

異種クライアント環境における連続メディアデータの 分割放送型スケジューリング手法

後藤 佑介[†] 義久 智樹^{††} 金澤 正憲^{††}

近年、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デジタル放送の普及にとともない、音声や映像といった連続メディアデータの放送型配信に対する注目が高まっている。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ため、この待ち時間を短縮する多数の研究が行われている。しかし、ほとんどの研究では、クライアントの受信端末は一つに決められており、同じ放送データを携帯電話とデジタルテレビといった複数の受信機で受信する場合を考慮していない。これらの受信端末の受信可能帯域幅は異なっており、受信端末によって受信待ち時間が大きく異なる。そこで本研究では、異種クライアント環境における待ち時間短縮のための連続メディアデータの分割放送型スケジューリング手法を提案する。提案手法では、チャンネルの帯域幅を固定し、同時に受信可能なチャンネル数に応じてデータを分割して効率的にスケジューリングすることで、受信待ち時間を短縮する。

A Scheduling Method for Heterogeneous Clients on Division-Based Continuous Media Data Broadcasting

YUSUKE GOTOH,[†] TOMOKI YOSHIHISA^{††} and MASANORI KANAZAWA^{††}

Due to the recent spread of the Internet, 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. However, since these researches assume that the number of client type is only one, they do not consider cases that there are many type of clients such as mobile phone and digital video receiver. In such heterogeneous client environments, since reception bandwidth is different between clients, waiting time can become longer for a type of clients. In this paper, we propose a scheduling method to reduce the waiting time in heterogeneous client environments. In our proposed method, by producing an effective broadcasting schedule according to the number of receivable channels, the waiting time is reduced.

1. はじめに

近年のインターネット放送の普及¹²⁾にとともない、音声や映像といった連続メディアデータの放送型配信に関する研究が多数行われている。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。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、クライアント数が多い場合に有効な手段であるが、クライアントは所望のデータが放送されるまで待つ必要がある。このため、クライアントがデータを途切れずに再生できることを考えたうえで、

この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている。これらの研究では、クライアントの受信端末は一種であると想定している。しかし現在では、放送を受信するために、テレビや携帯電話、デジタルラジオといったさまざまな受信端末が存在する。例えば、以下のような放送形態が考えられる。

- 地上波デジタル放送で送信しているテレビ番組を、デジタルテレビや携帯電話で受信して視聴する。地上波デジタル放送網を利用したワンセグメント放送と呼ばれる携帯端末向けの放送では、現在、デジタルテレビと異なる番組を配信しているが、本研究では同じ番組をデジタルテレビと携帯電話に同時に配信する場合を想定している。
- インターネット放送を、パソコンや携帯電話、PDAで受信して視聴する。
- 衛星放送を、衛星チューナやカーナビゲーション

[†] 京都大学大学院 情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{††} 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

システムで受信して視聴する。

ほとんどの手法では、受信端末ごとに帯域を確保して放送するため、複数の受信端末が混在した環境で同じ連続メディアデータを受信する場合、多くの帯域が必要になり、待ち時間を効率的に削減できない。また、同時に受信できるチャンネルの数が受信端末によって異なるため、受信待ち時間が端末に応じて大きく異なる可能性がある。

そこで本研究では、異種クライアント環境における待ち時間短縮のための連続メディアデータの分割放送型スケジューリング手法を提案する。提案手法では、チャンネルの帯域幅を固定し、複数の受信端末が存在する環境で、同時に受信可能なチャンネル数に応じてデータを分割して効率的にスケジューリングすることで、受信待ち時間を短縮する。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で受信待ち時間について説明する。4章で提案手法について説明し、5章で評価を行い、6章で考察を行う。最後に7章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

放送型配信において、受信待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法がいくつか提案されている(4),5),7),8),10),11),14),18)。

HB (Harmonic Broadcasting) 法⁴⁾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 i 個のサブセグメント $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ に等分割する。 N 個のチャンネル C_1, \dots, C_N を使い、 C_i で $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ を繰り返して放送する。例えば、MPEG2 で符号化された 5 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。

