

選択型コンテンツの端末伝送型インターネット放送における 帯域幅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^{†††}

[†] 京都大学大学院情報学研究科 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 5-1

^{†††} 京都大学学術情報メディアセンター 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

E-mail: †gotoh@ais.sys.i.kyoto-u.ac.jp, ††yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp, †††bwv147@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

あらまし 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。これまで選択型コンテンツの放送型配信におけるデータ受信時の待ち時間短縮手法をいくつか提案してきたが、配信するコンテンツ数が増加すると、使用する帯域幅は増加し、クライアントの待ち時間は増加するため、サーバの負荷が大きくなる。そこで、各クライアントの間でデータを送受信する端末伝送型インターネット放送を考える。端末伝送型インターネット放送では、データを要求する端末は、他の複数の端末からデータを受信することで、サーバの負荷を抑えることができる。本研究では、選択型コンテンツの端末伝送型インターネット放送において、データ受信時に発生する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、要求クライアントが使用できる帯域を考慮して供給クライアントを選択し、視聴順序グラフの各深さにおいて、各コンテンツのデータ量を考慮してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。

キーワード 待ち時間, 選択型コンテンツ, 端末伝送型インターネット放送, スケジューリング

A Scheduling Method on Selective Contents Broadcasting with Terminal Transmission Service Considering Available Bandwidth

Yusuke GOTOH[†], Tomoki YOSHIHISA^{††}, and Masanori KANAZAWA^{†††}

[†] Graduate School of Informatics, Kyoto University

Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, 606-8501 Japan

^{††} Cybermedia Center, Osaka University

Mihogaoka 5-1, Suita-shi, Osaka, 567-0047 Japan

^{†††} Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, 606-8501 Japan

E-mail: †gotoh@ais.sys.i.kyoto-u.ac.jp, ††yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp, †††bwv147@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

Abstract Due to the recent popularization of digital broadcasting systems, selective contents, i.e., users watch their selected contents, have attracted great attention. For example, in a quiz program, a user selects his answer and watches the video content for the answer. Conventional methods reduce the waiting time by producing an effective broadcast schedule. Although the server can deliver programs that meet users' preferences, clients have to wait until their selected contents are delivered. In this paper, we propose a method to reduce the waiting time on selective contents delivery with terminal transmission service that relay data among nodes. Our proposed method reduces the waiting time by scheduling contents considering available bandwidth of each nodes.

Key words waiting time, selective contents, terminal transmission service, scheduling

1. はじめに

近年の放送・通信融合環境の普及 [1] 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、ニュースの概要を提示した後、ユーザが見たいニュースを選択して視聴する場合や、2 択のクイズ番組で、サーバが選択肢を提示した後、ユーザが回答を選択する場合が考えられる。本研究で視聴対象となるコンテンツは、2 択クイズ番組の選択肢の提示場面や、回答の説明場面といった、各場面の映像を示す。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、選択肢となる幾つかのコンテンツを配信する必要がある。このため、選択型コンテンツの配信は、非選択型のコンテンツの配信に比べて多くの帯域幅が必要である。

これまで、我々の研究グループでは、選択型コンテンツの放送型配信におけるデータ受信時の待ち時間短縮手法をいくつか提案してきた [2] ~ [4]。選択型コンテンツの放送型配信では、サーバが複数のクライアントに同じ番組をまとめて配信するため、サーバが使用する帯域は、オンデマンド配信のようにクライアント数に比例して増加することではなく、一定である。しかし、配信するコンテンツ数が増加すると、使用する帯域は増加し、クライアントの待ち時間は増加する。

そこで、近年注目を集めている Peer-to-peer (P2P) 技術の仕組みを利用した、クライアント間でデータを送受信する「端末伝送型インターネット放送」を考える。端末伝送型インターネット放送では、データを要求する端末（以下、要求クライアント）が他の複数の端末（以下、供給クライアント）からデータを受信する。ユーザは、受信したデータを時系列に沿って順番に再生することで、見たい番組を視聴できる。これまでの手法では、供給対象となるクライアントの負荷を分散させるため、要求クライアントは、データを配信する供給クライアントをランダムに選択していた。しかし、選択された供給クライアントの帯域が小さい場合、データの配信にかかる時間が増加するため、データの受信開始から再生開始までにかかる待ち時間が増加する。この待ち時間が大きくなると、ユーザは視聴意欲を低下させる可能性があるため、データの受信で発生する待ち時間を短縮する必要がある。

本研究では、選択型コンテンツの端末伝送型インターネット放送において、データ受信時に発生する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、要求クライアントが使用できる帯域を考慮して供給クライアントを選択し、視聴順序グラフの各深さにおいて、複数のコンテンツのデータ量を考慮してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。

本論文は、以下のように構成される。2. で選択型コンテンツについて説明し、3. で端末伝送型インターネット放送について説明する。4. で関連研究について説明し、5. では提案手法を説明する。6. で評価を行い、7. で考察を行う。最後に 8. で本論文をまとめる。

