

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

後藤 佑介^{†1} 義久 智樹^{†2} 金澤 正憲^{†2}

近年のインターネット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、選択型コンテンツのオンデマンド配信に対する注目が高まっている。たとえば、選択式のクイズ番組で、複数の回答を提示し、提示された回答の中からユーザが回答を選択して、その回答に対する映像を視聴する場合が考えられる。選択後の待ち時間が長くなると、選択する前まで途切れずに視聴できていたコンテンツの流れを妨げることになる。本論文では、選択型コンテンツのオンデマンド配信において、ユーザが視聴するコンテンツを選択した後の待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、選択後の待ち時間に上限を設定し、サーバの残り帯域がコンテンツの再生レートより大きい場合と小さい場合に分けてスケジューリングし、待ち時間を一定値以下に短縮する。

A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for On-demand Delivery of Selective Contents

YUSUKE GOTOH,^{†1} TOMOKI YOSHIHISA^{†2}
and MASANORI KANAZAWA^{†2}

Due to the recent popularization of Internet broadcasting services, on-demand delivery of selective contents on the Internet, i.e., watching contents users selected themselves, have attracted great attention. For example, in a quiz program, a user selects his answer and watches the video content for the answer. When the waiting time for playing the data after the selection becomes long, the continuity of playing the data is interrupted. In this paper, we propose a scheduling method to reduce waiting time after user's selections for on-demand delivery of selective contents. In our proposed method, the server gives an upper limit for waiting time, and schedules data comparing the available bandwidth with the consumption rate. We confirmed that waiting time is reduced to be shorter than the limit.

1. はじめに

近年のインターネット放送の普及¹⁾にともない、大量のコンテンツが洪水のように流通している。映像や音声といった、多様なコンテンツが増加するなか、ユーザがコンテンツを選択して視聴する、インタラクティブなコンテンツのオンデマンド配信に対する注目が高まっている。インタラクティブなコンテンツの例として、選択型コンテンツがあげられる。たとえば、2択クイズ番組で、選択肢の提示後、ユーザが回答を選択する場合が考えられる。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、いく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も考えられる。選択型コンテンツを提供することで、サーバは、ユーザの嗜好に応じた番組を提供できる。しかし、配信に必要な帯域幅を確保できない場合、ユーザは、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待つ必要がある。

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は2種類あり、番組の受信要求を出してから最初の部分が再生されるまでの待ち時間と、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がある。たとえば、2択クイズ番組の場合、番組の受信要求を出してから再生が開始されるまでの待ち時間と、回答を選択してからその回答に対して正解または不正解の映像が再生されるまでの待ち時間がある。番組の最初の部分が再生されるまでの待ち時間

†1 京都大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

†2 京都大学学術情報メディアセンター
Academic Center of Computing and Media Studies,
Kyoto University

とは異なり、選択後に待ち時間が発生すると、選択する前まで途切れずに視聴できていたコンテンツの流れを妨げることになる。ユーザがコンテンツを楽しむためには、コンテンツの流れを妨げないことが望ましく、この待ち時間を減少させる必要がある。

そこで、本論文では、選択型コンテンツのオンデマンド配信において、ユーザが視聴するコンテンツを選択した後の待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、選択後の待ち時間に上限を設定し、新たなコンテンツを配信するときは、サーバの残り帯域がコンテンツの再生レートより大きい場合と小さい場合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。提案手法では、番組の最初の部分が再生されるまでの待ち時間が長くなることが予想されるが、データの配信に SM 技術（後述）を用いることで、選択後の待ち時間の上限を短く設定しても、この待ち時間を短縮できることが明らかになった。たとえば、2 択のクイズ番組 2 問を視聴する場合、選択後の待ち時間の上限値が 120 秒から 60 秒に半減しても、番組の最初の部分が再生されるまでの待ち時間は、平均で 10% 削減できる。

本論文は、以下のように構成される。2 章では、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について説明し、3 章では、関連研究について説明する。4 章では提案手法を説明し、5 章では評価、6 章では考察を行う。最後に 7 章で本論文をまとめる。

2. 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

これまで、義久らの研究グループでは、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いた^{2),3)}。視聴順序グラフでは、各状態は、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。これまでの研究では、各コンテンツの再生開始時刻は、視聴順序グラフにおける根からの距離で表していた。しかし、本論文では、ユーザが視聴するコンテンツを選択してから、そのコンテンツの再生が開始されるまでの待ち時間を考慮する。このため、各コンテンツの再生開始時刻は、ユーザによって異なる。そこで、各状態の上部に再生時間、下部に最大の待ち時間を示すように、視聴順序グラフを修正する。たとえば、2 択クイズ番組の視聴順序グラフは、図 1 で表される。 S_1 は、出題映像を再生している状態であり、 S_2 は、選択肢 A に対する映像を再生している状態、 S_3 は、選択肢 B に対する映像を再生している

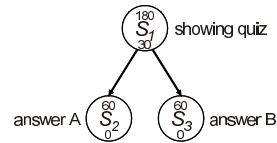


図 1 視聴順序グラフの例

Fig. 1 An example for a play-sequence graph.

