

再生単位となるデータサイズを考慮したスケジューリング手法

義久 智樹[†] 塚本 昌彦[†] 西尾章治郎[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

E-mail: †{yosihisa,tuka,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 近年、連続メディアデータの擬似オンデマンド型配信に関する研究が盛んに行われている。これらの研究では、クライアントがデータの受信要求を出してからデータの再生を開始するまでの待ち時間を短縮することを主な目的とし、受信したデータはすぐに再生できると想定している。しかし、多くの場合、受信したデータはすぐに再生できず、ある程度受信しなければ再生できない。例えば、MPEG-2 で符号化されたデータは、GOP (Group of Pictures) の受信完了までその GOP を再生できない。このように想定して既存手法を用いた場合、受信したデータがすぐに再生できると想定した場合よりも待ち時間が長くなる可能性がある。本稿では、再生の単位となるデータを受信完了してから再生できると想定した上で平均待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。提案手法は、連続メディアデータを分割して、分割したデータを再生開始時刻までに受信完了できるようにスケジューリングする。キーワード 放送型配信, 連続メディアデータ, スケジューリング, MPEG, GOP

A Scheduling Scheme Considering Data Sizes of Units for Playing

Tomoki YOSHIHISA[†], Masahiko TSUKAMOTO[†], and Shojiro NISHIO[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Yamadaoka 2-1, Suita-si, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: †{yosihisa,tuka,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract Recently, various schemes for delivering continuous media data with near-video-on-demand systems have been studied. These studies focus on reducing the waiting time of clients to start playing the data, and assume that clients are able to play the received data immediately after completing receiving it. However, in many cases, the received data cannot be played immediately; for example, a MPEG-2 encoded data can be played only after the client has received the GOP (Group of Pictures) it is included. In such cases, the waiting time can be longer than that in the case of assuming that the data can be played immediately. In this paper, we propose a scheme to reduce the waiting time considering such units for playing, i.e., assuming that fragments of the data for immediate play are given beforehand. In our scheme, a continuous media data are divided at such fragment boundaries of units for playing. By producing the broadcast schedules so that clients finish receiving each fragment before the time to play each fragment, the waiting time is reduced.

Key words Broadcast System, Continuous Media Data, Scheduling, MPEG, GOP

1. はじめに

近年普及しているデジタル放送網を用い、音楽や映画といった連続メディアデータを擬似オンデマンド型で配信する研究が盛んに行われている [1] ~ [3], [5], [7] ~ [18]。擬似オンデマンド型のシステムは、サーバが複数のチャンネルを用い、それぞれのチャンネルで周期的にデータを繰り返して放送するため、クライアントの数が増加してもシステムの負荷が大きく変わらないという利点があるが、クライアントは必要なデータが放送されるまで待たなければならない。また、連続メディアデータを配信

する際には、データを最後まで途切れずに再生できることが重要になるため、従来研究ではこの条件を考慮したうえで、クライアントの平均待ち時間を短縮している。

従来の研究では、受信したデータは即座に再生できると想定して、データを等分割するといったように、連続メディアデータを既定のデータサイズに分割し、初めの方を頻繁に放送することで平均待ち時間を短縮している。しかし、多くの場合、受信したデータは即座に再生できず、再生の単位となるデータを受信完了しなければ再生できない。例えば、MPEG-2 で符号化されたデータは GOP (Group of Pictures) ごとに再生可能

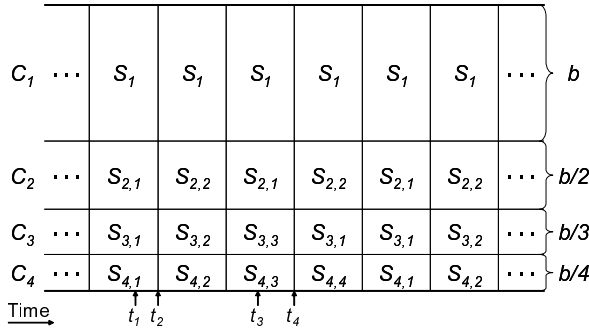


図 1 HB 法の放送スケジュール ($N = 4$)

Fig. 1 A broadcast schedule of the HB scheme ($N = 4$).

なため、GOP の受信完了までその GOP を再生できない [6]。再生単位のデータを受信完了してから再生できると想定した場合には、受信したデータが即座に再生できると想定した場合よりも平均待ち時間が長くなる可能性がある。

そこで、本稿では、再生単位となるデータサイズを考慮したスケジューリング手法を提案する。提案手法は、再生単位となるデータサイズごとにデータを分割し、分割したデータを再生開始時刻までに受信完了できるようにスケジューリングして平均待ち時間を短縮する。提案手法では、論理的なチャンネルを複数個使用するが、使用するチャンネルの数は少ないほど提案手法の導入が容易になると考えられるため、本稿では、使用するチャンネルの数を制限した場合の評価を行う。

以下、2 章では、関連研究を述べ、3 章では提案手法について説明する。4 章では、使用できるチャンネルの数の制限を設けたうえで提案手法の評価を行い、5 章で議論を行う。最後に 6 章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

擬似オンデマンド型の放送で連続メディアデータを配信する場合に、クライアントが受信要求を出してから、データの再生を開始するまでの平均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、データの受信開始と同時にデータを再生できると想定している。

HB (Harmonic Broadcasting) 法 [8] 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、 S_1, \dots, S_N で表す。さらに S_i ($i = 1, \dots, N$) を i 個のサブセグメントに分割し、サブセグメントを $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ で表す。セグメントやサブセグメントは受信開始と同時に再生でき、また、これらのデータは初めから受信しなければならず、途中から受信できない。 N 個のチャンネル C_1, \dots, C_N を用い、 C_i の帯域幅を b/i とする。ここで、 b は連続メディアデータの再生レートであり、例えば、MPEG-2 で符号化された 5 Mbps の連続メディアデータを放送する場合には、 $b = 5$ Mbps となる。 C_i で $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ を繰り返し放送すると、 C_1 で S_1 が頻りに放送されるため、クライアントの平均待ち時間を短縮できる。例えば、 $N = 4$ の HB 法の放送スケジュールは図 1 のようになる。

