

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送における 放送帯域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 1-5

^{††} 神戸大学工学部電気電子工学科 〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

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

あらまし 近年の放送のデジタル化にともない、映像や音声といった連続メディアデータを放送型で配信する連続メディアデータ放送に対する注目が高まっている。連続メディアデータ放送では、一般に、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、クライアントがあらかじめデータの初めの部分を受信してプリフェッチを行うことで、待ち時間のない再生を可能にする幾つかの手法が提案されている。しかし、これらの手法では、放送帯域に制限がないため、実用性に乏しい。本稿では、プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、サーバ側のスケジューリングにより待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、データを幾つかの部分に分割し、クライアントがデータの再生中に残りの部分を受信できるようにスケジューリングして待ち時間を短縮する。

キーワード 放送型配信, 連続メディアデータ, プリフェッチ, ビデオオンデマンド, ストリーム

A Scheduling Method Considering Broadcast Bandwidth on Continuous Media Data Broadcasting with Prefetching

Tomoki YOSHIHISA[†], Masahiko TSUKAMOTO^{††}, and Shojiro NISHIO[†]

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

Yamadaoka 1-5, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

^{††} Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University Rokkodai-cho

1-1, Nada-ku, Kobe-shi, 657-8501 Japan

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

Abstract Due to the recent digitalization of broadcast systems, broadcasting continuous media data such as video and audio has attracted great attention. In continuous media data broadcasting, generally, clients have to wait until their desired data is broadcast. In some previous methods, clients avoid this waiting time by prefetching the data in advance. These methods do not set limit to the bandwidth. However, practical systems have limit to it. In this paper, we propose a scheduling method on continuous media data broadcasting with prefetching the data. Our proposed method reduces the waiting time under the condition that the system has limit to the broadcast bandwidth. By dividing the data into several segments and scheduling them so that clients can receive them before playing the segment, our proposed method reduces the waiting time.

Key words broadcast system, continuous media data, prefetching, video on demand, stream

1. まえがき

地上波デジタル放送や衛星放送といった近年のデジタル放送の普及とともに、映像や音声といった連続メディアデータの放送型で配信する連続メディアデータ放送に対する注目が高まっている。放送型配信では、一般に、サーバは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まとめてデータを配信できるため、クライアント数が多い場合に有効だが、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。一方、クライアントは連続メディアデータを最初から最後まで途切れなく再生できることが重要になり、この条件を考慮したうえでクライアントの待ち時間を短縮する様々な配信手法が提案されている [2], [3], [5] ~ [12]。

幾つかの手法では、クライアントはあらかじめデータの初めの部分を受信してプリフェッチを行う [5], [12]。プリフェッチを行うことで、待ち時間のない再生が可能になるが、途切れなく再生するために必要な帯域が大きくなる。このため、これらの手法では、データを幾つかの部分に分割し、クライアントがデータの再生中に残りの部分を受信できるように、サーバが分割されたデータをスケジューリングすることで、必要な帯域を削減している。しかし、変調方式やハードウェア構成といった理由から、一般に、放送帯域には制限がある。例えば、地上波デジタル放送では、システム構成の都合上、放送帯域は 23Mbps である。BS (Broadcast Satellite), CS (Communication Satellite) デジタル放送では 52Mbps である [13]。放送帯域に制限があるにも関わらず、既存手法では放送帯域に制限を設けていない。簡単な拡張で、放送帯域に制限を設けたうえでスケジューリングできるが、待ち時間が発生する。そこで、本稿では、プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、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、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、既存手法を拡張した手法よりも待ち時間を短縮する。以下 2. で関連研究について説明し、3. で提案手法を説明する。4. で提案手法の評価を行い、5. で考察を行う。最後に 6. で本稿をまとめる。

2. 関連研究

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、クライアントがデータを途切れなく再生するために必要な帯域を削減する手法が提案されている。手法の有効性を示すために、まず、データを分割せずに放送する場合 (単純繰り返し手法) を考える。単純繰り返し手法では、途切れなく再生するために、クライアントがプリフェッチしたデータを再生している間に残りのデータを全て受信する必要がある。例えば、クライアントが 60 分の映像データの初めの 1% をプリフェッチすると、プリフェッチした初めの 0.6 分を再生している間に残りのデータを受信する必要がある。データの再生レートが 5Mbps (MPEG2 [1]) の場合には、 $60 \times 0.99 \times 5\text{M}/0.6 = 495\text{Mbps}$ の放送帯域が必要になる。放送帯域を考慮する場合、地上波デジタル放送を想定した 23Mbps の帯域を用いて放送すると、残り

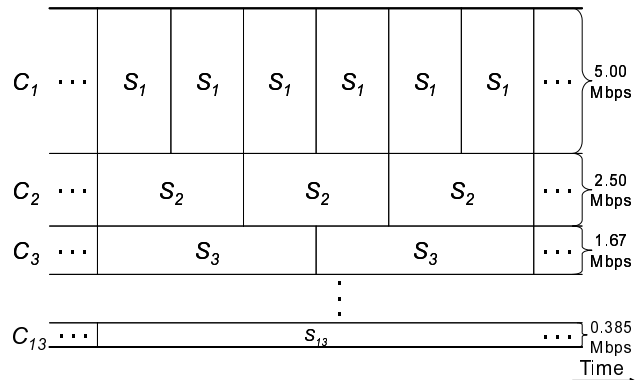


図 1 PHB-PP 法の放送スケジュールの例

Fig. 1 An example of broadcast schedule under the PHB-PP method.

