

連続メディアデータの放送型配信における 誤り耐性を考慮したスケジューリング手法

後藤 佑介¹ 谷口 秀夫¹

概要: 地上波デジタルテレビ放送やワンセグメント放送といったマルチメディア放送の普及により、音声や映像といった連続メディアデータを放送型で配信する技術に注目が集まっている。放送型配信では、一般に、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。筆者らはこれまで、データを幾つかの部分に分割して複数のチャンネルで配信して、この待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案してきた。しかし、クライアントが移動端末で放送を視聴する場合、パケット欠損により再生中に途切れが発生する。既存のスケジューリング手法では、単純に一定の比率で分割したデータを複数のチャンネルにスケジューリングしており、実際のネットワーク環境において、パケット欠損によるスケジューリングへの影響を考慮していなかった。本研究では、放送型配信において誤り耐性を考慮したスケジューリング手法を提案する。提案手法では、セグメントを受信してから再生するまでの時間を考慮して効率的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、データの前半部のセグメントを受信できる機会を多くした上で、後半部の受信順序を考慮することで、パケット欠損による途切れの影響を抑え、映像品質の低下を防ぐ。

A Scheduling Method on Media Data Broadcasting Considering Error Resilience

YUSUKE GOTOH¹ HIDEO TANIGUCHI¹

Abstract: Due to the recent spread of the multimedia system, delivering continuous media data, i.e. audio and video, has been attracted great attention. In broadcasting systems, generally, clients have to wait until their desired data is broadcast. Therefore, there are many researches to reduce the waiting time. We have been proposed several scheduling methods in continuous media data. However, we did not consider the case where the server delivers segments considering the error resilience in actual network. In this paper, we propose a scheduling method to reduce the waiting time considering error resilience. In our proposed method, we can reduce waiting time by producing an effective broadcasting schedule according to the time between receiving the segment and playing it. In addition, by allocating latter part of segments considering packet loss, interruption can be reduced.

1. はじめに

地上波デジタルテレビ放送やワンセグメント放送といったマルチメディア放送の普及により、音声や映像といった一続きの連続メディアデータを放送型で配信する技術に注目が集まっている [1]。放送型配信では、一般に、サーバは

周期的に同じデータを繰り返して放送する。一定の帯域で複数のクライアントに同じデータをまとめて配信できるため、多くのクライアント端末が同時に視聴を要求するデータを配信する場合に有効な配信手法である。しかし一方で、サーバは周期的にデータを放送するため、クライアントはデータの視聴を要求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。待ち時間が長大化すると、ユーザの視聴意欲を低下させるため、問題である。そこで、この待ち時間を短縮するため、クライアントがデータを途切れ

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

ずに再生できることを考慮した上で、データをいくつかの部分に分割して複数のチャンネルで配信する分割放送型配信技術に関する研究が数多く行われている。

筆者らの研究グループは、分割放送型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をいくつか提案してきた [2], [3], [4]。分割放送型配信では、チャンネルの帯域幅やクライアントの再生レートといった実際のネットワーク環境を考慮して、データをどのような比率で複数の部分に分割するかが重要となる。

これまでのスケジューリング手法は、有線ネットワークを用いた理想的なデータ配信環境を想定した上で、一続きのデータを分割して待ち時間を短縮していた。しかし、実際のネットワーク環境では、多くのクライアントが移動端末を用いて、無線ネットワークを介して放送を視聴する環境が一般的となっている。無線ネットワークを利用してデータを受信する場合、クライアント端末は頻りに移動するため、マルチパスフェージングやランダムな無線の干渉により、パケット欠損が発生する可能性が高くなる。この場合、データの再生中に途切れが発生する。連続メディアデータの放送型配信では、途切れなく再生できることが重要であり、この問題に対処する必要がある。

本研究では、連続メディアデータの放送型配信において、誤り耐性を考慮して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、データを受信してから再生するまでの時間を考慮して効率的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、データの前半部のセグメントを受信できる機会を多くした上で、後半部の受信順序を考慮することで、パケット欠損による途切れの影響を抑え、映像品質の低下を防ぐ。

本論文は、以下のように構成される。2章で放送型配信について説明し、3章で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章で評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 放送型配信

2.1 システム構成

放送型配信のシステム構成を図1に示す。サーバは、インターネットを介して、複数のクライアント端末にデータを繰り返し放送する。クライアントは、データを要求してからデータの最初の部分を受信するまで待ち、受信が完了すれば再生を開始できる。

連続メディアデータの配信では、ユーザが放送されている番組の中から視聴したい番組を選択して視聴するという視聴形態が一般的である。この視聴形態は、オンデマンド型と放送型に分けられる。