BE-AHB (Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法¹⁵⁾では、連続メディアデータの分割放送型配信において、サーバが使用できる帯域とクライアントの再生レートをもとに連続メディアデータを幾つかの部分に分割して途切れなく放送する。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、MPEG2 で符号化された 5 Mbps の 60 分の連続メディアデータを 3 分割して、BE-AHB 法でスケジューリングして放送する場合の例を図 1 に示す。 S_1 は、連続メディアデータを S_1, \dots, S_3 に 3 分割したときの 1 番目の部分であり、 S_2

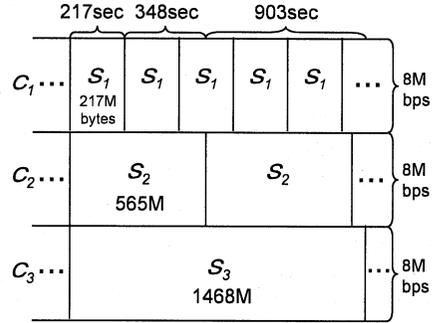


図 1 BE-AHB 法の放送スケジュール例

Fig. 1 An example of a broadcast schedule under the BE-AHB method

は 2 番目の部分である。 S_1, \dots, S_3 のデータサイズは数式で与えられる。 C_1, \dots, C_3 は、 S_1, \dots, S_3 をそれぞれ繰り返し放送するチャンネルであり、BE-AHB 法の場合、各チャンネルの帯域幅はすべて等しい。この図では、右に行くほど時間が経過している。このとき、待ち時間は平均で $217 \times 1.5 = 325.5$ 秒となり、分割しないときに比べて、平均待ち時間が約 83.7% 減少する。

OHPB (Optimized Heterogeneous Periodic Broadcast) 法¹³⁾では、受信要求を行うすべてのクライアントが利用可能な帯域の平均と、新たに受信要求を行うクライアントが利用可能な帯域に着目している。クライアントが受信を要求すると、サーバは一定かつできるだけ高い再生品質を得られる帯域をその都度算出して割り当てる。このとき、データの受信時間と再生時間の差が小さくなるため、クライアントは待ち時間を短縮できる。

3. 受信待ち時間

本章では、受信待ち時間が発生する仕組みについて説明する。

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。データを繰り返して放送している場合、この待ち時間は、最大で連続メディアデータの再生時間分発生する。例えば、受信に 60 分かかる連続メディアデータを 1 つのチャンネルで受信する場合、平均で 30 分の待ち時間が発生する。このため、一般的には、連続メディアデータを分割して初めの部分を頻繁に放送することで、待ち時間を短縮している。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、連続メディアデータをいくつかの部分に分割し、初めの部分を頻繁に放送することで、

クライアントの待ち時間を短縮する。このとき、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。これまでの手法では、クライアントが使用可能な帯域幅で複数のチャンネルを連続して受信することで、途切れのない再生を実現していた。これらの手法では、サーバが想定しているクライアントの受信端末が1種類であり、クライアントが連続して受信可能なチャンネル数はすべてのクライアントで同一である。しかし、1章で説明したように、さまざまな受信端末が混在した環境で放送を行うことが考えられる。各受信端末の帯域幅が異なる場合、受信可能な帯域幅が小さい受信端末では、再生中に途切れが発生する可能性がある。このことについて、以下に説明する。

サーバから放送される連続メディアデータについて、クライアントにおけるデータの受信開始から再生までの取理の流れを図2に示す。連続メディアデータを3分割して、すべてのチャンネルを同時に使用する。 S_1 は、連続メディアデータを S_1, \dots, S_3 に3分割したときの1番目の部分であり、 S_2 は2番目の部分、 S_3 は3番目の部分である。 C_1, \dots, C_3 は、 S_1, \dots, S_3 をそれぞれ繰り返し放送するチャンネルである。この図では、右に行くほど時間が経過している。図2では、すべてのチャンネルを同時に使用して受信する場合の実際の放送を示している。クライアントは、サーバにデータの受信を要求すると、 S_1, \dots, S_3 を同時に受信する。このとき受信待ち時間は、 S_1 のデータを受信する時間となる。

