

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

義久 智樹[†] 後藤 佑介^{††} 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。これまでの手法では、各コンテンツの再生終了と同時に受信完了できるようにスケジューリングして放送することで待ち時間を短縮しているが、各コンテンツの遷移確率を考慮することで、効率的に待ち時間を短縮できる。

そこで本稿では、選択型コンテンツの放送配信において、遷移確率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ネルを多く確保し、遷移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。

A Scheduling Method on Selective Contents Broadcasting Considering Transition Probability

TOMOKI YOSHIHISA,[†] YUSUKE GOTOH^{††} 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 watch the video content for the answer. Although the server can deliver programs according to users' preference, clients have to wait until their selected contents are played. Conventional methods reduce the waiting time by producing an effective broadcast schedule. However, by considering transition probability of selective contents, the waiting time can be reduced further. In this paper, we propose a scheduling method on selective contents broadcasting considering transition probability. Our proposed method reduces the waiting time by allocating broadcast channels that have same bandwidth as the contents consumption rate and scheduling contents according to transition probability.

1. はじめに

地上波デジタルテレビ放送や 1 セグメント放送といった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⁷⁾。例えば、2 択のクイズ番組で、選択肢の提示後、ユーザが回答を選択する。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が、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。

選択型コンテンツの放送型配信では、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に、待ち時間が発生する。例えばクイズ番組の例で、選択肢の提示後、選択した回答の映像が表示されるまで待つことがある。これまでの手法^{3)~6),8)~11)}では、各コンテンツ再生終了と同時に受信完了できるようにスケジューリングして放送することで待ち時間を短縮しているが、各コンテンツの遷移確率を考慮することで、効率的に待ち時間を短縮できる。

そこで本稿では、選択型コンテンツの放送配信にお

[†] 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
^{††} 京都大学大学院情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kyoto University

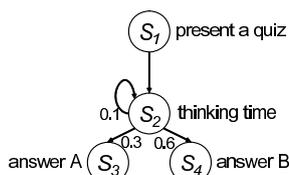


図 1 2 択クイズ番組の視聴順序グラフ
Fig. 1 A play-sequence graph for a quiz program

いて、遷移確率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、遷移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。

以下、2 章で選択型コンテンツについて説明し、3 章で提案手法を説明する。4 章で評価を行い、5 章で考察を行う。6 章で関連研究について説明し、最後に 7 章で本稿をまとめる。

2. 選択型コンテンツ

筆者らの研究グループでは、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を用いてきた。視聴順序グラフでは、各状態が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。これまでの研究では、遷移確率を考慮していなかったため、遷移確率が明記されていなかったが、本研究では、記述するように修正する。例えば、2 択クイズ番組の視聴順序グラフは、図 1 で表される。状態 S_1 が出題の映像を再生している状態であり、2 分のコンテンツである。2 分後、再生を終了すると S_2 に遷移する。 S_2 は、選択肢となる回答 A、B の内容を表示している状態であり 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。再生終了後、回答 A を選択すると S_3 、回答 B を選択すると S_4 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。これらの遷移確率は、矢印付近に記述しており、回答 A を選択する確率は 0.3、回答 B を選択する確率は 0.6、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 の再生時間は 1 分である。 S_3 は、回答 A 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 は、回答 B を選択した場合の状態であり、不正解の映像を再生する。

2.1 視聴順序グラフの変形

視聴順序グラフに対して以下の 3 種の操作を行うことで、待ち時間短縮に関する視聴順序グラフの情報量

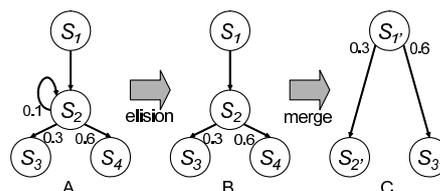


図 2 視聴順序グラフの簡単化
Fig. 2 A simplification of a play-sequence graph

を減らすことなく、視聴順序グラフを簡単な形状に変形でき、放送スケジュールが作成しやすくなる。遷移確率を考慮しない場合の視聴順序グラフについて、文献 2) で説明されている、同様の説明ではあるが、本稿では、遷移確率を考慮している点異なり、読者の理解を深めるため、ここで再掲する。