- オンデマンド型

オンデマンド型では、クライアントは番組を視聴するときに、視聴したい番組の受信要求をサーバに対して

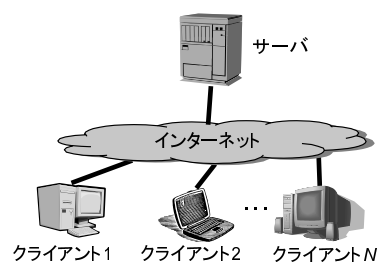


図1 放送型配信のシステム構成

Fig. 1 System configuration in broadcasting

行う。サーバは、クライアントの受信要求を受信すると、番組の配信を開始する。サーバはクライアントの要求に応じてデータを配信するため、クライアントは視聴したい番組を待つことなく視聴できる。しかし、データの受信を要求するクライアントの数が増加すると、サーバは配信に必要な帯域幅が増加する。このため、使用できる帯域幅がなくなると、新たにデータの受信を要求するクライアントは、帯域幅が解放されるまで受信を待つ必要がある。

- 放送型

放送型では、サーバは多くのクライアントに同じデータを周期的に繰り返し放送する。クライアントの数に関わらず、多数のクライアントにデータを同時に配信できるため、サーバの負荷を抑えることができる。しかし一方で、クライアントは、データの受信要求を開始してから見たい番組の放送が開始されるまで待つ必要がある。

近年の放送通信融合環境の高まりにともない、連続メディアデータに代表されるストリームデータの配信では、クライアントの数が非常に多くなる。オンデマンド型では、クライアントの数に比例してサーバが配信に必要な帯域幅が増加するため、サーバの負荷は大きくなる。一方で、放送型では、クライアントの数が増加してもサーバの負荷は変化しない。しかし、クライアントが見たい番組のデータの受信要求を開始してから再生するまでの間に待ち時間が発生するため、この待ち時間を短縮する技術に対する要求が高まっている。

2.2 分割放送型配信

連続メディアデータの放送型配信では、クライアントがデータの受信をサーバに要求してから受信を完了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、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を指す。サーバがデータを繰り返し放送している場合、ユーザはデータの受信を要求してから最初の部分の受信を開始するまで待つ。このため、一般的には、連続メディアデータをいくつかの部分（以下、セグメント）に分割して、初めのセグメントを頻りに放送する。クライ

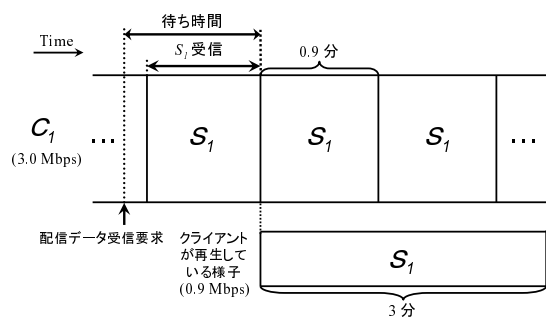


図 2 単純手法の放送スケジュール例

Fig. 2 Example of broadcast schedule under simple method

クライアントはデータの再生を開始できる機会が多くなるため、待ち時間を短縮できる。このような放送形式を分割放送型と呼ぶ。

分割放送型では、クライアントのデータ再生中に途切れが発生しないようにスケジューリングすることが重要である。これまでの研究では、クライアントが使用できる帯域幅を用いて、複数のチャンネルから同時に受信することで、途切れのない再生を実現していた。このことについて、以下に説明する。

連続メディアデータを分割せずに一つのチャンネルで繰り返し放送する場合と、データを分割して複数のチャンネルを用いて繰り返し放送する場合において、それぞれで発生する平均待ち時間を比較する。まず、連続メディアデータを分割せずに一つのチャンネルで繰り返し放送する場合において、クライアントが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 2 に示す。理解しやすい例として、ここでは、サーバが MPEG-2 (Moving Picture Experts Group phase 2) で符号化された、再生時間が 3 分の連続メディアデータを放送する場合を考える。使用するチャンネルを C 、チャンネルの帯域幅を 3.0 Mbps とすると、 $C = 3.0$ Mbps となる。再生レートは 0.9 Mbps とする。配信するデータを S とし、データの再生時間を 3 分とすると、 $S = 3$ 分となる。分割せずに放送する場合、再生時間が 3 分で再生レートが 0.9 Mbps のデータを 3.0 Mbps の帯域幅を用いて放送するため、サーバは $3 \times 0.9 / 3.0 = 0.9$ 分ごとに繰り返して放送する。待ち時間は、最大で 0.9 分のデータを 2 回再生して $0.9 \times 2 = 1.8$ 分、最小で 0.9 分のデータを 1 回再生して 0.9 分となる。待ち時間は一様に分布しているため、平均待ち時間は $(1.8 + 0.9) / 2 = 1.35$ 分となる。

次に、データを分割して複数のチャンネルを用いて繰り返し放送する場合について、クライアントが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 3 に示す。理解しやすい例として、ここでは、サーバが BE-AHB (Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [19] を用いて、MPEG-2 で符号化された、再生時間が 3 分の連続メディアデータを S_1, S_2 に 2 分割して放送する場合を考える。使用するチャンネルを C_1, C_2 とし、使用

