

## 早送りを考慮した放送型配信における 待ち時間短縮のためのスケジューリング手法

義久 智樹<sup>†</sup> 塚本 昌彦<sup>†</sup> 西尾 章治郎<sup>†</sup>

近年、放送のデジタル化が進み、安定した多チャンネルの放送が可能になっている。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盛んに研究されている。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、早送り中や、早送り終了後に、データの再生が途切れる可能性がある。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となり、早送りしてもデータを途切れずに再生できる必要があるため、本稿では、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、各チャンネルの帯域幅を広くして、あるチャンネルで放送するデータの量を調整する。こうすることで、ユーザがある速度の範囲内で早送りしても、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。

### A Scheduling Scheme for Waiting Time Reduction on Continuous Media Data Broadcast Considering Fast-Forward Operation

TOMOKI YOSHIHISA,<sup>†</sup> MASAHIKO TSUKAMOTO<sup>†</sup> and SHOJIRO NISHIO<sup>†</sup>

Due to the recent proliferation of digital broadcasting, stable broadcasting with a lot of channels has been realized. In such environments, various schemes for waiting time reduction on continuous media data broadcast have been studied. However, most of these studies do not consider fast-forward operation. Hence, in the case that a user fast-forwards data, he/she often has to wait until subsequence data is broadcasted. Since playing data without any intermittence is important for playing the data according to the preference of a user, in this paper, we propose a scheduling scheme considering fast-forward operation. Our scheme, which is based on the CHB scheme, ensures the wide bandwidth of each channel and controls the size of the data broadcasted in a channel. Thus, the scheme reduces the waiting time while users can play the data without any intermittence even if there are user's fast-forward operations.

#### 1. はじめに

帯域幅の安定した多チャンネルの放送が可能な環境において、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盛んに研究されている<sup>1)~3),7),8),10),11)</sup>。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。

一般に、連続メディアデータを再生する際には、一時停止、巻き戻し、早送りの3つの操作が提供される<sup>1)</sup>。巻き戻しと一時停止は再生したデータをもう一度再生するため、再生したデータをバッファに保存することで可能だが、早送りは一度も再生していないデータを再生する。このため、従来手法では、早送りを行うとデータの再生が途切れる可能性がある。しかし、ユーザが早送りする次のような状況が考えられる。

- 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

<sup>†</sup> 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

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．

このように、ユーザの嗜好に合わせてデータを飛ばし見する行為（ジッピング<sup>5)</sup>）が考えられ、早送りが重要になる．そこで、本稿では、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、各チャンネルの帯域幅を広くして、あるチャンネルで放送するデータの量を調整する．こうすることで、ユーザがある速度の範囲内で早送りしても、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．

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 章で本稿のまとめを行う．

## 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と想定している．

CHB (Cautious Harmonic Broadcasting) 法<sup>11)</sup>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、例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps の連続メディアデータ<sup>4)</sup> 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

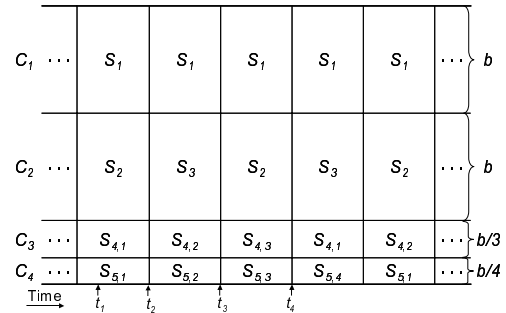


図 1 CHB 法の放送スケジュール ( $N = 5$ )

Fig. 1 A broadcast schedule of the CHB scheme ( $N = 5$ )

を短縮できる．例えば、 $N = 5$  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．例えば、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わかる．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<sup>7),10)</sup>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  $b$  の幾つかのチャンネルを用いて放送する．1 個のチャンネルで幾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データを配信する IPB (Interactive Pagoda Broadcasting) 法<sup>9)</sup>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、必要な帯域幅が広くな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<sup>2),8)</sup>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