2.1.1 状態遷移の省略

クライアントは、受信したコンテンツをバッファに蓄積しておくことで、後で任意の時間に再生できる。このため、コンテンツがバッファに蓄積されている限り、時間軸をさかのぼる状態遷移は常に可能であり、待ち時間も発生せず、省略できる。例えば、図 1 において、ユーザがコンテンツを選択しなかった場合に再び S_2 に戻る状態遷移を省略できる。同じ状態に戻る場合だけでなく、 S_2 から S_1 に遷移するといったように、過去の状態に戻る遷移も省略できる。状態遷移を省略することで、不必要な状態遷移を考慮する必要がなくなる。

2.1.2 状態の結合

次に遷移する状態が 1 個で、その状態に必ず遷移する場合、次の状態と結合して 1 個の状態として表記できる。例えば、図 1 の S_1 と S_2 を結合できる。状態を少なくすることで、視聴順序グラフを簡単化できる。

2.1.3 状態の分割

ある状態を 2 個の状態に分割し、分岐のない逐次的な状態遷移として表記できる。放送スケジュールを作成する都合上、状態を分割する必要がある場合に使用する。

以上の操作を行うことで、2 択クイズ番組の例は、図 2 のように簡単化できる。

2.2 待ち時間が発生する仕組み

選択型コンテンツの放送型配信において、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、再生開始時刻が等しいコンテンツを同時に放送することになる。各コンテンツの放送に用いる帯域幅は、使用できる帯域幅を等分割する。例えば、図 2 の C で表される視聴順序グラフ

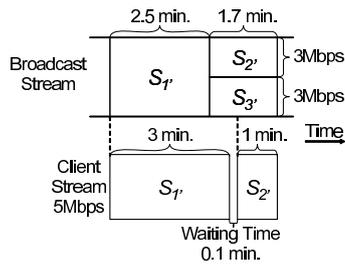


図3 単純手法の放送スケジュールの例
Fig. 3 An example of broadcast schedules under the simple method

を、6Mbps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3に示す。コンテンツの再生レートは、MPEG2で一般的な5Mbpsとした¹⁾。“Broadcast Stream”がサーバが放送するデータを示し、“Client Stream”がユーザが再生するデータを示す。サーバは初めにS₁'を6Mbpsの帯域幅を用いて放送する。5Mbpsの3分のコンテンツを6Mbpsで放送するため、放送には2.5分かかる。S₁'の放送終了後、S₂'とS₃'は同じ時刻に再生が開始されるため、S₂'とS₃'を同時に放送する。各コンテンツの放送には6Mbps/2=3Mbpsの帯域幅を用いる。S₂'とS₃'の再生時間は1分なので、放送には1.7分かかる。一方、クライアントは、S₁'の受信開始と同時に再生を開始し、3分後に再生を終了する。しかし、S₁'の再生終了と同時にS₂'またはS₃'の再生を開始すると、コンテンツのデータの受信が再生に間に合わず、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、0.1分待つてから再生を開始する必要がある。この様にして待ち時間が発生する。S₂'またはS₃'の再生には1分かかり、これらの再生開始から1分後に、再生を終了する。この場合、S₂'を選択した場合の待ち時間は0.1分。S₃'を選択した場合の待ち時間も0.1分となり、選択確率を考慮して平均すると、 $0.3 \times 0.1 + 0.6 \times 0.1 = 0.09$ 分の待ち時間となる。

次に、待ち時間を短縮する例を示すため、提案手法のアイデアに基づいた簡単な例を示す。再生レートより大きい帯域幅を用いてコンテンツを放送すると、他のコンテンツの放送開始時刻が遅くなる。また、再生レートより小さい帯域幅を用いてコンテンツを放送すると、放送に時間がかかるため、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する。さらに、遷移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

