

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

後藤 佑介^{†1} 義久 智樹^{†2} 金澤 正憲^{†3}

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の放送型配信に対する注目が高まっている。たとえば、ニュース番組で、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、視聴することが考えられる。選択型コンテンツの放送型配信では、サーバはコンテンツを多数配信する必要があるため、途切れのない再生に必要な帯域幅は増加する。これまでの研究では、この帯域幅を削減する手法を提案していたが、サーバが使用する帯域幅に制限を設けていなかった。一般に、サーバが使用できる帯域幅には上限があり、放送に必要な帯域幅を下回ると、コンテンツの受信に要する時間が増加し、各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。本論文では、選択型コンテンツの放送型配信において、使用できる帯域幅を考慮して、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。提案手法では、データの再生レートと等しい帯域幅を持つ放送チャンネルをできるだけ確保してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。ニュース番組で5つのジャンルからユーザが興味のあるジャンルの選択を2回行ったあとに視聴する場合、提案手法は既存手法に比べて平均待ち時間を34.1%短縮できることが明らかになった。

A Method to Reduce Waiting Time for Selective Contents Broadcasting Considering Available Bandwidth

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

Due to the recent popularization of digital broadcasting systems, selective contents, i.e., watching contents users selected themselves, have attracted great attention. For example, in a news program, after a user watches summary of all news, he/she selects the desired news and watches it. In selective contents broadcasting, since the server needs to deliver many contents, the necessary bandwidth for playing the data without interruptions increases. Although conventional methods reduce the necessary bandwidth, they do not consider the

upper limit in the bandwidth. Generally, there is an upper limit in the available bandwidth. In that case, users have to wait to finish receiving the content. In this paper, we propose a method to reduce the waiting time considering available bandwidth. In our proposed method, by allocating broadcast channels that have the same bandwidth as the data consumption rate, the waiting time is reduced. Our evaluation showed that our proposed method reduces the average waiting time 34.1% shorter than that under conventional methods when users select their desired category from 5 selections twice.

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。たとえば、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。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。しかし、選択型コンテンツを提供するサーバは、選択肢となるいく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となる。ここでコンテンツとは、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途切れが発生することがある。たとえば、選択肢の提示後、選んだ回答の映像が表示されるまで待つことがある。これまでの手法では、ユーザが途切れなくコンテンツを再生するために必要な帯域幅を削減することで待ち時間を短縮していたが、サーバが使用する帯域幅に制限を設けていなかった。帯域幅に制限がある場合、コンテンツの受信に要する時間が増加し、あるコンテンツの再生が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。

そこで本論文では、選択型コンテンツの放送型配信において、使用できる帯域幅を考慮し

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

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

^{†3} 京都大学学術情報メディアセンター
Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する．後に 3.2 節で詳述するが，提案手法では，データの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．本論文の提案手法は，次のコンテンツを視聴するときの待ち時間を短縮できるため，ユーザの負担を軽減できる．また，視聴順序グラフの深さを考慮したスケジューリング手法であるため，さまざまな番組の放送に対応できる．

本論文は，以下のように構成される．2 章では，これまでの研究について述べ，3 章では提案手法について説明する．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. 選択型コンテンツ

選択型コンテンツの配信方法として，放送型とオンデマンド型の 2 種類の配信方法があげられる．放送型配信では，地上波デジタル放送や衛星放送といった電波放送のように，一定の帯域を用いて多くのクライアントに同じデータをまとめて配信する．サーバは各クライアントから発生する受信要求を処理する必要がないためサーバの負担を軽減できるが，クライアントは必要なデータが放送されるまで待つ必要がある．一方オンデマンド型では，クライアントの受信要求に応じて帯域を割り当てる．サーバが配信に必要な帯域を確保できる場合，クライアントは待つことなくコンテンツを視聴できるが，帯域を確保できない場合，クライアントは，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．このため，クライアントの数が多い場合にはオンデマンド型よりも放送型が適しているといえ，本論文では放送型配信を想定する．

本論文では，選択型コンテンツの視聴順序を表記する状態遷移グラフを視聴順序グラフと呼ぶ．以下に，視聴順序グラフについて簡単に説明する．詳細は文献 2) を参照．

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．たとえば，クイズ番組の視聴順序グラフを図 1 に示す．クイズ番組で，ユーザは，提示された回答 X, Y から一方を選択し，正解もしくは不正解の映像を再生する． S_1 は，出題の映像を再生している状態であり，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 の内容を表示している状態である．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 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 S_2 の再生中に回答を選択しなかった場合，再び S_2 に戻ることや，自動的にどちらかの回答が選択されることが考えられる． S_3 は，回答 X を選択したときの状態であり，正解の映像を

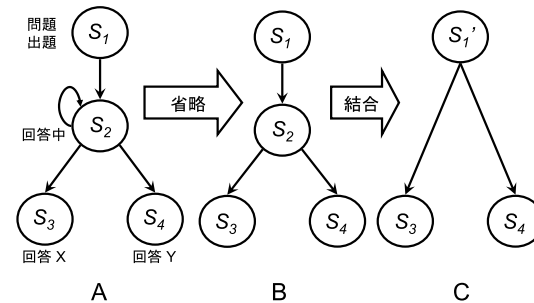


図 1 視聴順序グラフの簡単化

Fig. 1 A simplification of a play-sequence graph.

