

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クライアントの再接続を考慮したデータ配信手法

後藤 佑介^{†1} 義久 智樹^{†2}
谷口 秀夫^{†1} 金澤 正憲^{†3}

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の端末伝送型インターネット放送に対する注目が高まっている。端末伝送型インターネット放送では、複数の端末からコンテンツを受信することで待ち時間を短縮するが、データの受信中に供給端末がネットワークから離脱もしくは再接続を行うと、放送開始前に作成した放送スケジュールが変更され、待ち時間が増加する。そこで提案手法では、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、クライアントの再接続を考慮した上で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。本研究では、端末の離脱および再接続時に帯域幅が大きい端末ができるだけ多くのコンテンツを配信できるように放送スケジュールを再構築することで、既存手法に比べて待ち時間を短縮することを確認した。

A Scheduling Method on Selective Contents Broadcasting with Node Relay-based Webcast Considering Reconnection

YUSUKE GOTOH,^{†1} TOMOKI YOSHIHISA,^{†2}
HIDEO TANIGUCHI^{†1} and MASANORI KANAZAWA^{†3}

Due to the recent popularization of digital broadcasting systems, selective contents broadcasting depending on users' preferences with node relay-based webcast have attracted great attention. In node relay-based webcast, waiting time is reduced by receiving contents from several nodes. However, when a node pulls out of the network or is reconnected to it while delivering contents, a broadcast schedule made before it broadcasts is changed, waiting time increases. In this paper, we propose a method to reduce the waiting time considering reconnection on selective contents delivery with node relay-based webcast that relay data among nodes. Our proposed method reduces waiting time by re-

structuring the broadcast schedule considering secession and the reconnection of the node.

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 択クイズ番組における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。

筆者らは、複数のクライアントがデータを送受信する端末伝送型インターネット放送において、選択型コンテンツを視聴する場合の待ち時間短縮手法を提案してきた²⁾。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、要求端末）が他の複数の端末（以下、供給端末）からデータを受信する。ユーザは、受信したコンテンツを選択し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、要求端末が使用できる帯域を考慮して供給端末を選択し、視聴順序グラフの深さを考慮してコンテンツをスケジューリングすることで待ち時間を短縮していたが、ネットワークに対する端末の接続や離脱といった、端末の参加状況を考慮していなかった。供給端末が配信中にネットワークから離脱すると、コンテンツの配信が中断する。このとき、要求端末は、ネットワーク上に存在する新たな供給端末に接続し、離脱した供給端末から受信する予定だったコンテンツの受信を開始するため、データ受信時の待ち時間が増加する。

本論文では、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、クライアント端末の再接続を考慮したデータ配信手法を提案する。提案手法は、ネットワークから離脱し

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

^{†2} 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

^{†3} 京都情報大学院大学
The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics

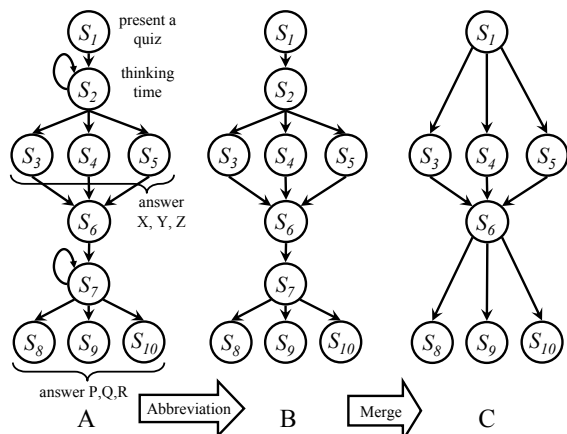


図 1 3 択クイズ番組の視聴順序グラフの簡単化

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

た供給端末が使用していた帯域幅の大きさを考慮して供給端末を選択し、放送スケジュールを再構築してコンテンツを配信することで、データ受信時に発生する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章で選択型コンテンツについて説明し、3章で端末伝送型インターネット放送について説明する。4章で関連研究について説明し、5章では提案手法を説明する。6章で評価を行い、最後に7章で本論文をまとめる。

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^{3),4)}。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。2 問目の出題映像 S_6 の再生が終了すると、 S_7

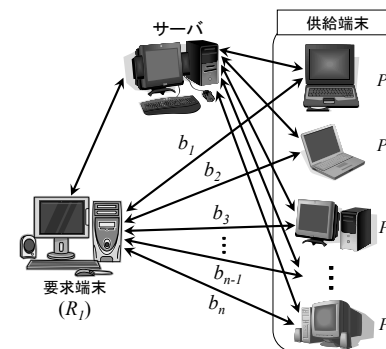


図 2 想定するクライアント構成

Fig.2 Assuming structure of broadcasting with node relay-based webcast.