のデータの放送には $60 \times 0.99 \times 5\text{M}/23\text{M} = 12.9$ 分かかるため、待ち時間は $12.9 - 0.6 = 12.3$ 分になる。

PHB-PP (PolyHarmonic Broadcasting protocol with Partial Preloading) 法 [5] では、プリフェッチするデータを m 個のセグメントに等分割し、残りのデータも各セグメントのデータサイズが等しくなるように S_1, \dots, S_n に分割する (説明の都合上、添え字は文献 [5] とは異なる)。 n はプリフェッチの割合と m から算出される。 n 個のチャンネル C_1, \dots, C_n を用い、 C_1 で S_1 , C_2 で S_2 といったように 1 個のチャンネルで 1 個のセグメントを繰り返して放送する。各チャンネルの帯域は、各セグメントの再生開始までに受信できるように計算式で求められる。例えば、初めの 7% をプリフェッチし、地上波デジタル放送を想定した 13 個のチャンネルを用いて放送する場合、 $m = 1$, $n = 13$ となる [4]。データの再生レートが 5Mbps の場合には、16Mbps の放送帯域が必要になる (図 1)。地上波デジタル放送で放送する場合、必要な帯域が 23Mbps 以下であるため、待ち時間はなしになる。1% のプリフェッチでは、14 個以上のチャンネルが必要になり、放送スケジュールが作成できないため、先程と異なり 7% のプリフェッチとした。

PHB-PP 法では、 m の値を大きくして必要な帯域を削減するほど使用チャンネル数が多くなり、システムが複雑になるという問題がある。MTB (Mayan Temple Broadcasting) 法 [5] は、必要な帯域が PHB 法より大きくなるものの、使用チャンネル数を抑えることができる。MTB 法では、プリフェッチしない残りのデータを、データサイズの異なる l 個のセグメントに分割して放送する。 l はプリフェッチの割合から算出され、各セグメントのデータサイズは、そのセグメントを再生開始までに受信できるように計算式で求められる。 l 個のチャンネル C_1, \dots, C_l を用いる。 C_1, \dots, C_{l-1} の帯域は等しく、 C_l の帯域は、クライアントが S_l を再生開始までに受信完了できるように計算式で求められる。例えば、5Mbps の 60 分のデータの初めの 1% をプリフェッチし、各チャンネルの帯域をデータの再生レートと等しくすると、7 個のチャンネルを用いることになる。この場合の放送スケジュールを図 2 に示す。必要な帯域は 32.8Mbps になり、単純繰り返し手法に比べて削減されていることが分かる。放送帯域を考慮するように拡張すると、23Mbps の帯域を用い

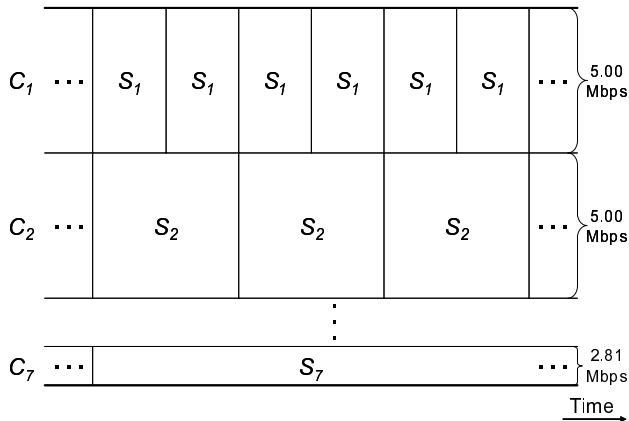


図2 MTB法の放送スケジュールの例

Fig. 2 An example of broadcast schedule under the MTB method.

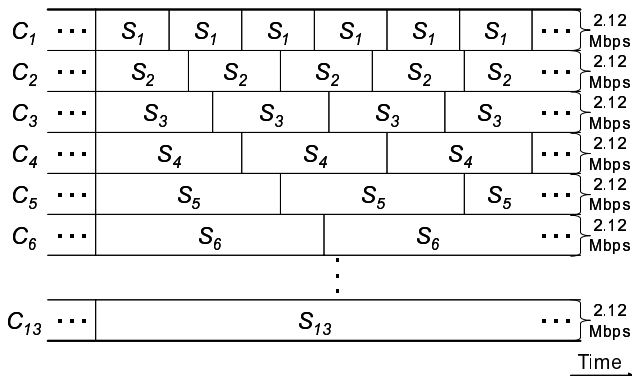


図3 AHB-P法の放送スケジュールの例

Fig. 3 An example of broadcast schedule under the AHB-P method.