HB 法では、 S_1 の受信開始と同時に再生を開始すると、最後

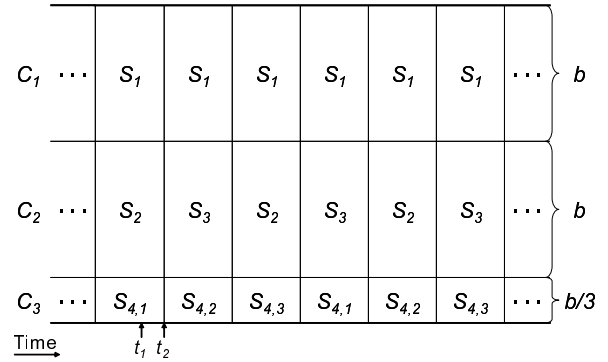


図 2 CHB 法の放送スケジュール ($N = 4$)

Fig. 2 A broadcast schedule of the CHB scheme ($N = 4$).

まで途切れずに再生できないという問題がある。例えば、図 1 の時刻 t_1 で受信要求を出し、 t_2 で S_1 の受信と同時に再生を開始すると、 $S_{2,1}$ の再生終了時刻は t_3 となるが、 $S_{2,1}$ の受信完了時刻は t_4 となるため、 $S_{2,1}$ が再生までに受信できないことがわかる。この問題を考慮し、 S_1 の受信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手法として、CHB (Cautious Harmonic Broadcasting) 法 [13] が提案されている。

CHB 法では、 S_j ($j = 4, \dots, N$) を $j - 1$ 個のサブセグメント $S_{j,1}, \dots, S_{j,j-1}$ に分割し、 $N - 1$ 個のチャンネルを用いる。 C_1 および C_2 の帯域幅を b とし、 C_k ($k = 3, \dots, N - 1$) の帯域幅を b/k とする。 C_1 で S_1 、 C_2 で S_2 と S_3 、 C_k で $S_{k+1,1}, \dots, S_{k+1,k}$ を順番に繰り返し放送する。こうすることで、 S_k の再生開始時刻までに S_k を受信完了できるため、 S_1 の受信開始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。ただし、同じ分割数では HB 法よりも使用する帯域幅は大きくなる。例えば、 $N = 4$ の CHB 法の放送スケジュールは図 2 のようになる。

本稿では、データの受信開始と同時にデータを再生できると想定せず、再生単位となるデータサイズを受信完了してからそのデータを再生できると想定する。

3. 提案手法

再生単位となるデータサイズを考慮してクライアントの平均待ち時間を短縮するスケジューリング手法として AHB (Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法を提案する。AHB 法は HB 法を拡張した手法で、分割したデータを再生開始時刻までに配信できるように各チャンネルの帯域幅を調整するという HB 法のアイデアを利用し、再生単位となるデータサイズごとにデータをセグメントに分割し、セグメントをスケジューリングする。

3.1 想定環境

以下のような環境を想定する。

- 連続メディアデータは、受信開始と同時に再生できず、再生単位となるデータサイズだけ受信しなければ再生できない。
- 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周期的に繰り返し放送する。

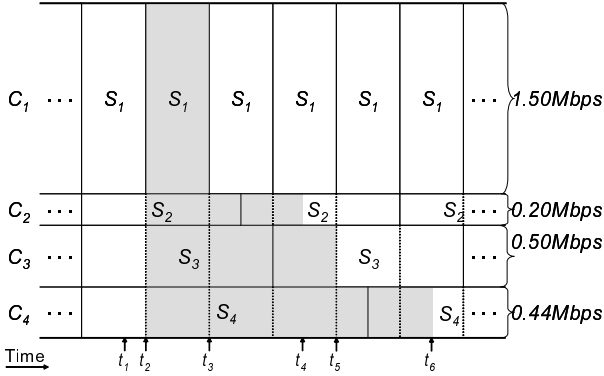


図3 AHB法の放送スケジュール例

Fig.3 An example of broadcast schedule of the AHB scheme.

- 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。
- クライアントはデータの受信に十分な容量のバッファを持つ。
- クライアントは放送されているデータを常に受信せず、ユーザが受信要求を出してから受信を開始する。

このような環境として、例えば、MPEG-2で符号化された動画データを衛星デジタル放送で配信する場合が考えられる。

3.2 スケジューリング手順

連続メディアデータの再生時間を D 、再生中の再生レートは一定で r とする。連続メディアデータの再生単位となるデータサイズを初めから順に a_1, \dots, a_N とし、このサイズの N 個のセグメント S_1, \dots, S_N に分割する。 S_i ($i = 1, \dots, N$) の再生時間 p_i は a_i/r となり、 $D = p_1 + \dots + p_N = (a_1 + \dots + a_N)/r$ となる。以下の手順に従って放送スケジュールを作成する。