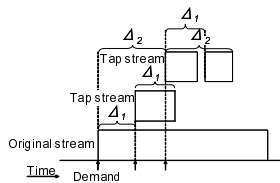


図 2 ST 法の放送スケジュール  
Fig. 2 A broadcast schedule of the ST scheme

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。クライアントはオリジナルストリームとタップストリームから同時にデータを受信することで、初めから最後まで途切れずにデータを再生できる。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 ( 図 2 )。ST 法において、早送りを考慮した IST ( Interactive Stream Tapping ) 法<sup>3)</sup>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 CICHB ( Continuous Interactive Cautious Harmonic Broadcasting ) 法を提案する。CICHB 法は CHB 法を拡張した手法であり、各チャンネルの帯域幅を広くして 1 番目のチャンネルで放送するセグメントの数を調整し、ユーザがある速度の範囲内で早送りしても、データの再生が途切れないようにしている。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

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る。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、CM のような早送りされないことを期待する場面が混在しておらず、すべての場面が早送りしてもよい場

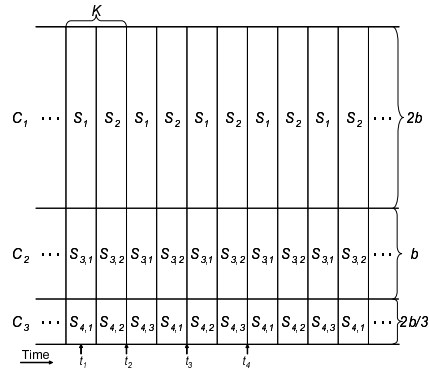


図 3 CICHB 法の放送スケジュール (  $R = 2, N = 4, K = 2$  )  
Fig. 3 A broadcast schedule of the CICHB scheme  
(  $R = 2, N = 4, K = 2$  )

面のデータで、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は考えられる。

#### 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  $S_1, \dots, S_N$  で表す。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。 $N - K + 1$  個のチャンネルを用いる。1 番目のチャンネル  $C_1$  の帯域幅を  $bR$  とし、 $S_1, \dots, S_K$  を順に繰り返し放送する。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、例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps ( $b = 4$ ) の 120 分 ( $D = 120$ ) 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。 $S_i$  ( $i = K + 1, \dots, N$ ) 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。帯域幅が  $bR/(i - 1)$  のチャンネル  $C_{i-K+1}$  で  $S_{i,1}, \dots, S_{i,i-1}$  を順番に繰り返し放送する。 $R = 2, N = 4, K = 2$  の CICHB の放送スケジュールを図 3 に示す。

#### 3.3 導入

連続メディアデータ配信者は CICHB 法のパラメタ  $R, N, K$  を以下の手順で決定する。

- (1) 実現したい早送りの速度にあわせて  $R$  を決定する。
- (2) できる限り大きな  $N$  を選択する。
- (3)  $K$  を必要となる帯域幅と平均待ち時間に合わせて調整する。

$N$  をできる限り大きな値とするのは、5.1 節から分か

るように、帯域幅が同じでも  $N$  が大きいほど平均待ち時間を短縮できるためである。このようにして決定した  $R, N, K$  の値から、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わかるように、これらの情報をデータの初めに付加する。こうすることで、複数の連続メディアデータを同時に放送できる。

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幾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  $S_1$  の受信開始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。 $S_i (i = 1, \dots, N-1)$  の再生終了後、放送されているか、または、バッファにある  $S_{i+1}$  を即座に続けて再生する。こうすることで、クライアントが再生レートの  $R$  倍の速さで再生しても、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  $S_1$  の受信と同時に再生を開始して、 $S_1$  再生終了後の  $t_3$  から再生レートの 2 倍の速さで  $S_{4,1}$  の始まる  $t_4$  まで早送りしても、早送り中のデータ ( $S_2, S_{3,1}, S_{3,2}$ ) を早送り以前に受信しており、早送り終了後のデータ ( $S_{4,1}, S_{4,2}, S_{4,3}$ ) 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

