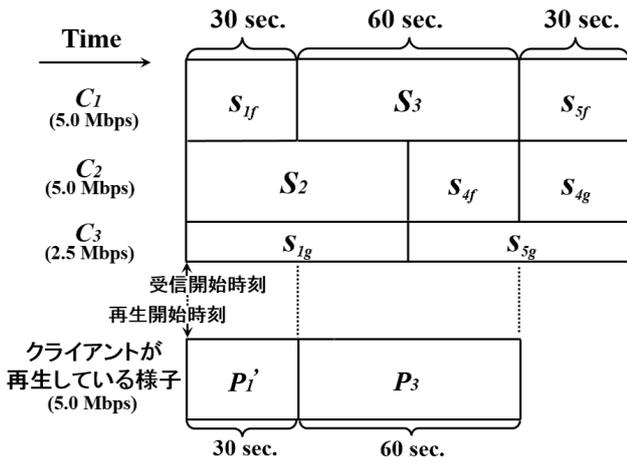


図 8 提案手法の配信スケジュール例

ing - considering Various Speeds (CCB-VS) 法を提案する。CCB-VS 法では、既存手法の CCB-CP 法と同様に、早送り再生可能なコンテンツを早送り再生する部分と等速再生で必要となる部分の二つに分ける。次に、早送り再生可能なコンテンツに加えて等速再生のみ可能なコンテンツの二種類を用いて、再生時に待ち時間ができるだけ発生しないようにスケジューリングすることで、既存手法に比べて再生時の待ち時間を短縮する。

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。
- 早送り再生は、倍速再生のみとする。
- 番組を構成するコンテンツは、等速再生のみ可能なコンテンツ、および倍速再生と等速再生のうちどちらかの再生速度を選択可能なコンテンツの二種類に分けられる。

3.3 スケジューリング手順

- (1) 使用できる帯域幅を B 、再生レートを r としたとき、 $m = \lceil B/r \rceil$ 個のチャネル C_j ($j = 1, \dots, m$) の帯域幅を以下の式で算出する。

$$C_j = \begin{cases} r & (j = 1, \dots, m-1) \\ B - r \times (m-1) & (j = m) \end{cases}$$

- (2) 視聴順序グラフにおける根の階層を 1 としたとき、根

から葉までの階層の数を深さとする。このとき、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を一つ選択する。

- (3) (2) で選択した深さにおいて、等速再生のみ可能なコンテンツのみで構成される場合、これらのコンテンツのうち i が小さいコンテンツから順番に、 C_1, \dots, C_m で放送終了時刻がもっとも早い部分に S_i をスケジューリングし、(2) へ。
- (4) (2) で選択した深さにある早送り再生可能なコンテンツを候補としてすべて選択する。
- (5) (4) で選択した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 で放送終了時刻がもっとも早い部分に s_{if} をスケジューリングする。
- (6) (2) で選択した深さにあるコンテンツの次に視聴するコンテンツについて、等速再生のみ可能なコンテンツがない場合、(8) へ。
- (7) (2) で選択した深さにあるコンテンツの次に視聴するコンテンツのうち、等速再生のみ可能なコンテンツについて、 i が小さい順番に、 C_1, \dots, C_m で放送終了時刻がもっとも早い部分に S_i をスケジューリングする。
- (8) (4) で選択した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 で放送終了時刻がもっとも早い部分に s_{ig} をスケジューリングする。
- (9) 根から葉までの順番で、各深さについて、手順 (2) から (8) 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。

以上の手順でスケジューリングを行う。

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。図 2 の視聴順序グラフを使用し、 S_1, S_4, S_5 は早送り再生可能なコンテンツ、 S_2, S_3 は等速再生のみ可能なコンテンツとする。使用できる帯域幅を 12.5 Mbps、再生レートを 5.0 Mbps とすると、3.3 節のスケジューリング手順 (1) より、 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。手順 (2) で深さ 1 を選択する。手順 (4) 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 (5) で倍速再生用コンテンツ s_{1f} を C_1 にスケジューリングする。次に、手順 (7) で次の深さである深さ 2 の等速再生のみ可能なコンテンツである S_2, S_3 を C_2, C_1 にそれぞれスケジューリングする。手順 (8) において、手順 (4) で候補として選択した S_1 のうち等速再生に必要なコンテンツ s_{1g} を C_3 にスケジューリングする。同様の手順で、 S_4, S_5 について、 $s_{4f}, s_{5f}, s_{4g}, s_{5g}$ の順番にスケジューリングする。例えば、クライアントがコンテンツ S_1 を倍速再生した後、次に視聴するコンテンツ S_3 を等速再生する場合、待ち時間は発生しない。