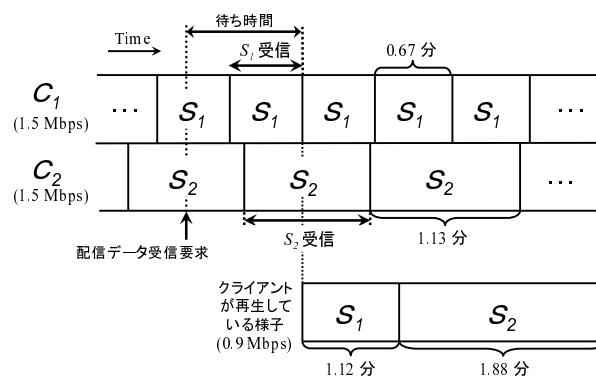


図 3 BE-AHB 法の放送スケジュール例

Fig. 3 Example of broadcast schedule under BE-AHB method.

できる帯域幅を 3.0 Mbps とすると、各チャンネルの帯域幅は 1.5 Mbps となり、 $C_1 = C_2 = 1.5$ Mbps となる。再生レートは 0.9 Mbps とすると、BE-AHB 法により、 S_1, S_2 の再生時間はそれぞれ 1.59 分、1.12 分となる。このため、 C_1 は S_1 を 0.67 分ごとに、 C_2 は S_2 を 1.13 分ごとに繰り返して放送する。BE-AHB 法の場合、最初のセグメントの受信が完了した後で再生を開始するため、2 分割して放送する場合の待ち時間は、最大で 0.67 分のデータを 2 回再生して $0.67 \times 2 = 1.34$ 分、最小で 0.67 分のデータを 1 回再生して 0.67 分となる。待ち時間は一様に分布しているため、平均待ち時間は $(1.34 + 0.67) / 2 = 1.01$ 分となる。このため、2 分割したときの平均待ち時間は、分割していない場合に比べて $(1.35 - 1.01) / 1.35 \times 100 = 33.7\%$ 短縮できる。

2.3 課題

1 章で述べたように、分割放送型配信において、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は数多く提案されてきた。しかし、これらのスケジューリング手法で扱われている評価のほとんどは、有線ネットワークを用いて理想的な環境を想定した計算機シミュレーションであり、実際のネットワーク環境におけるスケジューリング手法の有効性は明確に示されていない。

現状の分割放送型配信の課題として、以下の 2 点が挙げられる。順番に説明する。

2.3.1 セグメント分割数とチャンネル数が大きく異なる場合のスケジューリング

これまでの研究の多くは、使用するチャンネルと同じ数のセグメントを作成し、一つのチャンネルで一つのセグメントを繰り返し放送していた。しかし、チャンネル数に比べてセグメントの分割数が非常に多くなるスケジューリング手法はほとんど提案されていなかった。例えば、MPEG2 の GOP (Group of Pictures) や MP3 のフレームといった再生の単位を考慮してスケジューリングする場合、チャンネル数に対してデータの分割数は非常に大きくなる。このとき、

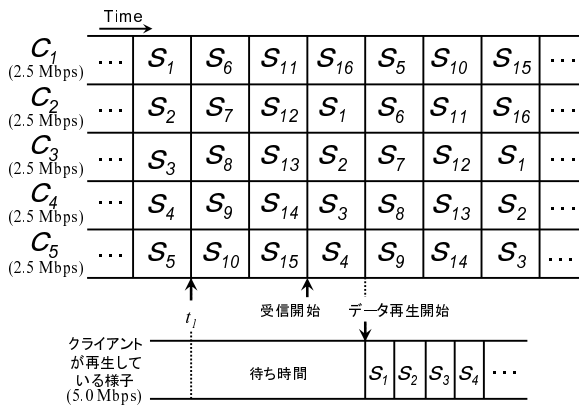


図 4 分割放送型配信の放送スケジュール例

Fig. 4 Example of broadcast schedule for division-based broadcasting

一つのチャンネルで多くの種類のセグメントを配信することになるため、スケジューリングは複雑になる。多くのセグメントを同時に配信する場合、セグメントの総数に合わせたチャンネルを設定する必要があった [5]。このような場合、チャンネル数が非常に多くなるため、サーバならびにクライアントの処理負荷が非常に大きくなる。