提案手法の解析を行う。

##### 4.1 必要となる帯域幅

1 個の連続メディアデータに対して、必要となる帯域幅  $B$  は

$$B = bR + \sum_{i=K+1}^N \frac{bR}{i-1} \quad (1)$$

$$= (1 + H_{N-1} - H_{K-1})bR \quad (2)$$

となる。ここで  $H_n$  はハーモニック数<sup>11)</sup> と呼ばれ、

$$H_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \quad (3)$$

で定義される。

##### 4.2 待ち時間

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

$$W_{ave} = \frac{DK}{2NR} \quad (4)$$

となる。

##### 4.3 早送り再生

クライアントは  $S_1$  の再生開始後、早くて  $(i-1)D/(NR) (i = 2, \dots, N)$  後に  $S_i$  の再生を開始する。 $i = 2, \dots, K$  の場合、 $S_i$  は  $S_1$  の放送開始後、 $(i-1)D/(NR)$  後に放送されるため、クライアントは  $S_{i-1}$  の再生終了後、必ず続けて  $S_i$  を再生できる。 $i = K+1, \dots, N$  の場合、 $S_{i,1}$  は  $(i-1)D/(NR)$  間隔で放送されるため、 $S_i$  の再生開始時刻までに  $S_i$  のサブセグメントをすべて受信できる。そのため、 $S_{i-1}$  の再生終了後、必ず続けて  $S_i$  を再生できる。すなわち、CICHB 法では、再生レートの  $R$  倍の速度で早送りを行っても、必ずデータの最後まで途切れずに再生できる。

#### 5. 評 価

##### 5.1 必要となる帯域幅

$R = 2$  の CICHB 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 4 に示す。横軸は  $K$  とし、縦軸は必要とな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た。 $N = 50$  のグラフが  $K = 50$  までしか描いていないのは  $K$  の最大値が  $N$  となるためである。このグラフより、 $R, N$  の値を固定すると必要となる帯域幅は  $K$  が大きいほど小さくなることがわかる。これは、 $K$  が大きいほど  $C_1$  で放送するセグメントの数が多くなり、使用するチャンネル数が減少するためである。例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps の動画データを  $R = 2, N = 100, K = 20$  の CICHB 法で放送すると、 $4 \times 5.3 = 21.2$  Mbps の帯域幅が必要になり、 $K = 50$  にすると、 $4 \times 3.4 = 13.6$  Mbps の帯域幅が必要になる。現在のデジタル放送の最大帯域幅は 52 Mbps であるため、これらは十分実用的な値といえる<sup>6)</sup>。

##### 5.2 帯域幅が与えられた場合の平均待ち時間

使用できる帯域幅が与えられた場合の CHB 法および、CICHB 法の平均待ち時間を図 5 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。CHB は早送りを考慮しない CHB 法の平均待ち時間、CHB ( $R=r$ ) ( $r = 2, 5$ ) 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。ユーザが早送りする場合は

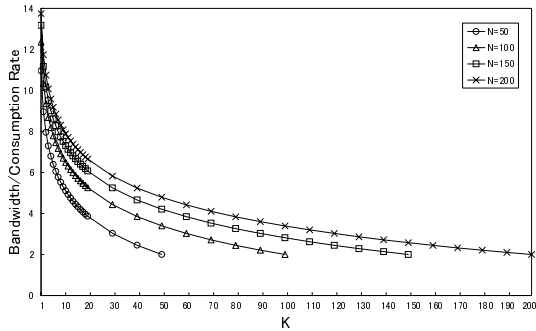


図 4 CICHB 法で必要となる帯域幅 ( $R = 2$ )  
Fig. 4 Necessary bandwidth of the CICHB scheme ( $R = 2$ )

特定できないため、CHB ( $R=r$ ) の待ち時間は、すべての場面を  $r$  倍の速度で早送りを行っても、最後まで途切れずに再生できるようになるまで待ってから再生する場合の平均待ち時間を示す。CICHB ( $R=r$ ) は  $r$  倍の速度の早送りを考慮した CICHB 法の平均待ち時間を示す。CICHB 法のパラメタ  $N$  は 145 とし、使用できる帯域幅に合わせて  $K$  を調整した。CICHB 法では、 $R = 2$  の場合、最低でも再生レートの 2 倍の帯域幅が必要なため、グラフは途中から描いている。