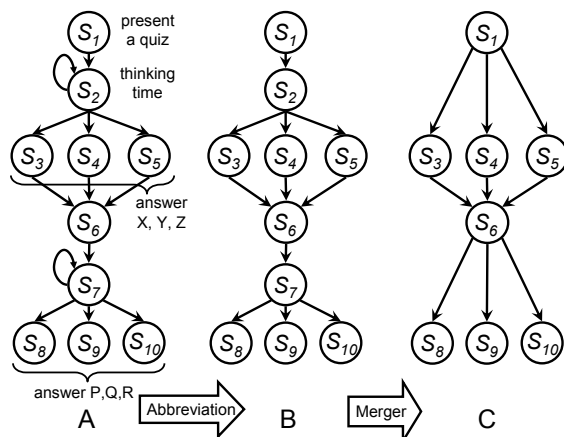


図 1 3 択クイズ番組の視聴順序グラフの簡単化

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

2. 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、3 択クイズ番組の視聴順序グラフは、図 1-A で表現される。各コンテンツの再生時間は 60 秒である。状態 S_1 は、出題の映像を再生している状態である。60 秒後、 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、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。 S_3, S_4 、または S_5 の再生が終了すると、 S_6 に遷移する。60 秒後、2 問目の出題映像 S_6 の再生が終了すると、 S_7 に遷移する。 S_7 で回答 P, Q, R の内のどれかの映像を選択し、回答 P を選択すると S_8 、回答 Q を選択すると S_9 、回答 R を選択すると S_{10} に遷移する。

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。以上の操作を行うことで、3 択クイズ番組の例は、図 1 のように簡単化できる。

3. 端末伝送型インターネット放送

本章では、端末伝送型インターネット放送について述べる。本論文で想定するクライアント構成を図 2 に示す。ネットワーク上には、サーバと、要求クライアントと供給クライアントの 2 種類のクライアントが存在する。図 2 のネットワーク環境では、要求クライアント 1 台に対して複数の供給クライアントが接続している。要求クライアントは、使用できる帯域をもとにコンテンツのデータを配信する供給クライアントを複数選択し、

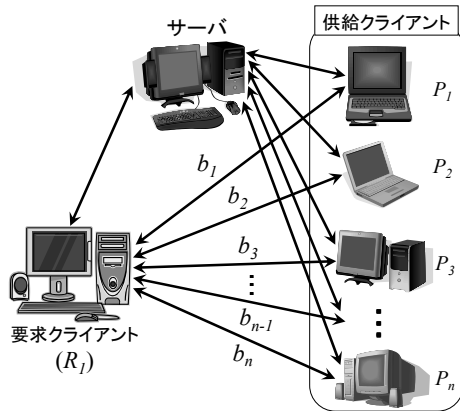


図2 想定するクライアント構成

Fig.2 Assuming structure of broadcasting with terminal transmission service.

データを要求する。選択した供給クライアントからデータの配信が開始されると、要求クライアントは番組の再生を開始する。

3.1 待ち時間が発生する仕組み

本節では、待ち時間が発生する仕組みについて説明する。ここで待ち時間とは、ユーザが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時間を指す。

単純なスケジューリング手法（単純手法）では、選択された複数の供給クライアントは、各コンテンツをユーザの再生開始時刻と同時に配信する。各深さのコンテンツを配信する時間帯において、供給クライアントが配信するコンテンツの数は、選択型コンテンツの各深さにおける選択肢の数と等しい。例えば、図1-Cで表される視聴順序グラフを、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5.0 Mbpsとした[8]。すべてのコンテンツの再生時間は60秒とする。要求クライアントを R_1 、要求クライアントが使用できる帯域を8.5 Mbpsとする。一方、供給クライアントを $P_1, \dots, P_5$ 、供給クライアントが使用できる帯域を $b_1 = 4.0$ Mbps, $b_2 = 2.5$ Mbps, $b_3 = 1.0$ Mbps, $b_4 = 0.6$ Mbps, $b_5 = 0.4$ Mbpsとする。

供給クライアントは、初めに $P_1, \dots, P_5$ をすべて使用し、8.0 Mbpsの帯域幅を用いて S_1 を配信する。再生レートが5.0 Mbpsで再生時間が60秒のコンテンツを $4.0 + 2.0 + 1.0 + 0.6 + 0.4 = 8.0$ Mbpsで配信するため、配信には $60 \times 5.0 / 8.0 = 37.5$ 秒かかる。 S_1 の配信終了後、 S_3, S_4, S_5 は同じ時刻に再生が開始されるため、 $P_1, \dots, P_5$ は S_3, S_4, S_5 を同時に配信する。単純手法では、各供給クライアントが配信するコンテンツはランダムに決定される。例えば、 P_1 が S_3 、 P_2 が S_4 、 P_3, P_4, P_5 が S_5 を配信する場合、各コンテンツの配信には、最大で $60 \times 5.0 / (1.0 + 0.6 + 0.4) = 150$ 秒かかる。一方、ユーザは、 S_1 の受信開始と同時に再生を開始し、60秒後に再生を終了する。しかし、 S_1 の再生終了と同時に S_4 または S_5 の再生を開始すると、コンテンツのデータの受信が再生開始時刻に間に合わず、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、