再生する． S_4 は，回答 Y を選択したときの状態であり，不正解の映像を再生する．

視聴順序グラフに対して，状態遷移の省略，状態の結合，状態の分割の 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．たとえば，図 1-A の視聴順序グラフは，図 1-C に簡単化される．

本論文では，視聴順序グラフを用いて放送スケジュールを作成する．

2.1 帯域幅に制限がある場合の待ち時間

本節では，待ち時間が発生する仕組みについて説明する．まず，これまでの研究と同様に，使用できる帯域幅に上限がない場合を考える．単純なスケジューリング手法（単純手法）では，いくつかの放送チャンネルを用いて，各コンテンツを再生開始時刻と同時に放送する．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肢の数の最大値と等しい．サーバが図 2 に示すニュース番組を想定した選択型コンテンツを放送する場合を考える． m 個のチャンネル C_1, \dots, C_m を使い，各コンテンツの再生時間は 60 秒とする．選択肢の数の最大値は 2 となるため，使用するチャンネルの数 m は 2 となる．単純手法では，ある深さにおける選択肢の数が，すべての深さにおける選択肢の数の最大値未満の場合，コンテンツを放送しない時間帯を持つチャンネルが発生する．たとえば，図 2 の場合， C_1 で S_1 を放送する間， C_2 では何も放送しないことになる．また，サーバに必要な帯域幅は，再生レートを MPEG2 で一般的な 5.0 Mbps とすると， $5.0 \times 2 = 10$ Mbps となる³⁾．

次に，使用する帯域幅に制限がある場合を考える．たとえば，使用する帯域幅が 8.0 Mbps に制限されているとき，先ほどと同じ図 2 に示す選択型コンテンツを放送する場合の放送スケジュールを図 3 に示す．単純手法では 10 Mbps の帯域幅が必要であったが，この場合，最

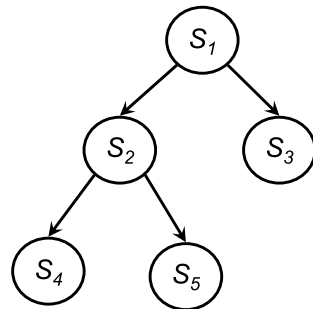


図2 ニュース番組の視聴順序グラフ

Fig. 2 A play-sequence graph for a news programs.

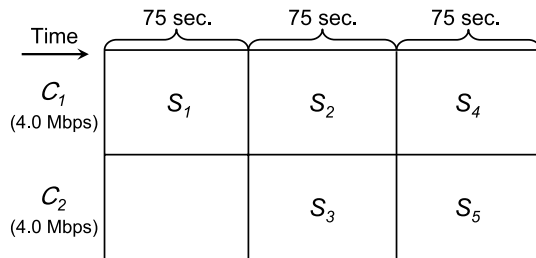


図3 単純手法の放送スケジュール例

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

大で 8.0 Mbps しか確保できない。単純に考えると、各チャンネルの帯域幅は $8.0 / 10 = 0.8$ 倍され、チャンネル C_1, C_2 の帯域幅は $5.0 \times 0.8 = 4.0$ Mbps となる。コンテンツのデータサイズは $60 \times 5.0 / 8 = 37.5$ Mbytes であり、4.0 Mbps で放送するため、放送には 37.5 Mbytes $\times 8 / 4.0 = 75$ 秒かかる。再生時間が 60 秒のコンテンツの配信に 75 秒かかるため、クライアントは S_1 の再生を開始するまで $75 - 60 = 15$ 秒待つ必要がある。 S_2, \dots, S_5 についても同様に、それぞれ 15 秒の待ち時間が発生する。

選択型コンテンツの放送型配信における帯域幅削減手法として、CCB 法^{2),4)}がある。CCB 法で、図 2 の選択型コンテンツを配信する場合の放送スケジュールを図 4 に示す。サーバが使用する帯域幅は 12.5 Mbps になる。次に、サーバの使用帯域幅が 8.0 Mbps に制限されている場合、各チャンネルの帯域幅は $8.0 / 12.5 = 0.64$ 倍され、放送スケジュールは