一方、連続受信可能チャンネル数の変化による途切れ発生時の取理の流れを図3に示す。連続メディアデータを3分割して、2個のチャンネルを同時に使用する。図3では、2個のチャンネルを同時に使用して受信する場合の実際の放送を示している。クライアントは、サーバにデータの受信を要求して、 S_1, S_2 を同時に受信する。 S_1 の受信が完了すると、 S_3 の受信を開始する。このとき、クライアントがデータ受信にかかる時間が増加するため、 S_2 の再生終了時刻から S_3 の再生開始時刻の間に途切れが発生する。これは、 S_2 の再生終了時刻までに S_3 の受信が完了していないためである。このとき受信待ち時間は、 S_1 のデータ受信にかかる時間と、 S_2 の再生終了から S_3 の受信完了までの途切れを合わせた時間となる。

4. 提案手法

異種クライアント環境における連続メディアデータの分割放送型スケジューリング手法として、H-

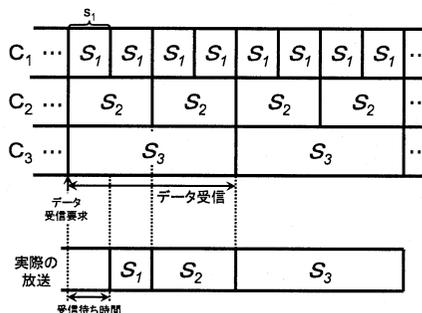


図2 途切れが発生しない場合の例

Fig.2 An example of broadcasting situation without interruption

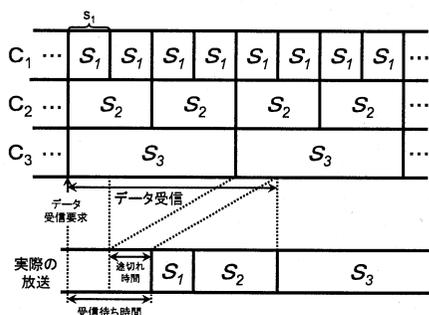


図3 途切れが発生する場合の例

Fig.3 An example of broadcasting situation with interruption

AHB(Hierarchical-AHB)法を提案する。この手法では、想定する受信端末の環境に合わせてサーバの帯域を分割して、受信可能帯域を最大限利用するために同時に複数個のチャンネルを使用してデータを受信することで、平均受信待ち時間を短縮する。

4.1 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。

- 受信可能帯域幅が異なる数種類の受信端末が存在する。
- 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、分割されたひとかたまりのデータ(セグメント)を受信しなければ再生を開始できない。
- サーバは擬似オンデマンド型の放送を行い、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。
- クライアントはバッファを持ち、受信したデータ

表 1 定式化のための変数

記号	説明
S_i	連続メディアデータの i 番目の分割部分, $i = 1, \dots, n$
B	サーバの帯域幅
r	再生レート
D	連続メディアデータの再生時間
c	チャンネルの帯域幅
m	受信端末の種類数
p_j	受信端末 j の存在確率, $\sum_{j=1}^m p_j = 1$
b_j	受信端末 j の帯域幅
d_i	S_i の再生時間, $i = 1, \dots, n$
s_i	S_i の受信時間, $i = 1, \dots, n$
C_c	連続受信可能チャンネル数
W	平均待ち時間
ts_i	S_{i-1} の再生終了から S_i の再生開始までの途切れ時間, $i = 2, \dots, n$
w_i	受信端末 j の待ち時間, $i = 1, \dots, m$

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。

既存の OHPB 法においても、異種クライアント環境を想定しているが、本研究では、チャンネルの帯域幅をパラメータとして与えることで、帯域幅を有効利用する点異なる。OHPB 法では、チャンネルの帯域幅は再生レートと等しくなるように固定されている。

4.2 待ち時間短縮手法

本節では、異種クライアント環境における連続メディアデータの分割放送型配信における待ち時間短縮手法について説明する。用いる記号を表 1 に示す。

例えば、図 2 の例では、 $B = 3r$, $C_c = 3$, $c = r$ となり、受信待ち時間は、 s_1 となる。また、図 3 の例では、 $B = 3r$, $C_c = 2$, $c = r$ となり、受信待ち時間は、 $s_1 + ts_3$ となる。

