

選択型コンテンツの放送型配信における 視聴順序を考慮した待ち時間短縮手法

後藤 佑介[†] 義久 智樹^{††} 金澤 正憲^{††}

近年のデジタル放送の普及にともない、ユーザがコンテンツを選択して視聴する、選択型コンテンツに対する注目が高まっている。例えば、2択クイズ番組で、ユーザが回答を選択し、その回答に対する映像を視聴するといった選択型コンテンツが考えられる。サーバは、ユーザの嗜好に応じた番組を提供できるが、クライアントは、選択したコンテンツが再生されるまで待つ必要がある。筆者らは、これまで選択確率を考慮した待ち時間短縮手法を提案してきたが、視聴順序グラフの形状を考慮することで、待ち時間をさらに短縮できる。本論文では、選択型コンテンツの放送型配信において、クライアントの視聴順序を考慮したうえで待ち時間を短縮する手法を提案する。

A Method to Reduce Waiting Time for Selective Contents Broadcasting Considering Play-Sequence

YUSUKE GOTOH,[†] TOMOKI YOSHIHISA^{††} and MASANORI KANAZAWA^{††}

Due to the recent popularization of digital broadcasting systems, selective contents, i.e., users watch their selected contents, have attracted attention. For example, in a quiz program, a user selects his answer and watches the video content for the answer. Although the server can deliver programs matching users' preferences, clients have to wait until their selected contents are played. Therefore, we have proposed a method to reduce the waiting time considering transition probabilities. However, by considering play-sequence of selective contents, the waiting time can be reduced further. In this paper, we propose a method to reduce the waiting time for selective contents broadcasting considering play-sequence.

1. はじめに

1 セグメント放送や地上波デジタルテレビ放送といった近年の放送・通信融合環境の普及にともない、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に対する注目が高まっている¹⁾。例えば、2択のクイズ番組で、選択肢を提示した後、ユーザは回答を選択する。ユーザの回答が正解であれば、正解の映像を表示し、不正解であれば、不正解の映像を表示する。また、ニュース番組で、幾つかのニュースの概要を述べた後、ユーザが詳しく聞きたいニュースを選択して視聴するといった選択型コンテンツが挙げられる。選択型コンテンツを提供することで、ユーザは、自分の嗜好に応じてコンテンツを視聴できる。しかし、サーバは選択肢となる幾つかのコンテンツを配信する必要

がある。ここでコンテンツとは、2択クイズ番組の選択肢の映像や、回答に対する映像といった、各場面の映像を示す。

放送型配信におけるクライアントのデータ受信までに要する待ち時間の短縮問題は重要な研究テーマであり、これまで幾つか検討されている。しかし、再生するコンテンツの選び方には偏りがあるため、各コンテンツの選択確率を考慮することで待ち時間を短縮できる。例えば、以下の状況が挙げられる。

- 経済ニュースとスポーツニュースを選択できるニュース番組で、海外で活躍する日本人スポーツ選手が話題になっている場合、経済ニュースよりスポーツニュースを選択する確率が高くなる。
- 2択のクイズ番組で、回答 A より回答 B の方がもっともらしい回答の場合、回答 B を選択する確率が高くなる。

これまで提案されてきた手法では、各コンテンツの選択確率のみを考慮し、番組の視聴順序を考慮していなかった。選択型コンテンツの視聴順序にはさまざまな形状が考えられ、クライアントごとに番組の視聴順

[†] 京都大学大学院 情報学研究所

Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{††} 京都大学 学術情報メディアセンター

Academic Center for Computing and Media Studies,
Kyoto University

序は異なる。そこで、視聴順序を考慮することで、放送する番組において各コンテンツの優先度がより明確になり、既存手法よりも待ち時間を短縮できる。選択確率の取得方法については、5.2節で考察を行う。

本論文では、選択型コンテンツの放送型配信において、クライアントの視聴順序を考慮したうえで待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、コンテンツの再生レートと等しい帯域幅の放送チャンネルを多く確保し、クライアントの視聴順序を考慮してスケジューリングする。再生レート未満の帯域幅も有効に利用してスケジューリングしている点に提案手法の意義があり、単純に選択確率の大きいコンテンツを早く放送するだけではない。

本論文は、以下のように構成される。2章では関連研究について説明し、3章では提案手法を説明する。4章では評価を行い、5章では考察を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