- (1) 連続メディアデータをデータサイズが a_1, \dots, a_N の N 個のセグメント S_1, \dots, S_N に分割する。
- (2) N 個のチャンネル C_1, \dots, C_N を用い、 C_1 の帯域幅を b_1 、 C_j ($j = 2, \dots, N$) の帯域幅 b_j を以下の式で与える。

$$b_j = \frac{a_j}{\frac{a_1}{b_1} + p_1 + \dots + p_{j-1}} \quad (1)$$

- (3) C_i で S_i を繰り返し放送する。ただし、セグメントは途中から受信できないため、 S_1 と同期して受信できるように S_j を S_1 の放送間隔と同じ間隔で放送できる幾つかのサブセグメントに分割して放送する。

b_1 の値は使用できる帯域幅に合わせて調整する。帯域幅を式(1)で与えることで、 S_j の再生開始時刻までに S_j を受信完了できる。例えば $r = 1\text{Mbps}$ 、 $b_1 = 1.5\text{Mbps}$ 、 $a_1 = 375\text{k}$ バイト、 $a_2 = 125\text{k}$ バイト、 $a_3 = 375\text{k}$ バイト、 $a_4 = 500\text{k}$ バイトの AHB 法の放送スケジュールは図3のようになる。点線がサブセグメントの区切りを示し、灰色の部分は t_1 で受信要求を出す場合に受信するデータを示す。

3.3 導入方法

連続メディアデータ配信者は再生単位となるデータサイズごとに連続メディアデータを分割し、使用できる帯域幅に合わせて b_1 を調整して、AHB 法で作成した放送スケジュールに従ってデータを繰り返し放送する。セグメントを放送する際、セグ

メントの番号がわかるように、これらの情報をデータの初めに付加する。付加情報のデータサイズはセグメントのデータサイズに比べて非常に小さいと考え、本稿では付加情報の放送にかかる時間は無視する。

ユーザがクライアントに連続メディアデータの受信要求を出すと、クライアントは放送されている連続メディアデータの中から、指定された連続メディアデータの受信を開始し、その連続メディアデータの S_1 の受信完了と同時に再生を開始する。再生中にも放送されているデータを受信し、バッファに保存する。 S_i ($i = 2, \dots, N$) のサブセグメントをすべて受信すると、それらを即座に分割前の順番通りに結合して S_i を再生できるようにする。 S_{i-1} の再生終了後、バッファにある結合された S_i を続けて再生する。こうすることで、クライアントは連続メディアデータを最後まで途切れずに再生できる。例えば、図3において、時刻 t_1 で受信要求を出し、クライアントが t_2 で S_1 の受信を開始し、 t_3 で S_1 の受信完了と同時に再生を開始する場合を考える。 $b_1 = 1.5\text{Mbps}$ のため、 S_1 の再生時間は放送にかかる時間より長く、 t_4 で S_1 の再生を終了する。 t_4 に S_2 を受信完了するため、 S_1 の再生終了後、続けて S_2 を再生できる。 S_2 の再生終了時刻 t_5 には S_3 を受信完了しており、 S_3 再生終了時刻 t_6 においても、 S_4 を受信完了しているため、途切れずに最後まで再生できる。

3.4 途切れない再生

AHB 法で作成した放送スケジュールでは、クライアントは S_1 の受信完了と同時に S_1 の再生を開始しても最後まで途切れずに再生できる。この理由を以下に示す。

クライアントが S_1 の受信開始から a_1/b_1 後に S_1 を受信完了し、再生を開始すると、 S_1 の再生開始から $p_1 + \dots + p_{i-1}$ 後に S_i ($i = 2, \dots, N$) の再生を開始することになる。すなわち、受信開始から S_i の再生開始まで $a_1/b_1 + p_1 + \dots + p_{i-1}$ がかかる。一方、 S_i を放送する C_i の帯域幅を式(1)で与えると、 S_i は $a_1/b_1 + p_1 + \dots + p_{i-1}$ 間隔で放送され、クライアントは S_1 の受信開始と同時に S_i のサブセグメントの受信を開始でき、 S_i の受信に $a_1/b_1 + p_1 + \dots + p_{i-1}$ だけかかる。よって、 S_i の再生開始時刻に S_i を受信完了できるため、クライアントは連続メディアデータを最後まで途切れずに再生できる。

3.5 平均待ち時間

3.4 節で述べたようにクライアントは S_1 の受信完了と同時に S_1 の再生を開始しても最後まで途切れずに再生できるため、クライアントが連続メディアデータの再生を開始するまでの最大の待ち時間は S_1 の放送開始直後にユーザがクライアントに受信要求を出してから S_1 を受信完了するまでの時間に等しく、 $2a_1/b_1$ で与えられる。最小の待ち時間は S_1 の放送開始直前にユーザがクライアントに受信要求を出す場合であり、 a_1/b_1 となる。待ち時間は一様に分布しているため、これらの平均をとることで、平均待ち時間 W は

$$W = \frac{3a_1}{2b_1} \quad (2)$$

となる。

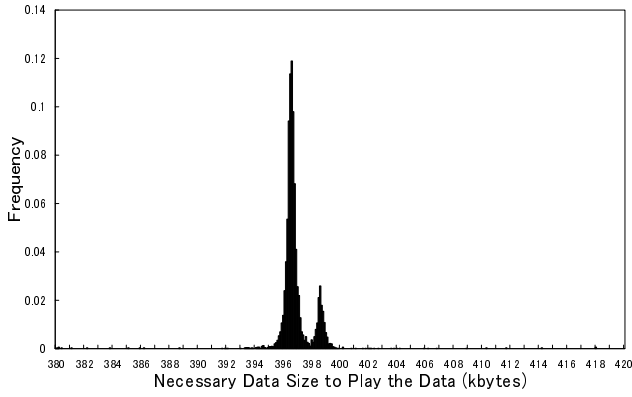


図 4 再生単位となるデータサイズのヒストグラム

Fig. 4 The histogram of necessary data size to play the data.