異種クライアント環境における連続メディアデータの分割放送型配信の待ち時間短縮問題は、 S_1 の受信待ち時間 s_1 と、データ再生の途切れ時間ができる限り短くなるようにスケジューリングすることになる。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。このため、連続受信可能チャンネル数 C_c を決定し、少なくとも C_c 個のチャンネルから同時に受信できるクライアントは、 S_1 の受信完了と同時に再生を開始しても最後まで途切れずに再生できるようにスケジューリングする。提案手法では、平均待ち時間 $W = \sum_j w_j p_j$ が最小になるように C_c を選択し、待ち時間を効率的に削減する。 C_c は、簡単な計算機シミュレーションで求められる。

4.3 スケジューリング手順

提案手法では、想定する受信端末の環境に合わせて

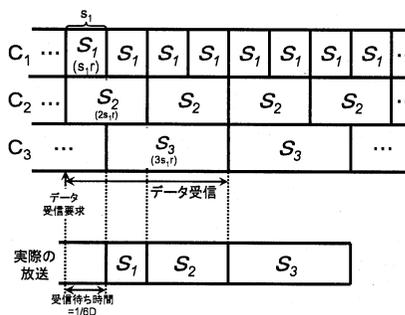


図 4 提案手法の放送スケジュール例 ($C_c = 2$)

Fig. 4 An example of a broadcast schedule under the H-AHB method ($C_c = 2$)

サーバの帯域を分割し、受信可能帯域を最大限利用するために同時に複数個のチャンネルを使用してデータを受信することで、平均受信待ち時間を短縮する。提案手法の放送スケジュールは、以下の手順である。各記号の意味は表 1 に示している。スケジューリング手順の基本的なアイデアについては、4.2 節に記した。

- (1) チャンネルの帯域幅 c を決定する。 c はシステムに依存するが、小さいほど待ち時間を短縮できる (5.2 節)。
- (2) C_c 個のチャンネルから同時に受信できるクライアントが最後まで途切れずに再生できるように d_i を次式で与える。

$$d_i = \begin{cases} d_1 + \frac{c}{r} \sum_{j=1}^{i-1} d_j & (i = 2, \dots, C_c) \\ \frac{c}{r} \sum_{j=i-C_c}^{i-1} d_j & (i = C_c + 1, \dots, \lceil \frac{B}{c} \rceil) \end{cases}$$

- (3) $D = \sum_i d_i$ となるように d_1 を決定。
- (4) W が最小になるように C_c を決定。
- (5) チャンネル C_i で S_i を帯域幅 c でそれぞれ繰り返して放送する。 ($i = 1 \dots n$)

以上の手順でスケジューリングを行う。

4.4 導入方法

図 4、図 5 に、提案手法で配信する場合の放送スケジュールを示す。MPEG2 で符号化された 5 Mbps の動画データ ($r = 5\text{Mbps}$) を 5, 10, 15 Mbps の 3 種類の無線 LAN 回線 ($b_1 = 5$, $b_2 = 10$, $b_3 = 15$) で 3 チャンネル用いて ($N = 3$) 放送する。4.3 節のスケジューリング手順により、 $C_1 = \dots = C_3$ で 5 Mbps となる。番組の放送が始まると、 $i = 1, \dots, n$ において、 C_i で S_i を順番に放送する。このとき平均待ち時間は、 $C_c = 2$ のとき、 $w_1 = \frac{D}{2}$, $w_2 = \frac{D}{6}$, $w_3 = \frac{D}{6}$ となり、平均受信待ち時間は $\frac{5}{18}D$ となる。また、 $C_c = 3$

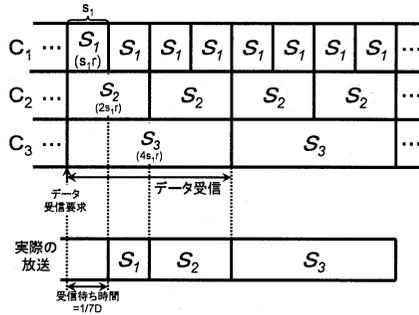


図5 提案手法の放送スケジュール例 ($C_c = 3$)
 Fig. 5 An example of a broadcast schedule under the H-AHB method ($C_c = 3$)