2.1 選択型コンテンツ

これまで、選択型コンテンツの視聴順序を表記するために、視聴順序グラフと呼ぶ状態遷移グラフが用いられてきた²⁾。視聴順序グラフでは、各ノードは各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、2択クイズ番組の視聴順序グラフは、図1-Aで表現される。状態 S_1 は、出題の映像を再生している状態であり、再生時間が1分のコンテンツである。1分後、 S_1 の再生が終了すると、 S_2 に遷移する。 S_2 は、選択肢となる回答 X, Y, Z の内容を表示している状態であり、再生時間が1分のコンテンツである。この間に、ユーザは回答を選択する。 S_2 の再生終了後、回答 X を選択すると S_3 、回答 Y を選択すると S_4 、回答 Z を選択すると S_5 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。ユーザがコンテンツを選択しなかった場合には、再び S_2 に戻る。これらの選択確率は、矢印付近に記述されており、回答 X を選択する確率は 0.35、回答 Y を選択する確率は 0.3、回答 Z を選択する確率は 0.25、コンテンツを選択せずに再び S_2 に戻る確率は 0.1 である。 S_3, S_4, S_5 の再生時間は 3 分である。 S_3 は、回答 X を選択した場合の状態であり、正解の映像を再生する。 S_4, S_5 は、それぞれ回答 Y, Z を選択した場合の状態であり、どちらも不正解の映像を再生する。回答 X を選択した場合のみ、 S_3 の再生終了後に S_6 に遷移する。 S_6 の再生時間は 1 分である。 S_6 では、回答 P, Q のど

ちらかの映像を選択でき、回答 P を選択すると S_6 、回答 Q を選択すると S_7 に遷移する。回答 P を選択する確率は 0.6、回答 Q を選択する確率は 0.4 であり、 S_6, S_7 の再生時間は 3 分である。

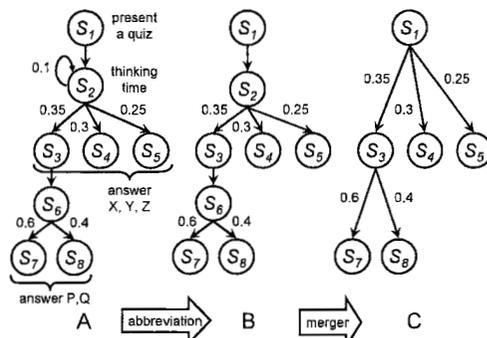


図 1 2 択クイズ番組の視聴順序グラフの単純化

Fig. 1 A simplification of a play-sequence graph for a quiz program.

視聴順序グラフに対して、状態遷移の省略 (Abbreviation)、状態の結合 (Merger)、状態の分割 (Split) の 3 種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、放送スケジュールの作成が容易になる。選択確率を考慮しない場合の視聴順序グラフの変形について、文献³⁾に詳述されている。これに選択確率を考慮に入れると、図1-Aの視聴順序グラフは、図1-Cに表現される。図1-Cにおける選択確率をすべて足すと $0.35 + 0.3 + 0.25 = 0.9$ となり、1 にならないが、コンテンツを選択せずに再び S_2 に戻る確率 (0.1) が、状態の結合により省略されたためである。以上の操作を行うことで、2 択クイズ番組の例は、図1のように単純化できる。

2.2 既存研究

放送型配信において、待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法は、幾つか提案されている^{6)~9)}。これらの手法では、データをデータサイズの等しい幾つかの部分に分割し、帯域幅が等しい幾つかのチャンネルを用いて、分割したデータを各チャンネルで繰り返して放送することで、クライアントは初めのデータを受信できる機会が増え、待ち時間を短縮できる。データサイズの等しい幾つかの部分に分割して放送する手法として、パケットロスを考慮した手法、単一のチャンネルで放送する手法など、さまざまな手法が提案されている。

Optimized Periodic Broadcast (OPB) 法^{10),11)} では、ユーザがコンテンツを再生している間に、次に再

生するコンテンツを予測して受信することで、再生開始までの待ち時間を短縮している。Pyramid Broadcasting 法¹²⁾、Asynchronous Harmonic Broadcasting (AHB) 法¹³⁾では、データサイズが異なる幾つかの部分に分割してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮している。しかし、これらの手法では、選択型コンテンツを対象としておらず、選択型コンテンツの視聴順序を考慮した放送スケジュールを作成できない。

