

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

義久 智樹[†] 塚本 昌彦[†] 西尾 章治郎[†]

近年の放送のデジタル化にともない、音楽や映画といった連続メディアデータの放送型配信において、クライアントの待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている。しかし、これらの手法のほとんどは、早送りを考慮しておらず、早送り中に、続きのデータが放送されるまで待たなければならない可能性がある。ユーザの嗜好に合わせて再生するためには早送りが重要なため、本論文では、早送り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、CHB法を拡張し、ユーザがある範囲内の速度で早送りしても、データの再生が途切れないようにしたうえで、クライアントの待ち時間を短縮する。

A Scheduling Scheme on Continuous Media Data Broadcast Considering Fast-forward Operations

TOMOKI YOSHIHISA,[†] MASAHICO TSUKAMOTO[†] and SHOJIRO NISHIO[†]

Due to the recent development of digital broadcasting, various schemes to reduce clients' waiting time on continuous media data broadcasting, such as music or movies, have been studied. However, most of these schemes do not consider fast-forward operations. That is, in the case where a user fast-forwards data, he/she often has to wait until subsequent data is broadcast. Since fast-forward operations are important in order to play data according to user's preference, in this paper, we propose a scheduling scheme considering fast-forward operations. Our proposed scheme, which is based on the CHB scheme, reduces clients' waiting time under the condition that clients can play the data without any interruptions even when a user fast-forwards it.

1. はじめに

近年、放送のデジタル化が進んでいる¹⁹⁾。デジタル化することで、アナログ方式より雑音の影響を少なくでき、放送に必要な帯域幅を削減できる。そのため、帯域幅の安定した多チャンネルの放送が可能になる。このような環境において、音楽や映画といった連続メディアデータを配信する場合に、ユーザがクライアントにデータの受信要求を出してから、クライアントがデータの受信を開始するまでの待ち時間を短縮する手法がさかんに研究されている^{1)~7),10),11),13)~18),20)}。連続メディアデータ配信では、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り、従来研究ではこの条件を考慮したうえで、平均待ち時間を短縮している。これらの手法は、サーバが繰り返しデータを配信

する放送型^{1),2),6),7),10),11),13),16)~18),20)}と、データの受信要求をサーバが受信してからデータを配信するオンデマンド型^{3)~5),14)}に分類できる。放送型配信では、クライアント数が増加してもシステムの負荷がほとんど変わらないため、クライアント数が多い場合に有効だが、クライアントは必要なデータが放送されるまで待たなければならない。オンデマンド型では、サーバがクライアントからの受信要求に応えるため、比較的待ち時間は短くなるが、クライアント数が多い場合、サーバの負荷が大きくなる。

一般に、連続メディアデータを再生する際のユーザの操作には、一時停止、巻き戻し、早送りの3種類の操作がある²⁾。巻き戻しと一時停止は再生したデータを再利用する操作であるため、再生したデータをバッファに保存することで実現できるが、早送りは一度も再生していないデータを再生するため特別な配慮が必要であり、従来手法では早送りを行うと続きのデータが放送されるまで待たなければならない可能性がある。しかし、早送りはユーザにとって次のような状況で重

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻
Department of Multimedia Engineering, Graduate
School of Information Science and Technology, Osaka
University

要であるものと考えられる。

- スポーツ試合（生中継は除く）が放送されているとき、視聴者は好みのチームの活躍場面をじっくり見て、相手チームの活躍場面は早送りする。
- 音楽番組が放送されているとき、好きなアーティスト以外の場面を早送りする。
- クイズ番組が放送されているとき、視聴者は番組の解答者の解答場面を早送りして、出題から正解までの時間を短縮する。
- 人気のある映画が放送されているが、多忙でゆっくり見られない場合、ストーリーに変化の少ない場面を早送りする。
- 全体をそれほど速くない速度で早送りし、短時間で映像を鑑賞する。

これらは、ユーザの嗜好に合わせてデータを飛ばし見る行為でジッピングとよばれている⁹⁾。クライアントが放送されているデータを保存し、すべてのデータの保存完了後、再生することで早送りが可能になるが、保存することなく早送りできるようにすることで、ユーザは保存完了を待つ必要がなくなる。そこで、本論文では、早送りを考慮した擬似オンデマンド型の放送における平均待ち時間短縮のためのスケジューリング手法を提案する。

提案手法は、CHB法を拡張し、ユーザがある範囲内の速度で早送りしても、データの再生が途切れないようにしたうえで、クライアントの平均待ち時間を短縮する。再生レートを大きく見積もって既存の手法を用いることで途切れない早送りが可能になるが、提案手法では、早送り用にデータを間引くことで平均待ち時間をさらに短縮する。

以下、2章では、関連研究について述べ、3章では提案手法を説明する。4章では、提案手法の解析を行い、5章で評価を行う。6章で提案手法の議論を行い、最後に7章で本論文のまとめを行う。

2. 関連研究

帯域幅の安定した多チャンネルが利用できる環境において、連続メディアデータを配信する場合に、ユーザがクライアントにデータの受信要求を出してから、クライアントがデータの受信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、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、クライアントはデータの受信開始と同時にデータを再生できることを想定している。

CHB(Cautious Harmonic Broadcasting)法¹⁷⁾では、1個の連続メディアデータを N 個のセグメント

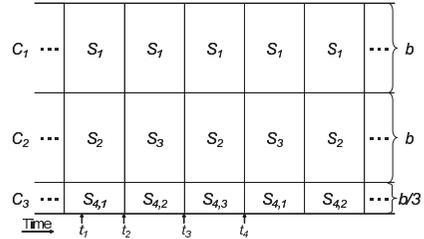


図1 CHB法の放送スケジュール ($N = 4$)
Fig. 1 A broadcast schedule of the CHB scheme ($N = 4$).