3.6 必要となる帯域幅

AHB 法を用いて連続メディアデータを放送する場合に必要な帯域幅 B は

$$\begin{aligned}
 B &= \sum_{i=1}^N b_i = b_1 + \sum_{i=2}^N \frac{a_i}{\frac{a_1}{b_1} + p_1 + \dots + p_{i-1}} \\
 &= b_1 + \sum_{i=2}^N \frac{a_i b_1 r}{a_1 r + (a_1 + \dots + a_{i-1}) b_1} \quad (3)
 \end{aligned}$$

となる。

3.7 既存手法との比較

AHB 法の平均待ち時間と HB や CHB 法の平均待ち時間を比較するために、60 分の連続メディアデータを MPEG-2 で符号化し、GOP ごとに再生できるため、 a_1, \dots, a_N を GOP のデータサイズとした。衛星デジタル放送の動画配信で一般的な 5 Mbps の再生レート [4] ($r = 5\text{Mbps}$) で符号化した場合の、再生単位となるデータサイズのヒストグラムを図 4 に示す。データサイズの総和は 2349M バイトである。HB 法や CHB 法は、データの受信開始と同時にデータを再生できると想定しているため、ある程度受信しなければ再生できない場合に、再生単位であるデータをそのデータの再生開始時刻までに受信完了できない可能性がある。このため、 S_1 を受信完了しても、再生開始時刻までに必要なデータを受信完了できるように待つ必要があり、データの受信開始と同時にデータを再生できると想定した場合とは異なる待ち時間となる。例えば、 $a_1 = 375\text{k}$ バイト、 $a_2 = 125\text{k}$ バイト、 $a_3 = 375\text{k}$ バイト、 $a_4 = 500\text{k}$ バイトの場合、AHB 法では再生単位となるデータサイズ a_1, \dots, a_4 と合わせて S_1, \dots, S_4 に分割するが、HB 法では、 a_1, \dots, a_4 とは関係なく S'_1, \dots, S'_4 に分割し、図 5 に示すように放送する。時刻 t_1 で受信を開始したクライアントが t_2 で S_1 の受信完了 (S'_2 に含まれる S_1 の後の部分は、 C_2 で受信済み) と同時に再生を開始する場合、再生が途切れないためには S_4 を t_3 までに受信する必要があるが、 t_4 で S'_4 を受信完了するため、 S_4 の再生開始時刻までに S_4 を受信完了できない。この場合、 S'_1 を受信完了してから $t_4 - t_3$ 後に再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できる。そこで、HB 法や CHB 法で最後まで途切れずに再生できるまで待つから再生を開始する場合の

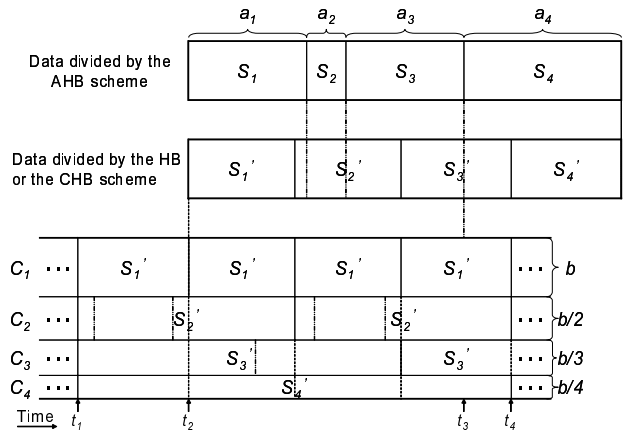


図 5 AHB 法と HB 法、CHB 法のデータの分割例

Fig. 5 An example of data division by the AHB scheme, the HB scheme and the CHB scheme.

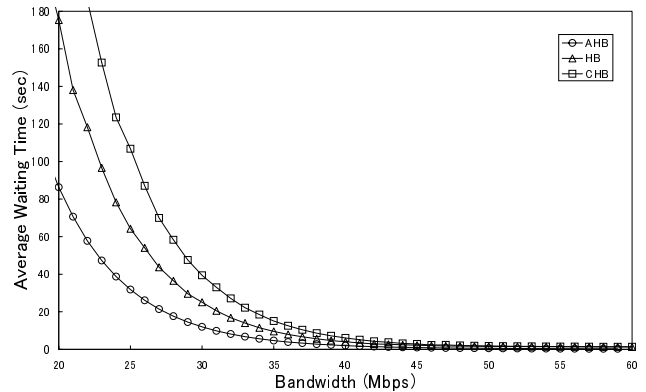


図 6 AHB 法や HB 法、CHB 法の平均待ち時間

Fig. 6 The average waiting time of the AHB scheme, the HB scheme and the CHB scheme.

平均待ち時間と比較を行った。結果を図 6 に示す。横軸は使用する帯域幅、縦軸は平均待ち時間を示す。

AHB 法のパラメータ b_1 と、HB 法や CHB 法の連続メディアデータの分割数は、使用できる帯域幅に合わせて調整した。このグラフより、HB 法や CHB 法では、再生単位となるデータサイズを考慮しないため、AHB 法に比べて平均待ち時間が長くなるのがわかる。また、HB 法の平均待ち時間が CHB 法の平均待ち時間より短い。これは、同じ帯域幅では HB 法の分割数が CHB 法の分割数より大きく、 S_1 の放送間隔が短くなり、頻りに放送されるためと考えられる。

MPEG-2 で符号化された再生レートが 5 Mbps の連続メディアデータを 24 Mbps の衛星デジタル網で放送する場合、AHB 法では平均待ち時間は 47.3 秒だが、HB 法では 78.3 秒、CHB 法では 123 秒になることがわかる。衛星デジタル放送における動画配信の帯域幅が 24 Mbps であり、現在でも再生レートの数倍の帯域幅を用いて放送開始時刻をずらして放送する場合があるため、 $r = 5\text{Mbps}$ の動画を 24 Mbps の帯域幅を用いて放送することは現実的といえる [4]。