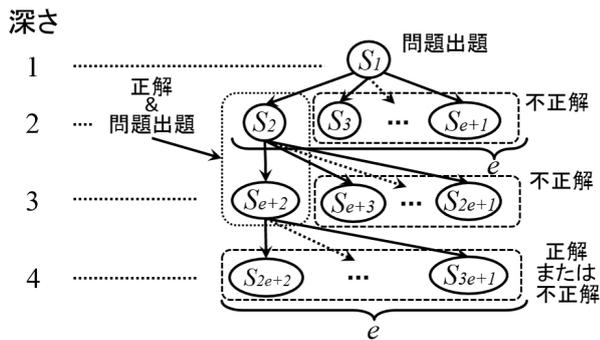


図 9 クイズ番組の視聴順序グラフ

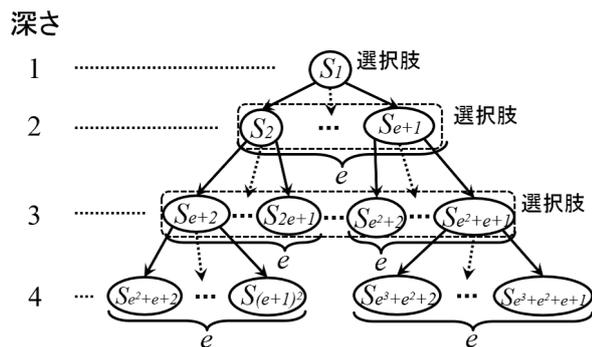


図 10 ドラマ番組の視聴順序グラフ

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 9 および図 10 に示す視聴順序グラフを用いて評価を行う。図 9 はクイズ番組の視聴順序グラフを表す。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る。正解のコンテンツを選択した場合は、続けて次の問題を視聴する。一方、不正解のコンテンツを選択した場合は、視聴を終了する。また、図 10 はドラマ番組の視聴順序グラフを表す。各選択部分には e 個の選択肢がある。例えば、 $e = 2$ のとき、グラフは図 1-C となる。

今回の評価では、図 9、図 10 に示す視聴順序グラフについて、深さが奇数のコンテンツは早送り再生可能なコンテンツ、および深さが偶数のコンテンツは等速再生のみ可能なコンテンツとする。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。コンテンツの再生時間は 60 秒、および再生レートは 3.0 Mbps とする。比較手法として、2 章で説明した CCB-CP 法を用いる。

ユーザの視聴形態として、以下の三種類の条件を設定す

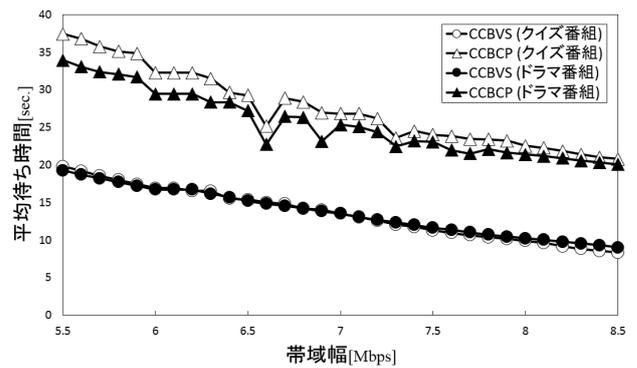


図 11 帯域幅と平均待ち時間 (条件 1)

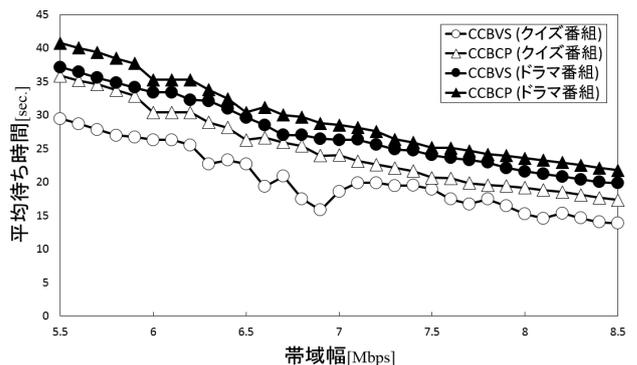


図 12 帯域幅と平均待ち時間 (条件 2)

る。なお、等速再生のみ可能なコンテンツは等速再生を行う。

条件 1 視聴経路上のコンテンツのうち、早送り再生可能なコンテンツはすべて倍速で再生する。

条件 2 視聴経路上のコンテンツはすべて等速度で再生する。

条件 3 視聴経路上のコンテンツのうち、早送り再生可能なコンテンツは、最初の 20 秒間を等速再生した後、倍速再生を 20 秒間行う。

4.2 帯域幅の影響

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、帯域幅に応じた平均待ち時間の変化を比較評価した。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。クイズ番組とドラマ番組の各視聴順序グラフにおける選択肢の数は $e = 5$ 、コンテンツ数は 20 とし、4.1 節で述べたユーザの視聴形態を用いる。