理解しやすい例として、ここでは、単純にデータを複数のセグメントに等分割して番号順に配信する手法（以下、単純手法）のスケジューリング例を図 4 に示す。使用するチャンネルを $C_i (i = 1, \dots, m)$ 、データを分割したセグメントを $S_j (j = 1, \dots, n)$ と表す。チャンネル数は 5、セグメントの分割数は 16 とする。単純手法では、サーバは各セグメントを順番に、各チャンネルを繰り返し割り当てる。 C_1 に S_1 、 C_2 に S_2 と順番に割り当てられ、 S_{16} が C_1 に割り当てられると、 S_1 から繰り返してチャンネルに割り当てる。例えば、クライアントが時刻 t_1 にデータをサーバに要求したとき、次に配信される S_1 の受信完了後に再生を開始できるため、待ち時間はセグメント 3 個分の受信時間となる。このスケジューリングでは、待ち時間は最小でセグメント 1 個分、最大でセグメント 4 個分の受信時間となるため、平均でセグメント 2.5 個分の受信時間となる。

2.3.2 パケット欠損による途切れの発生

実際のネットワーク環境では、YouTube [6] やニコニコ生放送 [7] のように、多くのクライアントが移動端末を用いて、無線ネットワークを介して放送を視聴する環境が一般的となっている。無線ネットワークを利用してデータを受信する場合、クライアント端末は頻りに移動するため、マルチパスフェージングやランダムな無線の干渉によるパケット欠損が発生する可能性が高くなる。この場合、クライアントは該当するセグメントが次回配信されるまで待つことになり、待ち時間は増加する。この問題に対処するため、パケット欠損を考慮したスケジューリング手法が必要となる。

例えば、単純手法において、パケット欠損が発生する場

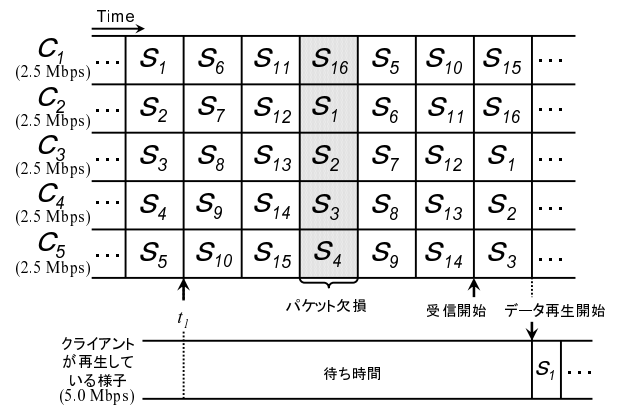


図 5 単純手法の放送スケジュール例（パケット欠損発生時）

Fig. 5 Example of broadcast schedule with packet loss under simple method

合のスケジューリング例を図 5 に示す。単純手法では、セグメントを複数のチャンネルにスケジューリングすることで S_1 の受信間隔を短縮しているが、誤り耐性については考慮していない。クライアントが時刻 t_1 にデータをサーバに要求したとき、もしパケット欠損が S_{16} ならびに S_1 から S_4 を配信している時間帯で発生すると、 S_1 の受信は次に配信されるまで待つことになり、待ち時間は最大でセグメント 7 個分の受信時間となる。よって、このスケジューリングでは、待ち時間の平均はセグメント 4 個分の受信時間となる。待ち時間の長大化はユーザの視聴意欲を失わせるため問題であり、誤り耐性を考慮したスケジューリングを検討する必要がある。

3. 関連研究

放送型配信において、受信時に発生する待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法はいくつか提案されている [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]。

HB (Harmonic Broadcasting) 法 [15] では、連続メディアデータを N 個の部分に等分割する。分割したデータをセグメントと呼び、初めのセグメントから順に S_1, \dots, S_N で示す。さらに、 $S_i (i = 1, \dots, N)$ を M 個のサブセグメント $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$ に等分割し、 N 個のチャンネル C_1, \dots, C_N を用いて C_i で $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$ を繰り返して放送する。例えば、MPEG2 で符号化された 5.0 Mbps の 60 分の連続メディアデータを衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、 $N = 67$ となり、67 個のチャンネルが必要になる。

AHB (Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [5] では、MPEG-2 の GOP (Group of Pictures) や MP3 のフレームといった再生の単位を考慮してスケジューリングすることで、既存手法よりも待ち時間を短縮している。再生の単位ごとにデータを分割するため、使用チャンネル数は再生の単位と同じ数になる。例えば、衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて、MPEG-2 で符号化さ

れた 5.0 Mbps の 60 分の連続メディアデータを放送する場合、再生の単位を 0.6 秒とすると、その数は 6000 個になり、使用チャンネル数も 6000 個と膨大になる。

Heterogeneous Receiver-Oriented Broadcasting (HeRO) [16] では、セグメントのデータサイズが $1, 2, 2^2, \dots, 2^{K-1}$ の比率になるように、データを K 個に分割する。使用できる帯域幅が小さいクライアントの待ち時間に着目した手法であるが、 K 番目のチャンネルで放送するデータのサイズは全体の約半分の大きさになる。このため、クライアントが受信を要求するタイミングによって、再生中に途切れが発生する可能性がある。

