

連続メディアデータの放送型配信における 使用チャネル数を考慮したスケジューリング手法

後藤 佑介¹ 木村 明寛^{†1} 谷口 秀夫¹

近年のインターネット放送の普及にともない、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研究が多数行われている。これまでの研究で、同じ放送データを携帯電話やデジタル放送といった複数の受信端末で受信する場合に、各端末で発生する待ち時間の平均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、端末の種類が限られており、より多くの種類の端末に対応する必要がある。また、サーバによる分割数が非常に多く、放送型配信を行う際に処理が複雑になる問題がある。本研究では、連続メディアデータの放送型配信において、多くの種類の端末がデータを受信する際に全体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、端末の種類数とサーバが使用できる帯域幅をもとに使用チャネル数を決定し、端末が受信に使用できる帯域幅を算出して放送スケジュールを作成する。

A Scheduling Method for Continuous Media Data Broadcasting Considering Available Channels

GOTOH YUSUKE¹ KIMURA AKIHIRO^{†1} TANIGUCHI HIDEO¹

1. はじめに

近年のインターネット放送の普及にともない、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。複数のクライアントに同じデータをまとめて配信でき、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慮したうえで、この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている [2], [3], [4], [5], [6], [7]。これらの研究では、サーバが使用できる帯域幅やクライアントの再生レートを考慮して連

続メディアデータを分割し、複数のチャネルを用いて放送することで、受信にかかる待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案している。

筆者らは、これまでの研究で、異種クライアント環境と呼ばれる複数のクライアントが受信端末としてサーバに接続してデータを受信する配信環境で、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を提案してきた。異種クライアント環境で想定する視聴環境として、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場合が挙げられる。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、本論文では、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。また、ノート型計算機や携帯電話でインターネット放送を受信して視聴したり、衛星チューナやカーナビゲーションシステムで衛星放送を受信して視聴する場合も該当する。

これまでの手法では、データを受信するクライアントの受信端末の種類が少なく、これらの受信端末以外による端

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

^{†1} 現在、日本電信電話株式会社 NTT ネットワークサービスシステム研究所
Presently with NTT Network Service Systems Laboratories,
NTT Corporation

末の接続について考慮していなかった。クライアント端末は多くの種類があり、各端末の受信可能帯域幅は異なる。このため、より多くの種類の受信端末が接続することを想定して、待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法が必要である。

本論文では、連続メディアデータの放送型配信において、受信可能帯域幅が異なるより多くの受信端末がデータを受信する場合のスケジューリング手法を提案する。提案手法では、サーバが使用できる帯域幅をもとに、配信に使用するチャンネル数に応じて各チャンネルの帯域幅を決定する。その上で、各チャンネルの帯域幅を基準として、クライアントの受信端末として想定する受信可能帯域幅を決定し、各受信端末で発生する待ち時間の平均を最小化するスケジューリングを作成することで、より多くの種類の受信端末に対応する。

本論文は、以下のように構成される。2章では放送型配信において待ち時間が発生する仕組みについて述べ、3章では放送型配信技術における関連研究を説明する。4章で提案手法について説明し、5章で評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 放送型配信における待ち時間発生の仕組み

2.1 放送型配信

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。サーバがデータを繰り返して放送する場合、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、クライアントが受信に10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5分の待ち時間が発生する。このため、一般的には、サーバが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、待ち時間を短縮する。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、サーバ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して、分割したデータの部分をスケジューリングすることが重要である。

2.2 クライアント受信端末の受信可能帯域幅に応じた待ち時間の変化

既存手法の多くは、クライアントが使用可能な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が、サーバが想定しているクライアントの受信端末は1種類であった。1章で説明したように、実際に放送型配信を行う場合、さまざまな受信端末が混在した環境で配信することが考えられる。受信端末が使

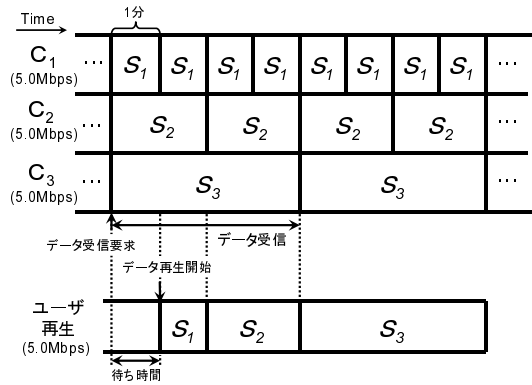


図1 途切れが発生しない場合の例

Fig. 1 An example of broadcasting situation without interruption.