4. 評価

AHB 法では再生単位となるデータサイズごとに連続メディアデータをセグメントに分割し、一つのセグメントを一つのチャンネルで繰り返して放送する．このため、セグメントと同じ数のチャンネルを同時に使用する必要がある．例えば、3.7 節で用いたデータでは、5994 個のセグメントがあるため、5994 個のチャンネルを同時に使用する必要がある．複数のチャンネルを同時に使用するために、周波数多重方式や時分割多重方式を用いてデータを放送することが考えられるが、使用するチャンネルの数は少ない方が提案手法の導入は容易になる．MPEG-2 で既に符号化を行ったデータのように、セグメントのデータサイズやセグメントの数を変更できない場合には、データの分割に関する制約があるために、同時に使用するチャンネルの数を変更できないが、このような制約がない場合には、符号化する際に再生単位となるセグメントのデータサイズを調整し、セグメントの数を減らすことで、同時に使用するチャンネルの数は減らせる．そこで、本章では、同時に使用できるチャンネルの数に制限があり、非常に少ない数のチャンネルを使用する場合を想定して AHB 法の評価を行う．

4.1 2 個のチャンネルを使用する場合

同時に使用できるチャンネルの数に制限がある場合には、セグメントの数が制限されるため、セグメントのデータサイズをある程度調整して平均待ち時間が最短になるように再生単位を構成することが考えられる．本節では、この再生単位となるデータサイズが及ぼす平均待ち時間への影響を評価する．

2 個のチャンネルを使用する場合を考え ($N = 2$)、 $r = 5$ Mbps の 60 分の連続メディアデータを 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合を想定し、再生単位となるデータサイズの総和を一定にして平均待ち時間を算出した．この一定値は 3.7 節で用いたデータに合わせて 2349M バイトとした．例えば、 $a_1 = 1000$ M バイトの場合、 $a_2 = 1349$ M バイトとなる． a_1 のデータサイズを変更した場合の AHB、HB、CHB 法の平均待ち時間を図 7 に示す．AHB 法で使用するチャンネルの数を制限した場合の再生単位となるデータサイズの平均待ち時間への影響を評価するため、HB、CHB 法で使用するチャンネルの数は制限していない．横軸は a_1 、縦軸は平均待ち時間とした．

このグラフより、 $a_1 = 530$ M バイトのとき、平均待ち時間が最小になることがわかる．これは、 a_1 が小さすぎる場合には、 S_1 の再生時間が短く、 S_1 の再生終了までに S_2 を受信完了できるように C_2 の帯域幅が大きくなり、 C_1 の帯域幅が小さくなるため、 S_1 の受信完了までの時間が長くなるためである．また、 a_1 が大きすぎる場合には、 a_1 の受信完了までの待ち時間が長くなるため、平均待ち時間は長くなる．HB、CHB 法では、平均待ち時間の変化が激しいことが分かる．これは、データを分割する際の境界部分と a_1 と a_2 の境界部分が一致した場合に急激に平均待ち時間が短くなるためである．例えば HB 法では 24Mbps の帯域幅を用いるためにデータを 67 等分して放送しており、 a_1 が $2349\text{M}/67 = 35\text{M}$ バイトの倍数のときに平均待ち時間が急激に短くなっている．CHB 法では 24Mbps の帯

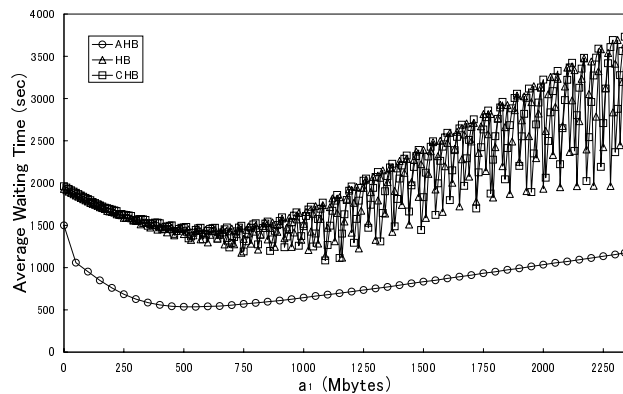


図 7 2 個のチャンネルを使用する場合の平均待ち時間

Fig. 7 The average waiting time in the case of using 2 channels.

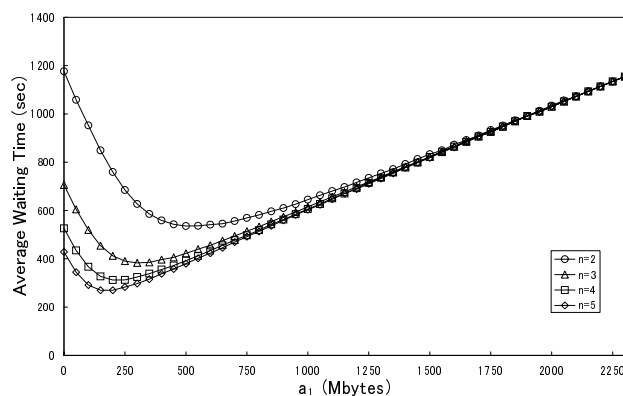


図 8 a_1 が及ぼす平均待ち時間への影響

Fig. 8 The relationship between the data size of a_1 and average waiting time.