	受信待ち時間		
	連続受信可能 チャネル数1	連続受信可能 チャネル数2	連続受信可能 チャネル数3
分割数1	$\frac{1}{3}D$	$\frac{1}{2}D$	$\frac{4}{7}D$
分割数2	$\frac{1}{3}D$	$\frac{1}{6}D$	$\frac{2}{7}D$
分割数3	$\frac{1}{3}D$	$\frac{1}{6}D$	$\frac{1}{7}D$
平均 待ち時間	$\frac{1}{3}D$	$\frac{5}{18}D$	$\frac{1}{3}D$

表2 連続受信可能チャネル数に応じた平均待ち時間の比較
 Table 2 Comparison of average waiting time under the number of channels receiving data concurrently

のとき、 $w_1 = \frac{4}{7}D$, $w_2 = \frac{2}{7}D$, $w_3 = \frac{D}{7}$ となり、平均受信待ち時間は $\frac{D}{3}$ となる。

連続受信可能チャネル数に応じて、図2、図3、図4、図5の放送スケジュールをもとにした場合の平均受信待ち時間の比較を表2に示す。このとき、連続受信可能チャネル数が2のとき、平均待ち時間が最小になっている。これは、分割数を大きくすると平均待ち時間は短縮されるが、帯域が小さいクライアントの待ち時間が大きくなるためである。

5. 評価

提案するH-AHB法の評価を行う。初めに、H-AHB法のパラメータに対する平均待ち時間の変化を示し、その後、既存のOHPB法との比較を行う。グラフに示す待ち時間は計算機によるシミュレーション結果である。評価値は、データの再生時間や再生レートに比例する。一般化するため、グラフはこれらの値で除した値を示している。

5.1 連続受信可能チャネル数

平均待ち時間は、連続受信可能チャネル数 C_c に依存するため、適切な C_c を選択し、効率的に待ち時間を短縮する必要がある。最適な C_c は、計算機シミュ

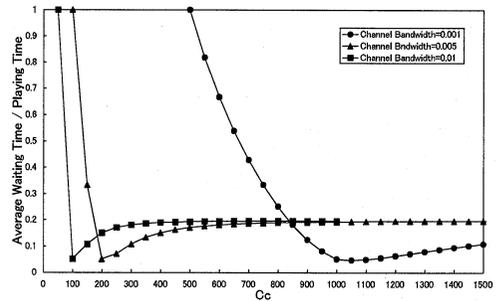


図6 平均待ち時間と連続受信可能チャネル数
 Fig. 6 The average waiting time and the number of continuous reception channel

レーションを行い、平均待ち時間を算出することで求めることができる。例えば、チャネル帯域幅がデータの再生レートの0.001, 0.005, 0.01倍のときの各 C_c の値に対する平均待ち時間を図6に示す。この例では、無線LAN程度の10Mbpsの帯域幅を用いて1Mbpsの動画データを放送する場合を想定している。クライアント端末は、1Mbpsの帯域幅からデータを受信できる携帯電話、5Mbpsの帯域幅からデータを受信できるPDAや小型ゲーム機、10Mbpsの帯域幅からデータを受信できるノートパソコンの3種類のクライアント端末を想定している。各クライアントの存在確率は等しく、1/3とした。縦軸は平均待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸は連続受信可能チャネル数である。チャネル帯域幅が1kbpsの場合、再生レートの0.001倍になり、10Mbpsを1kbpsのチャネルに分割するため、1万個のチャネルがあり、携帯電話は1000個のチャネルから同時に受信でき、PDAなどは5000個、ノートパソコンは1万個のチャネルから同時に受信できる。

このグラフより、最小値を与える連続受信可能チャネル数が存在することが分かる。これは、クライアントが数種類あるため、連続受信可能チャネル数が小さければ、大きい帯域幅から受信できるクライアントの待ち時間が十分に短縮されず、また、大きければ、小さい帯域幅しか受信できないクライアントの待ち時間が長くなるためである。最適な連続受信可能チャネル数は、チャネル帯域幅に依存しているが、このときの総帯域幅は等しく、チャネル帯域幅が0.001の場合1000チャネルで、総帯域幅は1.0、チャネル帯域幅が0.01の場合100チャネルで同じく総帯域幅は1.0になっている。これは、クライアントの存在確率が等しい場合であり、必ずしも総帯域幅が1.0になる場合が最適な連続受信可能チャネル数であるとは限らない。