用できる帯域幅がそれぞれ異なる場合、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、以下で説明する。

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1に示す。クライアントは、15Mbpsの帯域幅で同時にデータを受信する。理解しやすい例として、ここでは、サーバがFB (Fast Broadcasting) 法 [8] を用いて、データを3分割して放送する場合を考える。 S_1 は、連続メディアデータを S_1, S_2, S_3 に3分割したときの1番目の部分である。FB法では、各データの再生時間は、クライアントがどのタイミングで受信を開始しても再生中に途切れが発生しない分割比率を計算式で求めることで算出できる。例えば、 S_1 の再生時間が1分とすると、 S_2 は2分、 S_3 は4分となる。 C_1, C_2, C_3 は、サーバから S_1, S_2, S_3 をそれぞれ繰り返して放送するための配信チャンネルである。右に行くほど時間が経過している。クライアントの再生レートは5.0Mbpsとする。クライアントは、サーバにデータの受信を要求して、各チャンネルから同時に S_1, S_2, S_3 を受信する。このとき、 S_1 の受信完了と同時に、 S_1 の再生を開始できる。また、 S_1 の再生終了と同時に S_2 の受信を完了できるため、 S_1 の再生終了後、途切れることなく S_2 を続けて再生できる。さらに、 S_3 も同様にして、 S_2 と S_3 の間で途切れることなく再生できる。以上より、待ち時間は S_1 のデータを受信する時間（1分）のみとなる。

一方、クライアントの受信帯域の上限が10Mbpsの場合の様子を図2に示す。クライアントはデータの受信で10Mbpsしか使用できないため、 C_1, C_2 からはデータの受信要求時刻と同時に受信できるが、帯域幅が足りず、 C_3 からは同時に受信できない。このため、 S_1 の受信が完了した後に、 C_3 から S_3 の受信を開始する。 S_2 の再生終了後、 S_3 を途切れずに再生するためには、 S_2 の再生終了時点で S_3 の受信を完了できるまで待つ必要がある。この場合、受信開始から2分待つて再生を開始することになり、クライアントが帯域幅を15Mbps使用できる場合と比べて1分

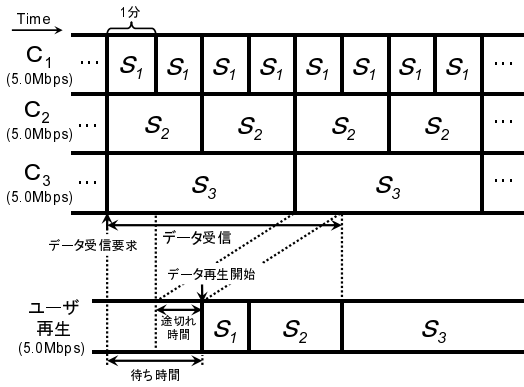


図 2 途切れが発生する場合の例

Fig. 2 An example of broadcasting situation with interruption.

長くなることが分かる。

3. 関連研究

放送型配信において、連続メディアデータを受信するときの待ち時間を短縮するための手法は幾つか提案されている [9], [10], [11], [12], [13], [14]. これらの手法では、サーバは連続メディアデータを幾つかの部分に分割し、再生中に途切れが発生しないように複数のチャンネルを使用して放送することで、待ち時間を短縮する。

BroadCatch [15] では、放送する連続メディアデータを 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。この手法では、チャンネルによって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、クライアントが受信を要求してから再生を開始するまでの待ち時間を短縮できる。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は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。

HeRO (Heterogeneous Receiver-Oriented Broadcasting) [16] では、各セグメントのデータが $1, 2, 2^2, \dots, 2^{K-1}$ になるように、データを K 個のセグメントに分割する。使用できる帯域幅が小さいクライアントが再生を開始するまでに発生する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ため受信時間が長大化し、クライアントが受信を要求するタイミングによっては再生中に途切れが発生する可能性がある。

OHPB (Optimized Heterogeneous Periodic Broadcast) 法 [17] 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。クライアントがデータの受信を要求すると、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。

H-AHB (Hierarchical-AHB) 法 [18] 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、それぞれの端末が使用できる帯域幅をもとに、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している。しかし、H-AHB 法では受信端末の数が限定されており、新規の端末によるデータ受信に対応できない。