域幅を用いるためにデータを 41 等分して放送しており、 a_1 が $2349\text{M}/41 = 57\text{M}$ バイトの倍数のときに平均待ち時間が急激に短くなっている．HB、CHB 法では、使用するチャンネルの数が AHB 法よりも多いにもかかわらず、平均待ち時間は AHB 法より長い．

4.2 再生単位となるデータサイズが及ぼす平均待ち時間への影響

$N = 2, \dots, 5$ の場合に a_1 を変化させ、 $a_2 = \dots = a_N = a$ として平均待ち時間を算出した． a は総和が 2349M バイトになるように調整した．例えば、 $a_1 = 1000$ M バイトの場合、 $N = 2$ では $a_2 = 1349$ M バイトとなり、 $N = 3$ では $a_2 = a_3 = 624.5$ M バイトとなる．4.1 節と同じく、 $r = 5$ Mbps の 60 分の連続メディアデータを 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合を想定した． a_1 のデータサイズを変更した場合の AHB 法の平均待ち時間を図 8 に示す．横軸は a_1 、縦軸は平均待ち時間とした．このグラフより、 a_1 の値が等しくとも、 N が大きいほど平均待ち時間が短いことがわかる．これは、 N が大きいほど a_1 以外のセグメントの放送に長い時間を費やして放送できるため、 b_1 が大きくなるためである．例えば、 $a_1 = 1000$ M バイトの場合、 $N = 2$ では $b_1 = 18.6$ Mbps となり、平均待ち時間は $3 \times 1000\text{M} \times 8 / (2 \times 18.6\text{M}) = 645$ 秒

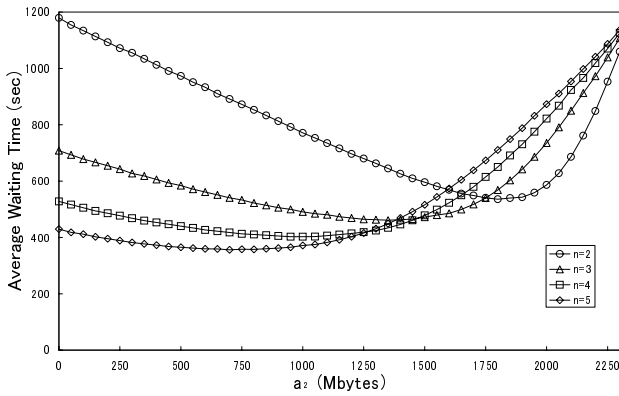


図 9 a_2 が及ぼす平均待ち時間への影響

Fig. 9 The relationship between the data size of a_2 and average waiting time.

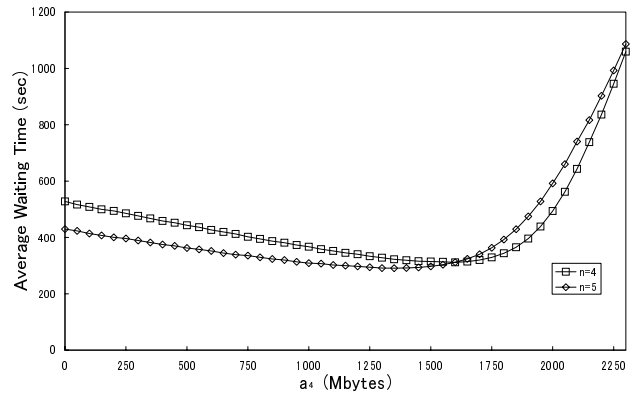


図 11 a_4 が及ぼす平均待ち時間への影響

Fig. 11 The relationship between the data size of a_4 and average waiting time.

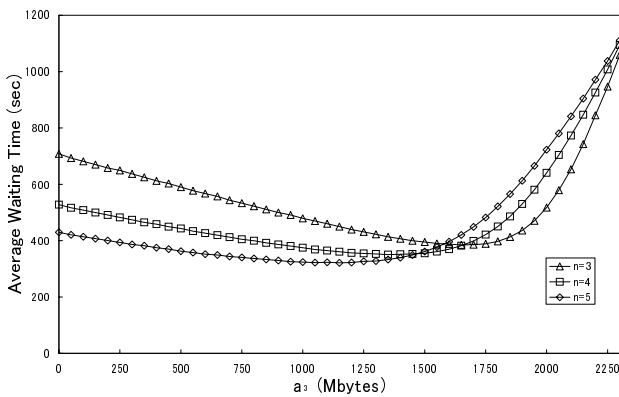


図 10 a_3 が及ぼす平均待ち時間への影響

Fig. 10 The relationship between the data size of a_3 and average waiting time.

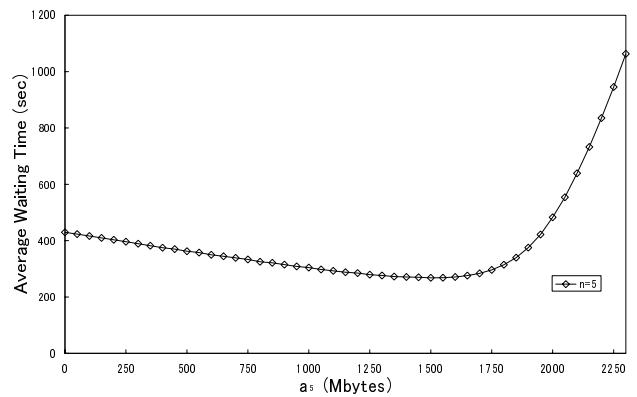


図 12 a_5 が及ぼす平均待ち時間への影響

Fig. 12 The relationship between the data size of a_5 and average waiting time.

となるが、 $N = 5$ では $b_1 = 19.9\text{Mbps}$ となり、平均待ち時間は $3 \times 1000\text{M} \times 8 / (2 \times 19.9\text{M}) = 603$ 秒となる。

また、 a_2 を変化させ、 $a_1 = a_3 = \dots = a_N = a$ として平均待ち時間を算出した。 a は総和が 2349M バイトになるように調整した。 a_2 のデータサイズを変更した場合の AHB 法の平均待ち時間を図 9 に示す。このグラフより、 N が大きいほど平均待ち時間の最小値は短いことがわかる。例えば、 $N = 2$ では、 $a_2 = 1800\text{M}$ バイトの場合に平均待ち時間は最小値 536 秒になるが、 $N = 5$ では、 $a_2 = 700\text{M}$ バイトの場合に平均待ち時間は最小値 356 秒になる。これは、 N が大きいほど a_1 が小さくなり、先程と同じ理由で b_1 が大きくなるためである。例えば、平均待ち時間が最小になる場合、 $N = 2$ では、 $a_1 = 549\text{M}$ バイト、 $b_1 = 12.3\text{Mbps}$ だが、 $N = 5$ では、 $a_1 = 412\text{M}$ バイト、 $b_1 = 13.9\text{Mbps}$ になる。