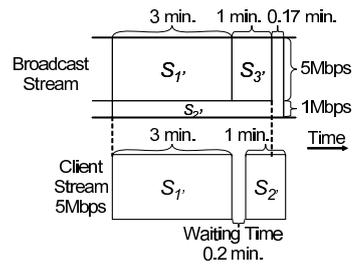


図4 待ち時間を短縮する放送スケジュールの例
Fig. 4 An example of broadcast schedules under the proposed method

間を短縮する。待ち時間を短縮する放送スケジュールの例を図4に示す。サーバは初めにS₁'を再生レートと等しい5Mbpsの帯域幅を用いて放送する。放送には3分かかる。S₁'の放送終了後、遷移確率の大きいS₃'の放送について考える。S₃'を、残りの1Mbpsの帯域幅を用いて放送すると、放送終了時刻は放送開始から5分後になる。一方、再生レートと等しい5Mbpsの帯域幅を用いて放送すると、放送終了時刻は放送開始から4分後になる。この場合、5Mbpsの帯域幅を用いて放送する方が早く放送を終了できるため、5Mbpsの帯域幅を用いてS₃'を配信する。S₂'は、残りの1Mbpsの帯域幅と、S₃'の放送終了後に確保できる6Mbpsの帯域幅を用いて放送する。1Mbpsの帯域幅で4分間放送するため、0.8分間のデータを放送でき、残りの0.2分間のデータを6Mbpsで放送するため、6Mbpsの帯域幅を用いる時間は $0.2 \times 5/6 = 0.17$ 分になる。1Mbpsの帯域幅で放送されるデータの受信完了時刻と、再生終了時刻が同時になればよいため、放送開始から $4 - 0.8 = 3.2$ 分経過した時点でS₂'の再生を開始すると、途切れなく再生できる。この場合、S₂'を選択した場合の待ち時間は0.2分。S₃'を選択した場合の待ち時間はなしとなり、選択確率を考慮して平均すると、 $0.3 \times 0.2 + 0.6 \times 0 = 0.06$ 分の待ち時間となる。単純手法の平均待ち時間より短縮されていることが分かる。

3. 提案手法

選択型コンテンツの放送配信における、遷移確率を考慮したスケジューリング手法「ECB (Extended Cumulated Broadcasting) 法」を提案する。ECB法は、2節で説明した視聴順序グラフを用いて放送スケジュールを作成し、再生開始までの待ち時間を短縮する。コンテンツのデータを積み上げるようにして放送スケジュールを作成することがこの名前の所以である。

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遷移確率を知っている。
- 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。
- クライアントは番組の再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できる。
- 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。

遷移確率の取得方法については第 5.3 節で詳述する。近年のデジタル放送の普及にともない、インタラクティブなコンテンツが求められており、選択型コンテンツの放送型配信は今後一般的になると考えられる。デジタル放送では、セグメントと呼ばれる放送チャンネルから同時にデータを送受信できる。幾つかの番組が放送されており、再生する番組を予測するため、あらかじめ番組をバッファに蓄積することは考えない。以上のようなシステムの例として、地上波デジタル放送を用いてクイズ番組やニュース番組を放送する場合が考えられる。

3.2 スケジューリング手順

選択型コンテンツのデータサイズを D 、再生レートを R 、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 までの遷移確率を P_i で表す。使用できる帯域幅を B とし、サーバは $M = \lceil B/R \rceil$ 個のチャンネル C_1, \dots, C_M を使用する。また、チャンネル j ($j = 1, \dots, M$) の帯域幅を B_j で表し、 $B_1, \dots, B_{M-1} = R$ 、 B_M を残りの帯域幅 ($\leq R$) とする。 F_j をチャンネル j に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とする。放送完了時刻 $B/D = F$ とする。さらに、リスト L を用意し、 L の先頭の番号を l とする。以上のような初期値設定のもと、ECB 法では、次の手順でスケジューリングを行う。