に等分割する。分割したセグメントを S_1, \dots, S_N で表す。添え字は時間軸に沿って増加する。さらに S_i ($i = 4, \dots, N$) を $i - 1$ 個のサブセグメントに分割し、サブセグメントを $S_{i,1}, \dots, S_{i,i-1}$ 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、途中から受信できず初めから受信しなければならない。 $N - 1$ 個のチャンネルを用い、チャンネル C_1 および C_2 の帯域幅を b 、チャンネル C_j ($j = 3, \dots, N - 1$) の帯域幅を b/j 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、たとえば、MPEG2で符号化された4Mbpsの連続メディアデータ⁸⁾を放送する場合、 $b = 4$ となる。 C_1 で S_1 、 C_2 で S_2 と S_3 、 C_i で $S_{i+1,1}, \dots, S_{i+1,i}$ を繰り返し放送する。 S_1 が頻繁に放送されるため、クライアントの平均待ち時間を短縮できる。たとえば、 $N = 4$ のCHB法の放送スケジュールは図1のようになる。

CHB法で早送りする場合、データの再生が途切れるという問題がある。たとえば、時刻 t_1 で受信要求を出し、クライアントが t_2 で S_1 の受信と同時に再生を開始する場合、 S_1 再生終了後の t_3 から再生レートの2倍の速度で $S_{4,1}$ の始まる t_4 まで早送りすると、早送り中のデータを受信していないため、早送り中の映像を再生できない。これは、 S_2 の受信を t_4 で完了するが、それまでに S_2 の再生を終了しなければならないことから分かる。さらに、早送り終了後、続きのデータ ($S_{4,1}$) も途切れずに再生できない。

PB(Pagoda Broadcasting)法^{13),16)}では、1個の連続メディアデータを N 個のセグメントに等分割し、帯域幅が b のいくつかのチャンネルを用いて放送する。1個のチャンネルでいくつかのセグメントを放送することで、同時に受信するチャンネルの数をCHB法より削減でき、システムの導入が容易になるという利点がある。

PB法で早送りする場合も、早送り中や早送り終了後のデータを再生するために待たなければならない可能性がある。そこで、早送り中のデータを再生できるように、早送りを行った場合のみオンデマンド型で

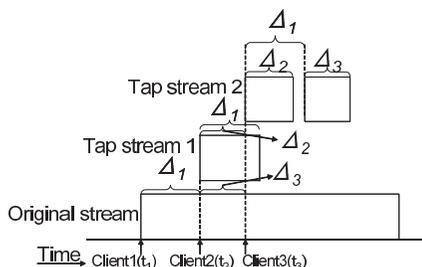


図 2 ST 法の放送スケジュール

Fig. 2 A broadcast schedule of the ST scheme.

データを配信する IPB (Interactive Pagoda Broadcasting) 法¹⁵⁾がある。IPB 法では、早送りする場合、早送り中のデータを再生するために必要なセグメントの受信要求をクライアントが出し、サーバはそのセグメントを放送する。しかし、ユーザが頻繁に早送りするほど、必要な帯域幅が広がるという問題がある。

CHB 法や PB 法は放送型であるが、オンデマンド型の ST (Stream Tapping) 法^{3),14)}がある。ST 法では、ユーザが受信要求を出す場合に、オリジナルストリーム (Original Stream) が配信されていないとき、サーバはオリジナルストリームを用いてすべてのデータを配信する。オリジナルストリームが配信されているとき、サーバはタップストリーム (Tap Stream) を用いて初めから途中までのデータを配信する。タップストリームはデータの一部のみ配信するため、各クライアントにオリジナルストリームを配信する場合より、必要となる帯域幅を削減できる。たとえば、図 2 において、時刻 t_1 で受信要求を出したクライアント 1 にはオリジナルストリームを配信する。クライアント 1 はオリジナルストリームからすべてのデータを受信できるため、途切れない再生が可能になる。 t_2 で受信要求を出したクライアント 2 は、すでにオリジナルストリームが配信されているため、クライアント 2 はオリジナルストリームから t_2 以降のデータを受信できる。しかし、 t_1 から t_2 の間にオリジナルストリームから配信されたデータ (Δ_1) を受信できないため、サーバはクライアント 2 にタップストリーム 1 を配信し、クライアント 2 が Δ_1 を受信できるようにする。クライアント 2 はオリジナルストリームとタップストリーム 1 から同時にデータを受信することで、すべてのデータを受信できるため、途切れない再生が可能になる。 t_3 で受信要求を出したクライアント 3 はオリジナルストリームとタップストリーム 1 から同時にデータを受信することで、 Δ_2 および Δ_3 を除いたデータを受信できる。サーバはクライアント 3 が Δ_2 および Δ_3 を受信できるようにタップストリーム 2 を

配信する。クライアント 3 はタップストリーム 2 からデータを受信することで、すべてのデータを受信でき、途切れない再生が可能になる。

ST 法において、早送りを考慮した IST (Interactive Stream Tapping) 法⁴⁾がある。IST 法では、ユーザが早送りする場合に、早送り専用のストリーム (Interaction Stream) を用いることで、早送りを実現できる。しかし、オンデマンド型であるため、ユーザが頻繁に受信要求を出すと、必要な帯域幅が広がる。

