

## 放送通信融合環境における ストリーミング配信の受信端末選択手法

義久 智樹<sup>†</sup> 鈴木 健太郎<sup>††</sup> 金澤 正憲<sup>†††</sup>

近年の放送通信融合環境への関心の高まりにともない、放送と通信を用いたストリーミング配信が注目されている。放送通信融合環境におけるストリーミング配信では、音楽や映像といったストリーミングデータを放送から受信すると同時に他の再生端末からも受信する。放送と通信の短所を互いに補えるが、効率的にデータを配信しなければ再生の中断時間が長くなる。そこで筆者らは、通信の帯域幅を考慮したうえでストリーミングデータの放送スケジュールを作成する手法を提案してきた。本研究では、本手法における受信端末の選択手法を改善し、比較評価を行う。

### An Method to Select Seeder for Streaming Delivery on Environment of Broadcast and Communications Integration

TOMOKI YOSHIHISA,<sup>†</sup> KENTARO SUZUKI<sup>††</sup>  
and MASANORI KANAZAWA<sup>†††</sup>

Due to the recent popularization of environments of broadcast and communication integration, streaming delivery using broadcast and communication attracts attention. In streaming delivery on the environment, clients concurrently receive streaming data such as music or movie from broadcasting systems and communication systems. Although these systems compensate their demerits for each other, the interruption time is lengthened if the system does not deliver the data efficiently. Hence, we proposed a scheduling method considering the bandwidth for the communication system. In this research, we improve the selecting algorithm of seeders, i.e., computers to receive data, and compare these methods.

#### 1. まえがき

近年のコンテンツ産業の隆盛に伴い、音楽データや映像データを受信しながら再生するストリーミング配信に対する注目が高まっている。ストリーミング配信では、一般に、データは幾つかの部分に分割される。本研究では、分割されたデータを受信するとすぐに再生するストリーミング配信ではなく、再生開始時刻になってから再生開始するストリーミング配信を対象としている。データを再生する再生端末が、分割されたデータを再生開始時刻までに受信完了していない場合、再生が中断されるため、この再生中断時間を短縮する様々な手法が提案されている。

一方、放送通信融合環境への関心が高まっており、

融合することで放送と通信両方の短所を互いに補える。電波放送やインターネットマルチキャストといった放送と、通信両方からデータを受信して再生中断時間を短縮する研究が幾つか行われているが、放送スケジュールを工夫する手法はなかった<sup>1)</sup>。

そこで筆者らは、放送通信融合環境におけるストリーミング配信の再生中断時間短縮のためのスケジューリング手法を提案してきた。提案手法では、通信からのデータ受信による帯域幅の増加を考慮して放送スケジュールを作成する。本論文では、本手法における受信端末の選択手法に既存の手法を用い、その性能改善を試みる。

以下、2章で関連研究を紹介し、3章で対象とする放送通信融合環境を説明する。3章で想定する放送通信融合環境とこれまでの手法を説明し、4章で評価を行う。5章で考察を行い、最後に6章で本稿をまとめる。

#### 2. 関連研究

放送と通信両方からストリーミングデータを受信する幾つかの手法が提案されている。

<sup>†</sup> 大阪大学サイバーメディアセンター  
Cybermedia Center, Osaka University

<sup>††</sup> 京都大学大学院情報学研究科  
Graduate School of Informatics, Kyoto University

<sup>†††</sup> 京都大学学術情報メディアセンター  
Academic Center for Computing and Media Studies,  
Kyoto University

UVoD<sup>2)</sup>では、幾つかの放送チャンネルを用いて、同じデータを繰り返し放送する。各チャンネルでデータの初めが放送される時刻をずらすことで、再生端末がデータを初めから再生できる機会が増え、再生開始までの待ち時間を短縮できる。さらに再生開始までの待ち時間を短縮するため、ある再生端末が受信要求を出した際、次にデータの初めが放送されるまでの時間が長い場合には、通信を用い、ユニキャストでその再生端末に必要なデータを配信する。

Super-Scaler VoD<sup>3)</sup>では、UVoDと同じく、データの初めが放送される時刻をずらして幾つかのチャンネルで同じデータを繰り返し放送する。次にデータの初めが放送されるまでの時間が長い場合には、そのデータの受信要求を出している再生端末をまとめ、これら複数の再生端末にマルチキャストに必要なデータを配信している。