て放送する場合、各チャンネルの帯域を $23/32.8 = 0.7$ 倍することになる。この場合、 S_7 を再生開始時刻までに受信完了できるまで待つ必要がある。データの再生開始から S_6 の再生終了まで 38.4 分かかり、データの受信開始から S_7 の受信完了まで 54.7 分かかるため、待ち時間は $54.7 - 38.4 = 16.3$ 分になる。

PHB-PP 法や MTB 法では、使用チャンネル数を考慮していないため、使用チャンネル数に制限がある場合には必要な帯域を効率的に削減できない。そこで、AHB-P (Asynchronous Harmonic Broadcasting with Prefetching) 法 [12] では、使用チャンネル数を考慮したうえで必要な帯域を削減している。AHB-P 法では、データを、データサイズの異なる k 個のセグメントに分割して放送する。 k は使用チャンネル数であり、各セグメントのデータサイズは、そのセグメントを再生開始までに受信できるように計算式で求められる。 k 個のチャンネル C_1, \dots, C_k を用いる。各チャンネルの帯域は、各チャンネルで放送されるセグメントを、クライアントが再生開始までに受信完了できるように計算式で求められる。例えば、5Mbps の 60 分のデータの初めの 1% をプリフェッチし、13 個のチャンネルを用いて放送する場合、27.6Mbps の放送帯域が必要になる。この場合の放送スケジュールを図 3 に示す。放送帯域を考慮するように拡張すると、23Mbps の帯域を用いて放送する場合、各チャンネルの帯域を $23/27.6 = 0.83$ 倍することになる。この場合、 S_{13} を再生開始時刻までに受信完了できるまで待つ必要があり、待ち時間は 8.4 分になる。

以上のように、必要な帯域を削減する手法が幾つか提案されているが、放送帯域を制限した手法はない。本論文は、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、既存手法を拡張した手法よりも待ち時間を短縮する。

3. 提案手法

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、待ち時間を短縮するスケジューリング手法 AHB-PB (AHB-P considering Bandwidth) を提案する。待ち時間とは、ユーザがデータの再生を要求してから、再生が開始されるまでの時間を意味する。AHB-PB 法は、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、既存手法を拡張した手法よりも待ち時間を短縮する。AHB-PB 法の導入方法やプリフェッチするデータの配信手法は AHB-P 法に基づいている [12]。AHB-P 法は、再生の単位や使用チャンネル数を考慮しており、実用的であるため、AHB-P 法に基づいた手法を提案した。

3.1 想定環境

CS や BS デジタル放送では、ユーザが好みの時間に映像を最初から最後まで途切れなく再生できるように、人気のある 1 作の映画をほぼ一日中繰り返して放送する場合がある。こういった放送形態は擬似オンデマンド型と呼ばれ、1 つの連続メディアデータを繰り返して放送することは現実的といえる。

提案手法の想定環境を箇条書きで示す。

- 放送帯域には制限がある。
 - 使用チャンネル数には制限がある。
 - 連続メディアデータは受信開始と同時に再生できず、再生の単位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。
 - クライアントはデータをプリフェッチする。
- 提案手法では、複数のコンテンツを放送でき、再生するコンテンツはユーザの嗜好によって異なる。したがって、すべてのデータをプリフェッチすると、データサイズが膨大になるため、一部のデータをプリフェッチする。このような環境として地上波デジタル放送が挙げられる。地上波デジタル放送の放送帯域は 23Mbps であり、13 個までのチャンネルを使用して、MPEG2 (5Mbps) で符号化された連続メディアデータを放送している。MPEG2 では、GOP (Group of Pictures) と呼ばれる再生の単位を受信完了しなければ、その部分を再生できない。

以上のような環境では、クライアントに待ち時間が発生する。提案手法では、待ち時間を短縮するために、データを幾つかの部分に分割し分割されたデータを効率的にスケジューリングして放送する。

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 、再生レートを r 、使用チャンネル数を N 、プリフェッチするデータの全データサイズに対する割合を d とする。例えば、5Mbps の 60 分のデータを 13 チャンネル用いて放送する場合 ($D=60$ 分, $r=5$ Mbps, $N=13$)、 $d=1\%$ とすると、初めの 0.6 分をプリフェッチすることになる。放送帯域を B とし、チャンネル C_i ($i = 1, \dots, N$) の帯域を b_i とする。 $B = b_1 + \dots + b_N$ となる。セグメントのデータサイズを算出するための変数として、 W および p_i を導入する。 W および p_i は以下の式で与える。本節ではスケジューリング手順を説明するまでにとどめ、これらの詳細は後述する。

$$W = \left(\frac{1-d}{\prod_{j=1}^N (1 + \frac{b_j}{r})} - d \right) D \quad (1)$$

$$p_i = (dD + W) \prod_{j=1}^{i-1} (1 + \frac{b_j}{r}) \quad (2)$$

S_i のデータサイズが以下になるように、 N 個のセグメントに分割する。

$$b_i p_i \quad (3)$$

S_i のデータサイズを式 (3) で与えることで、クライアントは、セグメントの再生開始時刻にそのセグメントを受信完了でき、データを最初から最後まで途切れずに再生できる (付録参照)。データを分割する際、分割の区切りと再生の単位の区切り位置が一致するように、分割する位置を微調整する必要がある。分割したデータを、 C_1 で S_1 、 C_2 で S_2 といったように 1 個のチャンネルで 1 個のセグメントを繰り返して放送するようにスケジューリングする。