- (1) 再生開始時刻が早い順に状態番号を L に挿入する。再生開始時刻が等しい場合には、 P_i の大きい順に挿入する。
- (2) L の先頭を取得し、チャンネル j で S_l を放送した場合の放送完了時刻 $F_j + D_l/B_j$ を最小にす

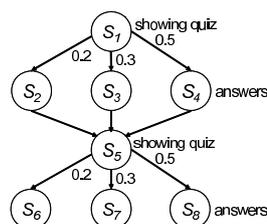


図 5 放送スケジュールの例に用いた視聴順序グラフ

Fig.5 The play-sequence graph for the example of broadcast schedule

る j を求める。等しい場合には、小さい値を選択する。

- (3) チャンネル 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

サーバは、放送する選択型コンテンツを決定し、第 3.2 節で説明した手順に従って、放送スケジュールを作成する。例えば、2 問の 3 択のクイズ番組を放送する場合を考える。視聴順序グラフを図 5 に示す。 S_1, S_5 は、選択肢を提示している 3 分のコンテンツであり、 S_1 が 1 問目、 S_5 が 2 問目である。 S_2, S_3, S_4 および S_6, S_7, S_8 は、回答に対する映像であり、1 分のコンテンツである。遷移確率を図中に示している。スケジューリング手順を説明するため、番組の再生レートは 5Mbps、使用できる帯域幅は 12Mbps とする。 $M = \lceil 12/5 \rceil = 3$ 個のチャンネル C_1, C_2, C_3 を用い、 C_1, C_2 の帯域幅は 5Mbps、 C_3 の帯域幅は 2Mbps になる。 $F = 5$ 分になる。

まず、手順 (1) で、再生開始時刻および遷移確率の大きい順にリスト L に並べる。 $S_1, S_4, S_3, S_2, S_5, S_8, S_7, S_6$ 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、 $F_1 = 3$ となる。手順 (5) 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_4 をスケジューリングすることになり、 $j = 2$ となる。次に、 S_3 をスケジューリングする場合、 $j = 1$ のとき、 $F_j + D_l/B_j = 4$ 、 $j = 2$ のとき、 $F_j + D_l/B_j = 2$ 、 $j = 3$ のとき、 $F_j + D_l/B_j = 2.5$ となるため、 $j = 2$ となり、 C_2 にスケジューリングされる。 S_2 の場合、 $j = 3$ となり、 C_3 にスケジューリングされる。同様にして、 S_6 までスケジューリングされる。最終的な

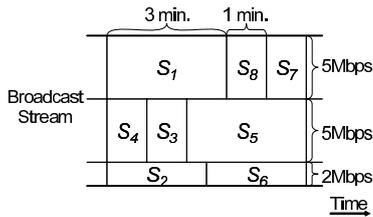


図 6 ECB 法の放送スケジュールの例
Fig. 6 An example of broadcast schedule under the ECB method

放送スケジュールを図 6 に示す。

ユーザは、 S_1 の受信を開始すると、途切れずに再生できるようになるまで待ってから、 S_1 の再生を開始する。この待ち時間は、サーバが S_1 を放送する際に S_1 の初めに追加する付加情報から取得できる。この付加情報のデータサイズはコンテンツのデータサイズに比べて非常に小さいため、無視する。 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。この場合にも、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。以上のように、視聴するコンテンツが切り替わる時点で待ち時間が発生するが、各コンテンツの再生中には途切れることなく、ユーザは選択型コンテンツを最後まで視聴する。

4. 評価

本章では、提案手法の性能評価を行う。視聴順序グラフは、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クイズ番組とドラマを考え、評価を行う。これらの視聴順序グラフもさまざまな形状があると考えられるが、本章では、クイズ番組の選択肢の数や問題数といった要素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。