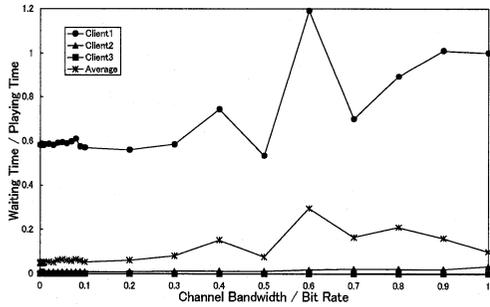


図7 待ち時間とチャンネルの帯域幅
Fig. 7 The waiting time and channel bandwidth

5.2 チャンネル帯域幅

チャンネル帯域幅は、システム設計上の処理能力や電気回路の通信速度といったハードウェア的な条件により制限されるが、放送側が通信エラーの発生頻度などを考慮して決定することも考えられる。これらの要因で決定されるチャンネル帯域幅が、待ち時間にどの程度影響を与えるか評価を行った。図7にチャンネル帯域幅と待ち時間を示す。クライアントの種類は5.1節と同じとした。連続受信可能チャンネル数は、平均待ち時間が最短になるように決定した。縦軸は待ち時間、横軸はチャンネル帯域幅をデータの再生レートで除した値とした。“Client1”は、再生レートと等しい帯域幅で受信できるクライアント（携帯電話），“Client2”は再生レートの5倍の帯域幅で受信できるクライアント（PDA），“Client3”は再生レートの10倍の帯域幅で受信できるクライアント（ノートパソコン）の待ち時間を示す。

このグラフより、待ち時間がチャンネル帯域幅に依存していることがわかる。これは、クライアントの受信できる帯域幅がチャンネル帯域幅の整数倍になっていれば、受信できる帯域幅すべてを使ってチャンネルからデータを受信でき、待ち時間を効率的に削減できるためである。クライアントの存在確率にも依存するが、この場合、Client1の待ち時間が他の待ち時間に比べて非常に大きく、平均待ち時間がClient1の待ち時間に大きく依存している。平均待ち時間は、チャンネル帯域幅が小さいほど短くなっている。例えば、チャンネル帯域幅が0.001の場合、平均待ち時間は再生時間の0.05倍になっており、30分の動画を放送する場合、1.5分の平均待ち時間になる。

5.3 帯域幅

平均待ち時間は使用できる帯域幅に依存するため、その影響を調べた。結果を図8に示す。クライアントの種類は5.1節と同じとし、連続受信可能チャンネル数

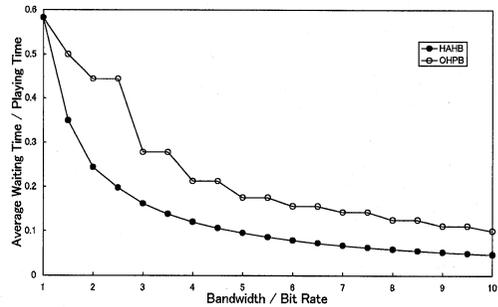


図8 平均待ち時間と帯域幅
Fig. 8 The average waiting time and bandwidth

は、平均待ち時間が最短になるように決定した。チャンネル帯域幅は0.001とした。縦軸は平均待ち時間、横軸は帯域幅を再生レートで除した値である。“HAHB”は提案手法 H-AHB 法の平均待ち時間，“OHPB”は既存の OHPB 法の平均待ち時間である。

このグラフより、使用できる帯域幅が大きいくほど平均待ち時間が短くなり、提案手法の待ち時間が既存の OHPB 法よりも短くなっていることがわかる。これは、提案手法では、各種のクライアントが受信できる帯域幅をすべて使用して各チャンネルからデータを受信できるように、チャンネルの帯域幅を決定しているためである。さらに、連続受信可能チャンネル数を、平均待ち時間が最短になるように決定しているため、待ち時間を効率的に短縮できている。OHPB 法では、チャンネルの帯域幅は常に再生レートと等しいため、各種のクライアントが受信できる帯域幅をすべて使用できるとは限らないため、提案手法よりも待ち時間の短縮率が劣っている。チャンネルの帯域幅が固定されているため、帯域幅が変化しても段階的に待ち時間が削減されている。例えば、クライアントの受信できる帯域幅で最大の帯域幅と等しい10倍の帯域幅を用いて放送する場合、提案手法は既存の OHPB 法に比べて54%待ち時間を短縮できている。