NBB VoD<sup>4)</sup>でも、他の手法と同じく、データの初めが放送される時刻をずらして幾つかのチャンネルで同じデータを繰り返し放送する。次にデータの初めが放送されるまでの時間が長い場合に、必要なデータを他の再生端末が既に受信していれば、その再生端末からデータを受信する。必要なデータをもつ再生端末が他にない場合には、ユニキャストに必要なデータを配信する。

これらの手法とは異なり、BCD法<sup>5)</sup>では、データを幾つかの部分に分割し、分割したデータを各チャンネルで繰り返し放送する。単にデータの初めが放送される時刻をずらす場合と比べて、分割したデータを再生しながら受信できるため、さらに待ち時間を短縮できる。通信側の手法は、NBB VoDと同様に再生端末間でも送受信を行っている。

本論文では、筆者らがこれまでに提案したBCD法とNBB VoD法の受信端末選択手法を比較する。次章で本研究で想定する放送通信融合環境を説明し、BCD法の詳細を述べる。

### 3. 放送通信融合環境

放送通信融合環境におけるストリーミング配信では、再生端末は放送システムと通信システム両方からデータを受信する。ここで、セグメントとは放送で配信する場合に各チャンネルで放送される分割されたストリーミングデータを示し、ピースはデータ送受信の単位であり、再生端末はピースごとにデータを再生できる。セグメントには複数のピースが含まれる。

放送システムでは、様々なストリーミング配信が考えられるが、本研究では、再生中断時間を短縮できる

ニアオンデマンド型のストリーミング配信を想定する。ニアオンデマンド型では、複数の放送チャンネルを用い、各チャンネルで同じセグメントを繰り返し放送することで、再生端末がセグメントを受信できる機会が増え、再生中断時間を短縮できる。電波放送やインターネットマルチキャストといった放送を想定しており、マルチキャストによる比較的単純な放送でも本研究の手法を用いることができる。

通信システムにおけるストリーミング配信も、様々な手法が考えられるが、本研究では、P2Pストリーミングやグリッドキャストと呼ばれる端末伝送型のストリーミング配信を想定する。端末伝送型では、ストリーミングデータを幾つかのピースに分割して配信する。トラッカと呼ばれる端末がすべての再生端末の接続状況を把握しており、新たに接続する再生端末はトラッカに問い合わせることで他の再生端末のIPアドレスを取得できる。配信サーバからだけでなく再生端末間でもピースを送受信することで、配信サーバにかかる負荷を軽減できる。このため、端末伝送型は配信サーバからのみ直接データを受信するクライアントサーバ型と比べて再生中断時間を短縮できる。本研究では放送から受信できるため、スーパーシードと呼ばれるすべてのピースをもつ端末は設けない。通信時に要求したピースが存在しない場合には、放送されるまで待つことになる。

#### 3.1 BCD法

筆者らは放送通信融合環境におけるストリーミング配信の再生中断時間短縮手法BCD(Broadcast and Communication based Delivery)法<sup>5)</sup>を提案している。同様の説明ではあるが、論文の可読性を高めるためここで詳しく説明する。本手法はHD法<sup>6)</sup>とCool-Streaming<sup>7),8)</sup>の利点を活用した手法である。

##### 3.1.1 通信システムの配信方法

ピースを放送から受信しても再生開始時刻に間にかかかわらず通信から受信すると、通信帯域を無駄に消費することになるため、BCD法では、放送では間に合わないピースのみ通信からの受信を試み、最も早く受信完了できる再生端末から前の方のピースを受信する。BCD法では、再生開始時刻に間に合わなくても、放送から受信するより早く受信できる場合には通信から受信する。受信する再生端末とピースを決定するアルゴリズムを図1に示す。