状態である。 S_1 の再生時間は 3 分であり、次の状態に遷移するまでの最大の待ち時間は 30 秒である。たとえば、出題映像の最後の 10 秒が選択肢を提示している映像である場合、ユーザは、回答を選択するまで、最後の 10 秒を繰り返し視聴する。出題映像を視聴してから、最後の 10 秒を 3 回繰り返すまで（待ち時間は $10 \times 3 = 30$ 秒）に回答を選択しない場合には、自動的に選択肢 A の映像を再生する。 S_2, S_3 の後は選択する必要がないため、 S_2, S_3 の最大の待ち時間は 0 になる。

以上のように、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を、本論文では選択後待ち時間と呼ぶ。また、設定された最大の選択後待ち時間を、最大選択後待ち時間と呼ぶ。一方、2 択クイズ番組の受信要求を出してから出題映像が再生されるまでの間といった、番組の受信要求を出してから最初の部分が再生されるまでの待ち時間を、番組開始待ち時間と呼ぶ。

選択後待ち時間が長くなると、ユーザが選択前まで途切れずに視聴できていたコンテンツの流れを妨げることになるため、選択後待ち時間には、ある程度の制限が必要になる。既存研究では、選択型コンテンツを配信する場合、番組開始待ち時間と選択後待ち時間を、待ち時間として同等に扱っているが、本論文では、選択後待ち時間に上限を設定することで、コンテンツを選択した後の待ち時間を短縮する。トレードオフとして、番組開始待ち時間が長くなるが、選択後待ち時間の上限値を変更したり、3 章で説明する SM 技術を用いたりすることで、許容される待ち時間の長さに調整できる。許容される待ち時間は、配信者が番組の視聴率や宣伝の都合を考慮して決定することが想定される。

2.1 待ち時間発生仕組み

選択型コンテンツのオンデマンド配信において、待ち時間が発生する仕組みを図 2 に示す。縦軸はコンテンツの配信状況、横軸は経過時間である。配信するコンテンツを S_1, S_2, S_3 とし、 S_1 の再生時間は 180 秒、 S_2, S_3 の再生時間は 60 秒とする。 S_1 は初めに再生するニュースの概要で、 S_2 はサッカーニュース、 S_3 は経済ニュースとする。ユーザ A は、 S_1 の再生後、 S_2

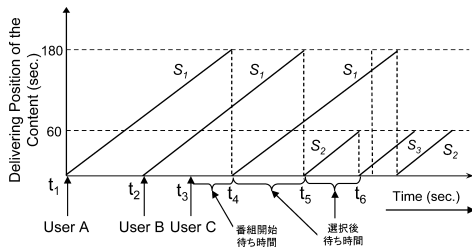


図2 オンデマンド配信における待ち時間の例

Fig.2 An example of waiting time in on-demand delivery.

を選択し、ユーザ B は、 S_1 の再生後、 S_3 を選択する。また、サーバが使用する帯域幅を 10 Mbps、ユーザの再生レートを 5.0 Mbps とする。これは、MPEG2 で符号化された動画データ (5.0 Mbps) をインターネット (10 Mbps) で配信する場合を想定している⁴⁾。簡単化のため、帯域のゆらぎは考慮していない。

ユーザ A は、図中の時刻 t_1 に受信要求を出す。サーバは、受信要求を受け取ると、再生レートである 5.0 Mbps の帯域幅を用いて、 S_1 を 180 秒後の t_4 まで配信する。ユーザ A は、サーバから配信された S_1 の受信開始と同時に再生を開始する。ユーザ B が t_2 でサーバに受信要求を出すと、サーバは、残りの 5.0 Mbps の帯域幅を用いて、 S_1 を 180 秒後の t_5 まで配信する。ユーザ C が t_3 でサーバに受信要求を出すと、サーバが使用できる帯域幅は残っていないため、サーバは、ユーザ A への配信に使用している帯域幅が解放される t_4 まで待ってから、ユーザ C に S_1 の配信を開始する。このとき、ユーザ C は、帯域幅を確保するまでの間に、 $t_4 - t_3$ 秒の待ち時間が発生する。ユーザ A は、 S_1 の受信を完了した後、 S_2 の受信開始時に、使用できる帯域幅が残っていないため、帯域幅を確保するまでの間に、 $t_5 - t_4$ 秒の待ち時間が発生する。同様に、ユーザ B は、 S_1 の受信を完了した後、 S_3 の受信を開始するまでの間に、 $t_6 - t_5$ 秒の待ち時間が発生する。以上のように、視聴するユーザの数に応じて必要となる帯域幅の合計に比べて、サーバが使用できる帯域幅の方が少ない場合、待ち時間が発生する。

3. 関連研究

オンデマンド配信において、データの受信開始から再生開始までの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^{5)–10)}。これらの手法では、すべてのユーザは通信チャンネルを共有し、他のユーザが受信しているデータも受信可能としている。Stream Merging (SM)^{11)–13)} 法では、ユーザは、

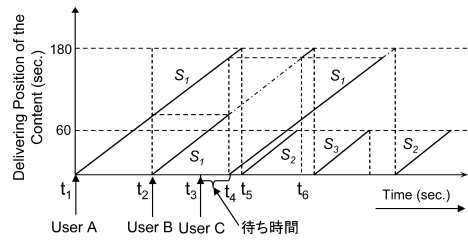


図3 Stream Merging (SM) 法の例

Fig.3 An example of stream merging.

サーバから配信されたコンテンツのデータを受信しながら、すでに配信中の別のユーザが使用している通信チャンネルから、同じコンテンツの別の部分のデータを受信する。SM 法の例を図 3 に示す。ユーザがデータの受信要求をサーバに出すタイミングは、図 2 と同じである。ユーザ A がサーバに受信要求を出すと、サーバは、再生レートである 5.0 Mbps の帯域幅を用いて、 S_1 を配信する。ユーザ B が t_2 でサーバに受信要求を出すと、サーバは、残りの 5.0 Mbps の帯域幅を用いて、 S_1 を配信する。このとき、ユーザ B は、サーバから配信された S_1 を受信しながら、 t_2 から t_4 の間、ユーザ A に配信されている S_1 をバッファに保存する。これにより、ユーザ B が S_1 を受信する時間は、 $t_6 - t_4$ 秒短縮されるため、ユーザ C の待ち時間は短縮される。

オンデマンド配信における待ち時間短縮手法として、サーバが、あるクライアントの受信要求を受信してからある程度待ち、その間に受信した同じコンテンツに対する別のクライアントの受信要求を同時に満たす batching¹⁴⁾ や、ある程度の受信要求の数を受信してから配信を開始する patching¹⁵⁾ がある。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スケジューリングを行うことはできない。