例えば、地上波デジタル放送を想定した 23 Mbps の帯域を用いて 13 チャンネルで 5Mbps の 60 分のデータを放送し、初めの 0.6 分をプリフェッチ ($d=1\%$) する場合を考える。プリフェッチの割合は放送環境によって異なり、放送するコンテンツの数と必要なバッファサイズから決定される。この例の場合、プリフェッチに必要なバッファサイズは $5M \times 0.6 \times 60/8 = 23$ M バイトとなる。近年の受信機には、数十 G バイトのハードディスクをもつものもあり、現実的と考える。放送スケジュールは図 4 のようになる。待ち時間は 0.58 分になる。図 4 において、'Broadcast Stream' はサーバが放送するデータを示し、'Client Stream' はクライアントが再生するデータを示す。時刻 t_1 にユーザが再生ボタンを押すなどしてデータの再生を要求すると、クライアントは放送されているデータの受信を開始する。0.58 分待った後、 t_2 からデータの再生が開始される。クライアントはまずプリフェッチしていた初めの 0.6 分のデータを再生する。プリフェッチしていたデータの再生が終了する t_3 では、クライアントは S_1 の受信を完了しているため、続けて S_1 の再生を開始する。 S_1 の放送には 1.18 分かかかるが、再生レートが 5Mbps なので、 S_1 の再生時間は 0.42 分になる。 S_1 の再生終了時刻 $t_4 = t_3 + 0.42$ 分には S_2 を受信完了しているため、 S_1 の再生終了後、続けて S_2 の再生を開始する。他のセグメントについても、再生開始時刻までに受信完了できるため、クライ

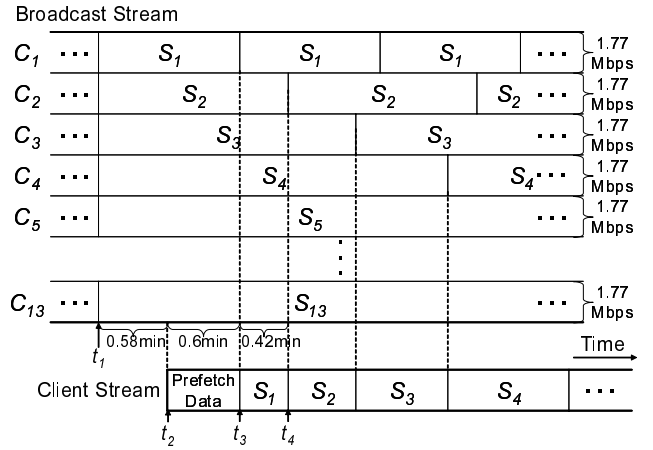


図 4 AHB-PB 法の放送スケジュールの例

Fig. 4 An example of broadcast schedule under the AHB-PB method.

ントは最初から最後まで途切れずに再生できる。この例では、各チャンネルの放送周期の始まりとユーザの再生要求の時刻 t_1 が一致しているが、そうではなく t_2 でユーザが再生要求を出すような場合にも、セグメントを途中から受信することで、クライアントは最初から最後まで途切れずに再生できる。

3.3 待ち時間

AHB-PB 法の待ち時間は W で与えられる。クライアントは、ユーザがデータの再生を要求すると、放送されているデータの受信を開始する。データの受信開始後、 W 待ってから再生を開始することで、クライアントはデータを最初から最後まで途切れずに再生できる。

4. 評価

地上波デジタル放送では、すべてのチャンネルの帯域は等しいため、 $b_1 = \dots = b_N = B/N$ とした。再生の単位として、実際に MPEG2 で符号化した 60 分の映像データの GOP [7] を用いた。評価結果は計算機シミュレーションによる理論値である。

4.1 放送帯域

AHB-PB 法の性能を評価するため、放送帯域によって待ち時間がどの程度になるかを示す。 $d=1\%$ の場合の放送帯域と待ち時間の関係を図 5 に示す。縦軸は待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸は放送帯域をデータの再生レートで除した値とする。'C=i' ($i=2, 5, 10, 20$) は使用チャンネル数が i 個の場合の待ち時間を示す。放送帯域が大きいほど待ち時間が短くなっているのは、放送帯域が大きいほどデータの放送にかかる時間が短くなるためである。例えば、23 Mbps の帯域を用いて、10 チャンネルで 5Mbps の 60 分のデータを放送する場合、 $d=1\%$ とすると、待ち時間は 0.78 分になる。

4.2 使用チャンネル数

使用チャンネル数は多いほど導入が困難になり、待ち時間との兼ね合いから使用チャンネル数を決定することが考えられる。そこで、AHB-PB 法で $d=1\%$ として放送する場合の、チャンネル数と待ち時間の関係を図 6 に示す。縦軸は待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸は使用チャンネル数とする。'B/r=i' ($i=2, 5, 10$) は放送帯域を再生レートで除した値が i の場合の待ち

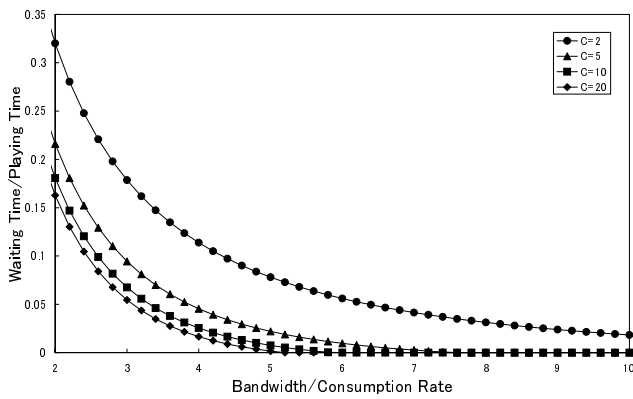


図5 AHB-PB法の放送帯域と待ち時間

Fig. 5 The broadcast bandwidth and the waiting time under the AHB-PB method.