ピースを受信しようとしている再生端末をReacherと呼ぶ。まずすべての再生端末から、ある再生端末(TmpPlayer)をピースを受信する標的として考える。Reacherはトラッカに問い合わせることですべての

```

When a player finishes receiving a piece:
input: Time                               output: TargetPlayer, TargetPiece
//すべての再生端末について
for TmpPlayer ∈ players do
//自分をもっておらず TmpPlayer がもつ最初のピースを探す
TmpPiece=FindPiece(TmpPlayer);
if TmpPiece is nothing then//TmpPiece がなければ
next TmpPlayer
end if
//TmpPlayer から TmpPiece を受信するのにかかる時間を計算
ComDownloadTime=CalculateComDownloadTime(Time, TmpPlayer, TmpPiece);
//TmpPiece を放送から受信する場合にかかる時間を計算
BroDownloadTime=CalculateBroDownloadTime(Time, TmpPiece);
//TmpPiece の再生開始時刻を計算
PlayStartTime=CalculatePlayStartTime(Time, TmpPiece);
if PlayStartTime < BroDownloadTime and//放送では間に合わない
ComDownloadTime < BroDownloadTime and//放送より通信の方が早い
ComDownloadTime < DownLoadTime then//この再生端末が他より早い
DownLoadTime = ComComDownLoadTime;
TargetPlayer = TmpPlayer;
TargetPiece = TmpPiecxer;
end if
end for

```

図 1 BCD 法の通信システムのアルゴリズム

Fig. 1 The algorithm for communication systems under BCD method

TmpPlayer を把握できる。Reacher は、自分をもっておらず TmpPlayer がもつ最初のピース (TmpPiece) を探す。TmpPlayer がもつピースのリストを要求して取得することで可能である。同時に Reacher と TmpPlayer 間の通信帯域を計測する。Reacher がもっておらず TmpPlayer がもっているピースがなく、TmpPiece が見つからない場合には、次の TmpPlayer を標的とする。TmpPiece がある場合には、そのピースを TmpPlayer から受信する場合に必要な時間 (ComDownLoadTime) を計算する。これは、ピースのリストの取得時に計測した通信帯域から計算できる。また、放送から受信する場合に必要な時間 (BroDownLoadTime) を計算する。これは、放送スケジュール内で TmpPiece が次に放送される時刻と現在時刻の差をとることで計算できる。さらに、TmpPiece の再生開始時刻を計算する。これは、Reacher が現在再生中のピースから TmpPiece を再生開始するまでの時間を計算して求められる。以上の値を用い、放送では再生開始まで間に合わず、放送より通信で受信する方が早く受信でき、TmpPiece を TmpPlayer から受信するのが一番早くピースを受信できる場合に、その TmpPlayer をピースの受信先とし、TmpPiece の受信を開始する。

### 3.1.2 放送システムの配信方法

BCD 法では、実際の放送帯域に通信帯域を擬似的に追加して放送スケジュールを作成する。追加する放送帯域を追加放送帯域と呼ぶ。BCD 法では、データを幾つかのセグメントに分割して各放送チャンネルで繰り返し放送する。放送スケジュールの作成アルゴリズムを図 2 に示す。

追加放送帯域を  $b_a$ 、ストリーミングデータの再生時間を  $p_s$ 、再生レートを  $r$ 、ピースのデータサイズを

```

input:  $p_s, a_p, r, b_i, N$                                output:  $a_i$ 
Sum_p=0;
 $a_1=0$ ;
while Sum_p <  $p_s$  do//合計再生時間が再生時間を越えるまで
 $a_1 += a_p // S_1$  のデータサイズ
 $p_1 = a_1 / r // S_1$  の再生時間
 $d_1 = a_1 / b_1 // S_1$  の放送時間
Sum_p =  $p_1 //$ 合計再生時間に  $S_1$  の再生時間を加える
//Tmp_d2 を計算
if  $b_1 < r$  then
Tmp_d2 =  $d_1 + a_p / r$ ;
else
Tmp_d2 =  $p_1 + a_p / b_1$ ;
end if
 $e_2 = b_a \times \text{Tmp}_d2 / r$ ;
 $d_2 = \text{Tmp}_d2 + e_2 // S_2$  の放送時間
for  $i=2$  to  $N$  do
 $a_i = d_i \times b_i // S_i$  のデータサイズ
 $p_i = a_i / r // S_i$  の再生時間
Sum_p +=  $p_i //$ 合計再生時間に  $S_i$  の再生時間を加える
 $e_{i+1} = b_a \times p_i / r$ ;
 $d_{i+1} = d_i + p_i + e_{i+1}$ ;
end for
end while