本論文で提案する手法は、選択型コンテンツを対象としている。選択型コンテンツでは、途中でユーザがコンテンツを選択する。これまで、非選択型のコンテンツでは、サーバは、途切れなく次のコンテンツをユーザに配信していたが、選択型コンテンツのオンデマンド配信では、サーバは、ユーザが次に視聴するコンテンツを選択してから配信するため、ユーザがコンテンツを選択する間に待ち時間が発生する。この待ち時間は、番組の配信を開始する前の待ち時間と比べて、ユーザの視聴意欲に与える影響が大きい。たとえば、クイズ番組の場合、出題映像を再生する前よりも、ユーザの回答選択後に結果の映像が再生されるまでの間に発生する待ち時間の方が、影響は大きい。本論文

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と、受信要求を出してからデータが再生されるまでの待ち時間を区別して待ち時間を短縮する点が、非選択型コンテンツの場合と比べて異なっている。

4. 提案手法

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手法「RSC (Restricted waiting time for Selective Contents) 法」を提案する。この手法ではSM技術を用いているが、後に5章で示すように、最大選択後待ち時間を設定することで、オリジナルのSM法以上に待ち時間を短縮できる。

4.1 想定環境

本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。
- すべてのユーザは通信チャネルを共有し、他のユーザが受信しているデータも受信可能である。
- 番組の受信要求を出してから最初の部分が再生されるまでの間、および、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間で、待ち時間が発生する。
- サーバはオンデマンド配信を行う。
- サーバが使用できる帯域幅には制限がある。
- 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持つ。

放送される番組は、1章に記述したように、近年注目されている選択型コンテンツのようなインタラクティブなコンテンツを想定しており、他のユーザが受信しているデータは、IPブロードキャストやIPマルチキャストで受信可能である。また、ユーザがストレスなくコンテンツを視聴するためには、視聴中ではなく再生前か選択中に待ち時間が発生する方が好ましい。本研究では、現行のインターネット配信と同様に、ユーザが要求を出してから配信を開始するオンデマンド配信を想定しており、コンテンツの蓄積については、近年の受信端末には数Gバイトの記憶領域があるため、十分な容量のバッファを確保できる。

近年のインターネット放送の普及にともない、インタラクティブなコンテンツに対する要求は高くなっており、選択型コンテンツのオンデマンド配信は今後一般的になると考えられる。インターネット放送では多数の番組が放送されており、サーバはユーザが再生するコンテンツを予測する必要があるため、あらかじめコンテンツをクライアントのバッファに蓄積すること

は考えない。本論文では、番組がバッファに蓄積されていない場合の待ち時間短縮を目的とする。以上のようなシステムの例として、インターネット放送で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。

本研究で想定するインターネット環境は、IPブロードキャストやIPマルチキャストである。IPマルチキャストを使う際の制約に関して、帯域の揺れや、ブロードキャスト / マルチキャストを行うネットワーク上での範囲といった制約がある。帯域の揺れは、Resource Reservation Protocol (RSVP) などのプロトコルで問題のない程度に抑えられると考えており、現行のインターネット配信でも、ネットワーク環境に依存するが、多くの場合、それほど大きな帯域の揺れはなく、ストレスなくコンテンツを視聴できる。ブロードキャスト、マルチキャストの範囲としては、同一サブネット内のユーザに制限してブロードキャスト、マルチキャストを行うことで、無駄なトラフィックの発生を避けることができると考えられる。

マルチキャストのトラフィック抑制については多くの研究が行われており、それらを用いることができる。たとえば文献16)では、トラフィックを抑えるプロキシの有効性を確認している(詳細は5.1節)。

4.2 配信手法

RSC法では、サーバは、選択後待ち時間が最大選択後待ち時間以下になるようにスケジューリングする。ユーザの選択後待ち時間が上限値以上になる可能性がある場合、サーバは、新たなコンテンツの配信を延期する。配信が延期されたコンテンツを保持するため、配信待ちリストを用いる。また、待ち時間を効率良く短縮するために、SM技術を用いる。サーバは、ユーザが番組の受信要求を出さず場合、および、あるコンテンツの配信が終了した場合に、新たなコンテンツを配信する。

まず、ユーザが受信要求を出さず場合には、途切れずにコンテンツを配信できるように、残り帯域がコンテンツの再生レートより大きい場合と小さい場合に分けてスケジューリングを行う。ユーザが番組の受信要求を出す時点のスケジューリングのフローチャートを図4に示す。ユーザが番組の受信要求を出すと、サーバは残り帯域がコンテンツの再生レートより大きい場合と小さい場合に分けてスケジューリングを行う。

- 残り帯域がコンテンツの再生レートより大きいとき

サーバは、SM技術を用いて、ユーザから要求されたコンテンツの配信に必要な時間を算出する。ユーザが受信要求を出した時刻からコンテンツの

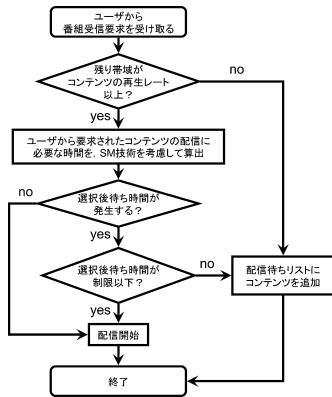


図 4 ユーザが番組の受信要求を出す際のフローチャート
 Fig. 4 A flow chart when the server finishes delivering a content.