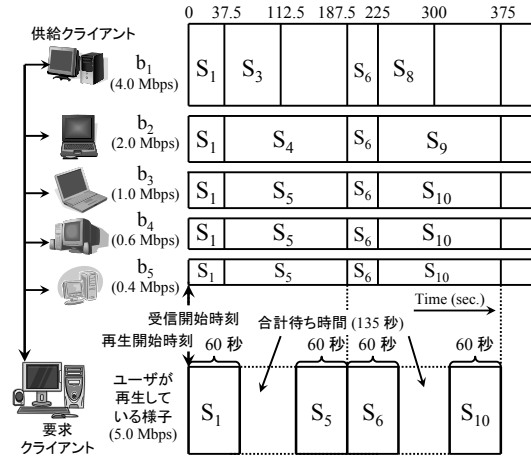


図3 単純手法の放送スケジュール例

Fig.3 An example of a broadcast schedule under the simple scheme.

S_4, S_5 のどちらの場合も 67.5 秒待ってから再生を開始する必要がある。 S_3 を再生する場合、 S_1 の再生終了後に途切れは発生しない。次に、 S_3, S_4 、または S_5 の再生終了と同時に S_6 の再生を開始すると、 S_3 の場合 75 秒待ってから再生を開始する必要がある。同様に、 S_6 の再生終了と同時に、 S_8, S_9 、または S_{10} の再生を開始すると、 S_9, S_{10} のどちらの場合も 67.5 秒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。 S_8, S_9 、または S_{10} の再生開始から 60 秒後に、再生を終了する。図3のように、ユーザが S_1, S_5, S_6, S_{10} の順番に再生すると、待ち時間の合計は、選択したコンテンツの違いに関わらず、 $67.5 + 67.5 = 135$ 秒となる。

選択型コンテンツの端末伝送型インターネット放送では、複数のコンテンツを受信する必要がある。要求クライアントが使用できる帯域の合計が小さい場合、配信するコンテンツのデータが再生開始時刻に間に合わず、待ち時間が増加する可能性がある。本研究では、この待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。データの受信時間が短縮できれば、要求クライアントがデータ受信時に使用できる供給クライアントの数が増加し、ユーザの利便性が向上する。

4. 関連研究

端末伝送型によるデータ配信技術として、Peer-to-Peer (P2P) 技術を用いたストリーミング配信に関する研究がいくつか行われている[9]~[12]。Xu[13]らは、P2Pストリーミング配信の概念を提案した。ストリーミング配信で多数のピアからデータを受信する方法と、ストリーミング配信を行うP2Pネットワーク全体で必要となるデータの受信容量の確保に着目して、分析している。Shahらは、P2Pストリーミング配信において、BitTorrent技術を利用してピースと呼ばれるデータの分割ファイルを複数のピアから受信するとき、再生中のピースより先の連続したいくつかのピースを常に監視し、監視中に受信できなかったピースは受信を中止することで、待ち時間を短縮している[14]。Narada[15]では、データを要求するピアと供給するピアが多対多のP2Pネットワーク構成に注目している。一つの

供給ピアが多数の要求ピアに映像をストリーミングで配信する場合、ピア間のネットワークを再構築して、木構造を作成する。我々の研究グループでは、連続メディアデータの端末伝送型インターネット放送において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案してきた[16], [17]。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、複数のコンテンツを連続して再生する場合のスケジューリングを考慮していない。

筆者らは、これまで、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ためのスケジューリング手法を幾つか提案してきた。Contents Cumulated Broadcasting Considering Bandwidth (CCB-CB) 法[3]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。根から順に、各深さで状態数が一番小さいコンテンツを視聴順序として選択した場合に、待ち時間なく再生できることを考慮し、視聴順序上のコンテンツを優先的に放送する。Dense Cumulated Broadcasting (DCB) 法[18]では、選択型コンテンツの再生時間が異なる場合のスケジューリング手法を提案している。各コンテンツの再生時間を考慮したうえで、データを分割し、分割したデータをスケジューリングすることで、待ち時間を効率的に短縮している。これらの手法では、データの供給先はサーバの1箇所のみであるが、本研究では、データの供給先として複数の供給クライアントが存在する点が異なる。

5. 提案手法

端末伝送型インターネット放送におけるデータ受信時の待ち時間を短縮するスケジューリング手法として、CPB (Contents Prefetched Broadcasting) 法を提案する。この手法は、要求クライアントが使用できる帯域を考慮して供給クライアントを選択し、視聴順序グラフの各深さにおいて、複数のコンテンツのデータ量を考慮してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。

5.1 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。要求クライアントと供給クライアントは、想定環境のもとでデータ配信のセッションを行う。