同じように、 a_3, a_4, a_5 を変化させ、その他のセグメントのデータサイズは等しいとして平均待ち時間を算出した。 a_3 を変更した場合の AHB 法の平均待ち時間を図 10、 a_4 の場合を図 11、 a_5 の場合を図 12 に示す。これらのグラフにおいても、 N が大きいほど平均待ち時間の最小値が小さくなるという同様の傾向が見られる。

a_1, \dots, a_5 の変化が及ぼす平均待ち時間への影響を評価す

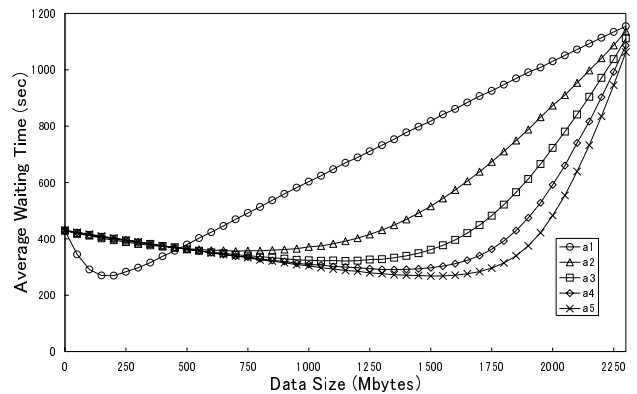


図 13 再生単位となるデータサイズが及ぼす平均待ち時間への影響 ($N = 5$)

Fig. 13 The relationship between the data sizes of reproductive unit and average waiting time ($N = 5$).

るために、図 8~12 において $N = 5$ の場合の平均待ち時間をまとめて図 13 に示す。このグラフより、 a_1 を変化させた場合の平均待ち時間の最小値が最も小さくなることがわかる。これは、各チャネルの帯域幅 b_i ($i = 2, \dots, 5$) が式 (1) で与えられるように、 a_1 がすべてのチャネルの帯域幅に影響を及ぼすためと考えられる。1 つのセグメントのデータサイズを変更し

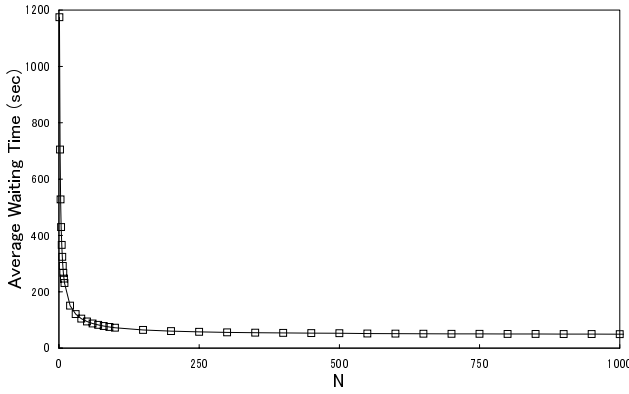


図 14 セグメントの数と平均待ち時間

Fig. 14 The average waiting time and the number of segments.

て、他のセグメントのデータサイズはすべて等しいとする場合には、 a_1 を変更する方が平均待ち時間を短縮できることがわかる。以上より、使用するチャンネルの数が非常に少ない場合には、再生単位となるデータサイズが平均待ち時間に影響を与えられと考える。

4.3 セグメントの数と平均待ち時間

$r = 5$ Mbps の連続メディアデータを 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合に、使用するチャンネルの数を変更して平均待ち時間を算出した。再生単位となるデータサイズはすべて等しい ($a_1 = \dots = a_N = a$) とし、 a は総和が 2349M バイトになるようにした。例えば、 $N = 2$ の場合、 $a = 1174.5$ M バイトとなり、 $N = 5$ の場合、 $a = 469.8$ M バイトとなる。使用するチャンネルの数を変更した場合の平均待ち時間を図 14 に示す。横軸は N とし、縦軸は平均待ち時間とした。このグラフより、 N の値が比較的小さい場合には平均待ち時間が急激に減少しているが、比較的大きい場合には減少量が小さいことがわかる。例えば、 $N = 1$ では、平均待ち時間は 1175 秒、 $N = 50$ では 94 秒と、1081 秒減少しているが、 $N = 100$ では 72 秒と、22 秒しか減少していない。これは、 a_1 が N に反比例し、式(2)で与えられる平均待ち時間が N に反比例するためである。複数の論理チャンネルを使用するために時分割多重方式を用いる場合には数千、周波数多重方式を用いる場合には数十のチャンネルを使用することが現実的と考える。

5. 議 論

AHB 法は、再生単位となるデータサイズを考慮して平均待ち時間を短縮するスケジュールを作成する。 b_1 の値を変更することで、使用できる帯域幅に合わせて必要となる帯域幅を調整できる。

5.1 既存手法との比較

図 6 より、既存の HB 法や CHB 法と比較した結果、AHB 法の平均待ち時間が短いことがわかる。また、図 7 より、使用するチャンネルの数を少なくすることを考慮した場合にも AHB 法の平均待ち時間が短いことがわかる。このように、再生単位となるデータサイズを考慮せず、受信したデータはすぐに再生できると想定している手法では、平均待ち時間が AHB 法より