BroadCatch [17] では、放送するデータを 2^{K-1} 個のセグメントに等分割して、再生レートと等しい K 個のチャンネルを用いて繰り返し放送する。各チャンネルで放送するデータサイズを変えたり、再生開始時刻をずらすことで、データ受信時の待ち時間を減少させる。しかし、使用する帯域幅がチャンネルの数に比例するため、帯域幅に上限がある場合、放送に使用するチャンネルの数を確保できない可能性がある。

また、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けるスケジューリング手法として、CCB-CB (Contents Cumulated Broadcasting Considering Bandwidth) 法 [20] がある。CCB-CB 法では、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、再生途切れ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、途切れ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。

これまでに提案されたパケット欠損による誤り耐性のスケジューリング手法として、RMD (Replicate Multiple Descriptor coding) 法 [21] が挙げられる。RMD 法は、パケットを構成する複数のフレームにおいて、データの再生に重要となる主要フレームの複製を作成して複数のチャンネルにスケジューリングすることで、誤り耐性を向上させている。また、各チャンネルで時間をずらして主要フレームの複製をスケジューリングすることで、伝送路で発生する誤りへの耐性を高めている。しかし、RMD 法のスケジューリングは受信開始から受信完了までの間に限定されており、クライアントが受信を完了してから再生を開始するまでの時間を考慮していなかった。提案手法では、この時間を含めたスケジューリングを行うことで、RMD 法よりも誤り耐性を向上できる。

4. 提案手法

4.1 概要

連続メディアデータの放送型配信において、データ再生中に発生するパケット欠損による誤りへの耐性を向上させ

表 1 定式化のための変数

Table 1 Variables for formulation

記号	説明
r	再生レート
m	チャンネル数
n	セグメント数
C_j	チャンネル, $j = 1, \dots, m$
S_i	パケット, $i = 1, \dots, n$
B	サーバが使用できる帯域幅
b	チャンネルの帯域幅, $b = \frac{B}{m}$
M	一周期内で再生できるセグメント数, $M = \lceil \frac{r}{b} \rceil$
e	C_n に割り当てる後半部のセグメント数

たうで待ち時間を短縮するスケジューリング手法として、DPB (Data Packet Broadcasting) 法を提案する。提案手法では、クライアントの受信要求から再生開始までの時間、およびチャンネルの帯域幅と再生レートの関係をもとに、再生開始までできるだけ受信を完了できるようにセグメントをスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。また、データの後半部のスケジューリングを考慮することで、パケット欠損の影響を抑える。

4.2 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、連続メディアデータである。
- 放送帯域には制限がある。
- 連続メディアデータは受信開始と同時に再生できず、データの最初のセグメント (S_1) を受信しなければ再生を開始できない。
- サーバは放送型配信を行い、複数のチャンネルを用いてセグメントを繰り返して放送する。
- クライアントがデータ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ち、受信したデータを再生している間も放送されているデータを受信し、バッファに保存できる。

4.3 導入方法

本節では、連続メディアデータの放送型配信におけるスケジューリング手法について説明する。用いる記号を表 1 に示す。

連続メディアデータの放送型配信における待ち時間短縮問題は、 S_1 の受信時に発生する再生開始前の待ち時間と、スケジューリングにより算出されるデータ再生中の待ち時間の合計ができるだけ短くなるようにスケジューリングすることである。これらの組み合わせは無数にあり、数学的に解くことは困難である。提案手法では、一周期で再生できるセグメント数をもとにスケジューリングすることで、

待ち時間を効率的に短縮する．このとき，後半部のセグメントは，前半部よりもパケット欠損の影響を受けやすくなる．そこで，後半部のセグメントを配信するチャンネルを設定することで，パケット欠損による影響を抑える．

4.4 スケジューリング手順

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) クライアントが次の周期で必要となる S_1, \dots, S_M を C_1, \dots, C_M にそれぞれスケジューリングする．
- (2) C_{M+1}, \dots, C_m に，後半部となる e 個のセグメントを降順に割り当て，次の周期へ移動する．後半部のセグメントとなる個数 e は，以下の式で求められる．

$$e = n \times \left(1 - \frac{r}{b \times m}\right) \quad (1)$$

- (3) 以前の周期で割り当てた S_1 を基準にして，配信開始時刻が早い S_1 から順番に，次の周期で再生に必要な M 個のセグメントを C_1, \dots, C_{m-1} に割り当てる．
- (4) 未割り当てのチャンネルがある場合，新たに S_1, \dots, S_M を C_{m-1} まで割り当てる．
- (5) C_m に，後半部のセグメントを降順に割り当てる．周期内のすべてのチャンネルにセグメントを割り当てたら，次周期に移動し，step 3 に戻る．以降，step 3 から step 5 を繰り返す．