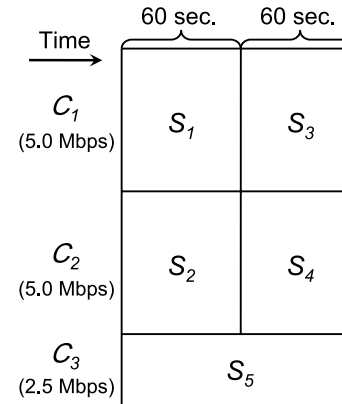


図4 CCB法の放送スケジュール例

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

図 5 のようになる。チャンネル C_1, C_2 の帯域幅は $5.0 \times 0.64 = 3.2$ Mbps、チャンネル C_3 の帯域幅は $2.5 \times 0.64 = 1.6$ Mbps となる。この場合、60 秒のコンテンツの再生に $37.5 \times 8.0 / 3.2 = 94$ 秒かかり、クライアントは、各コンテンツの再生を開始するまでそれぞれ $94 - 60 = 34$ 秒待つ必要がある。たとえば、 S_1, S_3 を順番に再生した場合、待ち時間は合計で $34 + 34 = 68$ 秒発生する。待ち時間の合計は、コンテンツ数が増えるほど増加するため、ユーザがコンテンツ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、使用できる帯域幅を考慮してスケジューリングを行うことで、使用できる帯域幅に上限がある場合の待ち時間を既存手法に比べて短縮する。

2.2 関連研究

放送型配信において、待ち時間を短縮する手法はいくつか提案されている⁵⁾⁻¹⁰⁾。Harmonic Broadcasting¹¹⁾法では、データをデータサイズの等しいいくつかの部分に分割し、帯域幅の異なるいくつかのチャンネルを用いて同時に放送することで、待ち時間を短縮している。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いくつかの部分に分割して放送する手法として、ほかに Pagoda Broadcasting¹²⁾法、Fuzzycast¹³⁾法、OPB (Optimized Periodic Broadcast)¹⁴⁾法などがある。Pyramid Broadcasting¹⁵⁾法、Asynchronous Harmonic Broadcasting¹⁶⁾法では、データサイズが異なるいくつかの部分

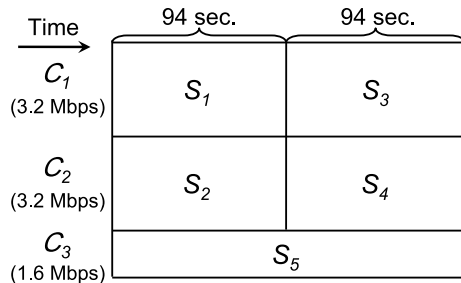


図5 帯域幅を考慮した CCB 法の放送スケジュール例

Fig. 5 An example of a broadcast schedule under the CCB scheme considering bandwidth.

に分割してスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。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。

CCB (Contents Cumulated Broadcasting) 法^{2),4)}では、選択型コンテンツの放送型配信において、視聴順序グラフを用いて放送スケジュールを作成し、ユーザが途切れのない再生を行うために必要な帯域幅を削減する。しかし、2.1 節で説明したように、サーバが使用できる帯域幅が、必要な帯域幅より小さい場合、各コンテンツの受信時間は再生時間より大きくなり、待ち時間が発生する。

我々の研究グループでは、連続メディアデータの放送型配信において、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⁾。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、本論文で扱うデータは選択型コンテンツである点が異なる。選択型コンテンツ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できる。

本論文で扱っている選択型コンテンツの配信スケジュール決定手法は、依存関係のあるタスク群を並列プロセッサに割り当て、処理時間を最小にする問題と似ている。たとえば、PDF/IHS¹⁷⁾が提案されているが、本論文の意義である使用できる帯域幅を考慮することは、並列プロセッサの処理能力を考慮することに相当し、当該分野でも有効と考える。

3. 提案手法

帯域幅を考慮した選択型コンテンツの放送型配信のためのスケジューリング手法として、CCB-CB (CCB-Considering Bandwidth) 法を提案する。この手法は、再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ確保することで、待ち時間を短縮することに着目した手

表 1 定式化のための変数
Table 1 Variables for formulation.