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、AHB-CA (AHB-Considering Available Channels) 法を提案する。この手法では、サーバが使用できる帯域幅をもとに、使用するチャンネル数と等しい数の受信端末の種類を設定し、各端末の受信可能帯域幅を求める。その上で、各端末が受信可能帯域幅を最大限利用してデータを受信することで、平均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り、本手法で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。

各チャンネルでデータを受信する場合、クライアントは各ブロックの先頭から受信できなくても、該当するブロックの放送時間分のデータを受け取ればすべてを受け取ったと仮定する。これは、本研究で想定するチャンネルは、時分割でチャンネルが構成される論理的なチャンネルとしているためである。

4.2 待ち時間短縮手法

提案手法では、サーバが使用できる帯域幅をもとに、使用するチャンネル数と等しい数の受信端末の種類を設定する。これらの端末の受信可能帯域幅は、サーバが使用できる帯域幅を端末の種類数で等分割して設定する。これにより、異なる受信可能帯域幅をもつ新規端末が受信を要求した場合、その端末が使用できる帯域幅に近い種類の端末に当てはめてスケジュールを設定できるようになり、さまざまな種類の端末に対応できる。例えば、サーバが使用できる帯

域幅を 10Mbps, 使用するチャネル数を 5 とすると, 受信端末は 5 種類設定し, それらの受信可能帯域幅は 2.0Mbps, 4.0Mbps, 6.0Mbps, 8.0Mbps, および 10Mbps となる. このとき, 使用できる帯域幅が 4.2Mbps の新規端末が受信を要求すると, 受信可能帯域幅が 4.0Mbps の端末を想定したスケジューリングをもとに, 新規端末は 4.2Mbps 分のチャネルを使用してデータを受信する. その上で, 各受信端末について, 同時に受信できる**連続受信可能チャネル数** R を決定する. この値をもとにスケジューリングを作成することで, R 個のチャ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.

4.3 R の算出方法

提案手法では, サーバが使用できる帯域幅とクライアント端末の受信可能帯域幅をもとに, 分割数 R を決定する. R は, チャネルをさらに等分割して作成されるサブチャネルの合計であり, 各チャネルで同じ数だけ作成される. また, サブチャネルごとに一つのセグメントを繰り返し放送するため, セグメント数は R と同じになる.

ここで, R の最適値の算出について説明する. 最適な R を求める手順は, まず R を 1 から N まで変化させ, それぞれの場合の放送スケジュールを作成する. 次に, 計算機シミュレーションですべての端末の平均待ち時間を求め, この平均待ち時間が最短となるときの R が最適値となる.

4.4 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ネルを使用してデータを受信することで, 平均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. 各記号の意味を表 1 に示す. 例えば, 図 1 の例では, $B = 3r$, $R = 3$, $c = r$ となり, 待ち時間は, s_1 となる. また, 図 2 の例では, $B = 3r$, $R = 2$, $c = r$ となり, 待ち時間は, $s_1 + I_3$ となる.

- (1) R を 1 から N まで変化させ, それぞれの場合の放送スケジュールを作成する.
- (2) j 種類の受信端末それぞれについて, 計算機シミュレーションで各端末における R の平均待ち時間を求めた上で, 平均待ち時間が最短となる最適な R を算出する.
- (3) (2) で求めた R とサーバが使用できる帯域幅 B をもとに, チャネルの帯域幅 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.
- (4) R 個のチャ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, 同時に R 個のチャネルを使用してデータを受信できる場合とできない場合に分けて, データの再生時間 d_i を算出する.

表 1 定式化のための変数

Table 1 Variables for formulation.

記号	説明
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
m	チャネル数
n	連続メディアデータの分割数, $n = \lceil \frac{B}{c} \rceil$
d_i	S_i の再生時間, $i = 1, \dots, n$
c	チャネルの帯域幅
R	連続受信可能チャネル数
p_j	端末種類 j の存在確率, $\sum_{j=1}^m p_j = 1$
b_j	端末種類 j の帯域幅, $b_j = \frac{B}{m} \times j$
s_i	S_i の受信時間, $i = 1, \dots, n$
I_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
w_i	端末種類 j の待ち時間, $i = 1, \dots, m$

(a) $i = 2, \dots, R$ の場合

クライアントは, C_1 から C_R までのすべてのチャネルから, 同時にデータを受信できる. このため, データの受信開始から一つ前のチャネルで受信したデータの再生が終了するまでの間にデータの受信を完了させる必要がある. このときの再生時間 d_i は, 以下の式で求められる.