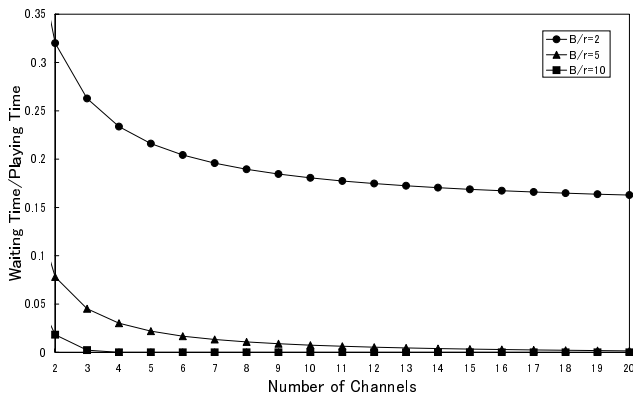


図6 AHB-PB法の使用チャンネル数と待ち時間

Fig. 6 The number of channels and the waiting time under the AHB-PB method.

時間を示す。使用チャンネル数が多いほど待ち時間が短くなっているのは、使用チャンネル数が多いほどデータを多重化して放送できるためである。また、待ち時間が収束していることが分かる。このため、使用チャンネル数を増やしても、待ち時間の変化は徐々に少なくなるといえる。

4.3 プリフェッチの割合

プリフェッチの割合は多いほど待ち時間は短くなるが、クライアントがプリフェッチできるコンテンツの数が少なくなる。プリフェッチするコンテンツの数が少なくなると、プリフェッチしていないコンテンツを再生する確率が高くなり、待ち時間の増加につながる。そこで、AHB-PB法のプリフェッチの割合と待ち時間を評価した。結果を図7に示す。縦軸は待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸はプリフェッチの割合とする。このグラフより、プリフェッチの割合に比例して待ち時間が短縮されていることが分かる。これは、プリフェッチの割合が多くなるほど、プリフェッチしない部分の残りのデータが少なくなり、サーバが放送するデータサイズが少なくなるためである。また、プリフェッチの割合が多い場合、待ち時間がないことが分かる。これは、放送帯域が十分大きく、クライアントが待たなくとも、セグメントの再生開始時刻までにそのセグメントを受信完了でき、最初から最後まで途切れずに再生できる

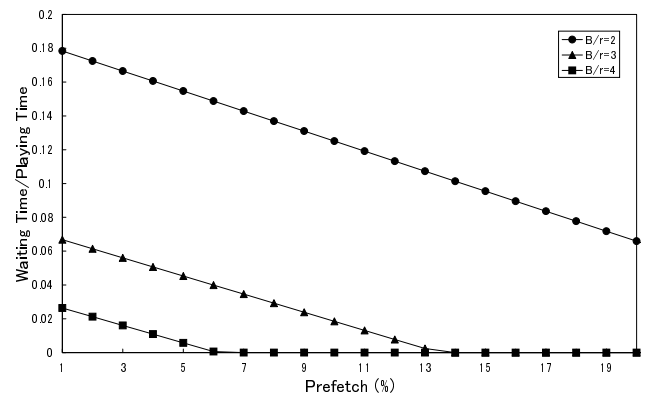


図7 AHB-PB法のプリフェッチの割合と待ち時間

Fig. 7 The ratio of prefetching and the waiting time under the AHB-PB method.

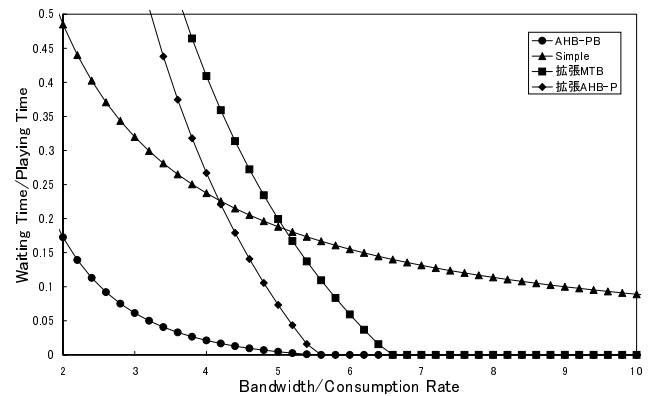


図8 待ち時間の比較

Fig. 8 The comparison of waiting time.