記号	説明
n	状態数
S_i	コンテンツを再生している状態, $i = 1, \dots, n$
b	最大深さ
d	コンテンツの再生時間
r	再生レート
B	使用できる帯域幅
m	使用するチャンネルの数
$t_{ps}(j)$	$m - 1$ 個のチャンネルで j 番目に放送するコンテンツの放送開始時刻, $j = 1, \dots, b$
$t_{pf}(i)$	S_i の再生終了時刻
$t_{bf}(i)$	S_i の放送終了時刻

法である。

3.1 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。
- 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蓄積に十分な容量のバッファを持つ。
- 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。

近年のデジタル放送の普及にともない、双方向の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いくつかの放送チャンネルから同時にデータを送受信できる。また、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 待ち時間短縮問題の定義

本節では、選択型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮問題を定義する。定義に用いる記号を表 1 に示す。たとえば、図 2 のニュース番組の例では、 $n = 5, b = 3$ となる。選択型コンテンツの放送型配信の待ち時間短縮問題は、限られた帯域幅で待ち時間を短縮するようにコンテンツをスケジューリングし、各チャンネルで放送するコンテンツと、各コンテ

コンテンツの放送開始時刻を決定することになる。まず、問題の定式化について、問題の性質が理解できるように、以下のように定式化を行う。 $t_{bf}(i)$ を S_i の放送終了時刻、 t_{pf} を S_i の再生終了時刻とすると、 i 番目のコンテンツを再生するまでの待ち時間は、 $t_{pf}(i) - t_{bf}(i)$ となる。目的は、平均待ち時間を小さくすることであり、 $\sum_{i=1}^n \{t_{pf}(i) - t_{bf}(i)\}$ を小さくすることに相当する。制約条件は、各チャンネルの帯域幅の合計が使用する帯域幅より小さくなることと、 S_i の再生終了時刻までに S_i の放送が終了することである。まとめると、以下のようになる。

[待ち時間短縮問題の定式化]

目的関数： $minimize \sum_{i=1}^n \{t_{pf}(i) - t_{bf}(i)\}$

制約条件： $b_1 + \dots + b_m \leq B, t_{bf}(i) \leq t_{pf}(i)$

この問題には 6 個の変数が含まれており、変数 m (チャンネル数)、 n (コンテンツの数) には上限が存在しない。変数の組合せの数は互いに独立しており、乗算で求められる。また、コンテンツの数 n に対して、スケジュールの組合せの数は n の階乗オーダーになる。このとき、計算時間のオーダーは多項式にならないため、数学的に解くことが困難な問題であるといえる。そこで、データの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することで、待ち時間を効率的に短縮できるという補題を用いることができる。これは、以下の理由による。

[補題：再生レートと等しい帯域幅を確保することが有効な理由]

チャンネルの帯域幅が再生レートより小さい場合、コンテンツの受信時間が再生時間を上回るため、待ち時間が発生する。逆に、チャンネルの帯域幅が再生レートより大きい場合、コンテンツの受信時間は再生時間未満になるが、使用できる帯域幅の総量は変わらないため、他のチャンネルの帯域幅は小さくなり、待ち時間が発生する。このため、帯域幅が再生レートと等しいチャンネルの数ができるだけ多くなるようにスケジューリングすれば、効率的に待ち時間を短縮できる。

組合せ探索による最適化について、先述した補題より、コンテンツの数がさほど多くない環境では、計算時間は問題にならないと考えられる。しかし、提案手法を用いることで、コンテンツの数が多し選択型コンテンツの視聴順序グラフに対応したスケジューリングが可能になる。対象とする視聴順序グラフのサイズは、組合せ探索で計算時間が問題になる程度のサイズである。

本論文では、このアイデアに基づいたスケジューリング手法を提案し、既存手法よりも待ち時間を短縮する。

3.3 スケジューリング手順

- (1) $m = \lceil B/r \rceil$ 個のチャンネル C_1, \dots, C_m を用いる。式 (1) に従い、 C_1, \dots, C_m の帯域幅を算出する。

$$C_i = \begin{cases} r & (i = 1, \dots, m-1) \\ B - r \times (m-1) & (i = m) \end{cases} \quad (1)$$

- (2) C_1 では、各深さで状態数が一番小さいコンテンツである b 個のコンテンツを順番に放送する。 C_2, \dots, C_{m-1} では、根から葉の順番に、未放送のコンテンツを b 個ずつ各チャンネルで放送する。式 (2) に従い、サーバが各チャンネルで放送する b 個のコンテンツの放送開始時刻を算出する。

$$t_{ps}(j) = (j-1)d \quad (j = 1, \dots, b) \quad (2)$$

- (3) 残りのコンテンツを C_m で順番に放送する。放送開始から bd 秒の時点で、放送が完了していないコンテンツについては、帯域幅 B のチャンネルで順番に放送する。

以上の手順でスケジューリングを行う。

3.4 導入方法

図 6 に、CCB-CB 法で配信する場合の放送スケジュールを示す。図 2 の視聴順序グラフを使用し、理解しやすい例として、使用できる帯域幅を 8.0 Mbps、再生レートを 5.0 Mbps とする。3.3 節のスケジューリング手順により、 C_1 の帯域幅は 5.0 Mbps、 C_2 の帯域幅は 3.0 Mbps となる。番組の放送が始まると、 C_1 では、根から順に各深さで状態番号が一番小さいコンテンツである S_1, S_2, S_4 を順番に放送する。 C_2 では、 S_3 を 100 秒かけて放送した後、 S_4 の放送終了時刻までの 80 秒間、3.0 Mbps の帯域幅を用いて S_5 を放送する。この後、 C_1 と C_2 の帯域を合わせた計 8.0 Mbps の帯域幅を用いて、 S_5 の残りのデータを放送する。