$$d_i = d_1 + \frac{c}{r} \sum_{j=1}^{i-1} d_j \quad (i = 2, \dots, R) \quad (1)$$

(b) $i = R+1, \dots, n$ の場合

クライアントは, C_1 から C_R までのチャネルから同時にデータを受信する. 受信が完了したチャネルは受信を終了し, チャネル C_{R+1} 以降のデータの受信を順番に開始する. 該当するチャネルのデータは, クライアントの S_1 受信開始時には受信せず, C_{i-R} のデータ受信が終了した後に受信を開始する. このため, C_i で放送するデータの受信時間は, S_{i-R} の受信終了時刻から S_{i-1} の再生終了時刻までの間となる. このときの再生時間 d_i は, 以下の式で求められる.

$$d_i = \frac{c}{r} \sum_{j=i-R}^{i-1} d_j \quad (i = R+1, \dots, n) \quad (2)$$

- (5) $D = \sum_i d_i$ となるように d_1 を決定.
- (6) W が最小になるように R を決定.
- (7) チャネル C_i で S_i を帯域幅 c でそれぞれ繰り返し放送する.

以上の手順でスケジューリングを行う.

4.5 導入方法

図 3 および図 4 に, 提案手法で配信する場合の放送スケジュールを示す. 2 章と同じように, 15Mbps を用いて,

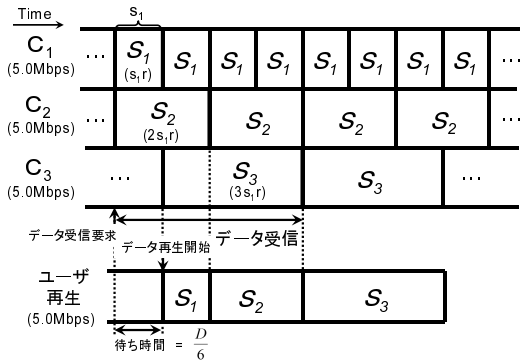


図 3 提案手法の放送スケジュール例 ($R = 2$)

Fig. 3 An example of a broadcast schedule under the AHB-CA method. ($R = 2$)

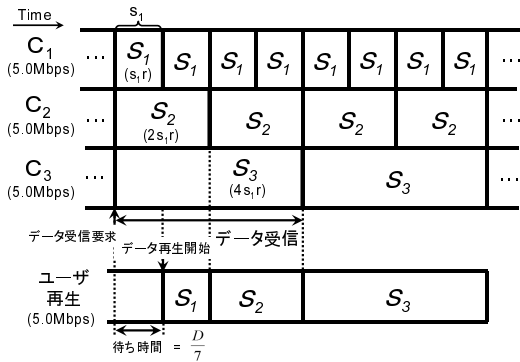


図 4 提案手法の放送スケジュール例 ($R = 3$)

Fig. 4 An example of a broadcast schedule under the AHB-CA method. ($R = 3$)

5.0Mbps の動画データ ($r = 5.0\text{Mbps}$) を放送する場合を想定する。受信端末の種類は 3 種類あり、それぞれ 5.0Mbps, 10Mbps, および 15Mbps ($b_1 = 5$, $b_2 = 10$, $b_3 = 15$) から受信でき、放送に使用するチャンネルの数は 3 とする。4.4 節のスケジューリング手順により, $C_1 = C_2 = C_3$ で 5.0Mbps 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, $R = 2$ のとき, $w_1 = \frac{D}{2}$, $w_2 = \frac{D}{6}$, $w_3 = \frac{D}{6}$ となり, 平均待ち時間は $\frac{5}{18}D$ となる。また, $R = 3$ のとき, $w_1 = \frac{4}{7}D$, $w_2 = \frac{2}{7}D$, $w_3 = \frac{D}{7}$ となり, 平均待ち時間は $\frac{D}{3}$ となる。

連続受信可能チャンネル数に応じた平均待ち時間の比較を表 2 に示す。このとき, 連続受信可能チャンネル数が 2 のとき, 平均待ち時間は最短になっている。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長くなるためである。以上より, クライアントの受信端末に応じて最適な R があることが分かる。

5. 評価

5.1 連続受信可能チャンネル数の算出

端末の受信可能帯域幅の違いに応じて, 連続受信可能

表 2 連続受信可能チャン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.