に遷移する。 S_7 では、ユーザが回答 P, Q, R の中から映像を選択し、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} といったように、状態が遷移する。

視聴順序グラフに対して、状態遷移の省略 (Abbreviation)、状態の結合 (Merge)、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

3.1 概要

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、要求端末と供給端末の 2 種類のクライアント端末が存在する。図 2 のネットワーク環境では、複数の要求端末と供給端末がそれぞれ接続している。要求端末は、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端末を複数選択し、データを要求する。選択した供給端末からデータの配信が開始されると、要求端末は番組の再生を開始する。

3.2 待ち時間が発生する仕組み

本節では、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、待ち時間が発生する仕組みについて説明する。端末伝送型インターネット放送では、要求端末がデータの受信を開始してから再生を開始するまでの間に、待ち時間が発生する。ここで待ち時間とは、

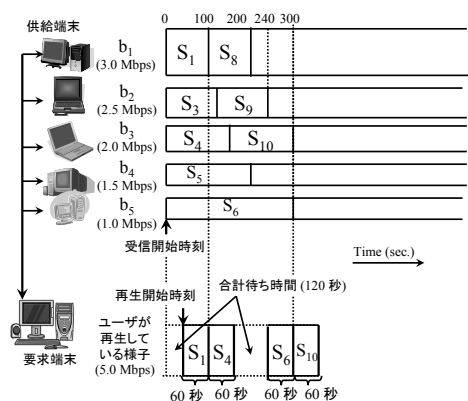


図 3 単純手法の放送スケジュール例

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

ユーザが番組の受信要求を出してから最初のコンテンツの再生が開始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。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、配信元となる複数の供給端末がコンテンツ単位でデータを配信するため、各供給端末が使用できる帯域に応じて待ち時間は大きく変化する。これについては、以下で説明する。

単純なスケジューリング手法（単純手法）では、要求端末は番組を構成する各コンテンツを配信する供給端末をランダムに選択する。要求端末が選択した供給端末の使用できる帯域が小さい場合、この供給端末から配信されるコンテンツの受信時間が長くなり、待ち時間が発生するという問題があった。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。番組を構成する 8 個のコンテンツについて、 b_1 が S_1, S_8 を、 b_2 が S_3, S_9 を、 b_3 が S_4, S_{10} を、 b_4 が S_5 を、 b_5 が S_6 を配信する場合を考える。コンテンツの再生レートは、MPEG2 で一般的な 5.0 Mbps とした⁵⁾。コンテンツの再生時間はすべて 60 秒とし、要求端末を R_1 、要求端末が使用できる帯域を 11.0 Mbps とする。一方、供給端末を P_1, \dots, P_6 、供給端末が使用できる帯域を $b_1 = 3.0$ Mbps, $b_2 = 2.5$ Mbps, $b_3 = 2.0$ Mbps, $b_4 = 1.5$ Mbps, $b_5 = 1.0$ Mbps, $b_6 = 0.5$ Mbps とする。最初に P_1 で S_1 を受信するとき、 b_1 が再生レートを下回るため、番組再生時に $100 - 60 = 40$ 秒の待ち時間が発生する。また、 S_4, S_6, S_{10} の順番に再生する場合、 S_4 の再生終了から S_6 の再生開始までの間に 80 秒の待ち時間が発生し、合計で $40 + 80 = 120$ 秒の待ち時間が発生する。本研究では、コンテンツの視聴中に途切れが発生しないようにし