ためである。

4.4 比較

本節では、既存手法で、各チャンネルの帯域を数倍し、放送帯域を考慮するように拡張した手法と比較し、提案手法の有効性を示す。例えば、MTB法で、 $d=1\%$ とし、13チャンネルまで用いて5Mbpsの60分の映像データを放送する場合、32.8Mbpsの放送帯域が必要になる。放送帯域を考慮して23Mbpsで放送する場合、各チャンネルの帯域を0.7倍することで、23Mbpsで放送できる。しかし、放送帯域を考慮せずに32.8Mbps用いて放送する場合とは異なり、待ち時間が発生する。この場合、待ち時間は16.3分になる。AHB-P法やPHB-PP法についても同様に拡張することで、放送帯域を考慮できるが、待ち時間が発生する。

4.4.1 待ち時間

提案手法 AHB-PB法と既存手法を拡張した手法の待ち時間を比較する。 $d=1\%$ とし、13チャンネルまで用いてデータを放送する場合の待ち時間を図8に示す。縦軸は待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸は放送帯域をデータの再生レートで除した値とする。‘AHB-PB’は提案手法、‘Simple’は2.で述べた単純繰り返し手法、‘拡張MTB’はMTB法を拡張した手法、‘拡張AHB-P’はAHB-P法を拡張した手法の待ち時間を示す。PHB-PP法では、プリフェッチの割合が少なく、放送スケジュールを作成できないため、図中に含まれていない。MTB法にお

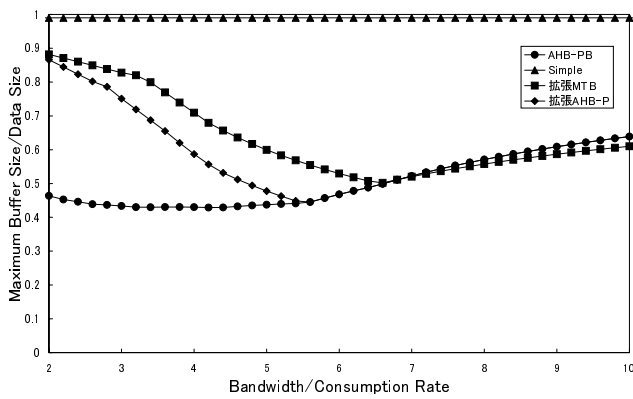


図9 最大バッファサイズの比較

Fig. 9 The comparison of maximum buffer size

ける各チャンネルの帯域は、データの再生レートと等しくした。

このグラフより、AHB-PB法の待ち時間が最も短いことが分かる。これは、AHB-PB法では、セグメントの受信完了時刻がそのセグメントの再生開始時刻と同時にできるように、効率的にスケジューリングしているためである。セグメントの受信開始から再生開始時刻までの時間全体を使ってセグメントを放送するため、帯域の削減につながり、待ち時間を効率的に短縮できる。他の既存手法では、単純に帯域を数倍しているため、セグメントの再生開始時刻以前に受信完了できており、放送帯域を有効に利用できておらず、待ち時間が長くなる。例えば、23 Mbps用いて5 Mbpsの60分の映像データを放送する場合、AHB-PB法の待ち時間は0.58分、既存手法を拡張した手法で最も待ち時間が短くなる拡張AHB-P法では8.4分となり、93%短縮されている。

4.4.2 最大バッファサイズ

提案手法 AHB-PB 法と既存手法を拡張した手法の最大バッファサイズを比較する。最大バッファサイズとは、クライアントが使用するバッファサイズの最大値であり、クライアントがデータを最初から最後まで途切れなく再生するために必要なバッファサイズである。 $d=1\%$ とし、13チャンネルまで用いてデータを放送する場合の最大バッファサイズを図9に示す。縦軸は最大バッファサイズをデータサイズで除した値、横軸は放送帯域をデータの再生レートで除した値とする。例えば、単純繰り返し手法では、プリフェッチしていた1%のデータを再生している間に残り99%のデータを受信する必要がある。この間、再生レートより放送帯域が大きい場合、バッファに保存されるデータは増加し、プリフェッチしていたデータの再生終了時点のバッファサイズが最大バッファサイズとなる。このため、単純繰り返し手法の最大バッファサイズは99%となる。

このグラフより、放送帯域が再生レートの5.6倍未満の場合、AHB-PB法の最大バッファサイズが最も少ないことが分かる。これも、待ち時間の場合と同じく、AHB-PB法ではセグメントの再生開始時刻と同時にそのセグメントを受信完了できるように、効率的にスケジューリングしているためである。セグメントの受信開始から再生開始時刻までの時間全体を使ってゆっくりとセグメントをバッファに保存するため、最大バッファサイ

ズを少なくできる。例えば、23 Mbps用いて5 Mbpsの60分の映像データ(2250Mバイト)を放送する場合、AHB-PB法の最大バッファサイズは $2250M \times 0.433 = 974M$ バイト、既存手法を拡張した手法で最も待ち時間が短くなる拡張AHB-P法では $2250M \times 0.512 = 1152M$ バイトとなり、15%削減されている。

5.6倍以上の場合、他の手法より最大バッファサイズが多くなっている。これは、途切れなく放送するために必要な帯域よりも放送帯域の方が大きく、AHB-PB法においてもセグメントの再生開始時刻以前にそのセグメントを受信完了しており、多くのバッファを必要とするためである。例えば、図8において、AHB-PB法では、5.6倍以上の場合、途切れなく放送するために必要な帯域よりも使用できる放送帯域の方が大きくなり、待ち時間がない。このため、5.6倍以上の場合に最大バッファサイズが既存手法より多くなる。与えられた放送帯域をすべて使わず、必要な帯域だけ使用することで、最大バッファサイズの増加を防ぐことができる。

5. 考察

5.1 待ち時間

図8より、既存手法を簡単に拡張した手法よりも AHB-PB法の待ち時間が短いことが分かる。このため、プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限がある場合に待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法として AHB-PB法を用いることは有効である。