3. 提案手法

早送りを考慮した擬似オンデマンド型の放送における平均待ち時間短縮のためのスケジューリング手法として DICHB (Discontinuous Interactive Cautious Harmonic Broadcasting) 法を提案する。DICHB 法は CHB 法を拡張した手法であり、データを通常速度の再生用のデータと早送り用のデータに分けて放送スケジュールを作成する。早送りするユーザは、早送り用のデータを再生することで、データを最後まで途切れずに再生できる。放送型である点が、従来の早送りを考慮した手法と異なり、ユーザが受信要求を出す頻度にかかわらず必要な帯域幅が一定で、システムの負荷がほとんど変わらないという利点がある。また、オンデマンド型において必要となるクライアントからサーバへのアップリンクは不要である。

3.1 想定環境

本論文では、同じデータを繰り返して放送する擬似オンデマンド型の放送を想定する。サーバは帯域幅が安定した複数のチャンネルから同時にデータを送信でき、受信開始と同時に再生できるストリーム型の配信を行う。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、データの受信に十分な容量のバッファを持つ。連続メディアデータは、すべての場が早送りしてもよいものとし、CM のような早送りができないことを期待する場が混在していないものとする。クライアントはユーザが受信要求を出してから放送されているデータの受信を開始する。

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 b とする。この連続メディアデータを N 個のセグメントに等分割し、分割したセグメントを S_i ($i = 1, \dots, N$) で表す。 N は使用する帯域幅から算出される。各セグメントの再生時間は D/N となり、データサイズは bD/N となる。さらに、 S_i を早送り用に間引いたデータ S_i^f とそれ以外の残りのデータ S_i^n に分ける。早送りするユーザは S_i^f のみを再生し、通常再生するユー

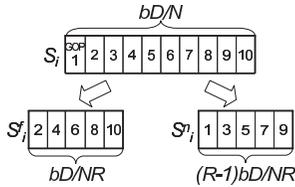


図 3 DICHB 法のセグメントの分割例 ($R = 2$)
 Fig. 3 An example of division of a segment by the DICHB scheme ($R = 2$).

は S_i^f と S_i^n を組み合わせて、間引く前のセグメント S_i を復元して再生する。すなわち、 S_i^f が早送り用のデータを含んでいるわけではなく、通常再生用のデータを含んでおり、ユーザが S_i^f のみ再生していくことで、早送りが可能になる。 S_i^f のデータサイズは S_i の $1/R$ 倍で $bD/(NR)$ 、 S_i^n のデータサイズは $(R-1)bD/(NR)$ となる。ここで、 R は早送り速度の再生レートに対する倍率であり、たとえば、MPEG2 で符号化された 4Mbps ($b = 4$) の 60 分 ($D = 60$) の映画を早送りする場合、2 倍の速度で早送りできるとすると、 $R = 2$ となる。図 3 のように、10 個の GOP (Group of Pictures, GOP は MPEG2 の再生の単位) で構成される S_i を 2 倍の早送り用に間引くと、 S_i^f には 2, 4, 6, 8, 10 番目の GOP が含まれ、 S_i^n には 1, 3, 5, 7, 9 番目の GOP が含まれる。 S_i^f のデータサイズは S_i の $1/R$ 倍であるため、 S_i^f のみを再生することで R 倍の早送りが可能になる。さらに、CHB 法と同様に S_i^f を $i-1$ 個のサブセグメント $S_{i,1}^f, \dots, S_{i,i-1}^f$ に等分割し、 S_i^n を i 個のサブセグメント $S_{i,1}^n, \dots, S_{i,i}^n$ に等分割する。

後に 6.3 節で詳述するが、使用する帯域幅 B が比較的小さい状況においても平均待ち時間を短縮できるように、 B に応じて次のように放送スケジュールを作成する。

- $B \geq (3R + 1)b/2$ の場合
 早送り用のデータを放送するチャンネル C_i^f と、通常速度の再生用のデータを放送するチャンネル C_i^n を使用する。 C_i^f の帯域幅は次式で与える。

$$\frac{b}{i-1} \tag{1}$$

C_1^f の帯域幅は b とする。また、 C_i^n の帯域幅は次式で与える。

$$\frac{b}{i}(R-1) \tag{2}$$

以上のように帯域幅を決定し、 C_1^f で S_1^f を繰り返し放送し、 C_1^n で S_1^n を繰り返し放送する。 C_2^f

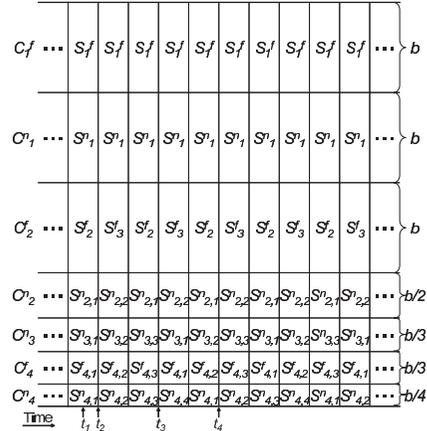


図 4 DICHB 法の放送スケジュール ($B \geq (3R + 1)b/2$, $R = 2$, $N = 4$)
 Fig. 4 A broadcast schedule of the DICHB scheme ($B \geq (3R + 1)b/2$, $R = 2$, $N = 4$).