クイズ番組の視聴順序グラフを図 7 に示す。各問題には e 個の選択肢があり、 n 問出題する。出題映像 (S_1, S_{e+2}, \dots, S_p) は 3 分の映像であり、回答映像は 1 分の映像である。状態の数は、 $p = n(e+1) + 1$ とすると、 $p+e$ 個になる。

ドラマの視聴順序グラフを図 8 に示す。各選択部分には e 個の選択肢があり、 n 回の選択箇所がある。映像はすべて 10 分の映像である。状態の数は、 $q = e^2 + e$ とすると、 $q+e-1$ 個になる。

クイズ番組では、クイズの数 n が増加しても、同

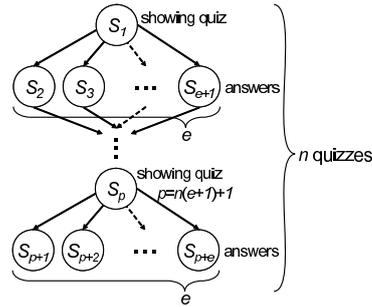


図 7 クイズの視聴順序グラフ
Fig. 7 A play-sequence graph for quiz programs

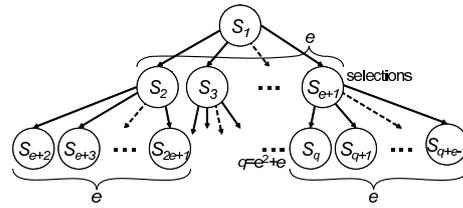


図 8 ドラマの視聴順序グラフ ($n=3$)
Fig. 8 A play-sequence graph for drama

階層にあるコンテンツの数は常に 1 または e である。一方、ドラマでは、選択場面の数 n が増加すると、同階層にあるコンテンツの数が指数関数的に増加する点が異なる。

同階層にあるコンテンツの遷移確率は、人気を表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遷移確率は、 C/n^θ で与えられる。 C は正規化のための定数である。

4.1 平均待ち時間

ユーザがコンテンツを選択してから、再生が開始されるまでの待ち時間は短いほどユーザの満足度を得られると考えられる。許容される待ち時間の長さはユーザによって異なるため、本節では、既存の手法と比べて提案手法の有効性を示す。

4.1.1 帯域幅

使用する帯域幅に応じて平均待ち時間が変化するため、平均待ち時間の長さを考慮したうえで使用する帯域幅を決定することが考えられる。そこで、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 9、および図 10 に示す。図 9 はクイズ番組の場合の平均待ち時間、図 10 はドラマの場合の平均待ち時間である。横軸が使用する帯域幅をコンテンツの再生レートで除した値、縦軸が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 ($e=i$)”

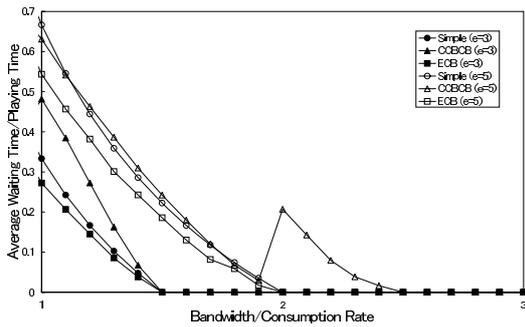


図 9 クイズ番組の帯域幅と平均待ち時間
Fig.9 The average waiting time and the bandwidth under quiz programs

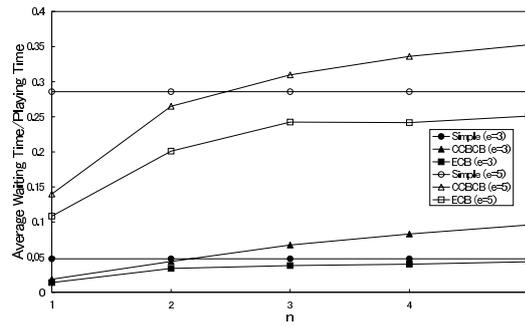


図 11 クイズ番組の分岐の数と平均待ち時間
Fig.11 The average waiting time and the number of branches under quiz programs