5.2 最大バッファサイズ

図9より、待ち時間が発生する場合(5.6倍未満)では、既存手法を簡単に拡張した手法よりも AHB-PB法の最大バッファサイズが小さいことが分かる。最大バッファサイズの観点から見ても、プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限がある場合に待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法として AHB-PB法を用いることは有効であるといえる。ただし、待ち時間が発生しない場合(5.6倍以上)では、既存手法と同じ程度の最大バッファサイズとなる。

5.3 プリフェッチするデータの配信手法

本稿では、クライアントは全データの $d\%$ のデータをあらかじめプリフェッチしている。プリフェッチするデータの配信手法には「別チャンネル配信手法」と「別時間配信手法」の2種類ある[12]。これらについて簡単に説明する。

- 別チャンネル配信手法

放送帯域の一部をプリフェッチするデータの配信に用いる手法である。プリフェッチしていないクライアントも、プリフェッチを完了するまで待つことで最初から最後まで途切れずに再生できるが、プリフェッチされないデータの放送のために使用できる帯域が少なくなる。

- 別時間配信手法

ユーザがデータを再生しないと考えられる時間帯にプリフェッチするデータを配信し、他の時間帯では残り

のデータを配信する．放送帯域すべてをプリフェッチされないデータの放送に割り当てられるが、プリフェッチしていないクライアントは、初めから再生できない．

クライアントのデータの受信方法によってどちらの手法を用いるか異なる．例えば、クライアントが放送されているデータを常に受信しており、プリフェッチするデータを必ず受信できる場合には、別時間配信手法を用い、そうでない場合には別チャンネル配信手法を用いることが考えられる．

5.4 プリフェッチの割合

クライアントのバッファ容量が異なる場合、クライアントごとにプリフェッチの割合を変えることが考えられる．しかし、本稿の想定環境のようにアップリンクのない放送型配信では、サーバはクライアントのプリフェッチの割合を把握できない．したがって、サーバ側でスケジューリングするうえでは、プリフェッチの割合を考慮できないため、すべてのクライアントが $d\%$ のデータをあらかじめプリフェッチするとした．

5.5 待ち時間の収束値

図 6 より、使用チャンネル数が多くなると、待ち時間が収束することがわかる．この待ち時間は、各チャンネルの帯域が等しい場合、以下のように求められる．

$$W = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{1-d}{\left(1 + \frac{B}{rN}\right)^N - 1} - d \right) D \quad (4)$$

$$= \left(\frac{1-d}{\exp\left(\frac{B}{r}\right) - 1} - d \right) D \quad (5)$$

例えば、 $d=1\%$ とし、再生レート r の 2 倍の帯域を用いて 60 分の映像データを放送する場合、収束値は 8.7 分になる．この場合、待ち時間が収束値の 10% 以内になるチャンネル数は 16 チャンネルになる．

5.6 待ち時間がなくなる場合

図 5, 6, 7 より、放送帯域が大きくなったり、プリフェッチの割合が多くなると、待ち時間がなくなることが分かる．待ち時間がなくなる場合のこれらの値は、式 (1) が 0 になることから算出できる．待ち時間がなくなると、それ以降放送帯域を大きくしたり、プリフェッチの割合を多くしても、待ち時間に関する性能の向上は見込めず、他の性能が悪化する可能性がある．例えば、 $d=1\%$ とし、13 チャンネルまで用いてデータを放送する場合、放送帯域が再生レートの 5.6 倍以上になると、待ち時間がなくなる (図 8)．それ以降放送帯域を大きくすると、待ち時間は変化しないが、最大バッファサイズが大きくなる (図 9)．

5.7 帯域の計算手法

AHB-PB 法では、各チャンネルの帯域を任意に与えることができるが、一般に、すべてのチャンネルの帯域は等しい．このため、4. では $b_1 = \dots = b_N = B/N$ とした．本節では、すべてのチャンネルの帯域が等しくない場合の性能に関して考察する．比較対象として、等差数列および等比数列で各チャンネルの帯域を与える．図 10 に、帯域の計算手法を変更した場合の待ち時間を示す． $d=1\%$ 、 $N = 13$ とした．‘Equivalent’ は 4. と同じく、すべてのチャンネルの帯域を等しくした場合の待ち時間を示す．‘Arithmetic’ は、 $b_1 = r$ とし、 b_i ($i=1, \dots, N$) を等差数列に

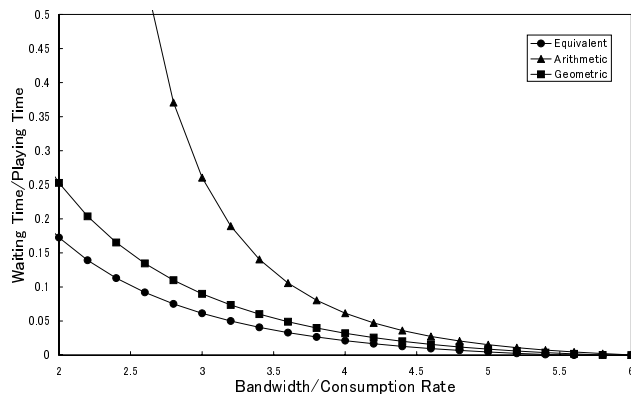


図 10 帯域計算手法と待ち時間

Fig. 10 Methods for calculating bandwidth and the waiting time under the AHB-PB method.