5.4 クライアント存在確率の分散

これまで示した評価では、提案手法の性能を示すため、3種のクライアントの存在確率を等しくしていたが、実際には、異なる場合がほとんどであると考えられる。そこで、本節では、クライアントの存在確率を変化させて平均待ち時間がどの程度になるか評価を行う。結果を図9に示す。クライアントの種類は5.1節と同じとし、連続受信可能チャンネル数は、平均待ち時間が最短になるように決定した。チャンネル帯域幅は0.001とした。Client2の存在確率を1/3とし、Client1, Client2, Client3の順に存在確率を線型に

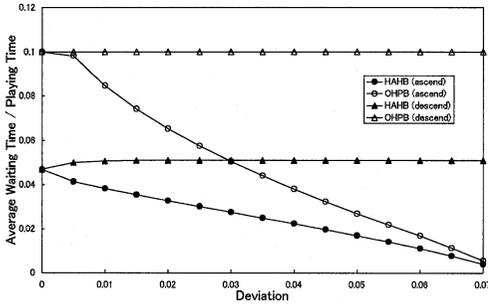


図 9 平均待ち時間と分散

Fig. 9 The average waiting time and deviation

変化させた。Client1 の存在確率が Client3 より小さいように線型に変化させた場合を“ascend”，大きくなるように変化させた場合を“descend”で示す。すなわち，分散を d とすると，各クライアントの存在確率 P は，ascend の場合，

$$P(\text{Client1}) = 1/3 - \sqrt{\frac{3d}{2}} \quad (1)$$

$$P(\text{Client2}) = 1/3 \quad (2)$$

$$P(\text{Client3}) = 1/3 + \sqrt{\frac{3d}{2}} \quad (3)$$

で与えた。descend の場合，根号の前の符号が逆転することになる。縦軸は平均待ち時間，横軸は分散を示す。

このグラフより，descend では，平均待ち時間は大きく変わらないが，ascend では，平均待ち時間が大きく変わっていることが分かる。これは，Client1 の待ち時間が平均待ち時間に大きく影響を及ぼすほど大きいことに起因している。descend の場合，分散が大きくなるほど，Client1 の存在確率が大きくなり，Client1 の影響が大きく平均待ち時間は大きく変わらない。一方，ascend の場合，分散が大きくなるほど Client1 の存在確率が小さくなり，Client1 の待ち時間の影響が小さくなり，大きく変化している。Client1 の受信帯域幅は小さく，待ち時間が長いので，Client1 の存在確率が小さくなるほど平均待ち時間は短縮されている。例えば，分散が 7 の場合，平均待ち時間は再生レートの 0.004 倍となっており，30 分の動画であれば，7 秒の待ち時間になる。受信帯域幅が大きいクライアントの存在確率が大きいほど平均待ち時間を短縮できるといえる。

5.5 受信帯域幅の差

クライアントの受信帯域幅の差が平均待ち時間に影響を与えると考えられる。そこで，本節では，平均待ち時間の変化がどの程度になるか評価を行った。評価で

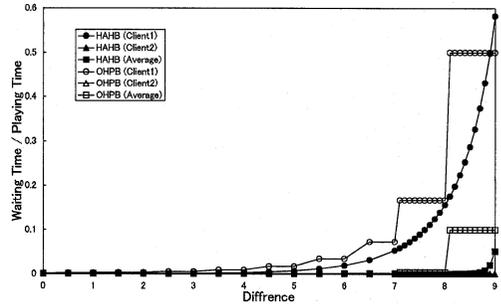


図 10 待ち時間と帯域幅の差

Fig. 10 The waiting time and differences of bandwidth

は，クライアントを 2 種類とし，一方 (Client2) の受信帯域幅を 10Mbps とし，もう一方 (Client1) の受信帯域幅を 10Mbps から 1Mbps まで変化させた。他のパラメータについては，5.1 節と同じである。結果を図 10 に示す。縦軸が待ち時間，横軸が帯域幅の差であり，9 であれば，もう一方の受信帯域幅は $10 - 9 = 1$ Mbps であることを示す。