```

図 2 BCD 法の放送システムのアルゴリズム

Fig. 2 The algorithm for broadcast systems under BCD method

$a_p$  とする。使用できる  $N$  個のチャンネルの帯域幅を  $b_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) とし、チャンネル  $i$  で繰り返し放送するセグメントを  $S_i$ 、そのデータサイズを  $a_i$ 、放送にかかる時間を  $d_i$  とする。まず、 $a_2$  について、 $b_1 < r$  の場合、 $S_1$  の再生終了までの最短時間は  $S_1$  に含まれる最後のピースの受信完了と同時に最後のピースを再生開始する場合であり、最後のピースの受信完了にかかる時間  $d_1$  と最後のピースの再生時間  $a_p/r$  の和になる ( $\text{Tmp}_d2$ )。これは、通信からのピース受信を追加放送帯域で考慮しており、この時点では放送からの受信のみ考えているためである。 $S_1$  の再生終了までに  $b_a$  の帯域幅を用いて通信からデータを受信すると考えるため、この間に通信から受信したデータの再生時間は  $e_2 = b_a \times \text{Tmp}_d2 / r$  になる。 $S_2$  の再生開始まで  $d_2 = \text{Tmp}_d2 + e_2$  の時間をかけられるため、 $S_2$  のデータサイズ  $a_2 = d_2 \times b_2$  となる。 $b_1 > r$  の場合、 $S_1$  の再生終了までの最短時間は  $S_1$  に含まれる最初のピースの受信完了と同時に再生開始する場合であり、最初のピースの受信完了にかかる時間  $a_p/b_1$  と  $S_1$  の再生時間  $p_1$  の和になる ( $\text{Tmp}_d2$ )。 $a_2$  は先ほどと同様に求められる。次に  $a_{i+1}$  ( $i = 2, \dots, N$ ) について、 $S_i$  の再生時間  $p_i$  は  $a_i/r$  と求められ、この間  $b_a$  の帯域幅を用いて通信からデータを受信することになる。通信から受信したデータの再生時間は  $e_{i+1} = b_a \times p_i / r$  となり、 $S_{i+1}$  の再生開始まで  $d_{i+1} = d_i + p_i + e_{i+1}$  かけられることになる。これより  $a_{i+1} = d_{i+1} \times b_{i+1}$  と求められる。再生時間の合計 (Sum\_p) がデータの再生時間と等しくなるように  $a_1$  を調整することで、データを分割するデータサイズが求まる。

ある放送通信融合環境で再生中断時間を最短にする追加放送帯域を最適追加放送帯域と呼ぶ。最適追加放送帯域は、再生端末の視聴要求の到着間隔や、再生

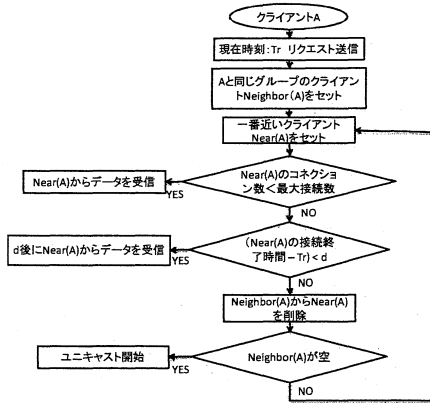


図 3 NBB VoD の通信システムのアルゴリズム  
Fig. 3 The algorithm for communication systems under NBB VoD method

レート、再生時間、平均通信帯域、分布形状といった複数の要因で決まる。一概に解析できず、方程式で求めることは非常に困難である。そこで幾つかの追加放送帯域における再生中断時間をコンピュータシミュレーションで求めて最適追加放送帯域を発見する。最適追加放送帯域を発見するコンピュータシミュレーションは、CPU: Dual Xeon 2GHz, メモリ 4G バイトの計算機環境で 6 時間程度で終了する。最適追加放送帯域は、ストリーミング配信を開始する前に求めるため、時間がかかっても問題ないが、現実的な時間で求められている。