待ち時間が発生する状況について説明する。図 2 の視聴順序グラフをもとに、CCB-CB 法の放送スケジュールを用いて、クライアントが S_1, S_2, S_5 の順番に受信して再生する例を図 6 に示す。チャンネルの帯域幅が再生レートを下回ると、コンテンツの受信時間が再生時間より大きくなる。このとき、コンテンツの再生を開始しても、再生終了までの間に途切れが発生するため、途切れが発生しないように、コンテンツの再生開始時刻を遅らせる必要がある。クライアントは、 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。 S_2 の場合も、同じ時間帯に受信したデータをそのまま再生するため、待ち時間は発生しない。しかし、 S_2 の再生終了と同時に S_5 の再生を開始すると、コンテンツのデータの受

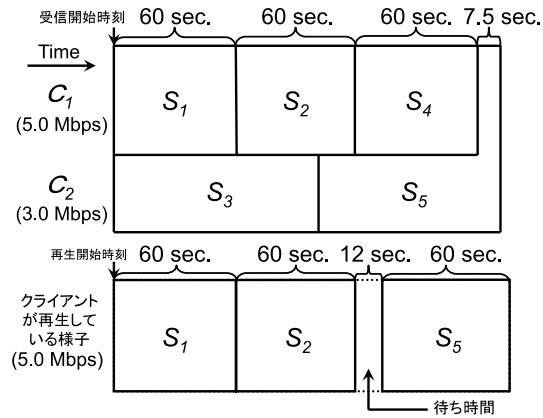


図 6 提案手法の放送スケジュール例

Fig. 6 An example of a broadcast schedule under the CCB-CB scheme.

信が再生開始に間に合わず、再生中に途切れが発生する。サーバは、帯域幅が 3.0 Mbps の C_2 で 80 秒かけて S_5 を放送するため、クライアントは $80 \times 3.0 / 5.0 = 48$ 秒間のデータを受信でき、 S_4 の放送終了後に確保できる C_1 と C_2 を合わせた 8.0 Mbps の帯域幅で、クライアントは残りの 12 秒間のデータを $12 \times 5.0 / 8.0 = 7.5$ 秒かけて受信する。3.0 Mbps の帯域幅で放送される S_5 のデータの再生終了時刻までに受信が完了すれば、 S_5 を途切れなく再生できるため、放送開始から 132 秒経過した時点で S_5 の再生を開始すると、途切れなく再生できる。このとき、 S_5 を選択した場合の待ち時間は 12 秒となる。

単純手法、CCB 法、CCB-CB 法について、図 2 の視聴順序グラフをスケジューリングした場合の平均待ち時間の比較を表 2 に示す。左端が状態の遷移を示す。たとえば、“ $S_1 \rightarrow S_3$ ” は、 S_1, S_3 の順番に再生する場合の待ち時間を示す。このとき、視聴順序グラフの総再生時間（最大で $60 \times 3 = 180$ 秒）における各手法の平均待ち時間は、単純手法では 40 秒、CCB 法では 45 秒、CCB-CB 法では 4 秒となり、CCB-CB 法は既存手法に比べて短縮できている。CCB 法は、単純手法に比べて平均待ち時間が長くなっている。CCB 法は、途切れが発生しないように選択型コンテンツを配信するために必要な帯域幅を削減する手法である。このため、帯域幅に制限がある状況では、単純手法より待ち時間が長くなる。

表 2 各手法における平均待ち時間の比較

Table 2 Comparison of the average waiting time under each method.

	待ち時間 (sec.)		
	単純手法	CCB 法	CCB-CB 法
$S_1 \rightarrow S_3$	30	68	0
$S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_4$	45	34	0
$S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_5$	45	34	12
平均待ち時間	40	45	4

4. 評価

番組を放送する場合、さまざまな形状の視聴順序グラフが存在する。しかし、すべての場合について提案手法の影響を評価することは困難であるため、本論文では、図 7、図 8 の視聴順序グラフを用いて評価を行う。図 7 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。たとえば、 $e = 2$ のとき、グラフは図 1-C のようになる。図 8 は、根と葉を除く各深さに e 個の状態があり、その中の 1 個の状態から e 個の枝が出ている視聴順序グラフである。これらの視聴順序グラフで構成される番組は、必ずしもすべての番組構成に適合するものではないが、提案手法の評価を行ううえで一般化したものとして用いる。また、比較手法として、2 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 法を用いる。