Extended Cumulated Broadcasting (ECB) 法⁴⁾では、コンテンツの再生レートと等しい帯域幅の放送チャンネルを多く確保し、選択確率の高い順にスケジューリングして待ち時間を短縮することで、効率的に待ち時間を短縮する。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が、視聴順序グラフにおいて同じ深さにあるコンテンツの数が増加すると、クライアントが視聴する可能性の高いコンテンツの再生で待ち時間が発生するため、平均待ち時間が大きくなる。本論文の提案手法は、選択確率に加えて視聴順序グラフの選択経路を考慮することで、待ち時間を短縮している。

2.3 待ち時間が発生する仕組み

文献^{2),3)}とよく似た説明ではあるが、読者の理解を深めるため、異なる例を用いて待ち時間が発生する仕組みについて説明する。単純なスケジューリング手法(単純手法)では、サーバは、幾つかの放送チャンネルを用いて、各コンテンツをユーザの再生開始時刻と同時に放送する。各深さのコンテンツを放送する時間帯において、サーバが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枝の数と等しい。例えば、図1-Cで表される視聴順序グラフを、7.5Mbpsの帯域幅を用いて、単純手法でスケジューリングした場合の放送スケジュールを図2に示す。コンテンツの再生レートは、MPEG2で一般的な5.0Mbpsとした⁵⁾。S₁の再生時間は1分、S₃, S₄, S₅, S₇, S₈の再生時間は3分とする。

“Broadcast Stream”は、サーバが放送するデータを示し、“Client Stream”は、ユーザが再生するデータを示す。サーバは、初めに7.5Mbpsの帯域幅を用いて、S₁を放送する。再生レートが5.0Mbpsで再生時間が1分のコンテンツを7.5Mbpsで放送するため、放送には0.67分かかる。S₁の放送終了後、S₃, S₄, S₅は同じ時刻に再生が開始されるため、サーバはS₃, S₄, S₅を同時に放送する。各コンテンツの放送には、7.5/2 = 2.5Mbpsの帯域幅を用いる。S₃, S₄, S₅の再生時間は3分なので、放送には3×5/2.5 = 6分かかる。

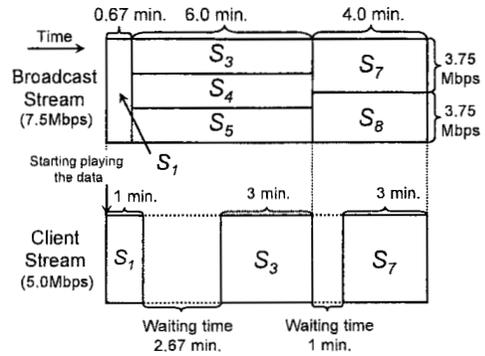


図2 単純手法の放送スケジュールの例
Fig. 2 An example of broadcast schedules under the simple method.

一方、ユーザは、S₁の受信開始と同時に再生を開始し、1分後に再生を終了する。しかし、S₁の再生終了と同時にS₃, S₄, またはS₅の再生を開始すると、コンテンツのデータの受信がS₃, S₄, またはS₅の再生開始に間に合わず、再生中に途切れが発生する。途切れなく再生するためには、コンテンツの受信完了と同時に再生が終了するように、 $0.67 + 6 \times 2.5 / 5.0 - 1 = 2.67$ 分待ってから再生を開始する必要がある。このようにして、待ち時間は発生する。S₃, S₄, またはS₅の再生開始から3分後に、再生を終了する。このとき、S₃, S₄, S₅のどれかを選択した場合の待ち時間は、いずれも2.67分となる。選択確率を考慮して平均すると、 $0.3 \times 0.2 + 0.6 \times 0.2 = 0.18$ 分の待ち時間となる。

同様に、S₃の再生終了と同時にS₇, またはS₈の再生を開始すると、コンテンツのデータの受信がS₇, またはS₈の再生開始に間に合わず、再生中に途切れが発生する。途切れなく再生するためには、コンテンツの受信完了と同時に再生が終了するように、 $4 - 4 \times 3.75 / 5.0 = 1$ 分待ってから再生を開始する必要がある。このとき、S₇またはS₈を選択した場合の待ち時間は、いずれも1分となる。選択確率を考慮して平均すると、 $0.35 \times (0.6 + 0.4) \times (2.67 + 1) + (0.3 + 0.25) \times 2.67 \approx 2.75$ 分の待ち時間となる。待ち時間の合計は、コンテンツの数が多くなるほど増加するため、ユーザが番組を最後まで視聴するまでに発生する待ち時間の合計は、短い方が望ましい。本論文では、コンテンツの再生レートと等しい帯域幅の放送チャンネルを多く確保し、クライアントの視聴順序の確率の高い順にスケジューリングを行うことで、選択確率を考慮していない既存手法に比べて、待ち時間を短縮する。