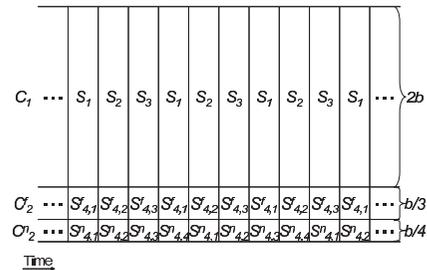


図 5 DICHB 法の放送スケジュール ($B \leq (3R + 1)b/2$, $R = 2$, $N = 4$)
 Fig. 5 A broadcast schedule of the DICHB scheme ($B \leq (3R + 1)b/2$, $R = 2$, $N = 4$).

では S_2^f と S_3^f を順番に繰り返し放送し、 C_2^n では S_2^n 、 C_3^n では S_3^n を繰り返し放送する。以降、 C_j^f ($j = 4, \dots, N$) で S_j^f 、 C_j^n で S_j^n を繰り返し放送して放送する。 $N = 4$, $R = 2$ の場合の放送スケジュールを図 4 に示す。

- $B \leq (3R + 1)b/2$ の場合
 帯域幅が bR のチャンネル C_1 で S_1, \dots, S_{N-1} を順番に繰り返し放送し、帯域幅が $b/(N-1)$ のチャンネル C_2^f で S_N^f を、帯域幅が $(R-1)b/N$ のチャンネル C_2^n で S_N^n を繰り返し放送する。 $N = 4$, $R = 2$ の場合の放送スケジュールを図 5 に示す。

3.3 導 入

3.3.1 セグメントの分割

MPEG2 のようにフレーム間圧縮を行っているデータを分割して S_i^f と S_i^n ($i = 1, \dots, N$) を作成する場合、再生の単位ごとにデータを抜き取る。たとえば、

MPEG2の再生の単位はGOPであり、GOPごとに再生できる。このため、GOPごとに分割しても、復号して再生できる。図3のように分割する場合、早送りするユーザは S_i^f に含まれる2, 4, 6, 8, 10番目のGOPを順番に復号して再生し、通常再生するユーザは S_i^f と S_i^n からGOPをもとどりの順番に並べ替えて再生する。1個のGOPの再生時間は符号化する際に決定できるため、十分短くすることで違和感のない早送りが可能になる。一般に1個のGOPの再生時間は0.5秒であり⁸⁾、我々は、GOPの再生時間が0.5秒の30fpsのMPEG2データを作成し、GOPごとにデータを抜き出して、飛ばし見るMPEG2データを試作した。試作した映像を再生し、DVDやCDの早送りと類似した違和感のない早送りが可能なことを確認した。また、フレーム間圧縮を行う以前のデータで早送り用データを作成する場合、早送り用にフレームを間引きした後で S_i^f 、 S_i^n それぞれに対してフレーム間圧縮することで、データ圧縮することも可能である。

3.3.2 サーバの動作

連続メディアデータの配信者は R を実現したい早送りの速度に設定し、必要となる帯域幅が使用する帯域幅に近くなるように計算して N を決定する。このとき、使用する帯域幅に合わせて R の値を調整する必要がある。たとえば、52Mbpsの帯域幅を使用する場合に、 $R=2$ に設定すると、 $N=290$ とすることで必要となる帯域幅は51.977Mbpsとなり、52Mbpsに最も近くなる。この場合、 R を調整して $R=2.001$ とすることで、必要な帯域幅は51.999Mbpsとなり、ほぼすべての帯域を使用でき、平均待ち時間の短縮につながる。決定した R 、 N の値を用いて、サーバは放送スケジュールを作成し、連続メディアデータを等分割し、早送り用のデータとそれ以外のデータに分けて、放送スケジュールに従ってデータを繰り返し放送する。サブセグメントを放送する際、そのサブセグメントが含まれる連続メディアデータの識別子とサブセグメントの番号が分かるように、これらの情報をデータの初めに付加する。クライアントはこの付加情報を受信することで、複数の連続メディアデータも同時に放送できる。

3.3.3 クライアントの動作

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いくつかの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^f および S_1^n の受信開始と同時に再生を開始する。早送りするユーザは S_1^f のみを再生し、通常再生

するユーザは S_1^f と S_1^n を組み合わせ、間引く前のセグメント S_1 を復元して再生する。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^f や S_i^n ($i=1, \dots, N$)のサブセグメントをすべて受信すると、それらを結合して S_i^f や S_i^n を再生できるようにする。データをつなげるだけであるため、非常に短い時間で結合できる。以降同様に、早送りするユーザは S_j^f ($j=1, \dots, N-1$)の再生終了後、放送されているか、または、バッファにある S_{j+1}^f を即座に続けて再生する。通常再生するユーザは S_j の再生終了後、 S_{j+1}^f と S_{j+1}^n を組み合わせ、間引く前のセグメント S_{j+1} を復元して再生することで、通常速度の再生を見られる。データの再生開始時刻までにそのデータを受信完了することで、 R 倍の速さで再生しても、クライアントは途切れずに最後まで再生できる。たとえば、図4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^f の受信と同時に再生を開始して、 S_1^n 再生終了後の t_3 から再生レート2倍の速さで $S_{4,1}^f$ の始まる t_4 まで早送りしても、早送り中のデータ($S_2^f, S_{3,1}^f, S_{3,2}^f$)を早送り以前に受信しており、早送り終了後のデータ($S_{4,1}^f, S_{4,2}^f, S_{4,3}^f, S_{4,1}^n, S_{4,2}^n, S_{4,3}^n, S_{4,4}^n$)も早送り終了までに受信しているため、途切れずに最後まで再生できる。