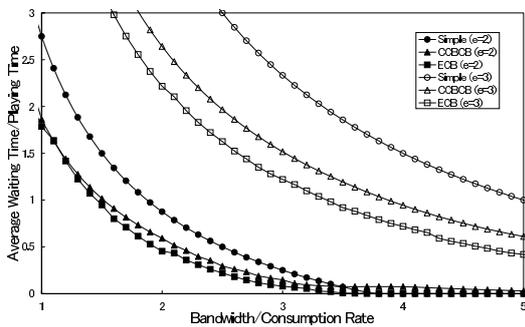


図 10 ドラマの帯域幅と平均待ち時間
Fig.10 The average waiting time and the bandwidth under drama

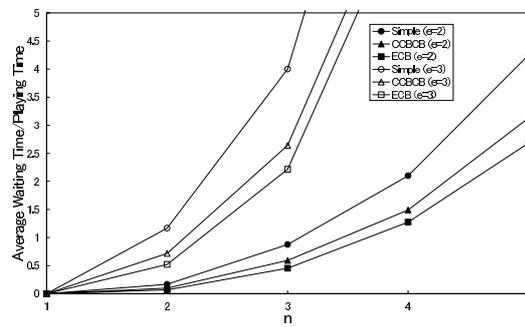


図 12 ドラマの分岐の数と平均待ち時間
Fig.12 The average waiting time and the number of branches under drama

が第 2.2 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枝の数を示す。“CCBCB ($e=i$)” が既存手法 CCBCB 法²⁾を用いた場合、“ECB ($e=i$)” が提案手法 ECB 法の場合である。 $n=3$ とした。

このグラフより、クイズ番組、ドラマ共に提案手法の平均待ち時間が既存手法よりも短いことが分かる。これは、提案手法では、視聴順序グラフの遷移確率を考慮することで、選択する確率の高いコンテンツほど早く放送しているためである。また、クイズ番組では、単純手法よりも CCBCB 法の平均待ち時間が長くなっている。これは、CCBCB 法では主順序と呼ばれる経路に含まれるコンテンツを先に放送するため、遷移確率の高いコンテンツが放送スケジュールの後の方で放送される可能性があるためである。単純手法では、同階層にあるコンテンツを同時に放送しているため、遷移確率が変化しても平均待ち時間は変わらない。

使用する帯域幅は、放送システムに依存するため、現実的な待ち時間になると考えられる帯域幅で例を示すと、例えば、出題映像が 3 分の 3 択クイズ番組を

3 問出題する場合、再生レートが 5Mbps で、7Mbps の帯域幅を用いて放送すると、平均待ち時間は 6.8 秒になる。単純手法では、8.6 秒になり、21% 短縮されている。また、2 個の選択枝から選択する箇所が 3 箇所ある 30 分のドラマの場合、再生レートが 5Mbps で、15Mbps の帯域幅を用いて放送すると、平均待ち時間は 48 秒になる。CCBCB 法では 88 秒になり、46% 短縮されている。

4.1.2 分岐点の数

クイズ番組における問題数や、ドラマにおける分岐の数といった分岐点の数が平均待ち時間にどの程度の影響を与えるのか調べるため、評価を行った。結果を図 11、および図 12 に示す。図 11 はクイズ番組の場合の平均待ち時間、図 12 はドラマの場合の平均待ち時間である。横軸が分岐の数 n 、縦軸が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、提案手法の平均待ち時間が既存手法よりも短くなっていることが分かる。また、提案手法では、クイズ番組では、 n が大きいほど平均待ち時間が一定値に近づいているが、ドラマでは、平均待ち