3. 提案手法

選択型コンテンツの放送型配信において、選択確率を考慮したスケジューリング手法「ECB-PS (Extended Cumulated Broadcasting Considering Play-Sequence) 法」を提案する。文献 3) との違いは、視聴順序グラフの選択確率を考慮してスケジューリングを行う点である。また、文献 4) との違いは、視聴順序グラフにおいてユーザが選択する確率の高い視聴経路となるコンテンツから順番にスケジューリングする点である。

3.1 想定環境

スケジューリング手法を提案するにあたって、想定する環境を箇条書きで示す。

- 放送される番組は、選択型コンテンツである。
- サーバは、選択型コンテンツの選択確率を見積もっている。
- サーバは、複数のチャンネルから同時にデータを放送できる。
- クライアントは、複数のチャンネルから同時にデータを受信できる。
- クライアントは、コンテンツの再生を開始すると、最後まで途切れずに再生する。
- 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、番組の放送が始まってから、その番組のコンテンツを受信する。

3.2 スケジューリング手順

放送に使用する選択型コンテンツのデータサイズの合計を D 、再生レートを τ 、全状態数を N とする。状態 S_i ($i = 1, \dots, N$) で再生するコンテンツのデータサイズを D_i とし、根から S_i までの選択確率を P_i で表す。視聴順序グラフにおいてユーザが視聴できる経路の数を m とし、 R_1, \dots, R_m を使用する。使用できる帯域幅を B とし、サーバは $M = \lceil B/\tau \rceil$ 個のチャンネル C_1, \dots, C_M を使用する。また、チャンネル C_j ($j = 1, \dots, M$) の帯域幅を B_j で表し、 $B_1, \dots, B_{M-1} = \tau$ 、 $B_M = B - \tau(M-1)$ とする。チャンネル C_j で最後にスケジューリングされたコンテンツの放送終了時刻を F_j とし、初めは $F_1, \dots, F_M = 0$ とする。番組の放送終了時刻 $D/B = F$ とし、リスト L を用意する。以上のような初期値設定のもと、ECB-PS 法では、次の手順でスケジューリングを行う。

- (1) 視聴順序 R_k ($k = 1, \dots, m$) について、選択確率が高い視聴順序を構成するコンテンツの状態番号を根から順番に L に挿入する。該当する

状態番号が既に L に挿入されている場合は挿入しない。

- (2) L の先頭の状態番号 l を取得し、あるチャンネル C_j で S_l を放送した場合にクライアントが再生を開始できる時刻 $F_j + D_l(\frac{1}{B_j} - \frac{1}{\tau})$ を最小にする j を求める。再生を開始できる時刻を最小にするチャンネルが複数存在する場合、 j の値が小さいチャンネルを選択する。
- (3) C_j に S_l をスケジューリングする。
- (4) $F_j = F_j + D_l/B_j$ とする。
- (5) $F_j > F$ となる場合、 S_l が F までに放送終了できるように、帯域幅を調整する。
- (6) L が空になるまで手順 (2) に戻る。

3.3 導入例

図 3 の視聴順序グラフを使用し、理解しやすい例として、7.5Mbps の帯域幅を用いて、提案手法でスケジューリングする場合を考える。コンテンツの再生レートを 5.0Mbps とする。 S_1 は選択肢を提示しているコンテンツであり、再生時間は 1 分である。 S_2, \dots, S_6 は回答に対する映像であり、再生時間が 3 分のコンテンツである。選択確率は、図中に示している。このとき、 $F = (1 + 3 \times 5) \times 5.0 / 7.5 = 10.7$ 分になる。 $M = \lceil 7.5/5 \rceil = 3$ 個のチャンネル C_1, C_2 を用いたとき、 C_1 の帯域幅は 5.0Mbps、 C_2 の帯域幅は 2.5Mbps になる。

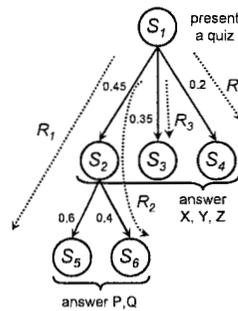


図 3 クイズ番組の視聴順序グラフ

Fig. 3 A play-sequence graph for a quiz program.