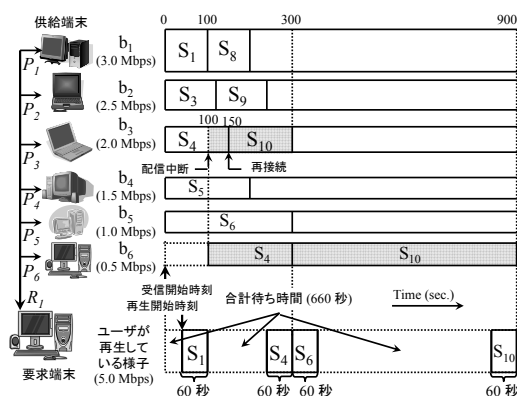


図 4 クライアントの再接続を考慮した場合の単純手法の放送スケジュール例

Fig. 4 An example of a broadcast schedule considering reconnection and under the simple method.

た上で、待ち時間を短縮する。

次に、供給端末がコンテンツの配信中にネットワークから離脱し、一定時間後に再接続する場合を考える。これまでの手法では、供給端末の離脱による放送スケジュールの作成は行われてきたが、再接続による放送スケジュールの再構築については考慮していなかった。 P_3 が配信中にネットワークから離脱した場合、ネットワーク上に存在する別の供給端末が、 P_3 で配信が中断した残りのコンテンツデータを配信する。例えば、番組の受信開始から 100 秒後に P_3 がネットワークから離脱して、150 秒後に再接続する場合の様子を図 4 に示す。 P_3 がネットワークから離脱すると、別の供給端末 P_6 が P_3 の配信スケジュールを受け継ぎ、 S_4 の残りと S_8 を番組の受信開始 100 秒後から配信する。このとき、 b_6 の帯域を用いた場合のコンテンツの配信時間は、 b_3 の $2.0/0.5 = 4.0$ 倍になる。図 4 のように、ユーザが S_1, S_4, S_6, S_{10} の順番に再生すると、待ち時間の合計は、 $40 + 140 + 480 = 660$ 秒となる。このように、単純手法では、放送スケジュールの再構築を行わないため、 P_3 が受信開始から 150 秒後にネットワークに再接続してもコンテンツを配信できず、別の要求端末から受信要求を待つことになる。

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、供給端末は複数のコンテンツを受信する必要がある。配信が中断した供給端末の放送スケジュールを別の帯域が小さい供給端末が受け継いでコンテンツを配信する場合、コンテンツの配信時間が増加して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。また、供給端末が再接続する場合、データを効率的に配信するため、再接続を行った時点で放送スケジュールを再構築し、デー

タの受信時間を短縮する必要がある．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．データの受信時間を短縮すれば，供給端末は多くの要求端末にデータを配信でき，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^{6)–10)}．Xu¹¹⁾ 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¹²⁾．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¹⁰⁾．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⁴⁾ 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ンネルをできるだけ確保し，待ち時間を短縮している．また，Contents Prefetched Broadcasting (CPB) 法²⁾ では，要求端末が使用できる帯域を考慮して供給端末を選択し，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たスケジューリングを作成することで，待ち時間を短縮する．これらの手法では，供給端末の離脱や再接続といった端末の参加状況については考慮していない．また，一つの要求端末がデータを受信している間に別の要求端末がデータを受信する場合の評価を行っていない．本研究では，供給端末の再接続を考慮したスケジューリング手法を提案し，複数の要求端末が視聴要求の平均到着間隔にもとづきデータを受信する場合の待ち時間の変化を評価する．

5. 提案手法

5.1 概要

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-CR (Contents Prefetched Broadcasting Considering Reconnection)

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	同時接続供給端末数
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	供給端末 $j = 1, \dots, p$
b_j	供給端末の帯域幅
$t_s(i)$	S_i の配信開始時刻
$t_f(i)$	S_i の配信終了時刻
$t_d(i)$	S_i の配信中断時刻

法を提案する．提案手法では，供給端末がネットワークから離脱した時点で，ネットワークから離脱した供給端末が使用していた帯域幅の大きさを考慮して他の供給端末を選択し，放送スケジュールを再構築する．また，離脱した供給端末が再度接続する場合，離脱時にデータを配信していた要求端末がまだ番組を受信中であれば，放送スケジュールを再構築してデータの配信を再開する．