も長くなると考えられる。

5.2 平均待ち時間の解析

4 章で示したように、AHB 法の平均待ち時間は a_1, \dots, a_N に依存するため、式(1)と式(2)から平均待ち時間を最短にする a_1, \dots, a_N の値を算出することを考える。式(1)と式(2)には b_1 が含まれているため、 b_1 を消去すると、

$$B = \frac{3a_1}{2W} + \sum_{i=2}^N \frac{a_i r}{a_1 r + \frac{3a_1}{2W}(a_1 + \dots + a_{i-1})} \times \frac{3a_1}{2W}$$

$$= \frac{3a_1}{2W} + \sum_{i=2}^N \frac{3a_i r}{2W r + 3(a_1 + \dots + a_{i-1})} \quad (4)$$

となる。式(4)から平均待ち時間を最短にする a_1, \dots, a_N の値を算出することは、 N が一意に定まらないため困難である。しかし、 $N = 2$ の場合については比較的容易に算出できるため、 $N = 2$ として解析を行う。

$N = 2$ の場合には、 $s = a_1 + a_2 = Dr$ とすると、 $a_2 = s - a_1$ となるため、

$$\frac{dW}{da_1} = \frac{\frac{\partial B}{\partial W}}{\frac{\partial B}{\partial a_1}}$$

$$= \frac{3W(3a_1^2 + 4rWa_1 - 2srW^2)}{-2(9a_1^3 + 12rWa_1^2 + 2r^2W^2a_1 + 2sr^2W)} \quad (5)$$

これより、 W を最小にする a_1 の値は、分子が 0 になる場合であり、 W の最小値が W_{min} のとき

$$\frac{-4rW_{min} + \sqrt{16r^2W_{min}^2 + 24srW_{min}}}{6} \quad (6)$$

と求まる。例えば、図 8 において $N = 2$ の場合、平均待ち時間の最小値は 538 秒であるが、この時の a_1 は 535M バイトと分かる。

6. 結 論

MPEG-2 で符号化されたデータのように、多くの場合、受信したデータは即座に再生できず、再生の単位となるデータを受信完了しなければ再生できない。本稿では、MPEG-2 における GOP のデータサイズのような、再生単位となるデータサイズを考慮して、クライアントが連続メディアデータの受信要求を出してからデータの再生を開始するまでの平均待ち時間を短縮する手法を提案した。提案手法 AHB 法は、再生単位ごとにデータをセグメントに分割し、複数のチャンネルを用い、一つのセグメントを一つのチャンネルで繰り返して放送する。このため、セグメントと同じ数のチャンネルを同時に使用する必要がある。しかし、使用するチャンネルの数は少ない方が導入は容易になると考えられたため、使用するチャンネルの数に制限があり、非常に少ない数のチャンネルを使用する場合を想定して評価を行った。

今後の課題として、 $N = 3$ 以上の場合の解析や、セグメントの付加情報等のヘッダを考慮したスケジューリング手法が考えられる。

謝 辞

本研究は、文部科学省科学技術振興調整費「モバイル環境向 P2P 型情報共有基盤の確立」、文部科学省特定領域研究(C)「Grid 技術を適応した新しい研究手法とデータ管理技術の研究」(課題番号:13224059)、および文部科学省 21 世紀 COE プログラム(研究拠点形成費補助金)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] C. C. Aggarwal, J. L. Wolf, and P. S. Yu, "A permutation-based pyramid broadcasting scheme for video-on-demand system," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems, pp. 118-126, 1996.
- [2] K. C. Almeroth and M. H. Ammar, "On the use of multicast delivery to provide a scalable and interactive video-on-demand service," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, pp. 1110-1122, 1996.
- [3] D. L. Eager and M. K. Vernon, "Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand," Proc. of the 4th Int. Workshop on Multimedia Information Systems, pp. 18-32, 1998.
- [4] 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.
- [5] K. A. Hua and S. Sheu, "Skyscraper broadcasting: a new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems," Proc. of the ACM SIGCOMM, pp. 89-100, 1997.
- [6] 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, p. 98, 1997.
- [7] R. Janakiraman and M. Waldvogel, "Fuzzycast: efficient video-on-demand over multicast," Proc. of the IEEE Infocom, 2002.
- [8] L.-S. Juhn and L. M. Tseng, "Harmonic broadcasting for video-on-demand service," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 43, No. 3, pp. 268-271, 1997.
- [9] L.-S. Juhn and L. M. Tseng, "Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 44, No. 1, pp. 100-105, 1998.
- [10] J.-F. Paris, "A simple low-bandwidth broadcasting protocol for video-on-demand," Proc. of the Int. Conf. on Computer Communications and Networks, pp. 118-123, 1999.
- [11] J.-F. Paris, "An interactive broadcasting protocol for video-on-demand," Proc. of the IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference, pp. 347-353, 2001.
- [12] J.-F. Paris, S. W. Carter, and D. D. E. Long, "A hybrid broadcasting protocol for video on demand," Proc. of the Multimedia Computing and Networking Conference, pp. 317-326, 1999.
- [13] J.-F. Paris, S. W. Carter and D. D. E. Long, "Efficient broadcasting protocols for video on demand," Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, pp. 127-132, 1998.
- [14] J.-F. Paris, D. D. E. Long, and P. E. Mantey, "Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand," Proc. of the ACM Int. Multimedia Conf., pp. 189-197, 1999.
- [15] S. Viswanathan and T. Imilewski, "Pyramid broadcasting for video on demand service," Proc. of the SPIE Multimedia Computing and Networking Conf., pp. 66-77, 1995.
- [16] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "単一チャンネルを用いた連続メディア放送のスケジューリング手法," 情報処理学会 放送コンピューティング研究グループ第 1 回研究会 研究報告, pp. 74-81, 2002.
- [17] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "放送時間と再生時間を考慮した連続メディア放送のスケジューリング手法," 電子情報通信学会データ工学ワークショップ (DEWS 2002) 論文集, 2002.
- [18] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "連続メディアデータ放送にお

ける単一チャンネルを用いた複数データのスケジューリング手法," 情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2002) 論文集, Vol.2002, No.9, pp. 511-514, 2002.