まず、手順 (1) で、選択確率が高い視聴順序を構成するコンテンツの状態番号を根から順番にリスト L に並べる。例えば、図 3 の場合、視聴経路は R_1, \dots, R_4 の 4 通りある。このとき、各視聴経路の選択確率は、 $R_1 = 0.45 \times 0.6 = 0.27$ 、 $R_2 = 0.45 \times 0.4 = 0.18$ 、 $R_3 = 0.35$ 、 $R_4 = 0.2$ となる。提案手法では視聴経路の選択確率の高いコンテンツの順番にスケジューリングされるため、 R_3, R_1, R_4, R_2 の順となり、リスト

L に並べられる順番は、 $S_1, S_3, S_2, S_5, S_4, S_6$ の順になる。手順(2)で、 S_1 をスケジューリングすることになり、 $F_1 = F_2 = F_3 = 0$ であるため、 $j = 1$ となる。手順(3)で、 S_1 を C_1 にスケジューリングし、手順(4)で、 $F_1 = 1$ となる。手順(5)では、 $F_1 < F$ であるため何も行われず、手順(6)で再び手順(2)に戻る。手順(2)で、 S_3 をスケジューリングする場合、クライアントが再生を開始できる時刻 $F_j + D_i(\frac{1}{B_j} - \frac{1}{r})$ の値は、 $j = 1$ のとき4、 $j = 2$ のとき6となり、 $j = 1$ となる。次に、 S_2 をスケジューリングする場合、 $j = 2$ となり、 C_2 にスケジューリングされる。 S_4 の場合、 $j = 1$ となり、 C_1 にスケジューリングされる。同様にして、 S_5, S_6 がスケジューリングされる。最終的な放送スケジュールを図4に示す。

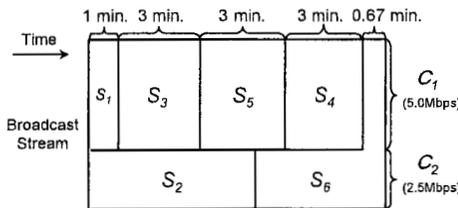


図4 ECB-PS法の放送スケジュールの例

Fig. 4 An example of broadcast schedule under the ECB-PS method.

S_1 の受信を開始すると、ユーザは即座に S_1 の再生を開始する。 S_1 の再生終了後、ユーザは、次に視聴するコンテンツを選択して視聴する。このときユーザは、途切れずに再生できるようになるまで待ってから次のコンテンツの再生を開始するが、各コンテンツの再生中に途切れることはなく、視聴するコンテンツが切り替わる時点で待ち時間は発生する。

4. 評価

4.1 比較対象

提案手法と既存手法を比較するにあたって、各手法について簡単に説明する。単純手法では、視聴順序グラフの各深さで同時刻に放送するコンテンツの数だけチャンネルを作成し、各チャンネルの帯域幅に同じ倍率をかけて、全てのチャンネルの帯域幅の合計を使用する帯域幅と等しくする。CCB-CB法では、サーバ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多く準備することで、待ち時間を効率的に短縮できる。例えば、CCB-CB法で配信する場合の放送スケジュールを図5に示す。 C_1 の帯域幅は5.0Mbps、 C_3 の帯域幅は2.5Mbpsとなる。クライアントが S_1, S_2, S_6 の

順番に再生する場合、 S_1, S_2 は同じ時間帯に受信したデータをそのまま放送するため、受信待ち時間は発生しない。 S_6 は、受信開始520秒後から、帯域幅が7.5Mbpsのチャンネルで120秒間受信するため、再生時に280秒の受信待ち時間が発生する。選択確率を考慮して平均すると、 $0.45 \times 0.6 \times 0 + 0.45 \times 0.4 \times 280 + 0.35 \times 120 + 0.2 \times 270 = 39.6$ 秒の待ち時間となる。

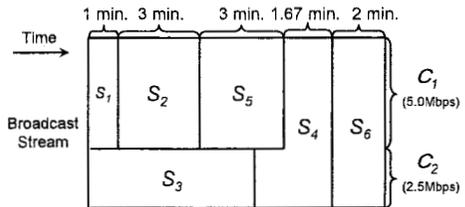


図5 CCB-CB法の放送スケジュール例(使用帯域幅7.5Mbps)
Fig. 5 An example of broadcast schedule under the CCB-CB method.