なるように $b_1 + a(i-1)$ で与えた場合の待ち時間を示す．公差 a は、 $b_1 + \dots + b_N = B$ となるように算出した．‘Geometric’ は、 $b_1 = r$ とし、等比数列になるように $b_i = b_1 b^{i-1}$ と与えた場合の待ち時間を示す．公比 b は、 $b_1 + \dots + b_N = B$ となるように算出した．

このグラフより、すべてのチャンネルの帯域を等しくした場合の待ち時間が最も短いことが分かる．これは、あるチャンネルの帯域が小さいと、そのチャンネルで放送するセグメントの配信に時間がかかり、待ち時間が長くなるためである．Arithmetic や Geometric は、 $b_1 + \dots + b_N = B$ となるように a および b を算出したため、 b_N の帯域が比較的小さくなり、待ち時間が長くなったと考えられる．

6. む す び

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、待ち時間を短縮するスケジューリング手法 AHB-PB 法を提案した．AHB-PB 法は、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する．既存手法で放送帯域を考慮するように拡張した手法と比較した結果、これらの手法よりも待ち時間を短縮できることを確認した．今後、途中から再生する場合の手法や、複数のデータを放送する場合のアクセス頻度を考慮した手法を考えている．また、グリッドコンピューティングへの応用を考えている．

謝辞 本研究は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、および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)、科学研究費補助金 (基盤研究 (B)(2))「大規模な仮想空間システムを構築する放送型サイバースペースに関する研究」(プロジェクト番号: 15300033) の研究助成によるものである．ここに記して謝意を表す．

付 録

クライアントが、 W 待ってから再生を開始することで、途切れずに再生できることを明らかにする．

p_i ($i = 1, \dots, N$) を、クライアントがユーザの再生要求を受信してから S_i の再生を開始するまでの時間とし、まず、 p_i を求める。プリフェッチしていたデータの再生時間は dD であるため、待ち時間を W とすると、 p_1 は $dD + W$ となる。 C_1 で放送される S_1 のデータサイズが、 p_1 の間に C_1 から受信できるデータサイズと等しければ、クライアントはプリフェッチしていたデータの再生終了後、続けて S_1 を再生できる。このことより、 S_1 のデータサイズは $b_1 p_1$ と求まる。 S_1 の再生時間は $b_1 p_1 / r$ となるため、 $p_2 = p_1 + b_1 p_1 / r = p_1(1 + b_1 / r)$ となる。同様の議論を繰り返すことで、 p_i に関して次の漸化式が導出される。

$$p_i = p_{i-1} \left(1 + \frac{b_{i-1}}{r}\right) \quad (6)$$

式(6)を解くことで、式(2)が算出される。 S_i のデータサイズが、 p_i の間に C_i から受信できるデータサイズ $b_i p_i$ と等しければ、クライアントは S_{i-1} の再生終了後、続けて S_i を再生できる。これより、式(3)で S_i のデータサイズを与えることで、クライアントは最初から最後まで途切れずに再生できる。次に、 W を求める。クライアントがユーザの再生要求を受信してから S_N の再生を開始するまで p_N かかり、 S_N の再生時間は $b_N p_N / r$ であるため、クライアントがユーザの再生要求を受信してから再生を終了するまで $p_N + b_N p_N / r = p_N(1 + b_N / r)$ かかる。待ち時間とデータの再生時間の合計と、この値が等しいことより、

$$D + W = p_N \left(1 + \frac{b_N}{r}\right) \quad (7)$$

$$= (dD + W) \prod_{j=1}^N \left(1 + \frac{b_j}{r}\right) \quad (8)$$

となる。式(8)を解くことで式(1)になるため、クライアントが、 W 待ってから再生を開始することで、途切れずに再生できることが分かる。

文 献

- [1] 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. 152, 1997.
- [2] K. A. Hua and S. Sheu, Skyscraper broadcasting: a new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems, in Proc. of the ACM SIGCOMM, pp. 89–100, 1997.
- [3] 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.
- [4] NHK 放送技術研究所, 研究年報 2000, p. 13, 2000.
- [5] J.-F. Paris, D. D. E. Long, and P. E. Mantey, Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand, in Proc. of the ACM Multimedia'99, pp. 189–197, 1999.
- [6] S. Viswanathan and T. Imilelinski, Pyramid broadcasting for video on demand service, in Proc. of the SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95), pp. 66–77, 1995.
- [7] 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.
- [8] 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待ち時間短縮のための分割放送方式, 情報処理学会論文誌,

Vol. 44, No. 6, pp. 1558–1569, 2003.

- [9] 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複数データの分割放送型スケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 2, pp. 487–497, 2004.
- [10] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, 早送り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. 45, No. SIG7(TOD22), pp. 179–188, 2004.
- [11] 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データの細分割による効率的なスケジューリング手法, 電子情報通信学会和文論文誌 D-I, Vol. J87-D-I, No. 12, pp. 1079–1088, 2004.
- [12] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, 放送型配信における連続メディアデータのプリフェッチを考慮した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 (DICOMO2004) 論文集, Vol. 2004, No. 7, pp. 543–546, 2004.
- [13] 郵政省, 地上デジタル音声放送の導入へ向けて, 2000. http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/housou/000922j702.html