### 3.2 NBB VoD 法

本論文では、BCD 法の通信システムの配信方法として NBB VoD 法を用いることで、受信端末の選択手法を変更する。これは、放送システムの配信方法は、BCD 法のようにストリーミングデータを分割し、各チャンネルで分割したデータを繰り返し放送する方が平均再生中断時間を短縮できることが明らかのためである。

#### 3.2.1 通信システムの配信方法

NBB VoD の通信システムのアルゴリズムを図 3 に示す。再生端末 A が時刻  $T_r$  に受信要求を送信すると、まず A と同じグループの Neighbor(A) を取得する。Neighbor(A) は、自身も持っているが A がもっていないピースをもつ再生端末のリストである。さらに、Neighbor(A) の中から通信距離が一番近く、早くピースを受信できる再生端末 Near(A) を取得する。ここで、Near(A) に接続している再生端末の数が最大の接続数より小さい場合には Near(A) からデータを受信する。そうでなく、Near(A) の最も最近の接続終了時

表 1 評価に用いた値  
Table 1 Values for evaluations

視聴要求の平均到着間隔	30.0 秒
再生レート	2Mbps
再生時間	30 分
ピースサイズ	125K バイト
シミュレーション時間	3 時間
通信帯域の揺れ	5%
放送チャンネル数	4 個
チャンネルの帯域幅	1.4Mbps

間と  $T_r$  の差が  $d$  以下の場合には Near(A) からデータを取得する。その他の場合には、Neighbor(A) から Near(A) を削除し、次の Neighbor(A) からの受信を試みる。すべての Neighbor(A) からデータを受信できない場合には、ユニキャストでサーバから送信することになる。

## 4. 評価

受信端末選択手法の比較を行うため、評価を行った。評価にはコンピュータシミュレーションを用い、表 1 に示す値を用いた。視聴要求の平均到着間隔は、視聴者がストリーミングデータの視聴要求を出す間隔である。一般的な到着であるポアソン過程に従うものとし、平均到着間隔をポアソン分布で与えた。MPEG2 の Low プロファイルで符号化された 30 分の映像データを想定し、GOP (Group Of Pictures) と呼ばれる再生の単位をピースと考え、GOP の標準サイズである 0.5 秒分をピースのデータサイズとした。通信帯域の揺れとはピースを受信する再生端末を決定する際に用いる再生端末間で算出した帯域幅と、実際の帯域幅の誤差である。地上波デジタル放送を想定し、1.4Mbps の 4 個の放送チャンネルを用いるとした。

NBB VoD では、手法のパラメタとして最大接続数と  $d$  がある。文献<sup>4)</sup>の評価に従い、最大接続数は 4、 $d$  は 90 秒とした。また、本研究の想定環境では、サーバが存在せずユニキャストが不可能なため、ユニキャストの部分については省略した。

#### 4.1 再生中断時間と再生中断回数

各手法における各再生端末の再生中断時間を図 4 に示す。横軸は再生端末が視聴要求を出した時刻であり、縦軸は各再生端末の再生中断時間合計である。再生端末間の通信帯域は正規分布で与え、平均通信帯域を 1024Kbps, 512Kbps 以下になる確率が 1% になるように分散を  $220(\text{Kbps})^2$  とした。BCD 法の追加放送帯域は平均通信帯域と同じく 1024Kbps とした。

多くの場合、BCD 法が NBB VoD 法よりも再生中断時間が短くなっている。BCD 法と NBB VoD 法の



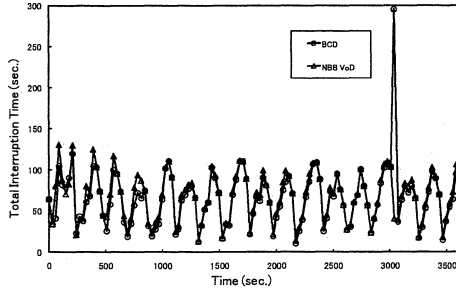


図 4 再生端末の視聴要求時刻と再生中断時間  
Fig. 4 The time for requesting playing the data and the interruption time