同様に、ECB法で配信する場合の放送スケジュールを図6に示す。このとき、選択確率を考慮して平均すると、 $0.45 \times 0.6 \times 180 + 0.45 \times 0.4 \times 240 + 0.35 \times 120 + 0.2 \times 180 = 42.5$ 秒の待ち時間となる。

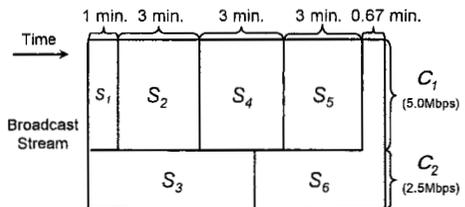


図6 ECB法の放送スケジュール例(使用帯域幅7.5Mbps)
Fig. 6 An example of broadcast schedule under the ECB method.

クライアントの視聴順序を考慮した上で、単純手法、CCB-CB法、ECB法、提案手法であるECB-PS法で示される平均待ち時間の比較を表1に示す。左端が状態の遷移を示す。例えば、“ S_1, S_4 ”は、 S_1, S_4 の順番に再生する場合の S_1 と S_4 の間での待ち時間を示す。ECB-PS法の平均待ち時間は、単純手法に比べて34.0%、CCB-CB法に比べて22.0%、ECB法に比べて27.3%減少していることが分かる。ユーザの視聴中に途切れがでるかぎり発生しないようにスケジューリングすることで、受信待ち時間を短縮できる。

4.2 評価に用いる視聴順序グラフ

本節では、ECB-PS法の性能評価を行う。視聴順序

表 1 各手法における平均待ち時間の比較

Table 1 Comparison of the average waiting time under each method.

視聴順序	待ち時間 (sec.)			
	単純手法	CCB-CB	ECB	ECB-PS
S_1, S_2, S_5	59.4	0	48.6	32.4
S_1, S_2, S_6	39.6	50.4	43.2	43.2
S_1, S_3	56.0	42.0	42.0	0
S_1, S_4	32.0	66.0	36.0	48.0
平均待ち時間	46.8	39.6	42.5	30.9

グラフは、選択型コンテンツの種類に応じてさまざまな形状が考えられ、これらすべての視聴順序グラフに関して評価を行うことは不可能である。そこで、代表的な選択型コンテンツとして、多分木を考え、評価を行う。これらの視聴順序グラフはさまざまな形状があると考えられるが、本論文では、クイズ番組における選択肢の数や深さをパラメタとして与え、できる限り多くの形状の視聴順序グラフに対して評価を行う。また、比較手法として、2.1 章で説明した単純手法、および選択型コンテンツを対象として放送スケジュールを作成する CCB-CB 法、各コンテンツの選択確率を考慮する ECB 法を用いる。

評価に用いた視聴順序グラフを図 7 に示す。各選択部分には e 個の選択肢があり、 n 箇所の選択場面がある。映像は、すべて再生時間が 10 分である。状態の数は、例えば図 7 の場合、 $e^2 + 2e - 1$ 個になる。

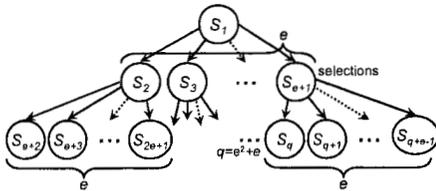


図 7 多分木の視聴順序グラフ ($n = 3$)

Fig. 7 A play-sequence graph for the multi-way tree.

同階層にあるコンテンツの選択確率は、人気をあらわす確率分布としてよく用いられる $\theta = 0.271$ の Zipf 分布で与えた。Zipf 分布における n 番目のコンテンツの選択確率は、 C/n^θ で与えられる。 C は、正規化のための定数である。

4.3 平均待ち時間

4.3.1 帯域幅

帯域幅を変化させた場合の平均待ち時間の評価を行った。結果を図 8 に示す。横軸は、使用する帯域幅をコンテンツの再生レートで除した値である。縦軸は、平均待ち時間をコンテンツの再生時間で除した値

である。“Simple ($e = i$)” は、2.3 節で説明した単純手法の場合の平均待ち時間であり、 i は選択型コンテンツの選択肢の数を示す。“CCBCB ($e = i$)” は、既存手法 CCB-CB 法の場合、“ECB ($e = i$)” は、既存手法 ECB 法の場合、“ECBPS ($e = i$)” は、提案手法 ECB-PS 法の場合である。 $n = 3$ とした。

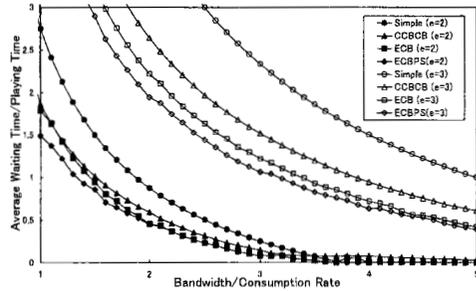


図 8 多分木の帯域幅と平均待ち時間

Fig. 8 The average waiting time and the bandwidth under the multi-way tree.