5.2 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．要求端末と供給端末は，想定環境のもとでデータ配信のセッションを行う．

- 要求端末は，1 つ以上の供給端末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で可能である．
- 要求端末は，番組を構成するすべてのコンテンツを受信する．
- 供給端末は，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端末が供給端末になることで可能である．
- 供給端末は，2 つ以上の要求端末とセッションを行わない．
- 供給端末はデータの配信中に放送スケジュールを再構築できる．これは，ネットワーク上に存在するサーバが供給端末に放送スケジュールの変更を通知することで可能である．

要求端末と供給端末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．供給端末には他の要求端末が接続することが考えられるが，問題を単純化するため，供給端末が接続できる要求端末の数は 1 台 とする．

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．また，本論文で用いる記号を表 1 に示す．

5.3.1 放送開始前のスケジューリング作成手順

- (1) 使用できる帯域幅が大きい b_i から順番に、同時に受信する供給端末を p 個選択する。
- (2) 供給端末 P_j が S_i を配信するときの配信終了時刻 $t_f(i)$ を以下の式より算出する。

$$t_f(i) = t_s(i) + w/r \times b_i \quad (1)$$

- (3) 各供給端末から配信する場合の配信終了時刻が一番早い P_j に S_i をスケジューリングする。
- (4) $t_s(i)$, $t_f(i)$ の値を更新する。
- (5) すべてのセグメントのスケジューリングが完了するまで (2) から (4) を繰り返す。

式 (1) では、各 P_i において配信終了時刻をセグメントデータの再生時間 w/r を b_i の帯域幅で配信する場合の受信時間を算出する。この受信時間をもとに各 R_i の配信終了時刻を算出し、一番配信終了時刻が早い供給端末で配信を行うようにスケジューリングする。

5.3.2 配信中断時のスケジューリング作成手順

供給端末が配信中にネットワークから離脱して配信が中断した場合、配信中断時刻以降の放送スケジューリングを再構築する。このとき、配信が中断した供給端末を P_k ($k = 1, \dots, p$) とすると、スケジューリングの作成手順は以下になる。

- (1) 配信が中断したコンテンツの残りのデータを各供給端末が配信するときの配信終了時刻 $t_f(i)$ を以下の式より算出する。

$$t_f(i) = t_d(k) + (t_f(k) - t_d(k)) \times b_k/b_i \quad (2)$$

- (2) 各供給端末から配信する場合の配信終了時刻が一番早い P_j に配信が中断したコンテンツの残りのデータをスケジューリングする。
- (3) $t_s(i)$, $t_f(i)$ の値を更新する。
- (4) 残りのコンテンツのスケジューリングが完了するまで、5.3.1 節で述べたスケジューリング作成手順の (2) から (4) を繰り返す。

5.3.3 再接続時のスケジューリング作成手順

ネットワークから離脱した供給端末 P_k が再接続する場合、放送スケジュールは以下の手順で再構築される。

- (1) P_k による配信について、 b_k を追加しても使用できる帯域幅を上回らず、かつ同時接続供給端末数を上回らなければ、配信再開時刻からコンテンツの配信を再開する。配信再開時刻以後の放送スケジュールについて、5.3.1 節で述べたスケジューリング作成手順の (2) から (4) を繰り返す。そうでないならば、(2) へ。
- (2) 配信再開時刻以後でコンテンツの配信終了時刻が一番早い P_j について、 $b_k > b_j$ であり、かつ $b_k - b_j$ の帯域幅を追加しても使用できる帯域幅を上回らなければ、その時点から P_k が P_j の代わりにコンテンツを配信する。そうでなければ、次にコンテンツ

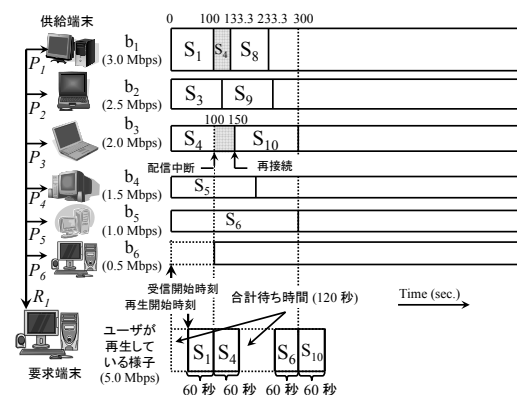


図 5 提案手法の放送スケジュール例

Fig. 5 An example of a broadcast schedule under the proposed method.