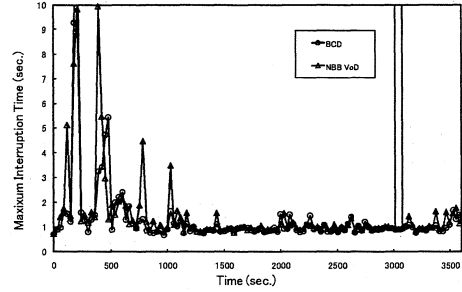


図 6 再生端末の視聴要求時刻と最大再生中断時間  
Fig. 6 The time for requesting playing the data and the maximum interruption time

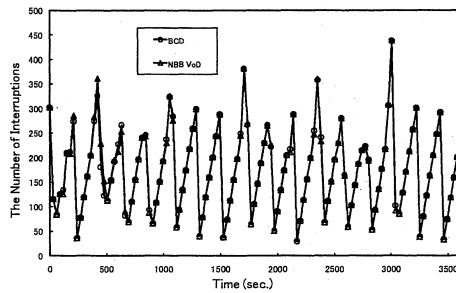


図 5 再生端末の視聴要求時刻と再生中断回数  
Fig. 5 The time for requesting playing the data and the number of interruption

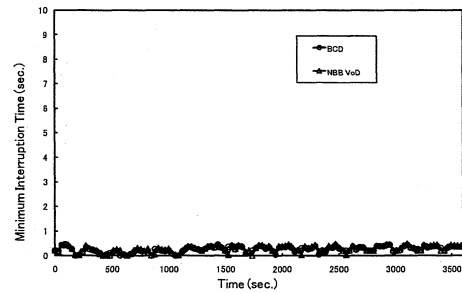


図 7 再生端末の視聴要求時刻と最小再生中断時間  
Fig. 7 The time for requesting playing the data and the minimum interruption time

放送システムのアルゴリズムは同じであるため、通信システムのアルゴリズムの違いでこの差が生じている。評価結果を調査したところ、NBB VoD 法の接続数の制限で端末伝送が行われなくなることが何度あり、このために NBB VoD 法の再生中断時間が長くなる場合があると考えられる。

また、再生中断回数を図 5 に示す。横軸は再生端末が視聴要求を出した時刻であり、縦軸は各再生端末の再生中断回数である。例えば、時刻 0 秒に視聴要求を出した再生端末の場合、再生中断は BCD では 302 回発生し、合計で 65 秒、NBB VoD でも 302 回で合計 65 秒発生しているが、時刻 89.7 秒に視聴要求を出した再生端末は BCD では 126 回で 104 秒、NBB VoD では 126 回で 130 秒になっている。この場合、BCD 法の再生中断時間が短い。

#### 4.2 最大、最小再生中断時間

最大、最小の再生中断時間も受信端末選択手法の評価指標となるため、評価を行った。最大再生中断時間の結果を図 6、最小再生中断時間の結果を図 7 に示す。横軸は再生端末が視聴要求を出した時刻であり、

縦軸は各再生端末の最大、最小再生中断時間である。BCD 法と NBB VoD 法で最小再生中断時間に違いはないが、最大再生中断時間は、ほとんどの場合 BCD 法が短い。これは、BCD 法の通信システムのアルゴリズムが効率的に働いているためである。時刻 3040 秒のように急激に長くなる場合があるが、これはピースを受信していた再生端末が再生を終了し、送信中にもかかわらずネットワークから切断したためである。

また、各再生端末の帯域幅が異なっているため再生端末ごとに再生中断時間が変化しているが、手法ごとに傾向がある。そこで以降、シミュレーション期間中で再生を終了した全ての再生端末の再生中断時間の平均値を評価値として用いる。

#### 4.3 平均到着間隔

平均到着間隔を考慮し、現実的な平均再生中断時間になるようにシステムを設計することが考えられる。そこで、平均到着間隔と平均再生中断時間の関係を調べた。結果を図 8 に示す。横軸は平均到着間隔、縦軸は平均再生中断時間合計である。

