

# 放送通信融合環境における映像再生端末数を考慮した ストリーミング配信手法

義久 智樹<sup>1,a)</sup> 西尾 章治郎<sup>1,b)</sup>

受付日 2012年5月14日, 採録日 2012年11月2日

**概要:** 近年の映像ストリーミング配信の普及にともない, 放送通信融合環境に対する注目が高まっている. 放送通信融合環境では, 映像の再生端末は, 放送からと同時に通信からもデータを要求して受信できる. 再生端末の数が多の場合, 配信サーバは, 通信からの配信に時間がかかるデータを放送することで, 再生端末で発生する再生中断時間を短縮できる. しかし, 再生端末の数が少ない場合, 同じデータを要求する再生端末の数が少なくなって, 複数の要求をまとめて満たせる確率が少なくなり, 再生中断時間を効率的に短縮できなかった. そこで本研究では, 再生端末の数が少なくなると, 映像データを順番に放送するストリーミング配信手法を提案する. 順番に放送することで, 複数の再生端末が未受信のデータを配信でき, 効率的に再生中断時間を短縮できる.

**キーワード:** 通信・放送融合, ビデオオンデマンド, インターネット放送

## Streaming Delivery Methods Considering the Number of Video Players on Hybrid Broadcasting Environments

TOMOKI YOSHIHISA<sup>1,a)</sup> SHOJIRO NISHIO<sup>1,b)</sup>

Received: May 14, 2012, Accepted: November 2, 2012

**Abstract:** The recent development of video streaming delivery has meant that hybrid broadcasting environments have attracted great attention. In hybrid broadcasting environments, video players (clients) can receive required data from a communication system and also from a broadcasting system. When the number of clients is large, the delivery server can reduce the interruption time for the clients by broadcasting the data that take long delivery time when the server delivers them from the communication system. However, when the number of clients is small, the interruption time is not reduced effectively since the number of clients those request the same data and cannot satisfy some requests at once. Hence, in this paper, we propose a streaming delivery method that broadcasts video data sequentially when the number of clients is small. The server can reduce the interruption time effectively by broadcasting data sequentially since it can deliver the data that some clients have not received.

**Keywords:** communication and broadcasting integration environments, video-on-demand, webcasting

### 1. はじめに

近年の情報通信技術の発達にともない, 映像ストリーミング配信に対する注目が高まっている. 映像ストリーミング配信では, 映像の再生端末は, データを受信しながら再

生できる. 映像ストリーミング配信は大きく2方式に分けられる. 1つは地上波デジタル放送や衛星放送といった放送方式である. 放送方式を用いることで, 映像データを配信するサーバはデータをすべての再生端末にまとめて配信できる [1]. このため, すべての再生端末に個別にデータを配信する場合に比べて, 配信するデータ量を削減できる. しかし, あらかじめ決定された放送スケジュールに従ってデータが放送されることが多く, 再生端末は再生に必要な

<sup>1</sup> 大阪大学  
Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan  
a) yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp  
b) nishio@ist.osaka-u.ac.jp

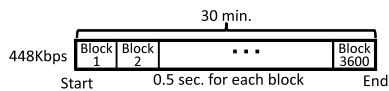


図 1 ブロックの例

Fig. 1 Example of blocks.

データが放送されるまで待たなければならない。たとえば、午後 8 時から放送される映像を再生するために、再生端末は午後 8 時まで待つ必要がある。もう一方は、インターネット放送やビデオオンデマンドサービスといった通信方式である。この通信方式を用いることで、再生端末は必要なデータをサーバに要求して受信できる [2]。しかし、再生端末の数が増えるほど、データの要求や受信に必要な通信量が多くなる。たとえば、YouTube の再生ボタンをクリックすると、サーバが混んでいない場合には、再生端末は比較的すぐに映像の再生を開始できるが、混んでいる場合には、再生が開始されるまで時間がかかる。放送方式と通信方式の長所短所は相補的であり、多くの再生端末から要求されているデータを放送することで、通信量を削減できる。このため、放送方式と通信方式を融合させた放送通信融合環境が注目されている [3]。

放送通信融合環境では、映像データの再生端末は放送からと同時に通信からもデータを要求して受信できる。ストリーミング配信では、再生端末が映像を短い再生中断時間で再生できることが重要なため、放送通信融合環境において再生中断時間を短縮するいくつかの手法が提案されている。再生中断時間とは、再生端末が再生に必要なデータを受信できておらず、再生が中断されている時間を示す。これらの手法では、映像データをブロックと呼ぶいくつかの部分に分割している。ブロックは再生の単位であり、再生端末は各ブロックを受信するとそのブロックに含まれている映像を再生できる [4]。MPEG (Moving Picture Experts Group) で符号化された映像データの場合、GOP (Group of Pictures) がブロックに相当する。MPEG では 0.5 秒のデータごとに GOP に分割することが多い。たとえば、30 分の映像の場合、図 1 に示すように 3,600 個のブロックが含まれることになる。ブロックの再生開始時刻までにそのブロックを受信完了していなければ再生が中断される。このため、放送通信融合環境におけるストリーミング配信において、サーバが通信からの配信に時間がかかるデータを放送することで、再生中断時間を短縮する手法が提案されている。これらの手法では、再生端末の数が多いために効果的に再生中断時間を短縮できていた。これは、再生端末の数が多いために同じブロックを要求している再生端末の数も多くなって、放送によりそれらの再生端末にブロックを同時に配信でき、複数の要求をまとめて満たせるためである。しかし、再生端末の数が少ない場合、同じブロックを要求する再生端末の数が少なくなって、複数の要求をまとめて