- 要求クライアントは、1つ以上の供給クライアントからデータを受信する。これは、複数の端末がネットワークに繋がることによって可能である。
- 要求クライアントは、番組を構成するすべてのコンテンツを受信する。
- 供給クライアントは、番組を構成するコンテンツのデータをすべて持っている。これは、すべてのデータを受信した要求クライアントが供給クライアントになることで可能である。
- 供給クライアントは、2つ以上の要求クライアントとセッションを行わない。

要求クライアントと供給クライアントの間に複数の経由端末が存在することが考えられるが、端末を経由することによるネットワーク速度の低下は、 b_i を小さくすることに相当するため、経由端末は無視する。供給クライアントには他の要求ク

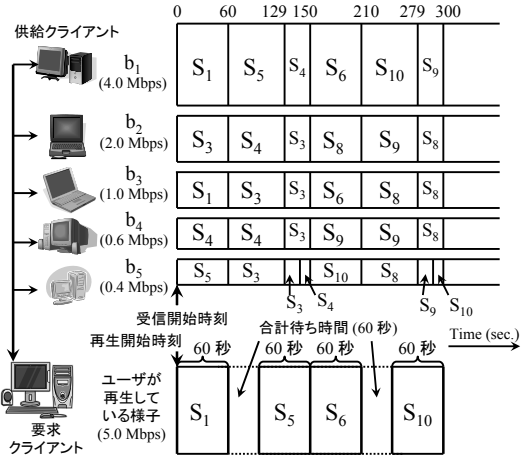


図4 提案手法の放送スケジュール例

Fig. 4 An example of a broadcast schedule under the proposed scheme.

表1 定式化のための変数

Table 1 Variables for formulation.

記号	説明
n	コンテンツ数
r	再生レート
p	同時接続供給クライアント数
S_i	コンテンツデータを再生している状態, $i = 1, \dots, n$
P_j	供給クライアント $j = 1, \dots, p$
b_j	供給クライアントの帯域幅
t_s	配信開始時刻
t_f	の配信終了時刻
D_i	S_i のデータ量

クライアントが接続することが考えられるが、問題を簡単化するため、供給クライアントが接続できる要求クライアントの数は1台とする。

5.2 導入方法

提案手法において、要求クライアントが複数の供給クライアントにデータの受信要求を出してから再生が終了するまでの様子を図4に示す。スケジューリングの作成には、図1-Cで表される視聴順序グラフを使用する。提案手法では、要求クライアントが使用できる帯域を考慮して供給クライアントを選択し、再生レートの帯域を確保して再生中のコンテンツを受信しながら、残りの帯域で次に選択する可能性がある複数のコンテンツを同時に受信す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。

また、本論文で用いる記号を表1に示す。

5.3 スケジュール手順

本節では、提案手法のスケジューリング手順について説明する。

(1) 使用できる帯域幅が大きい端末から順番に、同時に受信する供給クライアントを p 個選択する。

(2) 選択した供給クライアントのうち、最大の帯域を持つ端末を選択する。選択した端末の帯域が r 以上ならば選択を終了する。そうでないなら、再生レートと選択した端末の帯域の

合計との差を上回る端末のうち最小の帯域をもつ端末を選択し、選択した端末の帯域の合計が再生レート以上になるか、選択する端末が無くなるまで繰り返す。

(3) (2) で選択した端末に S_1 をスケジューリングして t_f を更新する。

(4) t_s から t_f の間に、供給クライアントの b_j が大きい順番に、視聴順序グラフの深さが同じ複数のコンテンツのうち D_i が一番大きい S_i (複数存在する場合は状態番号が一番小さいコンテンツ) を b_j にスケジューリングして D_i を更新する。

(5) t_b までのスケジューリングが完了したら、 t_s を更新する。

(6) すべてのコンテンツのスケジューリングが完了するまで (3) から (5) を繰り返す。

以上の手順でスケジューリングを行う。

5.4 導入例

図 1-C の視聴順序グラフを使用し、理解しやすい例として、要求クライアントが使用できる帯域幅を 8.5 Mbps のとき、提案手法でスケジューリングする場合を考える。同時に接続できる供給クライアントの数を 5、コンテンツの再生レートを 5.0 Mbps とする。 S_1, S_6 は、選択肢を提示しているコンテンツである。 $S_3, S_4, S_5, S_8, S_9, S_{10}$ は、回答に対する映像である。すべてのコンテンツの再生時間は 60 秒である。

まず、手順 (1) で、使用できる帯域幅が大きい端末から順番に、同時に受信する供給クライアントを 5 個選択する。手順 (2) で、最大の帯域を持つ端末 P_1 を選択する。次に、選択した端末の帯域が r 未満であるため、再生レートと選択した端末の帯域の合計との差を上回る端末のうち最小の帯域をもつ端末として P_3 を選択する。手順 (3) で、端末 P_1, P_3 の帯域である b_1, b_3 を用いて S_1 を 60 秒間スケジューリングする。手順 (4) で、視聴順序グラフが同じ深さにある S_3, S_4, S_5 のうち状態番号が一番小さい S_3 を選択して、 b_2 に割り当てる。 b_4, b_5 には、 S_4, S_5 のコンテンツデータの一部を割り当てる。手順 (5) では、再生開始から 60 秒後の時点で、 S_3, S_4, S_5 の中でデータ量の残りが一番大きい S_5 について、手順 (2) で選択した b_1, b_3 を用いて 69 秒間スケジューリングする。同様に、 S_6, S_8, S_9, S_{10} がスケジューリングされる。