	待ち時間		
	$R=1$	$R=2$	$R=3$
チャンネル数=1	$\frac{1}{3}D$	$\frac{1}{2}D$	$\frac{4}{7}D$
チャンネル数=2	$\frac{1}{3}D$	$\frac{1}{6}D$	$\frac{2}{7}D$
チャンネル数=3	$\frac{1}{3}D$	$\frac{1}{6}D$	$\frac{1}{7}D$
平均待ち時間	$\frac{1}{3}D$	$\frac{5}{18}D$	$\frac{1}{3}D$

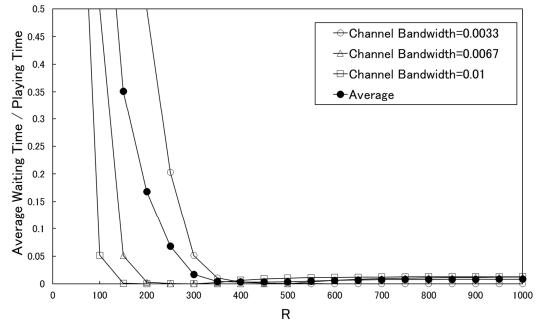


図 5 平均待ち時間と連続受信可能チャンネル数

Fig. 5 The average waiting time and the number of continuous receivable channels.

チャンネル数は異なる。複数の端末が同時に受信する場合, R に応じて各端末の待ち時間を算出し, 計算機シミュレーションによりすべての端末の平均待ち時間が最短になるときの最適な R を求める必要がある。図 5 に, R に応じた平均待ち時間の変化を示す。サーバが使用できる帯域幅は 10Mbps, 端末数は 3 とする。この場合, 3 種類の端末の受信可能帯域幅は, それぞれ 3.3Mbps, 6.7Mbps, 10Mbps となる。また, 端末の存在確率はすべて同じとする。

図 5 より, 最適な R が存在することが分かる。 R が大きくなると, 受信可能帯域幅が小さい端末から順番に, 平均待ち時間が最短となる R を求めることができる。また, R の増加とともに受信可能帯域幅が 3.3Mbps および 6.7Mbps のときの待ち時間は長くなり, 10Mbps のときの待ち時間の短縮率を上回るときが平均待ち時間の最短となる。受信可能帯域幅が大きいと連続受信可能チャンネル数は大きくなり, データ再生中の途切れ時間が短くなるため, 待ち時間を短縮できることが分かる。例えば, 図 5 の場合, 最適な R は 403 となる。

5.2 端末数と連続受信可能チャンネル数

さまざまな種類のクライアント端末に対応するため, 端末数に応じて適切な連続受信可能チャンネル数 R を算出し, データを分割する必要がある。最適な R は, 計算機シミュレーションを行い, 平均待ち時間を算出することで求められる。例えば, 端末数に応じた R の最適値の変化を図 6 に示す。この例では, 使用できる帯域幅が 5.0Mbps, 10Mbps,

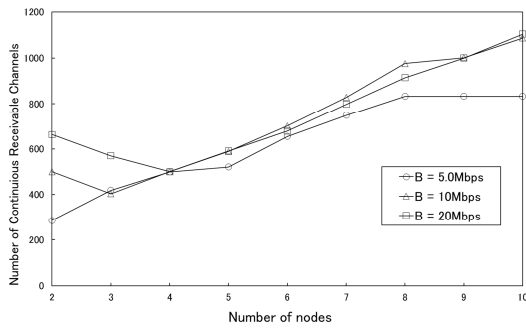


図 6 連続受信可能チャンネル数と端末数

Fig. 6 The number of continuous receivable channels and the number of client types.

および 20Mbps の各場合について、平均待ち時間を最短にする R を求めている。縦軸は連続受信可能チャンネル数、横軸は端末の種類とする。また、端末の存在確率はすべて同じとする。

図 6 より、 R を最小にする端末数を求めることができる。端末数が少ない場合、受信可能帯域幅が小さい端末の割合が小さいため、 R の値はそれほど大きくならない。一方で、端末数が増えると、受信可能帯域幅が大きい端末の割合が大きくなるため、 R の値は大きくなる。

5.3 端末数と平均待ち時間

平均待ち時間は連続受信可能チャンネル数 R に依存するため、適切な R を選択し、効率的に待ち時間を短縮する必要がある。例えば、端末数に応じた平均待ち時間の変化を図 7 に示す。図 7 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。また、この評価で算出した平均待ち時間について、平均待ち時間を最短にする R を用いている。縦軸は平均待ち時間を再生時間で除した値、横軸は端末の種類とする。端末の存在確率はすべて同じとする。