以上の手順でスケジューリングを行う．

4.5 導入例

図 6 に，RFB 法で配信する場合の放送スケジュールを示す．まず，第 1 周期で S_1, S_2 を C_1, C_2 にそれぞれスケジューリングする． $\lceil \frac{r}{b} \rceil = 2$ より，クライアントは一つの周期で 2 つのセグメントを再生できるため，残りの 3 つのチャンネルは後半部のセグメントを降順に割り当てる．降順に割り当てるセグメントは， $\lceil 16 \times (1 - \frac{5}{2.5 \times 5}) \rceil = 10$ より， $S_{16}, S_{15}, \dots, S_7$ となる．この場合，セグメントの最後の部分から順番に S_{16}, S_{15}, S_{14} を C_3, C_4, C_5 に割り当て，次の周期へ移動する．次に，第 1 周期で S_1 を要求したクライアントに対して S_3, S_4 を C_1, C_2 に，ならびに第 2 周期で要求するクライアントに対して S_1, S_2 を C_3, C_4 にスケジューリングする．この後，後半部の割り当てとして， S_{13} を C_5 に割り当てる．第 3 周期では，第 1 周期で要求したクライアントに対して， S_5, S_6 を C_1, C_2 にスケジューリングする．第 2 周期で要求したクライアントについては，既に S_1, \dots, S_4 を受信しているため，第 1 周期で要求したクライアントにスケジューリングを結合できる．このた

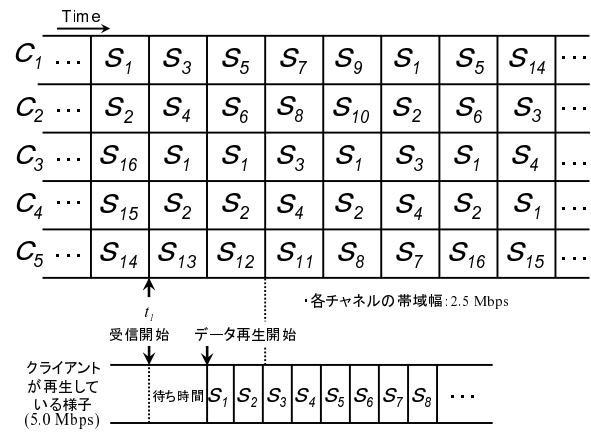


図 6 DPB 法の放送スケジュール例

Fig. 6 Example of broadcast schedule under DPB method

め，第 3 周期に要求するクライアントに対して S_1, S_2 を C_3, C_4 にスケジューリングし， S_{12} を S_5 にスケジューリングする．以降，第 4 周期では $S_7, S_8, S_3, S_4, S_{11}$ を，第 5 周期では $S_9, S_{10}, S_1, S_2, S_8$ とスケジューリングする．

例えば，第 1 周期から第 8 周期の各周期でクライアントが受信を要求した場合，待ち時間の平均はセグメント 1.25 個分の受信時間となる．単純手法ではセグメント 2 個分の受信時間であるため，待ち時間を 37.5% 短縮できている．また，パケット欠損により第 2 周期のセグメントをすべて受信できない場合，第 3 周期のセグメントを受信することで，待ち時間の増加を最小限に抑えることができる．

5. 評価

5.1 概要

本章では，提案する DPB 法の評価を行う．初めに，サーバが使用できる帯域幅，チャンネル数，および連続メディアデータを構成するセグメント数に応じた待ち時間について評価を行う．次に，パケット欠損による影響について，待ち時間の比較評価を行う．グラフに示す全体の待ち時間や途切れ時間は，計算機によるシミュレーション結果である．“DPB” は，提案手法 DPB 法の場合，および“Simple” は単純な放送スケジューリング（単純手法）の場合である．クライアントの再生レートは 5.0 Mbps，データの再生時間は 180 秒，パケット欠損率は 1% とする．また，本研究で導出される待ち時間は，100 個のクライアント端末が各周期で一つずつ受信を要求した場合の待ち時間の平均とする．

5.2 使用する帯域幅

サーバが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 7 に示す．横軸は，使用する帯域幅をデータの再生レートで