6. 評価

本章では、提案手法 CPB 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、本論文では、クイズ番組とドラマにおける選択肢の数や深さをパラメータとして与え、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、ネットワーク構成もさまざまな形状が考えられるが、本論文では、図 2 のネットワーク環境を用いて評価を行う。

ドラマの視聴順序グラフを図 5 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。コンテンツの再生時間は、すべて 60 秒である。状態の数は、図 5 の場合、 $\sum_{i=0}^n e^i$ 個になる。

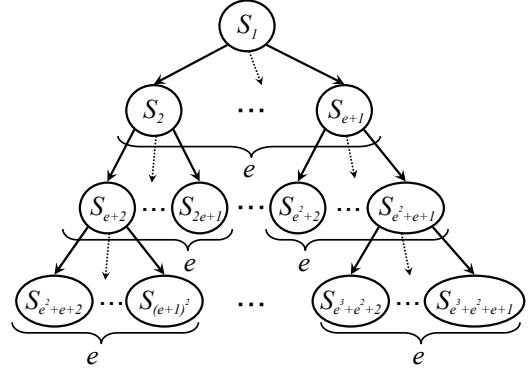


図 5 ドラマの視聴順序グラフ ($n = 3$)

Fig. 5 A play-sequence graph for a drama program.

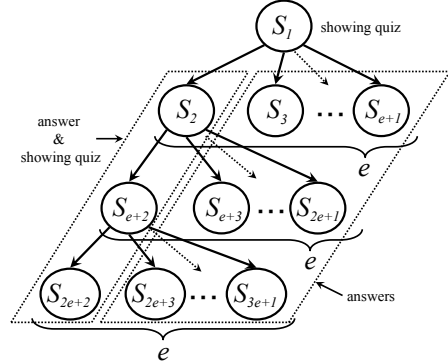


図 6 クイズ番組の視聴順序グラフ

Fig. 6 A play-sequence graph for a quiz program.

次に、クイズ番組の視聴順序グラフを図 6 に示す。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ている。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。正解を選び続けた場合、最大 n 問出題される。コンテンツの再生時間は、すべて 60 秒である。状態の数は、図 6 の場合、 $ne + 1$ 個になる。

6.1 供給クライアントが使用できる帯域幅

3. で説明したように、ネットワーク上の複数の供給クライアントが使用できる帯域幅は、パレート分布にしたがうものとする。この場合、使用できる帯域幅の確率分布関数 $F(x)$ は、

$$F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^a \quad (1)$$

で表される。ここで、 k は location パラメータ、 a ($1 < a < 2$) は shape パラメータと呼ばれている。参考文献 [5] をもとに、要求ピアと供給ピアとの間の帯域幅は $k = 1, a = 1.5$ のパレート分布にしたがうものとする。

6.2 待ち時間

本節では、単純手法と CPB 法それぞれについて待ち時間の大きさを調べるため、評価を行った。

6.2.1 帯域幅の影響

CPB 法で、帯域幅に応じた待ち時間がどの程度になるかを評価した。結果を図 7 に示す。横軸は必要な帯域幅、縦軸が待ち時間を示す。受信待ち時間はコンテンツの再生時間に比例するため、再生時間で除した値を示した。評価には、図 5 の視聴

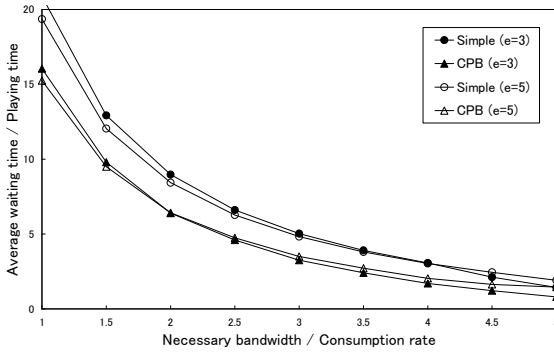


図 7 帯域幅と平均待ち時間

Fig. 7 The average waiting time under each method.