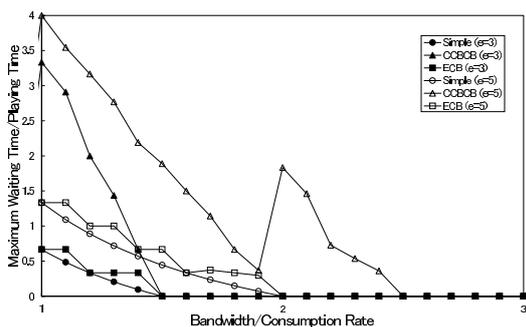


図 13 クイズ番組の帯域幅と最大待ち時間
Fig. 13 The maximum waiting time and the bandwidth under quiz programs

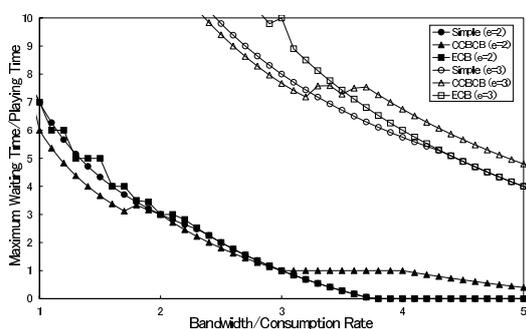


図 14 ドラマの帯域幅と最大待ち時間
Fig. 14 The maximum waiting time and the bandwidth under drama

時間が増加していくことがわかる。これは、クイズ番組では、 n が大きくなっても同階層に含まれるコンテンツの数は増加しないが、ドラマでは n が大きくなるほど増加するためである。

クイズ番組の場合、単純手法では、 n が変化しても平均待ち時間が変わっていない。これは、クイズ番組では、各問題の視聴順序グラフが同じ形状であるため、同階層のコンテンツを同時に放送する単純手法では、同じ放送スケジュールの繰り返しになるためである。

4.2 最大待ち時間

提案手法では、遷移確率を考慮したうえで平均待ち時間を短縮することを目的としているが、選択型コンテンツの放送型配信では、最大待ち時間も評価の指標になりうると考えられる。そこで、最大待ち時間に関する評価を行った。結果を図 13、および図 14 に示す。図 13 はクイズ番組の場合の最大待ち時間、図 14 はドラマの場合の最大待ち時間である。横軸が使用する帯域幅をコンテンツの再生レートで除した値、縦軸が最大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、提案手法よりも単純手法の最大待ち時間が短いことが分かる。例えば、出題映像が 3 分の 3 択クイズ番組を 3 問出題する場合、再生レートが 5Mbps で、7Mbps の帯域幅を用いて放送すると、最大待ち時間は 60 秒になる。単純手法では、17 秒になり、短くなっている。しかし、提案手法では、最大待ち時間を与える遷移確率は低く、平均としては待ち時間を短縮できている。

5. 考 察

5.1 提案手法の有効性

ユーザがコンテンツを選択してから、選択したコンテンツの再生が開始されるまでの待ち時間を短縮するため、提案手法 ECB 法では、視聴順序グラフにおけるユーザの選択確率を考慮している。これにより、提案手法は、既存手法よりも平均待ち時間を短縮できることを、評価を行い確認した。一方で、最大待ち時間は単純手法よりも長くなるが、単純手法ではすべての待ち時間が最大待ち時間と等しくなるのに対し、提案手法では、最大待ち時間を与える確率は選択できる経路の中でも最も小さく、最大待ち時間になる確率は低い。

5.2 視聴順序グラフの形状と待ち時間

視聴順序グラフには、様々な形状が考えられるため、本稿では、クイズ番組とドラマを取り上げ、評価を行った。クイズ番組のように視聴順序グラフの深さが大きくなっても同階層に含まれるコンテンツの数が変わらない場合には、深くなると平均待ち時間は一定値に近づくが、ドラマのように深さ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場合には、深くなるほど平均待ち時間は長くなることを確認した。このため、視聴順序グラフは、深くなっても同階層に含まれるコンテンツの数が増加しないほうが、再生時間が長く、深い選択型コンテンツを配信する場合に、平均待ち時間を短く抑えることができるといえる。