このグラフより、ECB-PS 法の平均待ち時間は既存手法よりも短いことが分かる。これは、ECB-PS 法では、多分木の視聴順序グラフの選択確率と選択経路を考慮して、クライアントが選択する確率が高い視聴経路のコンテンツを優先してスケジューリングするためである。例えば、2 個の選択肢から選択する場面が 3 箇所ある 30 分のドラマの場合、再生レートが 5.0Mbps で、7.0Mbps の帯域幅を用いて放送すると、平均待ち時間は、単純手法では 1.68 秒、CCB-CB 法で 1.14 秒、ECB 法で 1.08 秒、ECB-PS 法で 0.93 秒となり、単純手法に比べて 44.6%、CCB-CB 法に比べて 18.4%、ECB 法に比べて 13.9% 短縮されている。

4.3.2 分岐点の数

多分木の数が、平均待ち時間にどの程度の影響を与えるかについて調べた。結果を図 9 に示す。横軸は分岐の数 n 、縦軸は平均待ち時間をコンテンツの再生時間で除した値である。このグラフより、ECB-PS 法の平均待ち時間は、既存手法よりも短縮されていることが分かる。多分木では、 n が大きくなるほど同階層に含まれるコンテンツの数が増加するため、平均待ち時間が増加する。例えば、3 個の選択肢から選択する場面が 3 箇所ある $10 \times 3 = 30$ 分の番組の場合、再生レートが 5.0Mbps で、7.0Mbps の帯域幅を用いて放送すると、平均待ち時間は、単純手法では 4.0 秒、CCB-CB 法で 2.64 秒、ECB 法で 2.22 秒、ECB-PS

法で 1.94 秒となり、単純手法に比べて 34.0%、CCB-CB 法に比べて 26.5%、ECB 法に比べて 12.6% 短縮されている。

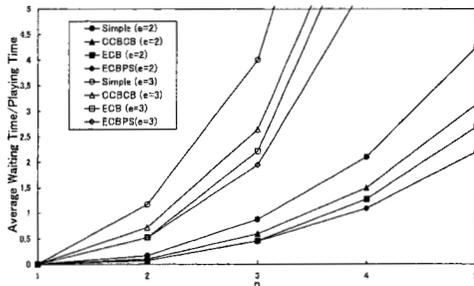


図 9 多分木の分岐の数と平均待ち時間
Fig. 9 The average waiting time and the number of branches under the multi-way tree.

4.4 最大待ち時間

最大待ち時間に関する評価を行った。結果を図 10 に示す。横軸は、使用する帯域幅をコンテンツの再生レートで除した値である。縦軸は、最大待ち時間を出題映像のコンテンツの再生時間で除した値である。ECB-PS 法で段階的に最大待ち時間が変化しているのは、使用する帯域幅が増加したチャンネルで放送するコンテンツのスケジュールの変化が最大待ち時間に影響を及ぼさない場合、最大待ち時間は変化しないためである。

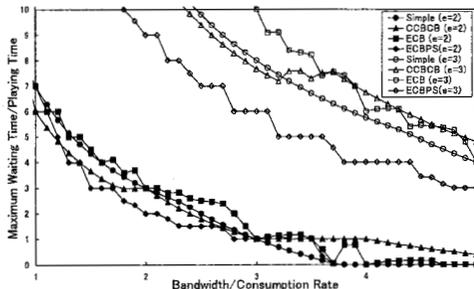


図 10 多分木の帯域幅と最大待ち時間
Fig. 10 The maximum waiting time and the bandwidth under the multi-way tree.

このグラフより、ECB-PS 法の最大待ち時間は、既存手法よりも短縮されていることが分かる。これは、ECB-PS 法では多分木の視聴順序グラフの選択確率と選択経路を考慮して、クライアントが選択する確率が高い視聴経路のコンテンツを優先してスケジューリン

グするため、各選択経路で発生する待ち時間も選択確率に比例した値になり、選択確率の低い経路で発生する最大待ち時間の増加を抑えている。例えば、3 個の選択枝から選択する場面が 3 箇所ある $10 \times 3 = 30$ 分の番組の場合、再生レートが 5.0Mbps で、7.0Mbps の帯域幅を用いて放送すると、最大待ち時間は、単純手法では 18.3 秒、CCB-CB 法で 17.6 秒、ECB 法で 23.0 秒、ECB-PS 法で 13.0 秒となり、単純手法に比べて 29.0%、CCB-CB 法に比べて 26.1%、ECB 法に比べて 43.4% 短縮されている。