順序グラフを用い、状態数は 30 とした。図 5 は、根と葉を除く各深さに e 個の状態があり、それぞれの状態から e 個の枝が出ている視聴順序グラフである。“Simple ($e = i$)”は、単純手法を示し、“CPB ($e = i$)”は、図 5 の視聴順序グラフが出線数 i の多分木の場合における CPB 法を示す。例えば、デジタル放送と同じ $B = 23.0$ Mbps, $e = 5$, 再生時間が 60 秒のとき、単純手法における待ち時間は 2.37 秒となる。このグラフより、使用できる帯域幅の増加にともない、待ち時間は減少することが分かる。これは、帯域幅が増加すると、再生レート r 以上の帯域幅で放送できるチャンネル数が増加し、待ち時間を短縮するためである。例えば、 $B = 15$ Mbps, $e = 5$ のとき、単純手法では 4.83 秒、CPB 法では 3.50 秒となり、単純手法に比べて 27.5% の減少となる。

6.2.2 コンテンツ数の影響

状態数が大きくなると、再生を開始するまでに必要なデータ量を受信できないコンテンツが増加し、待ち時間が大きくなる。そこで、状態数に応じて待ち時間がどの程度になるかを調べた。結果を図 8 に示す。横軸が状態数、縦軸が平均待ち時間を再生レートで除した値である。供給クライアントが使用できる帯域幅の合計をデジタル放送と同じ 23 Mbps とする。6.2.1 項と同様に、出線数 e の視聴順序グラフを評価に用いた。単純手法 ($e = 3$) において、状態数が 8 のときに待ち時間が発生するのは、使用できる帯域幅が小さい供給クライアントに S_8 が割り当てられ、再生開始時刻までに必要なデータ量を確保できなかったためである。図 8 より、CPB 法は単純手法に比べて待ち時間を短縮できていることが分かる。これは、CPB 法では、各供給クライアントが使用できる帯域幅を考慮して、コンテンツをスケジューリングしているためである。例えば、 $n = 30$, $e = 5$ のとき、単純手法では 2.37 秒、CPB 法では 1.61 秒となり、単純手法に比べて 32.1% の減少となる。

6.2.3 深さの影響

視聴順序グラフの深さが大きくなると、選択数が増加し、コンテンツ数が増加するため、待ち時間が変化することが考えられる。このため、視聴順序グラフの深さに応じた待ち時間の評価を行う必要がある。視聴順序グラフの深さを変化させるため、図 6 の視聴順序グラフを用い、状態数は 30 とした。根から葉までの順序を $Q_k (k = 1, \dots, N)$ で示し、 Q_k 上にある状態の数

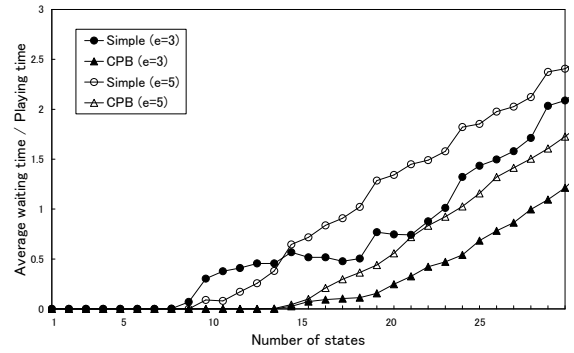


図 8 状態数と平均待ち時間

Fig. 8 The average time under the number of states.

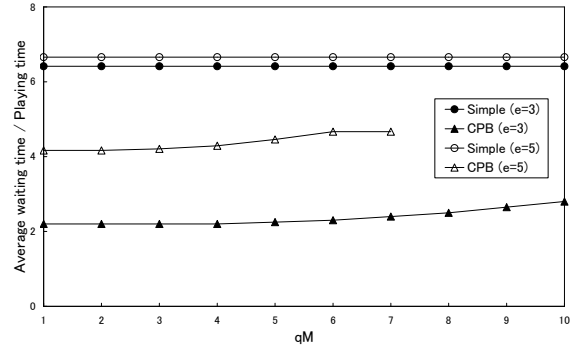


図 9 深さと平均待ち時間

Fig. 9 The watching-order graph and the necessary bandwidth.

を q_k で示す。結果を図 9 に示す。横軸が q_M 、縦軸が受信待ち時間を再生時間で除した値である。CPB 法について、 $e = 5$ の場合、 b の最大値が 7 となり、 $q_M = 8$ にならないため、グラフが途切れている。図 9 より、 q_M が大きいほど、縦軸はわずかに増加することが分かる。これは、 q_M が大きいほど待ち時間は増加するが、番組の放送時間が長くなるため、待ち時間を再生時間で除した値はほぼ一定になる。単純手法については、帯域幅が一定であるため、待ち時間と再生時間との比は一定となり、 q_M が増加しても縦軸は一定の値をとる。また、 $e = 3, 5$ それぞれについて、CPB 法は単純手法に比べ、待ち時間が小さいことがわかる。これは、CPB 法では、視聴順序グラフの深さを考慮して、 q_M の値が大きいコンテンツを帯域が大きい供給クライアントで配信するようにスケジューリングするためである。具体的には、 $q_M = 3$, $e = 5$ のとき、単純手法では 6.66 秒、CPB 法では 4.46 秒となり、単純手法に比べて 33.0% の減少となる。