配信終了時刻までの間に、ユーザが視聴するコンテンツを選択するとき、選択後待ち時間が発生する場合と発生しない場合に分けて、さらに以下の手順に従う。

- 選択後待ち時間が発生する場合
 - * 選択後待ち時間が、制限以下
配信を開始する。
 - * 選択後待ち時間が、制限以上
配信待ちリストにコンテンツを追加する。
- 選択後待ち時間が発生しない場合
配信を開始する。
- 残り帯域がコンテンツの再生レートより小さいとき
配信待ちリストにコンテンツを追加する。

次に、あるコンテンツの配信が終了した時点のスケジューリングのフローチャートを図 5 に示す。配信待ちリストから、配信待ちリストに追加された時刻が最も早いコンテンツの配信を、次の手順に従って決定する。

ユーザが受信要求を出す場合と同じく、コンテンツの配信が終了した時刻から、配信を予定しているコンテンツの配信終了時刻までの間に、ユーザが視聴するコンテンツを選択して、選択後待ち時間が発生する場合と発生しない場合に分ける。

- 選択後待ち時間が発生する場合
 - 選択後待ち時間が、制限以下
配信を開始する。
 - 選択後待ち時間が、制限以上
配信待ちリストにコンテンツを追加する。
- 選択後待ち時間が発生しない場合
配信を開始する。

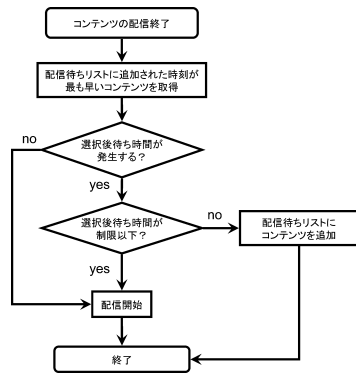


図 5 あるコンテンツの配信が終了した際のフローチャート
 Fig. 5 A flow chart when a user requests a program.

選択後待ち時間が制限以上になる可能性を予測して、新たなコンテンツの配信を決定するため、選択後待ち時間が上限値以上になることはない。

4.3 具体例

サーバは、4.2 節で説明した手順に従って、新たなコンテンツを配信する。ユーザは、最初のコンテンツの再生が終了すると、最大選択後待ち時間までの間に、次に視聴するコンテンツを選択する。最大選択後待ち時間だけ経過してもコンテンツが選択されない場合には、次に選択する複数のコンテンツのうち、どれかが自動的に再生される。次に視聴するコンテンツを選択しても、再生が開始されるまで待つ場合があるが、少なくとも最大選択後待ち時間までには再生が開始される。

たとえば、図 1 の 2 択クイズ番組の選択型コンテンツを配信する場合を考える。使用できる帯域幅は 10 Mbps、再生レートは 5.0 Mbps とする。ユーザの受信要求のタイミングを図 6 に示す。縦軸は各ユーザのコンテンツの再生位置、横軸は経過時間を示している。ユーザ A が受信要求を出した時刻 $t_0 = 0$ では、残り帯域が 10 Mbps であり、再生レートより大きい。さらに、この時点では、他のユーザは受信しておらず、選択後待ち時間は発生しないため、 t_0 から S_1 の配信が開始される。

ユーザ B が 100 秒後の t_1 に受信要求を出すと、すでにユーザ A 用に S_1 が配信されているため、ユーザ B はこのデータを受信できる。しかし、ユーザ B が受信要求を出す前に配信された初めの 100 秒分のデータは受信できないため、ユーザ B 用に、 S_1 の初めの 100 秒を配信する (SM 技術)。この配信を t_1 から開始すると、100 秒後の t_5 で終了することになる。 t_5 は、ユーザ A がコンテンツの選択を行っている t_3 から t_6 の間に含まれており、選択後待ち時間が発生す

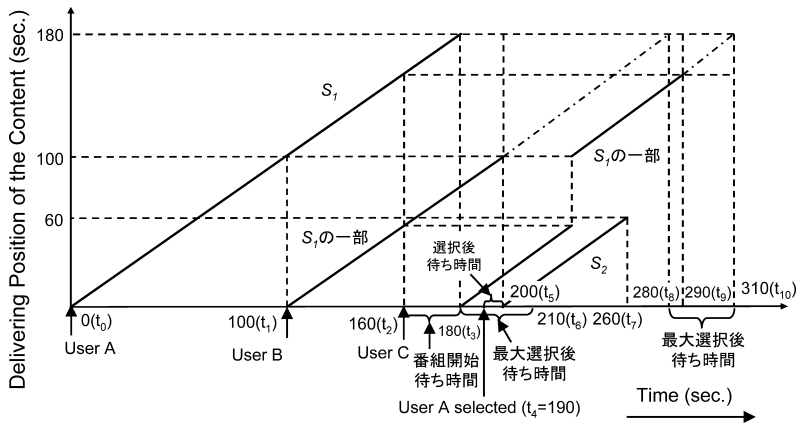


図 6 RSC 法の例
Fig. 6 An example for the RSC method.

る可能性があるが、選択後待ち時間の長さは最大選択後待ち時間以下になる（最大でも $t_5 - t_3$ 秒）ので、 S_1 の初めの 100 秒の配信を t_1 から開始する。

ユーザ C が $t_2 = 160$ で受信要求を出すと、帯域は残っておらず、コンテンツを途切れずに配信できないため、配信リストに S_1 を追加する。 $t_3 = 180$ で、ユーザ A 用の S_1 の配信が終了するため、 t_3 からユーザ C 用の S_1 を配信することを考える。ユーザ C は、ユーザ A 用の S_1 から、 t_2 から t_3 の間の 20 秒分、ユーザ B 用の S_1 から、 t_2 から t_5 の間の 40 秒分のデータを受信できるため、ユーザ C 用の S_1 の配信には 120 秒かかることになる。この配信を t_3 から開始すると、 t_9 で終了することになる。 t_9 は、ユーザ B がコンテンツの選択を行っている t_8 から t_{10} の間に含まれており、選択後待ち時間が発生する可能性があるが、選択後待ち時間の長さは最大選択後待ち時間以下になる（最大でも $t_9 - t_8$ 秒）ので、ユーザ C 用の S_1 の配信を t_3 から開始する。ユーザ C の番組開始待ち時間は、 $t_3 - t_2 = 20$ 秒になる。