4. 解析

4.1 必要となる帯域幅

必要となる帯域幅 B は以下の式で求められる。

- $B \geq (3R+1)b/2$ の場合

$$B = bR + b + \frac{b}{2}(R-1) + \frac{b}{3}(R-1) + \sum_{i=4}^N \frac{b}{i-1} + \sum_{i=4}^N \frac{b}{i}(R-1) = bRH_N + \frac{b}{2} - \frac{b}{N} \quad (3)$$

- $B \leq (3R+1)b/2$ の場合

$$B = bR + \frac{b}{N-1} + \frac{b}{N}(R-1) \quad (4)$$

ここで、 H_j はハーモニック数¹⁰⁾と呼ばれ、

$$H_j = \sum_{i=1}^j \frac{1}{i} \quad (5)$$

で定義される。

4.2 待ち時間

- $B \geq (3R+1)b/2$ の場合

S_1^f が $D/(NR)$ 間隔で放送されているため、最

大の待ち時間 W_{max} は

$$W_{max} = \frac{D}{NR} \tag{6}$$

で与えられ、最小の待ち時間が 0 であるため、平均待ち時間 W_{ave} は

$$W_{ave} = \frac{D}{2NR} \tag{7}$$

となる。

- $B \leq (3R + 1)b/2$ の場合

S_1 が $(N - 1)D/(NR)$ 間隔で放送されているため、最大の待ち時間 W_{max} は

$$W_{max} = \frac{D}{NR}(N - 1) \tag{8}$$

で与えられ、最小の待ち時間が 0 であるため、平均待ち時間 W_{ave} は

$$W_{ave} = \frac{D}{2NR}(N - 1) \tag{9}$$

となる。

4.3 途切れのない再生

クライアントは S_1^f の再生開始後、早くて $(i - 1)D/(NR)$ ($i = 2, \dots, N$) 後に S_i^f の再生を開始する。データサイズ $bD/(NR)$ の S_i^f は $b/(i - 1)$ の帯域幅を用いて放送されるため、クライアントは受信開始から $(i - 1)D/(NR)$ 後までに S_i^f を受信完了できる。 S_i^f の再生開始時刻までに S_i^f を受信完了できるため、早送りしても途切れのない再生が可能になる。また、 S_i^n は S_i^f と合成復元して再生されるため、 S_i^f の受信完了時刻、すなわち S_1 の再生開始後、早くて $Di/(NR)$ 後までに受信すればよい。データサイズ $(R - 1)bD/(NR)$ の S_i^n は $(R - 1)b/i$ の帯域幅を用いて放送されるため、クライアントは受信開始から $Di/(NR)$ 後までに S_i^n を受信完了できる。よって、通常速度の再生も可能である。

5. 評価

5.1 必要となる帯域幅

DICHB 法で 1 個の連続メディアデータを放送する際に必要となる帯域幅を図 6 に示す。横軸は N とし、縦軸は必要となる帯域幅をデータの再生レートで除した値とした。 $R = r$ ($r = 1, 2, 5, 10$) は r 倍の早送りを考慮した DICHB 法に必要な帯域幅を示す。このグラフより、必要となる帯域幅は N が大きいほど小さくなる事が分かる。これは、 N が大きいほどデータの分割数が多くなり、使用するチャネル数も多くなるためである。たとえば、MPEG2 で符号化された 4Mbps の動画データを $R = 2, N = 290$ の

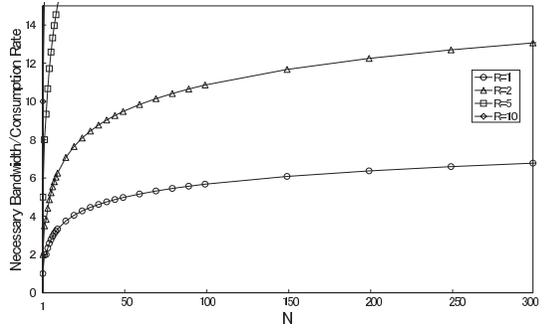


図 6 DICHB 法で必要となる帯域幅
Fig. 6 Necessary bandwidth of the DICHB scheme.

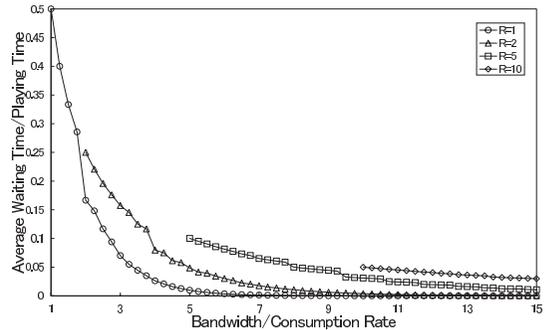


図 7 DICHB 法の帯域幅と平均待ち時間
Fig. 7 Bandwidth and average waiting time of the DICHB scheme.