5. 考 察

5.1 提案手法の有効性

提案手法 ECB-PS 法では、視聴順序グラフにおけるすべての視聴経路の選択確率をもとに、再生レートのチャンネルをできるだけ確保してスケジューリングを行う。既存手法 ECB 法では、視聴順序グラフの根から順番に、各深さごとにコンテンツの順番を決定していた。しかし、選択枝の数が増加すると、選択確率が低いコンテンツを放送するために、次の深さのコンテンツの放送が遅れ、他の選択経路における待ち時間が増加するという問題点があった。例えば、多分木の場合、視聴順序グラフの深さが増加するとコンテンツが増加し、次の選択枝のコンテンツの放送開始時間が遅れるため、選択確率が高い回答を選択したクライアントの待ち時間が増加する。提案手法では、放送するコンテンツについて、根からの選択確率の積と葉までの選択確率の和をもとに、スケジューリングする順番を決定する。このため、選択枝の数が増加しても、コンテンツを効率的にスケジューリングすることで待ち時間を短縮できる。

5.2 選択確率の取得方法

ECB-PS 法では、選択確率を考慮したうえで、クライアントの視聴経路をもとに放送スケジュールを作成する。番組を繰り返して放送する間に、ユーザの選択確率をサーバが取得することで、動的に放送スケジュールを変更する手法も考えられる。しかし一般的には、放送開始前に選択確率を取得しておく必要がある。放送開始前に選択確率を取得するために、あらかじめ Zipf 分布のような確率分布関数を用いて与えることや、実際に多くの視聴者が番組を視聴することで、選択確率を取得することが考えられる。どのような手法で選択確率を取得するのは、放送システムに依存する。

6. おわりに

本論文では、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の放送型配信において、コンテンツの再生を終了してから、次のコンテンツの再生を開始するまでの間の待ち時間を短縮する手法を提案した。提案する ECB-PS 法では、コンテンツの再生レートと等しい帯域幅の放送チャンネルを多く確保し、コンテンツの選択確率とクライアントの視聴順序を考慮してスケジューリングすることで、効率的に待ち時間を短縮する。評価の結果、既存手法に比べて平均待ち時間を短縮できることを確認した。

今後の予定として、使用できるチャンネルの数を考慮したスケジューリング手法や、連続して複数の番組を放送する場合のスケジューリング手法を考えている。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（若手研究（B））「選択型コンテンツの放送型配信に関する研究」（課題番号：18700085）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 18 年版 (2006).
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/H18/pdf/index.html>
- 2) 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).
- 3) Y. Gotoh, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa: A scheduling method considering available bandwidth in selective contents broadcasting, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2007)*, in CD-ROM (2007).
- 4) 義久智樹, 後藤佑介, 金澤正憲: 選択型コンテンツの放送型配信における遷移確率を考慮した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 2006-DBS-140(II)), pp.475-482 (2006).
- 5) 藤原洋: 最新 MPEG 教科書, マルチメディア通信研究会, アスキー出版局, 東京 (1997).
- 6) Y. Gotoh, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa: d-cast: A division based broadcasting system for IP networks, *Proc. of IEEE/ICACT2007, The 9th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp.1902-1907 (2007).
- 7) Paris, J.-F.: A Simple Low-Bandwidth Broadcasting and receiving scheme for popular video

- service, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N'99)*, pp.118-123 (1999).
- 8) Paris, J.-F., Long, D.D.E. and Mantey, P.E.: Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand, *Proc. ACM Int. Multimedia Conf. (Multimedia'99)*, pp.189-197 (1999).
- 9) Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzy-cast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920-929 (2002).
- 10) A. Mahanti, D. Eager, M. Vernon, and D. Stukel: Scalable on-demand media streaming with packet loss recovery, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.11, pp.195-209 (2003).
- 11) Zhao, Y., D. L. Eager, and M. K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. of IEEE INFOCOM* (2004).
- 12) S. Viswanathan, and T. Imilelinski: Pyramid broadcasting for video on demand service, *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95)*, pp.66-77 (1995).
- 13) T. Yoshihisa, M. Tsukamoto, and S. Nishio: A scheduling scheme for continuous media data broadcasting with a single channel, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.52, pp.1-10 (2006).