ユーザ A は、 t_3 から t_6 の間で、次に視聴するコンテンツ S_2 または S_3 を選択する。 t_6 は、 S_1 の再生終了時刻 t_3 から最大選択後待ち時間である 30 秒が経過した時刻である。 t_3 から t_6 の間で、ユーザ A は、選択肢の映像を繰り返して視聴し、 $t_4 = 190$ で S_2 を選択したとする。 t_4 では、ユーザ B と C 用の S_1 が配信されており、残り帯域が再生レート以下なので、配信リストに S_2 を追加する。 $t_5 = 200$ で、ユーザ B 用の S_1 の配信が終了するため、サーバは、ユーザ A 用の S_2 の配信を t_5 から開始することを考える。 S_2 の配信には 60 秒かかることになり、選択後待ち時間は発生しないため、サーバは、 S_2 の配信を t_5 から開始

する。 $t_7 = 260$ で、サーバは S_2 の配信を終了する。ユーザ A の選択後待ち時間は、 $t_5 - t_4 = 10$ 秒になる。ユーザ B は、 t_8 から t_{10} の間で、次に視聴するコンテンツ S_2 または S_3 を選択する。 t_{10} は、 S_1 の再生終了時刻 t_8 から最大選択後待ち時間である 30 秒が経過した時刻である。 t_8 から t_{10} の間で、残り帯域は再生レート以上なので、ユーザ B は、視聴するコンテンツを選択すると、選択したコンテンツの再生が即座に開始される。

5. 評価

本章では、RSC 法の性能評価を行う。選択型コンテンツには様々な形態があるが、すべての形状に対して評価を行うことは困難であるため、今回は、クイズ番組とドラマの選択型コンテンツを用い、パラメータを設定し、できるかぎり自由度を高めたうえで評価を行う。

クイズ番組の視聴順序グラフを図 7 に示す。クイズ番組では、ユーザは、初めに出題映像を視聴した後、 e 個の選択肢の中から回答を選択する。ユーザは、回答に対する映像を視聴した後、次のクイズの出題映像を視聴する。クイズは n 問あり、コンテンツの数は全部で $n(e + 1)$ となる。出題映像の再生時間は 3 分、回答映像の再生時間は 1 分とする。ユーザが出題映像を視聴した後の最大選択後待ち時間は m 秒とする。

ドラマの視聴順序グラフを図 8 に示す。ドラマでは、ユーザは、ストーリーがある程度すすんだ場面で、 e 個の選択肢の中から主人公の行動を選択する。選択する場面は n 個ある（図 8 では、 $n = 2$ ）。選択場面は 10 分ごとにあり、最大選択後待ち時間は m 秒とする。

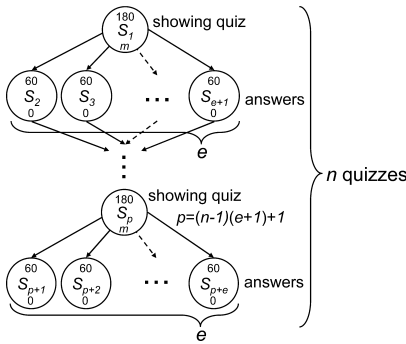


図 7 評価に用いたクイズ番組の視聴順序グラフ
Fig. 7 Play-sequence graph of quiz programs for evaluations.

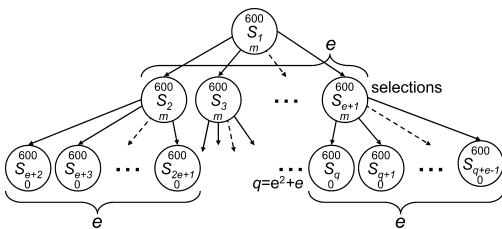


図 8 評価に用いたドラマの視聴順序グラフ
Fig. 8 Play-sequence graph of drama for evaluations.

クイズ番組では、クイズの数 n が増加しても、同階層にあるコンテンツの数はつねに 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。

本論文で用いるシミュレーションモデルでは、受信要求を出すユーザの到着過程は他の受信要求に対して独立としたため、ポアソン分布に従う。ポアソン分布は、ある事象が他の事象の発生確率と独立して発生する場合に様々なところで観測される分布であり、任意のサービスに対するクライアントの到着間隔分布として、研究分野で多く用いられている。

次に、終了条件について述べる。平均の番組開始待ち時間と選択後待ち時間を算出するうえで、番組を視聴しているユーザの数は十分確保する必要がある。到着ユーザ数は、大きいほど厳密な値を算出できるが、シミュレーションにかかる時間の都合上、制限する必要がある。今回のパラメータの範囲では、10,000 人のシミュレーションを行うと、算出された値が 5% 以上変動しないことを確認した。シミュレーションのパラメータによっては、到着ユーザ数が 10,000 人より少なくても十分な場合があるが、シミュレーションプログラムの都合上、一律で 10,000 人とした。

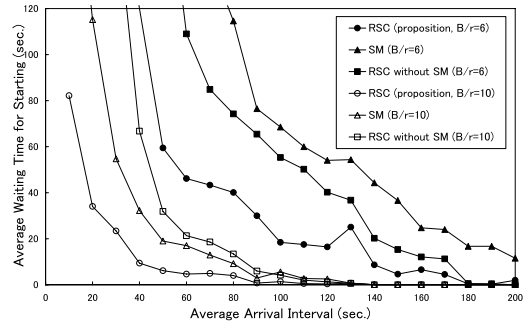


図 9 クイズ番組の番組開始待ち時間と到着間隔
Fig. 9 Waiting time for starting program and arrival rate under quiz program.