図 11 より、早送り再生可能なコンテンツを倍速再生する場合、提案手法の平均待ち時間は CCB-CP 法に比べて短い。提案手法では、倍速再生用コンテンツと等速再生のみ可能なコンテンツは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する。このため、倍速再生を行うコンテンツと等速再生のみ可能なコンテンツについて、再生時

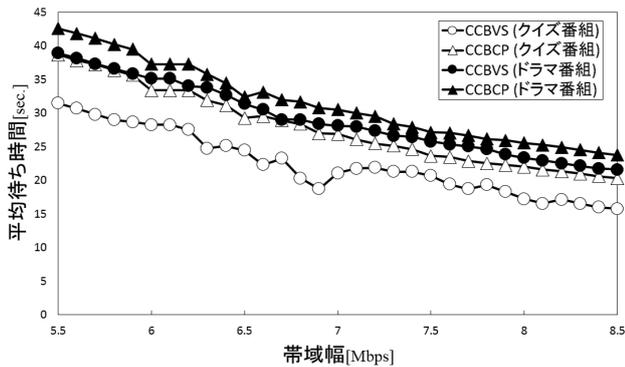


図 13 帯域幅と平均待ち時間 (条件 3)

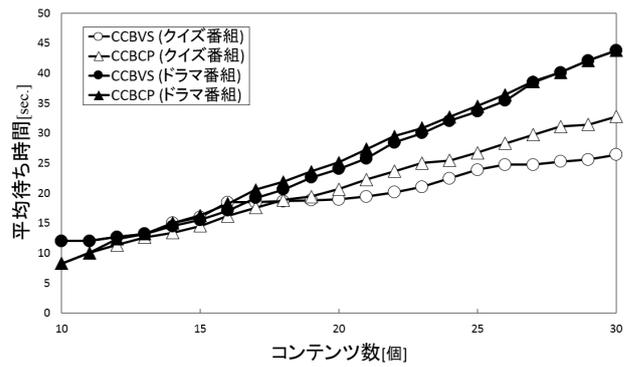


図 15 コンテンツ数と平均待ち時間 (条件 2)

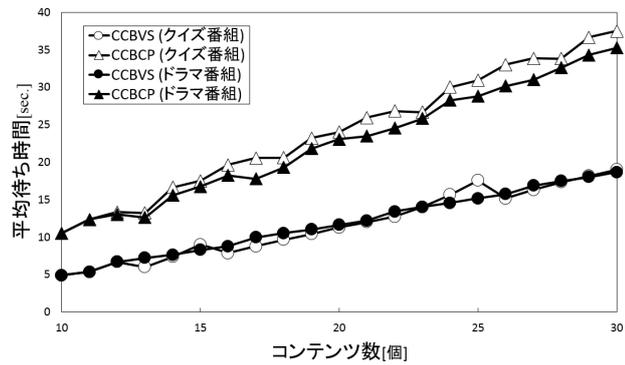


図 14 コンテンツ数と平均待ち時間 (条件 1)

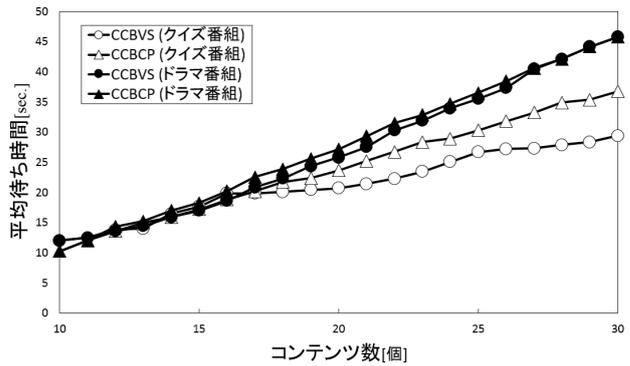


図 16 コンテンツ数と平均待ち時間 (条件 3)

の待ち時間は短くなる。一方で、CCB-CP 法では、等速再生のみ可能なコンテンツのスケジューリングを考慮しておらず、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くなるようにスケジューリングした後、等速再生に必要な残りの部分をスケジューリングする。このとき、倍速再生を行うコンテンツにおける再生時の待ち時間は短くなる。一方で、等速再生のみ可能なコンテンツを等速再生する場合、倍速再生用コンテンツ s_{if} と残りの部分である s_{ig} をスケジューリングした時間帯が離れているため、 S_i の等速再生における待ち時間は長大化する。

図 12 より、早送り再生可能なコンテンツを含むすべてのコンテンツを等速再生する場合においても、提案手法の平均待ち時間は CCB-CP 法に比べて短い。提案手法では、倍速再生用コンテンツ s_{if} と等速再生に必要なコンテンツ s_{ig} 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。このため、早送り再生可能なコンテンツを等速再生する場合でも、待ち時間は短くなる。