6.3 最大バッファサイズ

クライアントがコンテンツの受信時に使用可能なバッファサイズを調べる。図 5, 6 の視聴順序グラフを用い、状態数は 30 としたとき、クライアントが使用するバッファサイズの最大値を、それぞれ図 10, 11 に示す。横軸が状態数、縦軸が最大バッファサイズを示す。最大バッファサイズは、コンテンツのデータサイズに比例するため、このデータサイズで除した値を示した。図 10 では、 $e = 5$ で状態数が 22 以上のとき、最大バッファサイズが増加する。これは、状態数が 22 になると視聴順

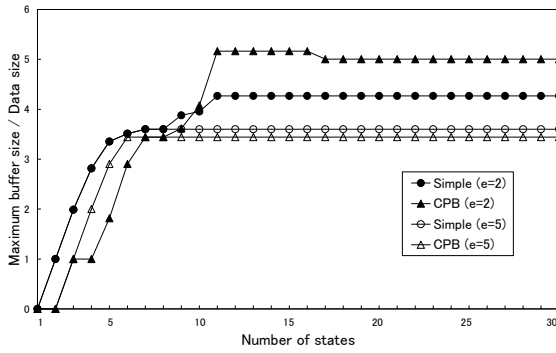


図 10 各手法の最大バッファサイズ (図 5)

Fig. 10 The maximum buffer size under each methods (Fig.5).

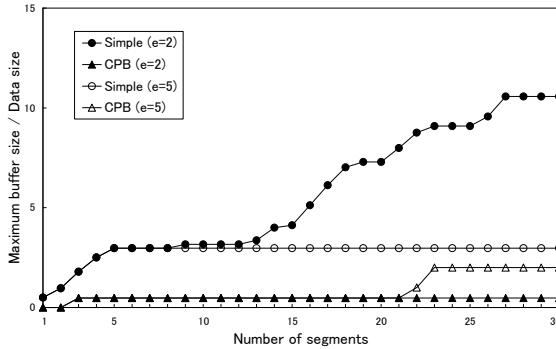


図 11 各手法の最大バッファサイズ (図 6)

Fig. 11 The maximum buffer size under each methods (Fig.6).

序グラフの深さが増加して、バッファとして保存するデータ量が増加するためである。また、図 11 では、 $e = 2, 5$ のどちらにおいても、CPB 法は単純手法に比べて待ち時間が小さくなる。これは、再生レートをもとに複数の供給クライアントを選択して、コンテンツをスケジューリングするためである。

6.4 次のコンテンツまでの受信待ち時間

コンテンツの数が大きくなると、受信待ち時間が発生するコンテンツの数が増加する。このため、放送中のコンテンツの次のコンテンツの受信待ち時間を短縮することで、次の番組の再生までの時間を短縮できる。例えば、クイズ番組の後にニュース番組を放送する場合に、クイズ番組の再生終了後からニュース番組の再生開始までの待ち時間が挙げられる。そこで、各手法における次のコンテンツまでの受信待ち時間を、図 12, 13 に示す。図 12 は図 5 の視覚順序グラフ、図 13 は図 6 の視覚順序グラフを用いる。横軸はセグメント数、縦軸は平均待ち時間を再生レートで除した値である。また、 $e = 5, 7$ それぞれについて、CPB 法は単純手法に比べ、待ち時間が小さいことがわかる。これは、CPB 法では、視聴順序グラフの深さを考慮して、 q_M の値が大きいコンテンツを帯域が大きい供給クライアントで配信するようにスケジューリングするためである。例えば、図 12 において、 $n = 30, e = 5$ のとき、単純手法では 6.25 秒、CPB 法では 1.98 秒となり、単純手法に比べて 68.3% の減少となる。

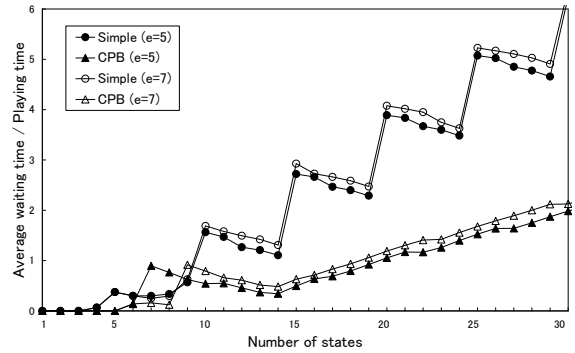


図 12 次のデータまでの待ち時間 (図 5)

Fig. 12 The average waiting time for starting receiving the next content (Fig.5).

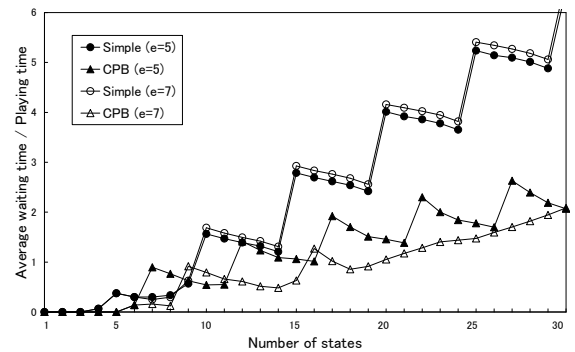


図 13 次のデータまでの待ち時間 (図 6)

Fig. 13 The average waiting time for starting receiving the next content (Fig.6).