例えば、平均到着間隔が 30 秒の場合、BCD では平

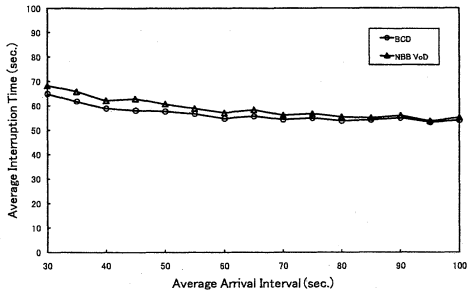


図 8 平均到着間隔と再生中断時間  
Fig. 8 The average arrival rate and the average interruption time

均再生中断時間は 65.0 秒, NBB VoD では 68.3 秒になっており, BCD 法は NBB VoD 法に比べて 5%短縮できている。

## 5. 考 察

### 5.1 BCD 法と NBB VoD 法

評価結果より BCD 法の平均再生中断時間が NBB VoD 法に比べて短いことがわかる。これは, BCD 法で受信完了までにかかる時間が短いピースを受信しているからである。NBB VoD 法では, 前の方のピースほど優先的に受信している。このため, BCD 法の通信システムのアルゴリズムが効率的に働き, 再生中断時間を短縮できている。

### 5.2 ストリーミング再生について

ストリーミング再生では, 全てのパケットを必ずしも受信する必要はなく, ある程度のパケットが受信できなくても再生端末は再生を続けられる。この場合画質が悪くなるが, 視聴者は悪い画質でも構わずに再生することが考えられる。評価実験においては全てのパケットを受信することを前提とした評価を行っているが, 視聴者が悪い画質でも構わずに再生し続けることを前提とする場合は, 評価実験において再生レートを低くみなす場合に対応する。

## 6. ま と め

本論文では, 放送通信融合環境におけるストリーミング配信の再生中断時間を短縮する BCD 法において, 受信端末の選択手法を変更し, 評価を行った。平均到着間隔が 30 秒の場合, BCD 法は NBB VoD 法に比べて 5%短縮できている。今後, 放送通信融合環境において早送り, 巻き戻しを行う場合や選択型コンテンツ<sup>9)</sup>を配信する場合の再生中断時間短縮手法を考えている。

謝辞 本研究の一部は, 平成 20 年度総務省委託研究「ユビキタスサービスプラットフォーム技術の研究開発」による成果である。また一部は, 文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B))「選択型コンテンツの放送型配信に関する研究」(課題番号: 18700085)によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) R. Asorey-Cacheda, N. Courville, F.J. Gonzalez-Castano, H. Bischl, A Survey and Perspective on NVoD Systems for Satellite Networks, in Proc. IEEE Int'l Work. Satellite and Space Communications (IWSCC 2007), pp. 230-233 (2007).
- 2) J. Y. B. Lee, UVoD: An Unified Architecture for Video-on-Demand Services, IEEE Communication Letters, Vol. 3, No. 9, pp. 277-279 (1999).
- 3) J. Y. B. Lee, C. H. Lee, Design, Performance Analysis, and Implementation of a Super-Scalar Video-on-Demand System, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 12, Issue 11, pp. 983 - 997 (2002).
- 4) T. Taleb, N. Kato, Y. Nemoto, Neighbors-Buffering-Based Video-on-Demand Architecture Signal Processing: Image Communication, Vol. 18, Issue 7, pp. 515-526 (2003).
- 5) 義久 智樹, 原 隆浩, 西尾 章治郎, 放送通信融合環境におけるストリーミング配信の再生中断時間短縮手法, 情報処理学会シンポジウムシリーズ Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2008) Vol. 2008, No. 2, CD-ROM (2008).
- 6) 義久 智樹, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎, 分割放送方式におけるチャンネルの帯域幅を考慮した連続メディアデータの分割手法, 電子情報通信学会和文論文誌 B, Vol. J91-B, No. 3, pp. 300-308 (2008).
- 7) X. Zhang, J. Liu, B. Li, DONet/CoolStreaming: A Data-driven Overlay Network for Live Media Streaming, in Proc. IEEE INFOCOM2005, Vol. 3, pp. 2102-2111 (2005).
- 8) X. Zhang, J. Liu, B. Li, On Large Scale Peer-to-Peer Live Video Distribution: CoolStreaming and Its Preliminary Experimental Results, in Proc. IEEE Int'l Work. on Multimedia Signal Processing (MMSP 2005), pp. 2102-2111 (2005).
- 9) 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).