の配信が終了する P_j について、再度 (2) を行う。供給帯域の追加および P_j と放送スケジュールの再構築が行えない場合、スケジューリングを終了する。

以上の手順でスケジューリングを行う。

5.4 導入方法

提案手法において、要求端末が複数の供給端末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 5 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、ネットワークから離脱した供給端末が使用していた帯域を考慮して供給端末を選択し、放送スケジュールを再構築してコンテンツを配信することで、データ受信時に発生する待ち時間を短縮する。再生開始後 100 秒で P_3 が配信を中断する場合、 P_3 で配信できなかった残りの再生時間 20 秒分のデータを P_1 が $20 \times 2.0/3.0 = 13.3$ 秒かけて配信する。また、再生開始後 150 秒でネットワークへ再接続を行ったときは、放送スケジュールを再構築し、 S_{10} の配信を行う。図 5 のように、ユーザが S_1, S_4, S_6, S_{10} の順番に再生すると、待ち時間の合計は、 $40 + 80 = 120$ 秒となり、単純手法の場合に比べて待ち時間が $(660 - 120)/660 \times 100 = 81.8\%$ 短縮される。

6. 評価

6.1 使用する視聴順序グラフ

本章では、提案手法 CPB-CR 法の性能評価を行う。視聴順序グラフは、選択型コンテン

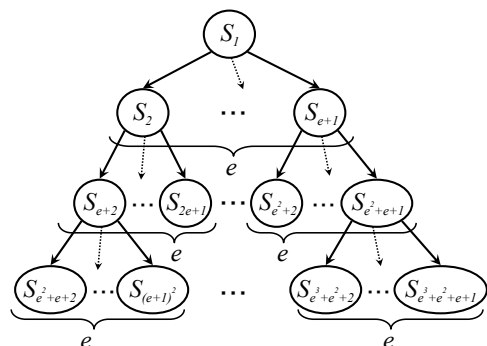


図 6 ドラマの視聴順序グラフ ($n = 3$)
Fig. 6 A play-sequence graph for a drama program.

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、ドラマにおける選択枝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、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 6 に示す。各選択部分には e 個の選択枝があり、 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 6 の場合、 $\sum_{i=0}^n e^i$ 個になる。

6.2 シミュレーションモデル

CPB-CR 法の有効性を確かめるため、評価を行った。評価にはコンピュータシミュレーションを用いた。視聴要求の平均到着間隔は、視聴者が選択型コンテンツの番組の視聴要求を出す間隔である。一般的な到着であるポアソン過程にしたがうものとし、平均到着間隔をポアソン分布で与えた。コンテンツの再生時間は 60 秒とし、要求端末の到着数は 500 とする。

ネットワーク上の複数の供給端末が利用できる帯域幅は、Bounded Pareto Distribution (BPD) 分布¹³⁾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、

$$F(x) = \frac{\alpha k^\alpha}{1 - \left(\frac{k}{p}\right)^\alpha} x^{-\alpha-1} \quad (k \leq x \leq p) \quad (3)$$

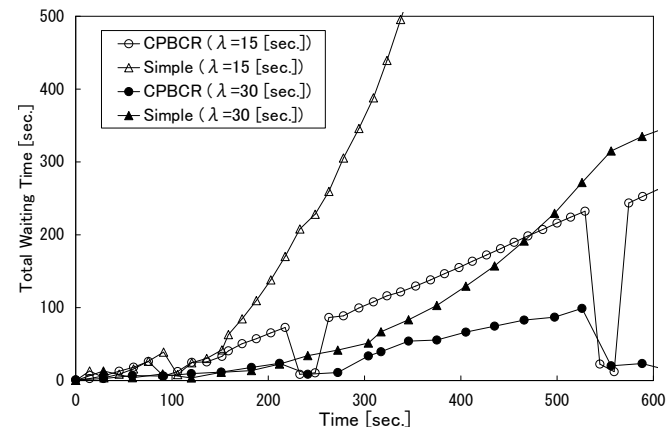


図 7 経過時間と待ち時間の合計
Fig. 7 Total waiting time under elapsed time.