7. 考 察

本章では、受信待ち時間の比較と既存手法との比較について、考察を行う。

7.1 受信待ち時間比較

図 7 より、必要な帯域幅の増加にともない、単純手法に比べて待ち時間を削減できることが分かる。CPB 法では、各供給クライアントが使用する帯域幅に応じてコンテンツを効率的にスケジューリングすることで、番組の受信要求から再生開始までの待ち時間を短縮している。また、図 8 では、状態数の増加にしたがい、単純手法に比べて待ち時間が減少している。これは、再生レートを基準にして複数の供給クライアントを選択して、クライアントの視聴順序をもとにコンテンツをスケジューリングするためである。

実環境では、クライアント数は数千の規模になることが想定される。クライアントがコンテンツの受信で発生する待ち時間を短縮することは、ネットワークに接続するクライアント数を維持する上で意義がある。

7.2 既存研究との比較

既存研究では、コンテンツを配信する供給クライアントはランダムに決定される。このため、番組の最初のコンテンツを使用できる帯域幅が小さい供給クライアントが配信すると、ユーザの待ち時間は増加する。提案する CPB 法では、使用できる帯域幅が大きい順番に供給クライアントを決定することで、コ

コンテンツの受信で発生する待ち時間を短縮する．

8. おわりに

本研究では、選択型コンテンツの端末伝送型インターネット放送において、データ受信時に発生する待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案した．提案手法では、要求クライアントが使用できる帯域を考慮して供給クライアントを選択し、視聴順序グラフの各深さにおいて、複数のコンテンツのデータ量を考慮してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する．

今後の予定として、各コンテンツの再生時間が異なる場合のスケジューリング手法や、ユーザがコンテンツを視聴する確率を考慮したスケジューリング手法が考えられる．

謝 辞

本研究の一部は、平成 20 年度総務省委託研究「ユビキタスサービスプラットフォーム技術の研究開発」、ならびに文部科学省グローバル COE プログラム「知識循環社会のための情報学教育研究拠点」の研究助成による成果である．また一部は、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）および文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（A））「ユビキタス環境のための全体プログラミング方式」（課題番号：20240007）によるものである．ここに記して謝意を表す．

文 献

- [1] 総務省，“情報通信白書平成 20 年版,” 2008.
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h20/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] 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.
- [4] 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．
- [5] K. Fujimoto, S. Ata, and M. Murata, “Statistical analysis of packet delays in the Internet and its application to playout control for streaming applications,” IEICE Transactions on Communications, vol.E84-B, no.6, pp.1504-1512, 2001.
- [6] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa, “d-Cast : A Division Based Broadcasting System for IP Networks,” Proc. of IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT’07), pp.1902-1907, 2007.
- [7] BitTorrent: <http://www.bittorrent.com>.
- [8] 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.
- [9] Y. Guo, K. Suh, J. Kurose and D. Towsley, “A Peer-to-Peer on-demand streaming service and its performance evaluation,” Proc. 2003 IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2003), 2003.
- [10] D. Tran, K. Hua and T. Do, “Zigzag: an efficient peer-to-peer scheme for media streaming,” Proc. 22nd IEEE INFOCOM Conference, 2003.
- [11] B. Cohen, “Incentives build robustness in BitTorrent,”

Proc. 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, 2003.

- [12] Y. Guo, K. Suh, J. Kurose and D. Towsley, “P2Cast: Peer-to-peer Patching Scheme for VoD Service,” Proc. 12th International Conference on World Wide Web (WWW), pp.301-309, 2003.
- [13] D. Xu, M. Hefeeda, S. Hambrusch, and B. Bhargava, “On peer-to-peer media streaming,” Proc. 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS2002), vol.1, pp.363-371, 2002.
- [14] P. Shah, and J.-F. Paris, “Peer-to-Peer Multimedia Streaming Using BitTorrent,” Proc. 26th International Performance of Computers and Communication Conference (IPCCC 2007), pp.340-347, 2007.
- [15] Y. Chu, S. Rao, and H. Zhang, “A Case for End System Multicast,” IEEE Journal on SAC, Special Issue on Networking Support for Multicast, pp.1456-1471, 2002.
- [16] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa, “Method to Select Peers to Reduce Waiting Time in P2P Streaming Broadcasts,” IADIS International Conference Telecommunications, Networks and Systems 2008 (TNS-CONF 2008), pp.120-124, 2008.
- [17] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa, “A Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems,” 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM2008), pp.15-20, 2008.
- [18] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, M. Kanazawa, “A Scheduling Method Considering Playing Time in Selective Contents Broadcasting,” Proc. 4th Int. WorkShop on QoS in Multiservice IP Networks (QoS-IP 2008), pp.191-196 (2008).