DICHB 法で放送すると、51.977Mbps の帯域幅が必要になる。衛星デジタル放送の最大帯域幅は 52 Mbps であり、実用的といえる¹²⁾。

5.2 平均待ち時間

DICHB 法の帯域幅と平均待ち時間を図 7 に示す。横軸は帯域幅を連続メディアデータの再生レートで除した値とし、縦軸は平均待ち時間を連続メディアデータの再生時間で除した値とした。 R 倍の早送りを考慮した放送スケジュールでは、最低でも bR の帯域幅が必要のため、グラフが途中から描かれている。 R が大きいほど平均待ち時間が長くなる事が分かる。

たとえば、MPEG2 で符号化された 4Mbps の 60 分の動画データを 52Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、DICHB 法で 2 倍の早送りを考慮すると $N = 290$ となり、調整後の R は 2.001、平均待ち時間は 3.1 秒になる。5 倍の早送りを考慮すると $N = 6, R = 5.166$ で 58 秒、10 倍では $N = 4, R = 10.331$ で 2.2 分となる。

5.3 既存手法との比較

5.3.1 CHB 法との比較

R 倍の速度で早送りして再生することは、再生レー

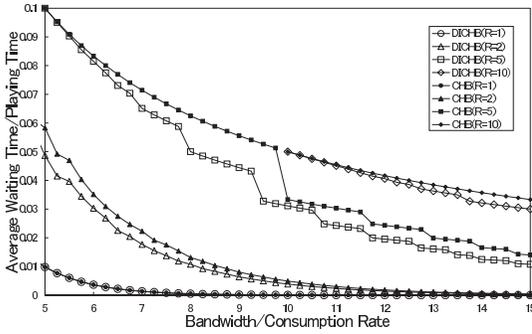


図 8 DICHB 法および CHB 法の平均待ち時間

Fig. 8 Bandwidth and average waiting time of the DICHB scheme and the CHB scheme.

トを R 倍することに相当する．このため，既存手法においても，再生レートが bR のデータを想定した放送スケジュールで再生レートが b のデータを放送することで，途切れのない早送りが可能になる．そこで，DICHB 法の基礎となる CHB 法で bR の再生レートを想定した場合の平均待ち時間と比較する．たとえば，図 1 の場合，各チャンネルの帯域幅を R 倍した放送スケジュールを用いることを意味する．このようにして早送りを考慮した CHB 法と，DICHB 法の平均待ち時間を図 8 に示す．横軸は使用できる帯域幅を連続メディアデータの再生レートで除した値とし，縦軸は平均待ち時間を連続メディアデータの再生時間で除した値とした．DICHB ($R=r$) ($r = 1, 2, 5, 10$) は r 倍の速度の早送りを考慮した DICHB 法の平均待ち時間を示し，CHB ($R=r$) は， r 倍の速度の早送りを考慮した CHB 法の平均待ち時間を示す．

このグラフより， $R = 1$ の場合，DICHB 法と CHB 法の平均待ち時間は等しいが， $R = 2, 5, 10$ において，早送りを考慮した CHB 法よりも DICHB 法の平均待ち時間が短いことが分かる．これは，DICHB 法では再生レートを R 倍する早送り（連続な早送り）ではなく，データを間引く早送り（不連続な早送り）を可能にしているためである²⁾．たとえば，図 9 に示すように，連続な早送りでは早送り中の再生レートが R 倍になるが，不連続な早送りでは早送り中の再生レートは変わらず，データサイズが $1/R$ 倍になる．このため，早送りを考慮した CHB 法では，すべてのデータを通常よりも R 倍早く受信完了できるように放送スケジュールを作成している．一方，DICHB 法では，早送り用に間引いたデータのみ通常よりも R 倍早く受信完了できるように放送スケジュールを作成しているため，必要な帯域幅を，早送りを考慮した CHB 法よりも削減できる．結果，データの分割数を大きくで

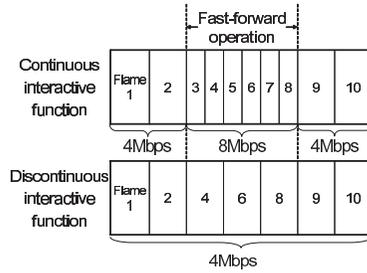


図 9 連続な早送りと不連続な早送りの例

Fig. 9 An example of the continuous interactive function and the discontinuous interactive function.

きるため，平均待ち時間を短縮できる．よって，CHB 法よりも DICHB 法が早送りに適しているといえる．

たとえば，MPEG2 で符号化された 4 Mbps の 60 分の動画データを 52 Mbps の衛星デジタル放送で配信する場合，2 倍の早送りを考慮した CHB 法の平均待ち時間は 4 秒となり，DICHB 法の平均待ち時間は 3.1 秒となる．

5.3.2 IPB, IST 法との比較

早送りを考慮した手法である IPB, IST 法を用いた場合との平均待ち時間を比較する．

まず，平均待ち時間のシミュレーションを行う．文献 4) とシミュレーション条件を合わせ，放送する連続メディアデータの再生時間は平均 102 分，標準偏差 16 分の正規分布に従い，現実性を持たせるため，70 分以下および 180 分以上のデータは削除する．ユーザはポアソン分布に従う間隔でデータの受信要求を出し，サーバは 2 個の 4 Mbps のデータを放送する．データのアクセス確率 $P(s)$ ($s = 1, 2$) は $\theta = 0.271$ の Zipf 分布に従い，

$$P(s) = C \frac{1}{s^\theta} \tag{10}$$

で与える． C は正規化定数である．使用する帯域幅は 52 Mbps とする．早送りについては，平均 15 分のポアソン分布に従う間隔で，再生レートの 2 倍の速さで行う．早送りする長さは最大 3 分の一様分布とする．IPB 法は，クライアントが要求したセグメントを放送するストリーム (Contingency Video Stream) として 4 個のストリーム (16 Mbps) 確保し，残りの 36 Mbps を繰り返し放送する帯域に割り当てた．2 個のデータで放送型の帯域をすべて使用するように，分割数は 31 とした．IST 法のパラメータ s_c は，IPB 法と同様に，4 とした．