5.3 遷移確率の取得方法

提案手法では、遷移確率を考慮したうえで放送スケジュールを作成する。繰り返して放送する間にユーザの遷移確率をサーバが取得して動的に放送スケジュールを変更することも考えられるが、一般的には、放送開始前に遷移確率を取得しておく必要がある。放送開始前に遷移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、実際に数人の視聴者に視聴してもらい、遷移確率を取得することが考えられる。どのような手法で遷移確率を取得するのは、放送システムに依存する。

6. 関連研究

放送型配信において、受信待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法が幾つか提案されている。

Fuzzycast 法³⁾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ネルを用いて分割したデータを放送する。分割したデータを各チャネルで繰り返して放送することで、クライアントが初めのデータを受信する機会が増え、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⁴⁾、単一のチャネルで放送する手法¹⁰⁾ など、さまざまな手法が提案されている。

OPB (Optimized Periodic Broadcast) 法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。しかし、ユーザが受信要求を出してから配信を開始するため、アップリンクが必要になる。

CCB-CB(CCB-Considering Bandwidth) 法²⁾では、選択型コンテンツの放送型配信において、再生レートと等しい帯域幅のチャネルをできるだけ確保し、待ち時間を短縮している。主順序と呼ばれる根から葉へのある経路を選択した場合に待ち時間なく再生できることを考慮し、主順序に含まれるコンテンツを優先的に配信する。遷移確率を考慮しておらず、深さ優先的に放送スケジュールを作成するため、遷移確率にばらつきがある場合には、単純手法よりも待ち時間が長くなってしまふ。

7. 結 論

本稿では、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 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ネルを多く確保し、遷移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。評価の結果、最大待ち時間が既存手法より長くなる場合があるが、平均待ち時間は短縮できていることを確認した。

今後の予定として、続けて幾つかの番組を放送する場合や、使用チャネル数を考慮した手法を考えている。また、最大バッファサイズを考慮した手法も考える必要がある。

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) 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.
- 2) 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: “放送型配信における受信待ち時間を考慮した選択型コンテンツのスケジューリング手法,” 情報処理学会研究報告(2005-DBS-138), pp.88-95, 2006.
- 3) R. Janakiraman and M. Waldvogel: “Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast,” *Proc. IEEE INFOCOM '02*, pp.920-929, 2002.
- 4) A. Mahanti, D. L. Eager, M. K. Vernon, and D. J. S.-Stukel: “Scalable On-Demand Media Streaming With Packet Loss Recovery,” *IEEE Trans. Networking*, Vol. 11, No. 2, pp. 195-209, 2003.
- 5) J.-F. Paris: “A Simple Low-Bandwidth Broadcasting Protocol for Video-on-Demand,” *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N '99)*, pp.118-123, 1999.
- 6) J.-F. Paris, D. D. E. Long, and P. E. Mantey: “Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand,” *Proc. ACM Multimedia'99*, pp. 189-197, 1999.
- 7) 総務省: “情報通信白書平成 16 年版,” 2004. <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h16/pdf/index.html>
- 8) 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “連続メディアデータ放送におけるデータの細分割による効率的なスケジューリング手法,” 電子情報通信学会和文論文誌 D-I, Vol. J87-D-I, No.12, pp.1079-1088, 2004.
- 9) 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.
- 10) T. Yoshihisa, M. Tsukamoto, S. Nishio: “A Scheduling Scheme for Continuous Media Data Broadcasting with a Single Channel,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.52, Issue 1, pp.1-10, 2006.
- 11) Y. Zhao, D. Eager, and M. K. Vernon: “Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media,” *Proc. IEEE INFOCOM '04*, 2004.