4.1 待ち時間

本節では、各手法における待ち時間の長さを調べるため、評価を行った。

4.1.1 帯域幅の影響

帯域幅に応じた待ち時間がどの程度になるかを、各手法について評価した。結果を図 9 に示す。横軸は、使用できる帯域幅を再生レート (5.0 Mbps) で除した値を示した。縦軸の待ち時間は、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 7 の視聴順序グラフを用い、状態数 n は 30 とした。“Simple($e = i$)” ($i = 2, 5$) は、図 7 の視聴順序グラフが出線数 i の多分木の場合における単純手法を示し、“CCB($e = i$)” ($i = 2, 5$) は CCB 法、“CCBCB($e = i$)” ($i = 2, 5$) は CCB-CB 法を示す。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、再生レートと同じ帯域幅で放送できるチャンネルの数が増加するためである。たとえば、使用できる帯域幅 B が地上波デジタル放送と同じ 23 Mbps で、2 択のクイズ番組のように $e = 2$ のデータを放送する場合、各手法における平均待ち時間は、単純手法では

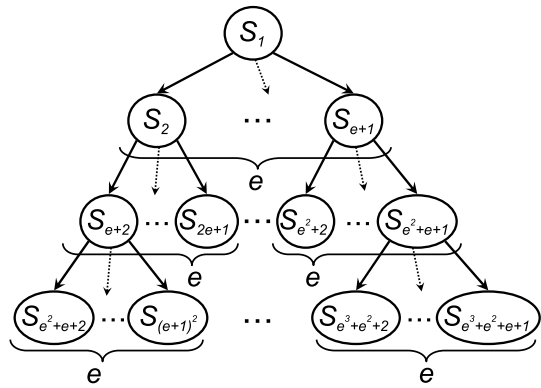


図 7 待ち時間評価のための視聴順序グラフ
Fig. 7 A play-sequence graph for evaluations.

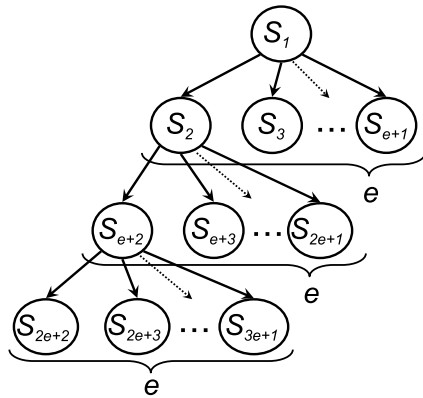


図 8 深さを評価するための視聴順序グラフ
Fig. 8 A play-sequence graph for evaluating graph's depth.

11.3 秒，CCB 法では 1.08 秒，CCB-CB 法では 0.73 秒となる。

4.1.2 状態数の影響

選択型コンテンツの状態数が大きくなると，コンテンツの再生時に受信を完了していないコンテンツの数が増加し，待ち時間は長くなる．実運用時に許容される待ち時間の値から状態数を決定することが考えられるため，状態数と平均待ち時間の関係を調べた．結果

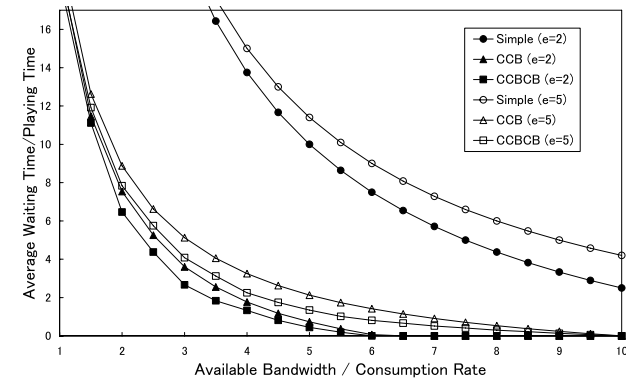


図 9 帯域幅と平均待ち時間
Fig. 9 The average waiting time under each method.

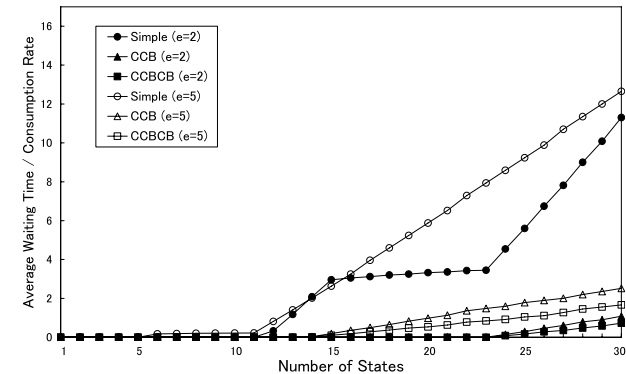


図 10 状態数と平均待ち時間
Fig. 10 The average waiting time under the number of states.