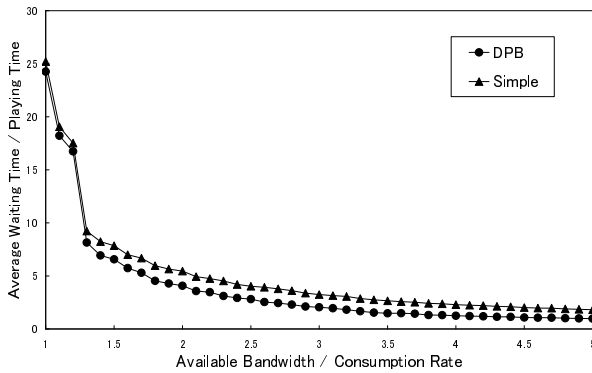


図 7 待ち時間とチャンネルの帯域幅

Fig. 7 Waiting time and available bandwidth

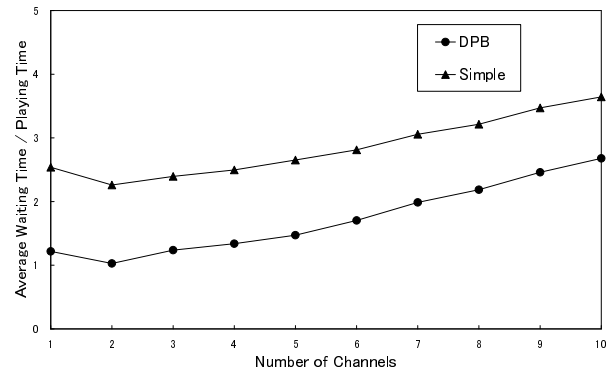


図 8 待ち時間とチャンネル数

Fig. 8 Waiting time and number of channels

除した値である．縦軸は，平均待ち時間をデータの再生時間で除した値である．チャンネル数は 5，セグメント数は 24 とする．

このグラフより，DPB 法の平均待ち時間は単純手法よりも短くなるのが分かる．DPB 法では，データの前半部，特にデータの最初の部分のセグメントをできるだけ多くスケジューリングする．また，他のセグメントについても，再生時間開始までに受信を完了できるようにスケジューリングする．例えば，15 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合，待ち時間は，DPB 法で 2.05 秒，単純手法では 3.00 秒となり，単純手法に比べて 31.7% 短縮されている．

5.2.1 チャンネル数

チャンネル数が増加すると，より多くのセグメントを同時に配信できる．しかし，チャンネルごとの帯域幅が減少するため，待ち時間は変化する．そこで，チャンネル数に関する評価を行った．結果を図 8 に示す．横軸はチャンネル数，縦軸は平均待ち時間をデータの再生時間で除した値である．使用できる帯域幅は 17.5 Mbps，セグメント数は 24 とする．

このグラフより，DPB 法ならびに単純手法において，チャンネル数が 2 のときに待ち時間が最小になる．これは，同じ時間帯に配信できるセグメント数を増やすことで，バッファに保存できるセグメントを増やしているためである．一方で，チャンネル数が 3 以上のとき，DPB 法ならびに単純手法の待ち時間は増加する．分割数が多くなると，チャンネルごとに使用できる帯域幅が減少するため，セグメントの受信時間が増加する．このとき，再生開始までに受信を完了できないセグメントが発生し，待ち時間が増加する．このため，事前のシミュレーション評価により，最適なセグメント分割数を算出できる．

5.2.2 データセグメントの分割数

データセグメントの数が増加すると，各セグメントのデータサイズは減少するが，より多くのセグメントを複数のチャンネルに分散できるため，待ち時間は変化する．そこで，セグメント数に関する評価を行った．結果を図 9 に示す．横軸はセグメント数，縦軸は平均待ち時間をデータ

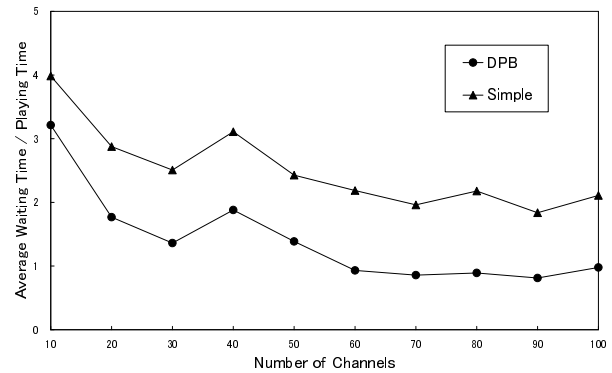


図 9 待ち時間とセグメント数

Fig. 9 Waiting time and number of segments

の再生時間で除した値である．使用できる帯域幅は 17.5 Mbps，チャンネル数は 5 とする．

このグラフより，単純手法に比べて DPB 法の待ち時間は短縮できる．DPB 法では，セグメントの分割数が増加すると，セグメントのデータサイズは小さくなる．このとき，DPB 法では， S_1 の受信開始までの待ち時間を短縮できる．例えば，セグメント数が 60 のとき，待ち時間は，DPB 法で 0.93 秒，単純手法では 2.19 秒となり，単純手法に比べて 57.5% 短縮されている．

5.2.3 パケット欠損率

2.3 節で述べたように，無線ネットワーク環境は有線ネットワーク環境に比べてパケット欠損が発生する可能性は高くなる．パケット欠損が発生すると，該当する時間帯に配信するセグメントの受信は正常に完了せず，再生できない．受信できなかったセグメントは再度受信する必要があるため，待ち時間は増加する．そこで，パケット欠損率に関する待ち時間の比較評価を行った．結果を図 10 に示す．横軸はパケット欠損率，縦軸は平均待ち時間をデータの再生時間で除した値である．使用できる帯域幅は 17.5 Mbps，チャンネル数は 5，セグメント数は 24 とする．