このグラフより、CHB 法で早送りを考慮すると、 $B/b$  が 2 以上の場合には、帯域幅が大きいほど平均待ち時間が長くなるのがわかる。これは、CHB 法では帯域幅が大きくなるほど分割数が大きくなり、 $S_{N,1}$  を放送する間隔が長くなるためである。早送りを考慮した CHB 法で最大の待ち時間を与えるのは、すべてのデータを早送りする場合の  $S_{N,1}$  の再生終了と  $S_{N,1}$  の放送終了が同時になる時刻まで待つ場合であり、 $S_{N,1}$  の放送間隔が長いほど平均待ち時間は長くなる。例えば、 $B/b = 2$  の場合、分割数は 3 となり、 $S_{3,1}$  の放送間隔は  $2D/3$  となる。 $B/b = 3$  の場合、分割数は 7、 $S_{7,1}$  の放送間隔は  $6D/7$  となり、 $2D/3$  より長く、平均待ち時間が長くなる。このように、 $S_{N,1}$  を放送する間隔が長いほど平均待ち時間は長くなるため、 $B/b$  が 2 以上の場合には帯域幅が大きいほど平均待ち時間が長く、データを放送する間隔が  $D$  の  $B/b = 1$  より  $B/b = 2$  の場合の方が平均待ち時間が短くなる。また、CICHB 法では、帯域幅が大きいほど平均待ち時間が短くなっている。これは、CICHB 法では、初めのセグメントを受信するまでの時間が短いほど平均待ち時間が短くなるため、帯域幅が大きいほど  $K$  の値が小さくなり、初めのセグメントを受信するまでの時間が短くなるためである。

例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps の 120

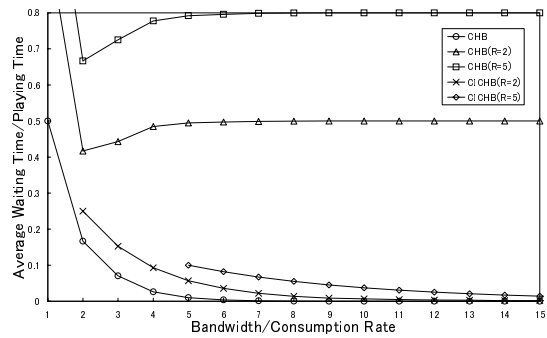


図 5 CHB および CICHB 法の帯域幅と平均待ち時間 ( $N = 145$ )  
Fig. 5 Bandwidth and average waiting time of the CHB scheme and of the CICHB scheme ( $N = 145$ )

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 ( $B/b = 13$ )、2 倍の早送りを考慮した CHB 法の平均待ち時間は 60 分となり、CICHB 法の平均待ち時間は 21 秒となるため、大幅に短縮できることがわかる。また、早送りを考慮しない CHB 法の平均待ち時間は非常に小さく、この場合には、2 倍の早送りを考慮することで平均待ち時間が 21 秒長くなるのがわかる。

### 5.3 IPB, IST 法との平均待ち時間の比較

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。

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  $P(s)$  ( $s = 1, \dots, 3$ ) は  $\theta = 0.271$  の Zipf 分布で与える。現在のデジタル放送と同じく、サーバの使用できる帯域幅は 52 Mbps である<sup>6)</sup>。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。CICHB 法のパラメタ  $N$  は実用性を考えて 145 とし、必要となる帯域幅が 52 Mbps 以下になるように  $K = 16$  とした。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 法のパラメタ  $s_c$  は、IPB 法と同様に、4 とした。

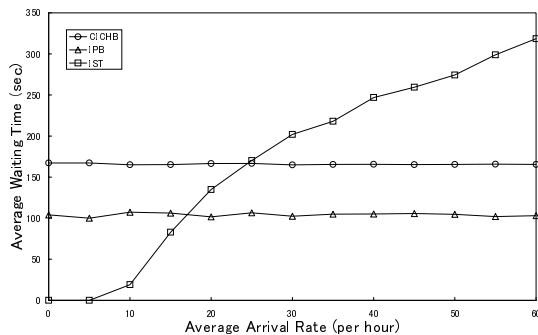


図 6 CICHB, IPB, IST 法の平均待ち時間 ( $R = 2$ ,  $N = 145$ ,  $K = 2$ )