このグラフより，受信帯域幅の差が大きくなると，平均待ち時間が長くなっていることがわかる。これは，Client2 よりも Client1 の受信帯域幅が平均待ち時間に大きく影響を及ぼしており，受信帯域幅の差が大きくなり，Client1 の受信帯域幅が小さくなると，平均待ち時間も長くなるためである。5.3 節と同じように，OHPB 法では，平均待ち時間は段階的に変化している。差が大きくなるというよりもむしろ，クライアント受信帯域幅の最小値が平均待ち時間に大きく影響しており，受信帯域幅の大きいクライアントが多いほど平均待ち時間を短縮できるといえる。

6. 考 察

6.1 受信待ち時間比較

図 9 より，Client1 の存在確率が大きいときには平均待ち時間は大きく変わらないが，Client1 の存在確率が小さいときは，平均待ち時間が大きく変わることが分かる。これは，受信帯域幅の小さいクライアントの待ち時間が，平均待ち時間に大きく影響を及ぼすためである。

6.2 既存研究との比較

OHPB 法では，チャンネルの帯域幅は常に再生レートと等しいため，各種のクライアントが受信できる帯域幅をすべて使用できるとは限らず，提案手法よりも待ち時間の短縮率が劣っている。一方，提案手法では，各種のクライアントが受信できる帯域幅をすべて使用して各チャンネルからデータを受信できるようにチャネ

ルの帯域幅を決定しており、また、連続受信可能チャンネル数を平均待ち時間が最短になるように決定しているため、待ち時間を効率的に短縮できている。

7. おわりに

本研究では、複数の受信端末が存在する異種クライアント環境で、使用する帯域を効率的に利用して、データを途切れなく再生するための平均待ち時間を効率的に短縮するスケジューリング手法 H-AHB 法を提案した。提案手法では、想定する受信端末の環境に合わせてサーバの帯域を分割して、受信可能帯域を最大限利用するために同時に複数個のチャンネルを使用してデータを受信することで、平均受信待ち時間を短縮する。評価の結果、提案手法では、各種のクライアントが受信できる帯域幅を全て使用して各チャンネルからデータを受信できるようにチャンネルの帯域幅を決定しているため、既存の OHPB 法に比べて待ち時間を効率的に短縮できる。

今後の予定として、選択型コンテンツの放送型配信における各受信端末の利用者の割合を考慮したスケジューリング手法を考えている。

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) Eager, D.L. and Verton, M.K.: Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand, *Proc. 4th Int. Workshop on Multimedia Information Systems (MIS'98)*, pp.18-32 (1998).
- 2) 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).
- 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) Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzy-cast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920-929 (2002).
- 5) 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 (IPCCC2005)*, pp.275-282 (2005).
- 6) Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Harmonic broad-

- casting for video-on-demand service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.43, No.3, pp.268-271 (1997).
- 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., 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).
- 9) Paris, J.-F.: A Simple Low-Bandwidth Broadcasting and receiving scheme for popular video service, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N'99)*, pp.118-123 (1999).
- 10) 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).
- 11) 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).
- 12) 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>
- 13) L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager: "Scalable Streaming for Heterogeneous Clients," *Proc. ACM Multimedia*, pp.22-27 (2006).
- 14) Viswanathan, S. and Imilelinski, T.: Pyramid broadcasting for video on demand service, *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95)*, pp.66-77 (1995).
- 15) 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ンネル数について, 日本データベース学会 Letters, Vol.4, No.3, pp.5-8 (2005).
- 16) Yoshihisa, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: A Broadcasting Scheme for Continuous Media Data with Restrictions in Data Division, *Proc. IPSJ International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU'05)*, pp. 90-95 (2005).
- 17) 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 (2006, to appear).
- 18) Zhao, Y., D. L. Eager, and M. K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. of IEEE INFOCOM* (2004).