で表される。ここで、 k, p は location パラメータの最小値と最大値、 α ($1 < \alpha < 2$) は shape パラメータである。参考文献¹³⁾をもとに、要求端末と供給端末との間の帯域幅は $k = 10, p = 1000000, \alpha = 1.1$ の BPD 分布にしたがうものとする。

6.3 待ち時間と経過時間

サーバにデータを要求する端末の数が増加すると、通信チャネルをすぐに使用できない端末数が増加し、待ち時間が増加することが考えられる。そこで、各要求端末について、シミュレーション評価開始後の経過時間に応じた待ち時間がどの程度になるかを調べた。結果を図 7 に示す。横軸は経過時間であり、グラフ中の点は各要求端末の受信要求時刻に対応している。縦軸は各要求端末が受信要求から再生終了までに発生する待ち時間である。視聴要求の平均到着間隔は $\lambda = 15, 30$ 秒とする。評価には図 2 のネットワーク環境を用い、再生時間が 60 秒のデータを配信する場合を考える。配信終了時刻に対する配信中断時間の割合を 0.2 とし、中断から再接続までの時間は 10 秒とした。また、図 6 の視聴順序グラフを用い、状態数は 30 とした。図 6 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。供給端末数は 50、同時接続ピア数 n は 5、再生レートは 5.0 Mbps とした。"Simple ($e = i$)" は、単純手法を示し、"CPBCR ($e = i$)" は、図 6 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-CR 法を示す。

グラフより、CPB-CR 法は、単純手法に比べて待ち時間を短縮していることが分かる。CPB-CR 法では、各コンテンツについてどの供給端末からスケジューリングするかを選択

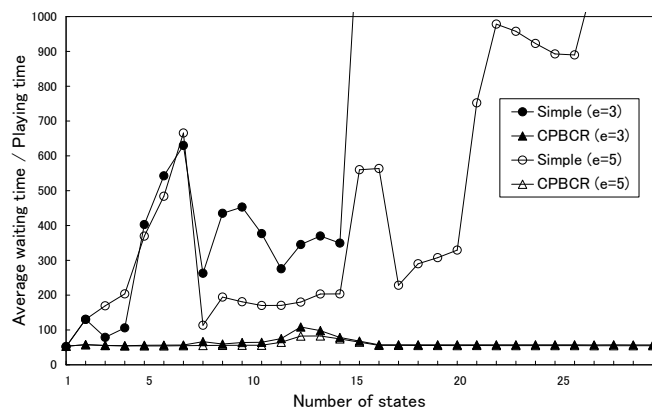


図 8 状態数と平均待ち時間

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

することで、使用できる帯域幅が大きい供給端末ができるだけ多くのコンテンツを放送できるようにスケジューリングする。また、要求端末の視聴要求時刻にどの供給端末を選択するかに応じて、待ち時間時間は大きく変化することが分かる。帯域幅が大きい供給端末が選択された場合は、待ち時間が大きく減少する。視聴要求の到着間隔について、到着間隔が 15 秒のときは、30 秒のときに比べて一定時間に到着する要求端末が増加するため、選択できる供給端末の帯域幅は小さくなる。このとき、待ち時間は到着間隔が 30 秒のときに比べて大きく増加する。

6.4 コンテンツ数の影響

コンテンツ数が大きくなると、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、コンテンツ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。横軸がコンテンツ数、縦軸が平均待ち時間を再生レートで除した値である。供給端末が使用できる帯域幅の合計を 15 Mbps とし、視聴要求の到着間隔は 30 秒、配信終了時刻に対する配信中断時間の割合を 0.2 とする。また、図 6 の視聴順序グラフを用いた。

図 8 より、単純手法では、コンテンツ数が増加して視聴順序グラフの深さが大きくなると、次の深さのコンテンツを視聴するまでの待ち時間が増加するため、平均待ち時間は大きく増加する。また、CPB-CR 法は単純手法に比べて待ち時間を短縮でき、コンテンツ数に関わらずほぼ一定の値となることが分かる。CPB-CR 法は、各コンテンツのデータをできるだけ早くバッファに保存するスケジューリングであるため、コンテンツ数が増加して視聴順序