を図 10 に示す．横軸は状態数，縦軸は平均待ち時間を再生レートで除した値である．使用できる帯域幅をデジタル放送と同じ 23Mbps とする．評価には，図 7 の視聴順序グラフを用いた．単純手法 ($e = 5$) において，状態数が 6 のときに待ち時間が発生するのは，使用するチャンネルの数が 5 になり，各チャンネルの帯域幅が $23\text{Mbps} / 5 = 4.6\text{Mbps}$ となって再生レート (5.0Mbps) を下回り，各コンテンツの受信に要する時間が再生時間を上回る

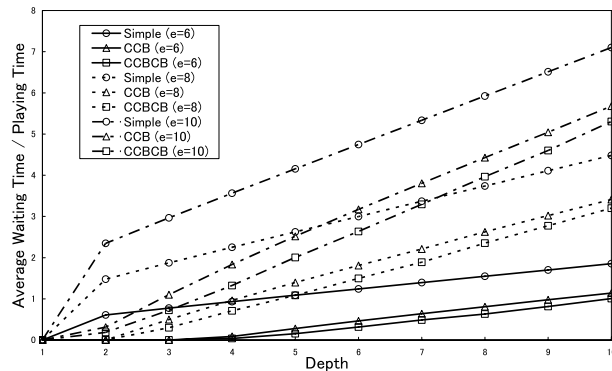


図 11 視聴順序グラフの深さと平均待ち時間

Fig. 11 The average waiting time under the depth of a play-sequence graph.

ためである．単純手法 ($e = 2$) において，状態数が 15 から 23 の間で，縦軸はほとんど変化していない．この状態数の間では，チャンネルの数が 8 のままで，各チャンネルの帯域幅は $23 \text{ Mbps} / 8 = 2.875 \text{ Mbps}$ で変化しないため，平均待ち時間は，状態数の増加で発生する待ち時間の分しか増加しない．図 10 より，CCB-CB 法の待ち時間は，単純手法や CCB 法に比べて短縮されていることが分かる．これは，CCB-CB 法では，単純手法や CCB 法に比べて，よりクライアントの視聴順序を考慮して効率的にスケジューリングして放送するためである．たとえば， $n = 30$ ， $e = 5$ のデータを放送する場合，CCB-CB 法で待ち時間を 1 秒以下にできる状態数の最大値は 25 である．単純手法では 13，CCB 法では 21 となるので，CCB-CB 法は，同じ待ち時間でも，より多くの状態を含んだ選択型コンテンツを提供できる．

4.1.3 深さの影響

CCB-CB 法では，視聴順序グラフの深さの大きさによって，各チャンネルにスケジューリングして放送するコンテンツの数が増え，待ち時間が変化することが考えられる．そこで，視聴順序グラフの深さの大きさにより，待ち時間がどの程度になるかを調べた．視聴順序グラフの深さの大きさを変化させるため，図 8 の視聴順序グラフを用いた．使用する状態数は，各深さにおける状態数の最大値とした．たとえば， $e = 6$ ，深さが 5 のとき，状態数は 25 となる．結果を図 11 に示す．横軸は視聴順序グラフの深さ，縦軸は平均待ち時間を再生時間で除した値である．使用できる帯域幅は，デジタル放送と同じ 23 Mbps とし

た．図 11 より，CCB-CB 法の待ち時間は，単純手法や CCB 法に比べて短縮されていることが分かる．視聴順序グラフの深さが大きくなると，放送するコンテンツの数は増加する．CCB-CB 法では，再生レートと同じ帯域幅を持つチャンネルで，できるだけ多くのコンテンツを放送する．このため，再生レートより小さい帯域幅を持つチャンネルで放送することで待ち時間が発生するコンテンツの数は，単純手法や CCB 法に比べて少なくなる．また，待ち時間の傾きは，深さが 1 の場合と 2 以上の場合で大きく異なる．深さが 1 の場合，使用するチャンネルの数は 1 となるので，チャンネルの帯域幅は，使用できる帯域幅と等しくなる．一方，深さが 2 以上の場合，使用するチャンネルの数が e となることで，各チャンネルの帯域幅が小さくなり，各コンテンツの受信時間が増加するため，待ち時間は増加する．

5. 考 察

5.1 既存研究との比較

既存研究では，帯域幅に制限を設けていないが，使用できる帯域幅が必要な帯域幅より小さい場合，2.1 節で述べたように，単純に各チャンネルの帯域幅の割合に従って帯域を調節することで，所望の帯域幅を用いた放送スケジュールを作成できる．しかし，各チャンネルの帯域幅は再生レートより小さくなるため，待ち時間は長くなる．また，CCB 法では視聴順序グラフの深さを考慮せずにスケジューリングするため，単純手法よりも平均待ち時間が大きくなる場合がある．この差異は，使用できる帯域幅が地上波デジタル放送と同じ 23 Mbps という現実的なシナリオにおいて，ニュース番組で 5 つのジャンルからユーザーが興味のあるジャンルの選択を 2 回行ったあとに視聴する場合，CCB 法の平均待ち時間は 2.52 秒，CCB-CB 法の平均待ち時間は 1.66 秒と，既存手法に比べて短縮できるというインパクトを与える．