5.1 到着間隔

RSC 法の性能評価を行うため、ユーザの到着間隔に対する番組開始待ち時間および選択後待ち時間を、計算機シミュレーションにより算出した。クイズ番組の例を用いた場合の、番組開始待ち時間の結果を図 9 に示す。縦軸は番組開始待ち時間、横軸は平均到着間隔である。たとえば、平均到着間隔が 90 秒の場合、ユーザがクイズ番組の受信要求をサーバに行う事象は、平均で 90 秒に 1 回発生することになる。“RSC (proposition, $B/r=i$)” は、提案手法 RSC 法を用いた場合を示し、 i は、使用できる帯域幅をコンテンツの再生レートで除した値である。たとえば、24 Mbps の帯域幅を用いて、再生レートが 4.0 Mbps のコンテンツを配信する場合、 $i = 6$ となる。“SM ($B/r=i$)” は、3 章で説明した SM 法を用いた場合を示す。“RSC without SM ($B/r=i$)” は、SM 技術を用いずに、選択後待ち時間に上限を設定する場合を示している。

クイズ番組の最大選択後待ち時間 $m = 30$ 秒、選択枝の数 $e = 2$ 、クイズの数 $n = 2$ とした。

このグラフより、平均到着間隔が大きくなると、番組開始待ち時間は減少することが分かる。これは、一定時間内に到着するユーザの数が減少し、帯域幅がすべて使用されている時間が短縮されるためである。また、RSC 法の方が SM 法よりも番組開始待ち時間が小さいことが分かる。RSC 法では、選択後待ち時間に上限値を設定することで、ユーザが帯域を使用する時間は制限されるため、番組開始時に必要な帯域を確保できる確率は高くなる。SM 技術を用いないときの番組開始待ち時間は、 $B/r = 6$ 、平均到着間隔が 90 秒のとき、提案手法の 2.18 倍長くなることが分かった。

次に、選択後待ち時間を図 10 に示す。縦軸は選択後待ち時間、横軸は平均到着間隔である。クイズ番組の最大選択後待ち時間 $m = 30$ 秒、選択枝の数 $e = 2$ 、

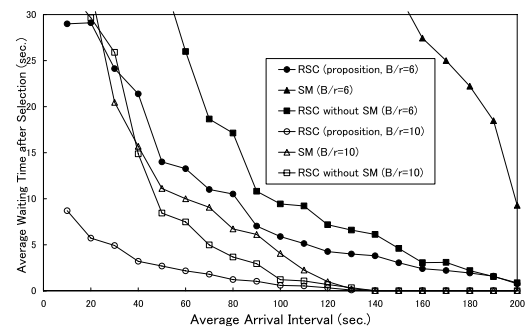


図 10 クイズ番組の選択後待ち時間と到着間隔

Fig. 10 Waiting time after selection and arrival rate under quiz program.

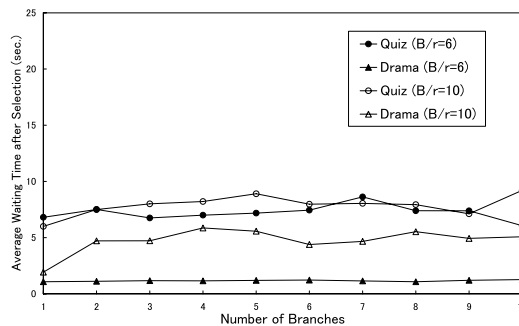


図 12 選択後待ち時間と選択枝の数

Fig. 12 Waiting time after selection and number of branches.

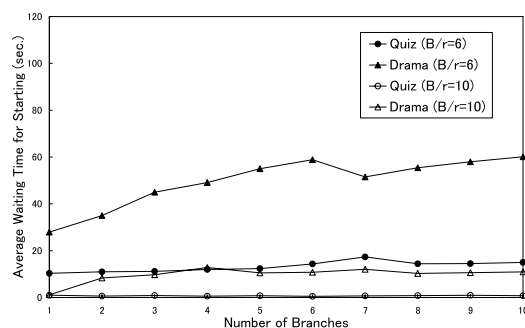


図 11 番組開始待ち時間と選択枝の数

Fig. 11 Waiting time for starting program and number of branches.

クイズの数 $n = 2$ とした。このグラフより、RSC 法は SM 法に比べて選択後待ち時間が小さいことが分かる。RSC 法では、選択後待ち時間が制限以上になる可能性を予測して、新たなコンテンツの配信を決定するため、選択後待ち時間は上限値以上にならない。また、SM 技術を用いないときの選択後待ち時間は、 $B/r = 6$ 、平均到着間隔が 90 秒のとき、提案手法の 1.54 倍長くなることが分かった。

5.2 選択枝の数

選択型コンテンツの選択枝の数 e によって待ち時間が変化するため、評価を行い、妥当な選択枝の数について考察を行う。番組開始待ち時間の結果を図 11 に示す。縦軸は番組開始待ち時間、横軸は選択枝の数である。たとえば、クイズ番組の選択枝の数 $e = 2$ の場合、ユーザは 2 個の選択枝から回答を選ぶことになる。“Quiz ($B/r=i$)” はクイズ番組を配信する場合、“Drama ($B/r=i$)” はドラマを配信する場合を示す。最大選択後待ち時間 $m = 30$ 秒、選択する回数 $n = 2$ 、平均到着間隔は 90 秒とした。

このグラフより、ドラマでは、選択枝の数が小さい

ほど、番組開始待ち時間が減少することが分かる。これは、選択枝の数が小さいと、同じコンテンツを受信するユーザの数が増加し、SM 技術により、帯域幅が効率的に削減されているためである。また、選択枝の数が増加すると、番組開始待ち時間は一定になる。これは、選択枝の数が増加すると、同じコンテンツを受信するユーザの数が減少し、SM 技術の効果が少なくなるためである。クイズ番組では、ドラマに比べて、選択枝の増加によるコンテンツの総数の変化が少ないため、SM 技術の効果は顕著に現れていない。