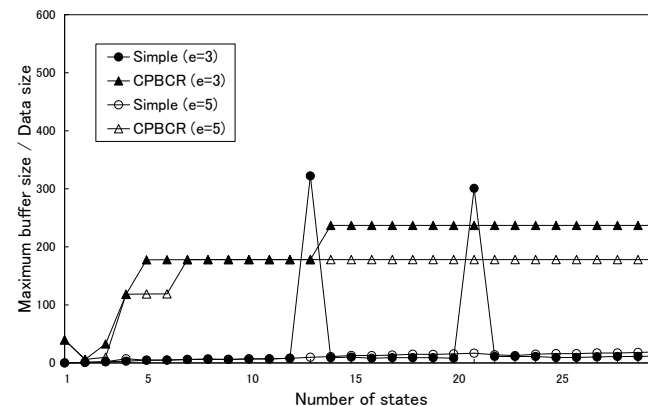


図 9 各手法の最大バッファサイズ

Fig. 9 The maximum buffer size under each method.

グラフの深さが大きくなっても、待ち時間にはそれほど影響しない。例えば、 $n = 20, e = 5$ のとき、単純手法では 307.6 秒、CPB-CR 法では 55.5 秒となり、単純手法に比べて 82.0% の減少となる。

6.5 最大バッファサイズ

要求端末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 6 の視聴順序グラフを用い、状態数は 30 としたとき、要求端末が使用するバッファサイズの最大値を、図 9 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。配信終了時刻に対する配信中断時間の割合を 0.2 とし、中断から再接続までの時間は 10 秒とした。

図 9 では、状態数が増加すると、CPB-CR 法が単純手法に比べてバッファサイズが大きくなる。CPB-CR 法では帯域幅が大きい供給端末から優先的にコンテンツを受信するため、バッファサイズは大きくなる。一方、単純手法で帯域幅が小さい供給端末がコンテンツを受信している間は他の供給端末がコンテンツを受信してバッファに保存する。このため、 $n = 13, 21$ のとき、CPB-CR 法よりバッファサイズが大きくなる場合が発生する。

7. 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、クライアントの再接続を考慮した場合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、ネットワークから離脱および再接続した場合それぞれについて、供給端末が使用していた帯域幅の大きさを考慮して供給端末を選択し、放送スケジュールを再構築してコンテンツを配信することで、データ受信時に発生する待ち時間を短縮する。評価では、既存研究で行われていなかった視聴要求の到着間隔にもとづく待ち時間の評価を行い、提案手法が効率的に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、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、総務省委託研究「ユビキタス・プラットフォーム技術の研究開発」による研究成果である。また一部は、科学研究費補助金(若手研究(B))「端末伝送型インターネット放送におけるコンテンツ配信方式」(課題番号:21700108)および財団法人岡山工学振興会の研究助成による成果である。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 21 年版,” 2009.
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/H21/pdf/index.html>.
- 2) Y. Gotoh, T. Yoshihisa, H. Taniguchi, and M. Kanazawa, “A Scheduling Method on Selective Contents Broadcasting with Node Relay Based Webcast Considering Available Bandwidth,” Proc. 5th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management (NCM 2009), pp.1367-1372, 2009.
- 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) 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) 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. 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.
- 7) D. Tran, K. Hua, and T. Do, “Zigzag: an efficient peer-to-peer scheme for media streaming,” Proc. 22nd IEEE INFOCOM Conference, 2003.
- 8) B. Cohen, “Incentives build robustness in BitTorrent,” Proc. 1st Workshop on

Economics of Peer-to-Peer Systems, 2003.

- 9) 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.
- 10) Y. Gotoh, K. Suzuki, T. Yoshihisa and M. Kanazawa, “A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems,” Journal of Mobile Multimedia, Vol.5, No.3, pp.255-270, 2009.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) M.E. Crovella, M. Harchol-Balter, and C. Murta, “Task Assignment in a Distributed System: Improving Performance by Unbalancing Load,” Proc. ACM SIGMETRICS Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, pp.268-269, 1998.