平均待ち時間のシミュレーション結果を図 10 に示す．横軸は 1 時間あたりの平均到着率とし，縦軸は平均待ち時間とした．このグラフより，平均到着率が

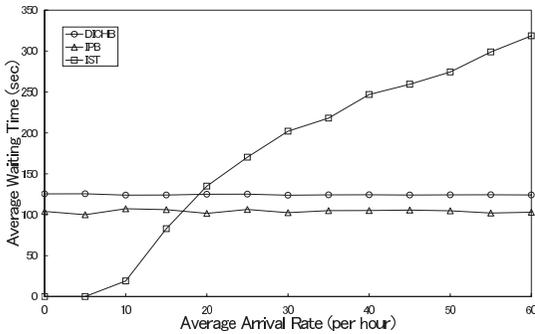


図 10 DICHB, IPB, IST 法の平均待ち時間

Fig. 10 Average waiting time of the DICHB, the IPB and the IST scheme.

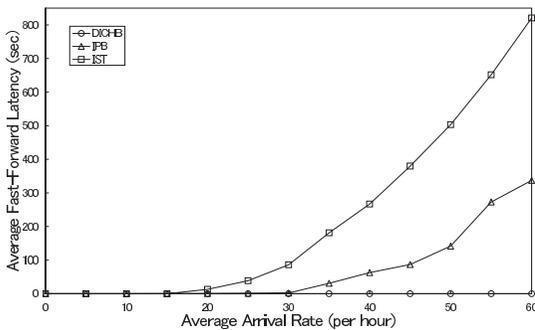


図 11 DICHB, IPB, IST 法の早送りできるまでの平均待ち時間
Fig. 11 Average fast-forward latency of the DICHB, the IPB and the IST scheme.

20 以上の場合, DICHB 法の平均待ち時間が IST 法より短いことが分かる。これは, IST 法では平均到着率が大きいほどサーバは使用できる帯域幅をすぐに使い切り, クライアントはデータ配信の帯域幅が確保できるまで待たなければならないためである。また, DICHB 法の平均待ち時間が IPB 法より長いことが分かる。これは, DICHB 法より IPB 法の方が S_1 を頻繁に放送しているためである。しかし, IPB 法では, クライアントの受信要求に応えるためのストリームに空きがなくなると, ユーザは早送りする場合に, 早送りに必要なデータが放送されるまで再生途中でも長時間待たなければならない可能性がある。そこで, ユーザが早送りする場合に, 早送りできるまでの平均待ち時間を図 11 に示す。図 11 より, DICHB 法では, あらかじめ早送りできるように放送しているため, ユーザが早送りする場合に待つ必要はほとんどないが, IPB 法や IST 法では待たなければならない場合があることが分かる。IST 法より IPB 法の平均待ち時間が短いのは, IPB 法ではセグメント単位でデータを放送しており, 受信済みのセグメントを再生中にそのセ

グメント内の場面で早送りしても待つ必要がないためと考えられる。

以上より, 早送りを行う確率や, 早送りする長さにも依存するが, 平均到着率が比較的大きい場合には, IST 法より DICHB 法が平均待ち時間を短縮できることが分かる。また, IPB 法や IST 法では, 早送りする場合に待たなければならない可能性があるが, DICHB 法では待つ必要はほとんどない。

6. 考 察

6.1 早送りを考慮することによる平均待ち時間の变化

早送りを考慮することにより平均待ち時間が増加するため, 早送りと平均待ち時間がトレードオフとなる。たとえば, MPEG2 で符号化された 4Mbps の 60 分の動画データを 52Mbps のデジタル放送網で配信する場合, $R = 2$ の DICHB 法の平均待ち時間は, 早送りを考慮しない場合 ($R = 1$) より 3 秒長くなる。どちらに重点を置くかは配信者の都合や, 連続メディアデータの内容によって異なる。たとえば, ニュース番組のように視聴者のほとんどが早送りをしない場合には, 平均待ち時間を短縮することに重点を置き, 早送りを考慮しないと考えられる。一方, スポーツ試合のように, 視聴者によって鑑賞したい場面が異なる場合には, 早送りできることに重点を置くことで視聴者は自分の見たい場面のみ見ることができると考えられる。また, $R = 10$ の場合, 平均待ち時間は 2.2 分になる。これは, 再生レートを下げることで短くできる。

6.2 早送りを考慮することによる帯域幅的变化

早送りを考慮することにより, 必要となる帯域幅が増加する。しかし, DICHB 法では, 早送り用にデータを間引くため, R 倍の早送りを考慮しても必要となる帯域幅が R 倍になるとは限らない。たとえば, $R = 2, N = 290$ の DICHB 法では, 早送りを考慮しない場合 ($R = 1$) より必要となる帯域幅が 1.9 倍になる。一方, 途切れのない早送りを可能にするために, 再生レートを大きく見積もって既存の手法を用いると, R 倍の帯域幅が必要になる。このため, 早送りする場合には, 既存の手法を用いるよりも DICHB 法の方が適している。

6.3 スケジューリング手順について

DICHB 法では, B が $(3R + 1)b/2$ 以上の場合と以下の場合に分けてスケジュールを作成している。これは, 使用する帯域幅が比較的小さい状況においても平均待ち時間を短縮するためである。このことに