Fig. 6 Average waiting time of the CICHB, the IPB, and the IST scheme ( $R = 2$ ,  $N = 145$ ,  $K = 2$ )

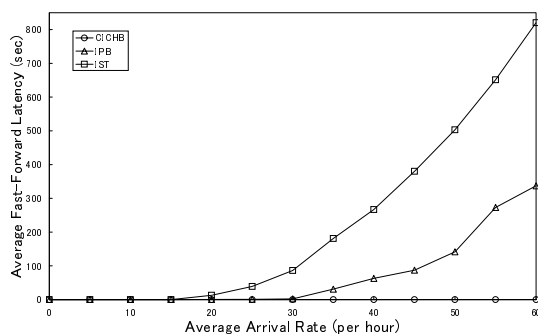


図 7 CICHB, IPB, IST 法の早送りできるまでの平均待ち時間 ( $R = 2$ ,  $N = 145$ ,  $K = 2$ )

Fig. 7 Average fast-forward latency of the CICHB, the IPB, and the IST scheme ( $R = 2$ ,  $N = 145$ ,  $K = 2$ )

平均待ち時間のシミュレーション結果を図 6 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 25 以上の場合、CICHB 法の平均待ち時間が IST 法より短いことがわかる。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用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、CICHB 法の平均待ち時間が IPB 法より長いことがわかる。これは、CICHB 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こた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 7 に示す。図 7 より、CICHB 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わかる。IST 法より IPB 法の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。

## 6. 議 論

CICHB 法は、再生レートの  $R$  倍の速さで早送りを行っても、途切れずに再生できる。このため、ユーザの嗜好に合わせた早送りが可能である。 $K$  の値を変更することで、平均待ち時間と必要となる帯域幅を調整でき、スケーラビリティを確保できる。

### 6.1 早送りを考慮することによる平均待ち時間の変化

一定の帯域のもとでは、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、途切れのない早送りと平均待ち時間の増加がトレードオフとなる。例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps の 120 分の動画データを 52 Mbps のデジタル放送網で配信する場合、 $R = 2$ ,  $N = 145$ ,  $K = 2$  の CICHB 法では、CHB 法より平均待ち時間が 21 秒長くなる (5.2 節)。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。

### 6.2 早送りを考慮することによる帯域幅の変化

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ため、途切れのない早送りと使用する帯域幅の増加がトレードオフとなる。例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps の 120 分の動画データを放送する場合、 $R = 2$ ,  $N = 145$ ,  $K = 2$  の CICHB 法では、CHB 法より必要となる帯域幅が 1.8 倍になる。この場合、 $K = 100$  にすると、必要な帯域幅は 12 Mbps となり、CHB 法の 1/2 になる。このように、 $R$  倍の早送りを考慮すると、必要となる帯域幅が  $R$  倍になるとは限らず、 $K$  の値を変更することで、必要な帯域幅と平均待ち時間を調整できる。ただし、 $K$  が大きいほど平均待ち時間は長くなる。

### 6.3 早送りを考慮した既存手法との比較

早送りを考慮した既存手法である IPB 法や IST 法と比較し、結果を 5.3 節に示した。これより、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 CICHB 法が平均待ち時間を短縮し、使用する最大の帯域幅も削減できることが明らかになった。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、CICHB 法では待つ必要はない。

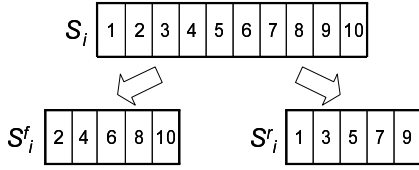


図 8 DICHB 法のセグメントの分割  
Fig. 8 Division of a segment in the DICHB scheme

以上で述べた CICHB 法では連続な早送り (Continuous Interactive Functions) が可能だが、不連続な早送り (Discontinuous Interactive Functions) を考慮することで、必要となる帯域幅を削減できる。ここで連続な早送りとは、セグメントの途中の映像も再生レートを上げて表示する早送りであり、一方、2 番目のフレームの次に 4 番目のフレームを再生するように、早送り中は再生するデータを間引き、フレームを飛ばして表示する早送りを不連続な早送りという<sup>1)</sup>。そこで、CICHB 法を変形し、不連続な早送りを考慮することによって、必要となる帯域幅を CICHB 法より削減する手法として DICHB (Discontinuous Interactive Cautious Harmonic Broadcasting) 法を提案する。