次に、選択後待ち時間を図 12 に示す。このグラフより、クイズ番組よりもドラマの方が、選択後待ち時間は小さくなることが分かる。ユーザは、コンテンツの再生が終了してから次に視聴するコンテンツを選択する間に、SM 技術を用いて次に再生するコンテンツと同じデータを受信しているユーザの帯域を利用することで、ユーザが番組の再生のために帯域を使用する時間を短縮できる。このとき、ドラマはコンテンツあたりの再生時間がクイズ番組よりも大きいため、次に再生するコンテンツの部分を受信できる時間がクイズ番組より長くなり、ユーザが SM 技術を利用できる時間はクイズ番組より長くなる。このため、ドラマはクイズ番組に比べて選択後待ち時間を短縮できる。

5.3 最大選択後待ち時間

選択後待ち時間の長さ m によって待ち時間が変化するため、どの程度の待ち時間になるか、評価を行う。番組開始待ち時間の結果を図 13 に示す。縦軸は番組開始待ち時間、横軸は最大選択後待ち時間である。選択枝の数 $e = 2$ 、選択する回数 $n = 2$ 、平均到着間隔は 90 秒とした。このグラフより、最大選択後待ち時間にかかわらず、番組開始待ち時間はほぼ一定であることが分かる。最大選択後待ち時間が増加しても、SM 技術を効率的に行い、帯域を確保することで、番

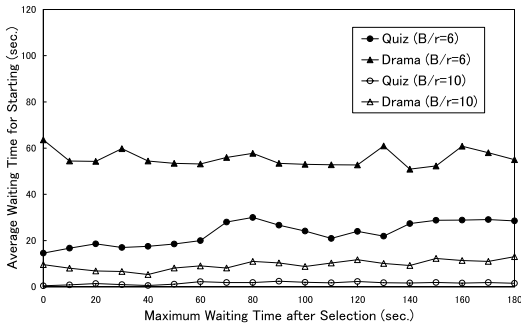


図 13 番組開始待ち時間と最大選択後待ち時間

Fig. 13 Waiting time for starting program and maximum waiting time after selection.

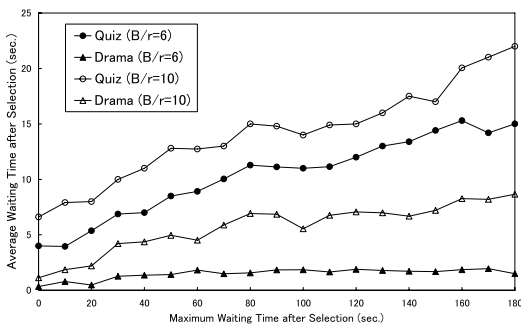


図 14 選択後待ち時間と最大選択後待ち時間

Fig. 14 Waiting time after selection and maximum waiting time after selection.

組開始待ち時間の増加が抑えられている。

次に、選択後待ち時間を図 14 に示す。最大選択後待ち時間の増加にともない、選択後待ち時間は増加していることが分かる。

6. 考 察

6.1 提案手法の有効性

図 9, 図 10 より、提案手法 RSC 法は、SM 法に比べて、番組開始待ち時間、選択後待ち時間それぞれが短縮されていることが分かる。RSC 法では、選択後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。このとき、番組開始待ち時間が増加することが予想される。しかし RSC 法では、選択後待ち時間に上限を設定することで、番組開始待ち時間と選択後待ち時間の両方を改善できる。選択後待ち時間に上限を設定すると、選択後待ち時間が上限を超えたユーザは自動的に次のコンテンツを見ることになるため、上限を設定しない場合に比べて各ユーザの選択後待ち時間が減少する。このように提案手法では、選択後待ち時間の幅が限られている(0~上限値)た

め、あるユーザに対してコンテンツの配信が開始されたときに、そのコンテンツを再生する可能性のある他のユーザが存在する確率、すなわち SM 技術が適用される確率は、上限がない場合に比べて高くなる。上限を設定しない従来の手法では、選択後待ち時間の幅が広い(0~∞)ため、この確率は低くなる。SM 技術が適用されない場合には、コンテンツの配信に新たな帯域が確保されるため、SM 技術が適用されるほど、すなわち選択後待ち時間の幅が狭いほど、各ユーザが帯域を使用する時間は短くなる。帯域を使用する時間が短い場合、他のユーザが帯域を確保できる確率が増え、番組開始待ち時間を減少させることができる。すなわち、選択後待ち時間に上限を設定すると、番組開始待ち時間を短縮できるといえる。

両立させるための条件は、あまりにも上限が大きいと上限を設定する意味がなくなるため、従来の SM 法よりも選択後待ち時間を短縮できる範囲に上限を設定することであるといえる。この上限の範囲は、ユーザの到着間隔や視聴順序グラフの形状に依存するため、一意に明記することはできない。また、選択枝の数を減らすと、提案手法は SM 手法に近づくのではないかと考えられるが、選択枝の数を減らしても、待ち時間は SM 法に比べて提案手法の方が短くなる。これは、提案手法が選択後待ち時間に上限を設定することで、SM 技術が適用される確率が少なからず多くなるためである。SM 技術を用いない場合の手法の待ち時間の評価も行ったが、SM 技術を用いる場合に比べて、数倍程度長くなることを確認している(詳細は 5.1 節)。

6.2 視聴順序グラフの形状と性能

図 11, 図 12 より、選択枝の数の増加にともない、番組開始待ち時間と選択後待ち時間の和は、ドラマに比べてクイズ番組の方が少ないことが分かる。これは、評価に用いた図 7, 図 8 の視聴順序グラフの形状が原因である。クイズ番組の視聴順序グラフでは、出題映像のコンテンツから分岐した選択枝のコンテンツが、次の出題映像のコンテンツですべて合流する。一方、ドラマの視聴順序グラフでは、ストーリーの選択で分岐したコンテンツは、視聴順序グラフの深さが大きくなっても、同じ深さの他のコンテンツとは合流しない。このため、視聴順序グラフの形状は、深さができるだけ小さく、再生中に多くのユーザが視聴するコンテンツの数が多形状ほど、SM 技術を効果的に利用することができ、RSC 法の性能を発揮できるといえる。