ついて説明するために、 $B \leq (3R+1)b/2$ の場合も $B \geq (3R+1)b/2$ の場合と同じスケジューリング手順を使用し、チャンネル1で1個のセグメントのみ放送する場合を考える。この場合、チャンネル2の帯域幅を確保できなくなると、データを分割せずに放送することになる。すなわち、 $C_1^f, C_1^n, C_2^f, C_2^n$ の帯域幅は順に $b, (R-1)b, b, (R-1)b/2$ であるため、これらを合計した $(3R+1)b/2$ よりも B が小さくなると、 $N=1$ となる。たとえば、4Mbpsの60分のデータを52Mbpsの帯域幅を用いて放送する場合、10倍の早送りを考慮すると、 $N=1$ となる。平均待ち時間は2.3分になる。そこで、DICHB法では $B \leq (3R+1)b/2$ の場合に $N=1$ とならないように、 C_1 で S_1, \dots, S_{N-1} を順番に放送し、 C_2^f で S_N^f, C_2^n で S_N^n を放送する。 N をチャンネル2の帯域幅を確保できるように決定することで、平均待ち時間を短縮できる。たとえば、前述の例の場合 $N=4$ となる。平均待ち時間は2.2分になり、短縮できていることが分かる。

7. む す び

本論文では、早送りを考慮した放送型配信における平均待ち時間短縮のためのスケジューリング手法を提案した。

提案手法 DICHB法では、クライアントがある範囲内の速度で早送りしても途切れずに再生できるという条件を満たしたうえで、平均待ち時間を短縮する。早送りする速度の再生レートを想定して既存手法 CHB法を用いることで途切れのない早送りが可能になるが、DICHB法は、早送りを考慮した CHB法よりも平均待ち時間を短縮できる。このため、再生レートを大きく見積もった手法よりも DICHB法が早送りに適している。既存の IPB法や IST法と比較した結果、クライアントの平均到着率が比較的大きい場合には、IST法よりも平均待ち時間が短くなることが分かった。

今後の課題として、早送りを考慮して QHB法¹⁷⁾を拡張することや、複数の連続メディアデータを放送する際に、データごとのアクセス頻度を考慮して平均待ち時間を短縮する手法の提案があげられる。

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)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) Aggarwal, C.C., Wolf, J.L. and Yu, P.S.: A permutation-based pyramid broadcasting scheme for video-on-demand system, *Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems (ICMCS '96)*, pp.118-126 (1996).
- 2) Almeroth, K.C. and Ammar, M.H.: 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) Carter, S.W. and Long, D.D.E.: Improving video-on-demand server efficiency through stream tapping, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N '97)*, pp.200-207 (1997).
- 4) Carter, S.W., Long, D.D.E and Paris, J.-F.: An Efficient Implementation of Interactive Video-on-Demand, *Proc. Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MAS-COTS '00)*, pp.172-179 (2000).
- 5) Dan, A., Sitaram, D. and Shahabuddin, P.: Scheduling policies for an on-demand video server with batching, *Proc. ACM Int. Multimedia Conf. (Multimedia '94)*, pp.15-23 (1994).
- 6) Eager, D.L. and Vernon, M.K.: Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand, *Proc. 4th Int. Workshop on Multimedia Information Systems (MIS '98)*, pp.18-32 (1998).
- 7) Hua, K.A. and Sheu, S.: Skyscraper broadcasting: a new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems, *Proc. ACM SIGCOMM*, pp.89-100 (1997).
- 8) 藤原 洋: 最新 MPEG 教科書, マルチメディア通信研究会, p.98, 152, アスキー出版局, 東京 (1997).
- 9) 稲増龍夫: フリッパーズ・テレビ TV文化の近未来形, p.i, 筑摩書房, 東京 (1991).
- 10) Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Harmonic broadcasting for video-on-demand service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.43, No.3, pp.268-271 (1997).
- 11) 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).
- 12) 関東総合通信局: BS デジタル放送について . http://www.kanto-bt.go.jp/faq/bs_digi/bsdi_03.html
- 13) Paris, J.-F.: A Simple Low-Bandwidth Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and*

- Networks (IC3N '99)*, pp.118–123 (1999).
- 14) Paris, J.-F.: A Stream Tapping Protocol with Partial Preloading, *Proc. Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '01)*, pp.423–430 (2001).
- 15) 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).
- 16) 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).
- 17) Paris, J.-F., Carter, S.W. and Long, D.D.E.: Efficient Broadcasting Protocols for Video on Demand, *Proc. Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '98)*, pp.127–132 (1998).
- 18) 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).
- 19) 地上デジタル放送推進協会 .
<http://www.d-pa.org/index.html>
- 20) 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).

(平成 15 年 12 月 20 日受付)

(平成 16 年 4 月 5 日採録)

(担当編集委員 森嶋 厚行)



義久 智樹

1979 年生 . 2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業 . 2003 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了 . 現在 , 同専攻博士後期課程在学中 . 地上波デジタル放送に興味を持つ .



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業 . 1989 年同大学院工学研究科博士前期課程修了 . 同年 , シャープ (株) 入社 . 1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師を経て , 1996 年同専攻助教授 . 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり , 現在に至る . 工学博士 . ウェアラブルコンピューティング・ユビキタスコンピューティングに興味を持つ . ACM , IEEE 等 8 学会の会員 .



西尾章治郎 (フェロー)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業 . 1980 年同大学院工学研究科博士後期課程修了 . 工学博士 . 京都大学工学部助手 , 大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授 , 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て , 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり , 現在に至る . 2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長 , 2003 年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任 . この間 , カナダ・ウォータールー大学 , ピクトリア大学客員 . データベース , マルチメディアシステムの研究に従事 . 現在 , Data & Knowledge Engineering , Data Mining and Knowledge Discovery 等の論文誌編集委員 . ACM , IEEE 等 9 学会の会員 .