このグラフより，単純手法に比べて DPB 法の待ち時間が減少しているのが分かる．DPB 法では，前半部のセグメントを効率的にスケジューリングすることで，待ち時

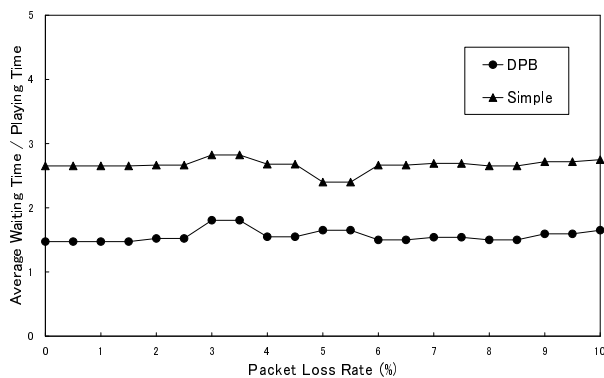


図 10 待ち時間とパケット欠損率

Fig. 10 Waiting time and packet loss rate

間を短縮できる。また、後半部のセグメントのスケジューリングにも考慮することで、パケット欠損による待ち時間増加の影響を抑えている。

6. おわりに

本論文では、連続メディアデータの放送型配信において、誤り耐性を考慮して待ち時間を短縮する手法 DPB 法を提案した。提案手法では、セグメントを受信してから再生するまでの時間を考慮して効率的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、データの後半部のセグメントの受信について考慮することで、パケット欠損による待ち時間の増加を抑える。計算機シミュレーションによる評価の結果、提案手法では、使用できる帯域幅が 15 Mbps のとき、単純手法に比べて待ち時間を 31.7% 短縮できた。

今後の予定として、パケット単位でデータを配信する場合に待ち時間を短縮するスケジューリング手法や、複数のデータを連続して放送する場合のスケジューリング手法を考えている。

参考文献

[1] 総務省: 情報通信白書平成 24 年版 (2012). <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/pdf/index.html>.

[2] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 異種クライアント環境における連続メディアデータ放送のための待ち時間短縮手法, 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J91-D, no.03, pp.667-676 (2008).

[3] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲, 高橋豊: “インターネット放送のための分割放送型配信システムの設計と実装,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J92-B, No.1, pp.353-362 (2009).

[4] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, H. Taniguchi, and M. Kanazawa: “A scheduling method for continuous media data broadcasting considering commercial contents,” International Journal of Pervasive Computing and Communications (IJPCC), Vol.8, Issue.1, pp.92-106, (Mar. 2012).

[5] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: データの分割に関する制約を考慮した連続メディアデータ放送におけるスケジューリング手法, 情報処理学会論文誌: データベース,

Vol.44, No. SIG3 (TOD17), pp. 33-42 (2003).

[6] YouTube. <http://www.youtube.com/>.

[7] ニコニコ生放送. <http://live.nicovideo.jp/>.

[8] B. Jinsuk, and F.P. Jehan: 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).

[9] L.-S. Juhn, and L.M. Tseng: Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, IEEE Trans. Broadcasting, vol.44, no.1, pp.100-105 (1998).

[10] J.-F. Paris: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01), pp.347-353 (2001).

[11] J.-F. Paris, S.W. Carter, and D.D.E. Long: A hybrid broadcasting protocol for video on demand, Proc. Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN '99), pp.317-326 (1999).

[12] J.-F. Paris, D.D.E. Long, and P.E. Mantey: Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand, Proc. ACM Int. Multimedia Conf. (Multimedia '99), pp.189-197 (1999).

[13] S. Viswanathan, and T. Imilelinski: Pyramid broadcasting for video on demand service, Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN '95), pp.66-77 (1995).

[14] Y. Zhao, D.L. Eager, and M.K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, Proc. IEEE INFOCOM, vol.3, pp.1522-1533 (2004).

[15] R. Janakiraman, and M. Waldvogel: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, Proc. IEEE INFOCOM, pp.920-929 (2002).

[16] K.A. Hua, O. Bagouet, and D. Oger: Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers, Proc. MMCN, pp.220-231 (2003).

[17] M. Tantaoui, K. Hua, and T. Do: BroadCatch: A Periodic Broadcast Technique for Heterogeneous Video-on-Demand, IEEE Trans. Broadcasting, vol.50, issue 3, pp.289-301 (2004).

[18] L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, Proc. ACM Multimedia, pp.22-27 (2006).

[19] 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).

[20] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, M. Kanazawa, and Y. Takahashi: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, IEEE Trans. Broadcasting, vol.55, issue 2, pp.460-467 (2009).

[21] S.R. Tong, Y.T. Yu, and C.M. Chen: “Application-layer error resilience for wireless IP-based video broadcasting,” Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME), pp.1-6 (2011).