図 13 より、等速再生中に倍速再生へ切り替える場合の平均待ち時間の変化は、図 12 とほぼ同じであった。提案手法と CCB-CP 法において、倍速再生用コンテンツはどちらも等速再生に必要なコンテンツより放送開始時刻が早くなるようにスケジューリングする。このため、等速再生中に倍速再生へ切り替えた場合の待ち時間は発生せず、等速再生のみを行う場合の待ち時間とほぼ同じになる。

4.3 コンテンツ数の影響

サーバが配信するコンテンツ数が増加すると、再生開始時刻までに受信できないコンテンツ数が増加し、待ち時間は長くなる。そこで、コンテンツ数に応じた平均待ち時間の変化を比較評価した。評価結果を図 14, 図 15, および図 16 にそれぞれ示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸は平均待ち時間とする。クイズ番組とドラマ番組の各視聴順序グラフにおける選択肢の数は $e = 5$ 、サーバが使用できる帯域幅は 7.5 Mbps とし、4.1 節で述べたユーザの視聴形態を用いる。

図 14 より、早送り再生可能なコンテンツを倍速再生する場合、クイズ番組とドラマ番組それぞれについて、提案手法における平均待ち時間は CCB-CP 法に比べて短い。提案手法では、倍速再生用コンテンツに加えて等速再生のみ可能なコンテンツをできるだけ途切れなく再生できるようにスケジューリングする。このため、早送り再生可能なコンテンツを倍速再生する場合、コンテンツ数の増加による平均待ち時間への影響は、提案手法の方が CCB-CP 法に比べて小さい。

図 15 より、ドラマ番組において、提案手法の平均待ち時間は CCB-CP 法とほぼ同じである。ドラマ番組の場合、コンテンツ数が増加しても、視聴順序グラフにおける深さの変化はクイズ番組より小さい。今回の評価に用いたドラマ番組の場合、コンテンツ数が 10 から 30 において、深さは 3 となる。このとき、各視聴経路で深さ 3 のコンテンツ

の等速再生を行う場合に待ち時間が発生するため、提案手法の平均待ち時間は CCB-CP 法とほぼ同じとなった。一方、クイズ番組の場合、コンテンツ数の増加にともない、深さは大きくなる。提案手法では、等速再生のみ可能なコンテンツを途切れなく再生できるようにスケジューリングすることで待ち時間を短縮するため、提案手法の平均待ち時間は CCB-CP 法に比べて短くなる。

図 16 より、等速再生中に倍速再生へ切り替える場合の平均待ち時間は、図 14 の場合に比べて長大化する。どちらの手法も倍速再生用コンテンツをスケジューリングした後に等速再生に必要なコンテンツをスケジューリングするため、等速再生時の待ち時間は長大化する。したがって、等速再生中に倍速再生へ切り替える場合、平均待ち時間は長大化する。

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、コンテンツごとに許容される再生速度が異なる環境を考慮したスケジューリング手法である CCB-VS 法を提案した。CCB-VS 法は、早送り再生可能なコンテンツを倍速再生の部分と等速再生で必要となる部分の二つに分けた上で、倍速再生用コンテンツに加えて等速再生のみ可能なコンテンツを再生時に待ち時間ができるだけ発生しないようにスケジューリングすることで、既存手法に比べて待ち時間を短縮する。ユーザの視聴形態を考慮した評価により、提案手法は既存手法に比べて平均待ち時間を短縮することが分かった。

今後の予定として各コンテンツで許容される再生速度が異なる環境における評価、および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, 16K01065, ならびに（公財）山陽放送学術文化財団による成果である。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), IEEE Computer Society, 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] 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).
- [5] 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).
- [6] Viswanathen, S., and Imilelinski, T.: Pyramid broadcasting for video on demand service, Proc. SPIE Multimedia Computing and Networkig Conf. (MMCN'95), pp.66-77 (1995).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] Zhao, Y., Eager, D., and Vernon, M.: Scalable on-demand streaming of nonlinear media, Proc. IEEE IM-FOCOM (2004).
- [10] Umezawa, M., Yoshihisa, T., Hara, T., Nishio, S.: Interruption Time Reduction Methods with Finer Data Division for Streaming Delivery on Hybrid Broadcasting Environments, Proc. of IEEE Pacific Rim Conference Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'13), pp.114-119 (2013).
- [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: 早送りを考慮した放送型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, 情報処理学会研究報告 (データベースシステム研究会 2003-DBS-129・放送コンピューティング研究グループ 2003-BCCgr-4 合同研究会), pp. 57-64 (2003).
- [13] 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).
- [14] 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).