CCB 法では各コンテンツの再生時間は一定であるが，今後は各コンテンツの再生時間が異なる場合を検討する必要がある．この場合，提案手法で設定した変数に加えて，コンテンツの再生時間を変数に加える必要がある．各コンテンツの再生時間を考慮したうえで各コンテンツのデータを分割し，分割したデータをスケジューリングすることが必要となるため，新たなスケジューリングが求められる．また，異なる再生レートの場合のスケジューリング手法についても，検討する必要がある．

5.2 バッファサイズ

CCB-CB 法では，クライアントは，再生前もしくは再生と同時にデータを受信するため，バッファを必要とする．3 章で述べたように，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ことを想定している．一方，単純手法では，クライアントはデータを

受信すると同時に再生を開始するため、大規模な容量のバッファを必要としない。このため、CCB-CB法のトレードオフの1つにバッファサイズがあるといえる。しかし、ほとんどのクライアントは、セットトップボックス(STB)に約60GB以上の十分な容量のバッファを保持しているため、このトレードオフは大きな問題ではないと考える。たとえば、5.0Mbpsで30分の選択型コンテンツ(ドラマ)のデータをすべて蓄積するとしても、バッファ容量が60GBのとき、53個の番組を蓄積でき、十分な容量のバッファがあるといえる。

6. おわりに

本論文では、放送型配信において、使用できる帯域幅を考慮して待ち時間を短縮する選択型コンテンツのスケジューリング手法を提案し、評価と考察を行った。提案するCCB-CB法では、再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ確保することで、待ち時間を短縮する。評価の結果、使用できる帯域幅が地上波デジタル放送と同じ23Mbpsで、ニュース番組で5つのジャンルからユーザが興味のあるジャンルの選択を2回行ったあとに視聴する場合の平均待ち時間は、CCB法では2.52秒、提案手法CCB-CB法では1.66秒となる。このとき、 $(2.52 - 1.66) \times 100 / 2.52 = 34.1$ より、提案手法は既存手法に比べて平均待ち時間を34.1%短縮できることが明らかになった。

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、複数の受信端末の利用者割合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、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) 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).
- 4) Yoshihisa, T. and Kanazawa, M.: A Scheduling Method for Bandwidth Reduction on Selective Contents Broadcasting, *Proc. IPSJ International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU'06)*, pp.60-67 (2006).
- 5) Hua, K.A. and Sheu, S.: Skyscraper broadcasting: A new broadcasting scheme for

- metropolitan video-on-demand systems, *Proc. ACM SIGCOMM*, pp.89-100 (1997).
- 6) Jinsuk, B. and Jehan, F.P.: A Tree-Based Reliable Multicast Scheme Exploiting the Temporal Locality of Transmission Errors, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing and Communications Conference (IPCCC 2005)*, pp.275-282 (2005).
- 7) Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.44, No.1, pp.100-105 (1998).
- 8) Paris, J.-F.: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing and Communications Conference (IPCCC '01)*, pp.347-353 (2001).
- 9) 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).
- 10) Zhao, Y., Eager, D.L. and Vernon, M.K.: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. IEEE INFOCOM* (2004).
- 11) 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).
- 12) Paris, J.-F., Carter, S.W. and Long, D.D.E.: A hybrid broadcasting protocol for video on demand, *Proc. Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN '99)*, pp.317-326 (1999).
- 13) Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920-929 (2002).
- 14) Mahanti, A., Eager, D.L., Vernon, M.K. and Stukel, D.S.: Scalable On-demand Media Streaming with Packet Loss Recovery, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.11, No.2, pp.195-209 (2003).
- 15) Viswanathan, S. and Imileinski, T.: Pyramid broadcasting for video on demand service, *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN '95)*, pp.66-77 (1995).
- 16) Yoshihisa, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: A Scheduling Scheme for Continuous Media Data Broadcasting with a Single Channel, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.52, Issue 1, pp.1-10 (2006).
- 17) 笠原博徳, 伊藤 敦, 田中久充, 伊藤敬介: 実行時間最小マルチプロセッサスケジューリング問題に対する並列最適化アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J74-D-I, No.11, pp.755-764 (1991).

(平成19年4月26日受付)

(平成20年2月5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。



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教を経て、2008年大阪大学サイバーメディアセンター講師、現在に至る。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。