選択型コンテンツのオンデマンド配信サービスを行うためには、提案手法における SM 技術を生かす方が有効である。このため、サーバが配信するデータを複

数のユーザが受信できる方が、帯域を使用する時間や各ユーザの待ち時間を短縮できるため、選択肢の数は多すぎない方がよい。また、番組を再生する時間の合計が長いほど待ち時間は長くなるため、許容できる範囲の待ち時間になるように番組の総再生時間を決める方がよい。

6.3 許容される待ち時間

許容される待ち時間は、ユーザに依存する。RSC法では、最大選択後待ち時間を考慮して配信スケジュールを決定するため、サーバは、あらかじめ最大選択後待ち時間の決定をする際、ユーザが許容できる待ち時間を考慮することになる。この待ち時間は、コンテンツの種類や視聴者の年齢などに依存して、確率的に算出して決定されると考えられる。

7. ま と め

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は、番組の受信要求を出してから最初の部分が再生されるまでの待ち時間と、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がある。本論文では、これらを番組開始待ち時間、選択後待ち時間と呼び、選択後待ち時間を短縮する手法を提案した。提案手法 RSC 法では、選択後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。一見したところ、番組選択待ち時間と選択後待ち時間はトレードオフの関係にあり、選択後待ち時間に上限を設定すると、番組選択待ち時間は増加すると予想される。しかし、シミュレーション評価の結果、選択後待ち時間が制限以下のコンテンツを優先的に配信すると、配信待ちリストに入ったコンテンツの一部を SM 技術で受信するため、各ユーザが帯域を使用する時間を短縮することができ、番組選択待ち時間と選択後待ち時間の両方を短縮できることが明らかになった。たとえば、2 択のクイズ番組 2 問を視聴する場合、選択後の待ち時間の上限値が 120 秒から 60 秒に半減しても、番組の最初の部分が再生されるまでの待ち時間は、平均で 10%削減できる。

今後の予定として、オンデマンド型と放送型を組み合わせた手法の提案や、必ず放送しなければならないコンテンツ（たとえば、コマーシャル）がある場合のスケジューリング手法の提案が考えられる。

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) Gotoh, Y., Yoshihisa, T. and Kanazawa, M.: A Scheduling Method Considering Available Bandwidth in Selective Contents Broadcasting, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2007)* (2007).
- 3) 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).
- 4) 橋本和彦: デジタル衛星放送の技術と動向, 電子情報通信学会誌, Vol.81, No.1, pp.86-88 (1998).
- 5) Aggarwal, C.C., Wolf, J.L. and Yu, P.S.: On optimal piggyback merging policies for video-on-demand systems, *Proc. ACM SIGMETRICS*, pp.200-209 (1996).
- 6) Carter, S.W. and Long, D.D.E.: Improving video-on-demand server efficiency through stream tapping, *Proc. Intl. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N'97)*, pp.200-207 (1997).
- 7) Paris, J.-F.: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. IEEE Intl. Performance, Computing and Communications Conference (IPCCC'01)*, pp.347-353 (2001).
- 8) Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Harmonic broadcasting for video-on-demand service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.43, No.3, pp.268-271 (1997).
- 9) Mahanti, A., Eager, D.L., Verton, M.K. and Sundaram-Stukel, D.: Scalable on-demand media streaming with packet loss recovery, *IEEE/ACM Trans. Networking*, pp.195-209 (2003).
- 10) Zhao, Y., Eager, D.L. and Vernon, M.K.: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. IEEE INFOCOM* (2004).
- 11) Eager, D.L. and Verton, M.K.: Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand, *Proc. 4th Intl. Workshop on Multimedia Information Systems (MIS'98)*, pp.18-32 (1998).
- 12) Eager, D.L., Verton, M.K. and Zahorjan, J.: Optimal and efficient merging schedules for video-on-demand, *Proc. ACM MULTIMEDIA*, pp.199-202 (1999).
- 13) Eager, D.L., Verton, M.K. and Zahorjan, J.: Minimizing bandwidth requirements for on-demand data delivery, *IEEE Trans. Data and Knowledge Engineering*, pp.742-757 (2001).

- 14) Boggia, G., Camarda, P., Mazzeo, L. and Mongiello, M.: Performance of Batching Schemes for Multimedia on Demand Services, *IEEE Trans. Multimedia*, pp.920–931 (2005).
- 15) Cai, Y., Tavanapong, W. and Hua, K.A.: A Double patching technique for efficient bandwidth sharing in video-on-demand systems, *Multimedia Tools and Applications, Springer*, Vol.32, No.1, pp.115–136 (2007).
- 16) Almeida, J.M., Eager, D.L., Ferris, M. and Vernon, M.K.: Provisioning content distribution networks for streaming media, *Proc. IEEE INFOCOM'02*, Vol.3, pp.1746–1755 (2002).

(平成 19 年 5 月 11 日受付)

(平成 19 年 11 月 6 日採録)



後藤 佑介 (学生会員)

2005 年岡山大学工学部情報工学科卒業。2007 年京都大学大学院情報科学研究科システム科学専攻修士課程修了。現在、同大学院博士課程在学中。放送コンピューティングに興味を持つ。IEEE 学生会員。

興味を持つ。IEEE 学生会員。



義久 智樹 (正会員)

2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2003 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。2005 年同専攻博士後期課程修了後、京都大学学術情報メディアセンター助手となり、現在、同助教。博士 (情報科学)。地上波デジタル放送に興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



金澤 正憲 (正会員)

1971 年京都大学大学院工学研究科数理工学専攻修士課程修了。1972 年同大学大型計算機センター助手、助教授を経て、1995 年同教授。現在、京都大学学術情報メディアセンター教授。工学博士。スーパーコンピューティング, 性能評価, グリッドコンピューティングに興味を持つ。ACM, 電子情報通信学会, 日本応用数理学会各会員。