図 7 より、端末数が大きくなると受信可能帯域幅が小さい端末に配信するため、平均待ち時間は長くなる。また、サーバが使用する帯域幅が大きくなると、平均待ち時間は短くなる。これは、各チャンネルの帯域幅が大きくなり、セグメントの受信時間が短くなるためである。また、クライアント端末の種類を大きくして有用性を向上すると、平均待ち時間が長くなる。このため、各端末の発生確率を変化して待ち時間を短縮する必要がある。

5.4 帯域幅と平均待ち時間

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。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。縦軸は平均待ち時間を再生時間で除した値、横軸は帯域幅を再生レートで除した値である。クライアントの端末数は 3, 5,

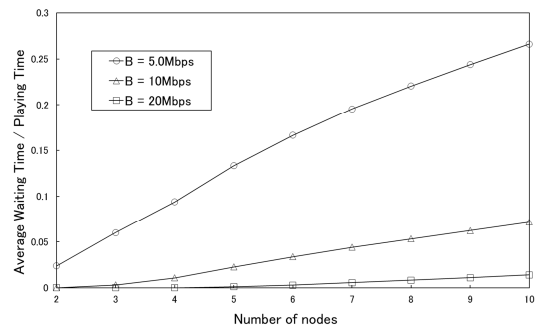


図 7 平均待ち時間と端末数

Fig. 7 The average waiting time and the number of client types.

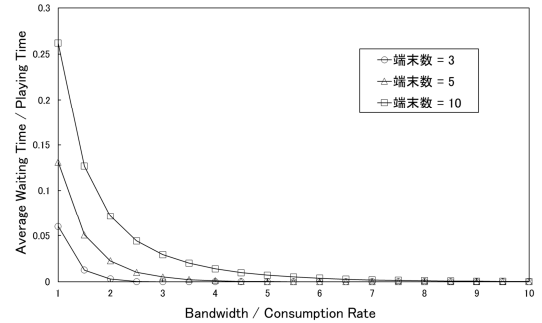


図 8 平均待ち時間と帯域幅

Fig. 8 The average waiting time and bandwidth.

10 の各場合について評価した。端末の存在確率はすべて同じとする。

このグラフより、使用できる帯域幅が大きいほど平均待ち時間が短くなることが分かる。これは、各チャンネルの帯域幅が大きくなり、受信時間を短縮するためである。また、クライアントの端末の種類が多いほど平均待ち時間は長くなる。受信端末数が多いと受信可能帯域幅がより小さい端末を想定したスケジューリングになる。このような端末で発生する待ち時間は他の端末に比べて長くなり、平均待ち時間は長くなる。

6. おわりに

本論文では、複数の受信端末が存在する異種クライアント環境において、使用する帯域幅を効率的に利用した上で、受信チャンネル数を考慮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 AHB-CA 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幅を分割して、受信可能帯域を最大限利用するために同時に複数のチャンネルを使用してデータを受信することで、平均待ち時間を短縮する。評価の結果、提案手法では、端末数に応じて最適な受信可能帯域幅 R を求め、平均待ち時間を短縮できた。

今後の予定として、連続メディアデータの放送型配信において、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や、複数の連続メディアデータを放送する場合

のスケジューリング手法を考えている。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（若手研究（B））「分割放送型ストリーミング配信における待ち時間を短縮するスケジューリング技術の構築」（課題番号：26730059）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 25 年版,” 2013.
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/index.html>
- [2] R. Janakiraman, and M. Waldevogel, “Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast”, Proc. IEEE INFOCOM, pp.920-929, 2002.
- [3] D.L. Eager, and M.K. Verton, “Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand”, Proc. 4th Int. Workshop on Multimedia Information Systems (MIS '98), pp.18-32, 1998.
- [4] 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.
- [5] L.-S. Juhn, and L.M. Tseng, “Harmonic broadcasting for video-on-demand service”, IEEE Trans. Broadcasting, vol.43, no.3, pp.268-271, 1997.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa, “A Scheduling Method Considering Available Bandwidth in Selective Contents Broadcasting”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2007), 2007.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Y. Zhao, D.L. Eager, and M.K. Vernon, “Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media”, Proc. of IEEE INFOCOM, 2004.
- [15] 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.
- [16] K.A. Hua, O. Bagouet, and D. Oger, “Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers”, Proc. of MMCN, 2003.
- [17] L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager, “Scalable Streaming for Heterogeneous Clients,” Proc. ACM Multimedia, pp.22-27, 2006.
- [18] 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.3, pp.667-676, 2008.