#### 6.4 DICHB 法

CICHB 法と同じく、連続メディアデータを  $N$  個のセグメント  $S_1, \dots, S_N$  に等分割し、帯域幅が  $bR$  の  $C_1$  で  $S_1, \dots, S_K$  を繰り返し放送する。 $S_i$  ( $i = K + 1, \dots, N$ ) はフレーム毎、または GOP 毎に  $R$  倍の早送り用に間引いたデータ  $S_i^f$  とそれ以外のデータ  $S_i^r$  に分ける。 $S_i^f$  のデータサイズは  $bD/(NR)$ 、 $S_i^r$  は  $bD(R-1)/(NR)$  となる。例えば、図 8 のように、10 個のフレームで構成される  $S_i$  を 2 倍の早送り用に間引くと、 $S_i^f$  にはフレーム 2, 4, 6, 8, 10 が含まれ、 $S_i^r$  にはフレーム 1, 3, 5, 7, 9 が含まれる。さらに、 $S_i^f$  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、 $S_i^r$  を  $i$  個のサブセグメント  $S_{i,1}^r, \dots, S_{i,i}^r$  に等分割する。帯域幅が  $b/(i-1)$  のチャンネル  $C_{i-K+1}^f$  で  $S_{i,1}^f, \dots, S_{i,i-1}^f$  を順番に繰り返し放送し、帯域幅が  $(R-1)b/i$  のチャンネル  $C_{i-K+1}^r$  で  $S_{i,1}^r, \dots, S_{i,i}^r$  を順番に繰り返し放送する。 $R=2, N=4, K=2$  の DICHB 法の放送スケジュールを図 9 に示す。GOP 単位でデータを間引く場合、GOP 単位のデータの再生がスムーズに鑑賞できるように、データサイズを十分小さくして符号化する。DICHB 法は CICHB 法と同じく、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に適用できる。

1 個の連続メディアデータに対して必要となる帯域

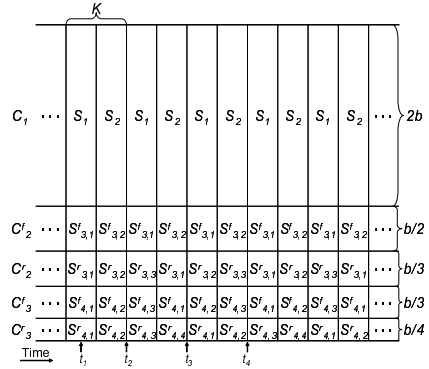


図 9 DICHB 法の放送スケジュール ( $R=2, N=4, K=2$ )  
Fig. 9 A broadcast schedule of the DICHB scheme ( $R=2, N=4, K=2$ )

幅  $B$  は

$$B = (1 + H_{N-1} - H_{K-1}) bR - \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{N} \right) (R-1)b \quad (5)$$

となる。 $S_{i,1}^f$  が  $(i-1)D/(NR)$  間隔で放送されるため、 $R$  倍の速度で早送りしても、必ずデータを途切れずに再生できる。例えば、図 9 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  $S_1$  の受信と同時に再生を開始して、 $S_1$  再生終了後の  $t_3$  から再生レートの 2 倍の速さで  $S_{4,1}$  の始まる  $t_4$  まで早送りしても、早送り中のデータ ( $S_2, S_{3,1}^f, S_{3,2}^f$ ) を早送り以前に受信しており、早送り終了後のデータ ( $S_{4,1}^r, S_{4,2}^r, \dots, S_{4,3}^r, S_{4,4}^r$ ) 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。早送りしない再生区間では、 $S_{i,1}^r$  が  $iD/(NR)$  間隔で放送されるため、 $S_{i,1}^r$  を受信しても  $(1/R - 1/i)D/N$  だけ待たなければならない可能性があるが、間引いていないデータを再生できる。

$R=2$  の場合に CICHB 法と DICHB 法で必要となる帯域幅を図 10 に示す。横軸は  $K$  とし、縦軸は必要とな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た。このように、DICHB 法を用いると、CICHB 法より必要となる帯域幅を削減できる。例えば、MPEG-2 で符号化された 4 Mbps の 120 分の動画データを  $R=2, N=100, K=2$  の CICHB 法で放送すると、必要となる帯域幅は 41.6 Mbps となるが、DICHB 法では 39.6 Mbps になる。しかし、早送り中の再生レートは CICHB 法より低く、セグメントを間引いたデータとそれ以外のデータに分けるため、導入が複雑になる。

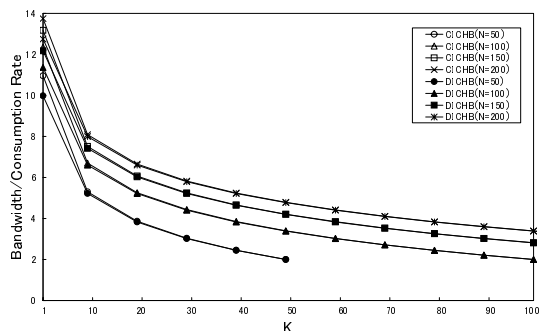


図 10 CICHB 法と DICHB 法の帯域幅 ( $R = 2$ )  
Fig. 10 Bandwidth of the CICHB scheme and the DICHB scheme ( $R = 2$ )

## 7. 結 論

本稿では、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 CICHB 法では、クライアントがある速度の範囲内で早送りしても、途切れずに再生できる条件を満たしたうえで、平均待ち時間を短縮する。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、

使用する最大の帯域幅がこれらの手法よりも小さくてよく、IST 法よりも平均待ち時間が短くなることがわかった。

CICHB 法では、早送り中の映像を再生レートを上げて表示する連続な早送りが可能だが、フレームを飛ばして再生する不連続な早送りを考慮すると、必要となる帯域幅を削減できるため、不連続な早送りを考慮した DICHB 法を提案した。

今後の課題として、早送りを考慮して QHB 法<sup>11)</sup>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、データ毎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挙げられる。

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。

## 参 考 文 献

1) K. C. Almeroth and M. H. Ammar: "On the Use of Multicast Delivery to Provide a Scalable and Interactive Video-on-demand Ser-

vice," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, pp. 1110-1122 (1996).

- 2) S. W. Carter and D. D. E. Long: "Improving Video-on-demand Server Efficiency Through Stream Tapping," in *Proc. of the Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N '97)*, pp. 200-207 (1997).
- 3) S. W. Carter, D. D. E Long and J.-F. Paris: "An Efficient Implementation of Interactive Video-on-Demand," in *Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '00)*, pp. 172-179 (2000).
- 4) 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).
- 5) 稲増 龍夫: "フリッパーズ・テレビ TV 文化の近未来形," 筑摩書房, 東京, p. i (1991).
- 6) 関東総合通信局: "BS デジタル放送の技術紹介," <http://www.k-denkan.go.jp/topi/bsdfaq2.html>
- 7) J.-F. Paris: "A Simple Low-Bandwidth Broadcasting Protocol for Video-on-Demand," in *Proc. of the Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N '99)*, pp. 118-123 (1999).
- 8) J.-F. Paris: "A Stream Tapping Protocol with Partial Preloading," in *Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '01)*, pp. 423-430 (2001).
- 9) J.-F. Paris: "An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand," in *Proc. of the IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01)*, pp. 347-353 (2001).
- 10) J.-F. Paris, S. W. Carter, and D. D. E. Long: "A Hybrid Broadcasting Protocol for Video on Demand," in *Proc. of the Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN '99)*, pp. 317-326 (1999).
- 11) J.-F. Paris, S. W. Carter and D. D. E. Long: "Efficient Broadcasting Protocols for Video on Demand," in *Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '98)*, pp. 127-132 (1998).