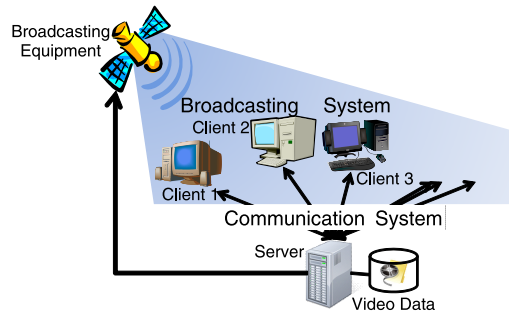


図 2 放送通信融合環境

Fig. 2 A hybrid broadcasting environment.

満たせる確率が少なくなり、再生中断時間を効果的に短縮できていなかった (詳細は 4.3 節)。

そこで本研究では、再生端末の数が少くなると、ブロックを順番に放送するストリーミング配信手法を提案する。順番に放送することで、複数の再生端末が未受信のブロックを配信でき、効果的に再生中断時間を短縮できる。提案手法では、各ブロックを通信から早く受信完了できるように、再生端末は通信から複数のブロックを同時に受信せずに、つねに 1 個のブロックのみ受信している。サーバは、通信からブロックを受信している再生端末の数を把握できるため、この数が閾値以下になると、ブロックを順番に放送する。閾値以下の間のみブロックを順番に放送する手法と、最後のブロックまで順番に放送する 2 種類の手法が考えられるため、これらの手法の平均再生中断時間をシミュレーションにより評価する。

以降、2 章で放送通信融合環境について説明し、3 章で関連研究を説明する。4 章で提案手法の説明、5 章で評価、6 章で議論を行う。最後に 7 章で本論文をまとめる。

## 2. 放送通信融合環境

本章では、放送通信融合環境におけるストリーミング配信について説明する。既存文献 [10] と同様の説明ではあるが、本論文の理解を助けるためここに再掲する。同様のシステム構成は文献 [5], [6], [7] でも想定されており、一般的な想定である。

### 2.1 システム構成

図 2 にシステム構成を示す。上部は放送方式を示し、下部は通信方式を示す。ストリーミング配信のサービス提供者が映像データを所有しており、サーバに保存されている。サーバはインターネットのような通信ネットワークに接続されており、またインターネットや専用線を介して放送設備を利用できる。再生端末は、インターネットに接続されており、サーバと通信できる。また、放送されたデータを受信するためのチューナを備えており、放送からもデータを受信できる。受信した映像データを映像の再生が終了するまで保存できる十分な容量の記憶装置を備えているとす

る。放送設備は電波放送を用いてすべての再生端末に同時にデータを配信できる。再生端末とサーバの機能は次節以降で詳しく述べる。

このような放送通信融合環境の例として、テレビ放送とインターネットの融合環境があげられる。再生端末にはインターネットにつながるテレビが考えられる。一般に、テレビは電波放送を受信でき、近年のテレビの上位機種にはインターネットにつながるものがあるため、現実的な構成である。他の例として、スマートフォンやパソコンへのストリーミング配信があげられる。ほとんどのスマートフォンはインターネットにつながり、またテレビチューナを備えるものがある。パソコンにもテレビチューナを備えたものがある。

## 2.2 再生端末の機能

まず、再生端末には通信と放送からデータを受信する機能がある。再生端末が通信システムに接続され、インターネットで用いられている IP (Internet Protocol) 等の通信プロトコルを用いることで通信からデータを受信できる。また、放送されたデータを受信するためのチューナを備え、地上波デジタル放送で用いられている MPEG2 等の方式を用いることで放送からデータを受信できる。

次に、再生端末には、通信でブロックを要求する機能がある。受信する機能と同様に、IP 等の通信プロトコルを用いることで通信でブロックを要求できる。

さらに、再生端末には、映像データを受信しながら再生する機能がある。再生端末の利用者は、WWW (World Wide Web) 等でサーバが公開している映像の中から視聴したい映像を選択し、再生端末が選択した映像のデータを受信しながら再生する。受信しながら再生する方式には、MPEG Video システムや Flash Video システムがある。

## 2.3 サーバの機能

まず、サーバには各再生端末から要求されたブロックを通信で配信する機能がある。再生端末が、再生している映像データの識別子とブロックの番号、IP アドレス等の自身の識別子をサーバに送信してブロックを要求することで、サーバは配信するブロックと配信先の再生端末を認識でき、ブロックを通信で配信できる。映像データの識別子は、前節で説明したように、再生する映像データを選択する際に再生端末が入手できる。放送する際、放送しているブロックの番号をメタデータとして追加することで、受信した再生端末は受信したブロックの番号を把握できる。

次に、サーバにはブロックの配信状況を把握できる機能がある。配信状況とは、ブロックを受信している再生端末の数と各ブロックの配信にかかった時間を意味する。これは、後述する提案手法でシーケンシャルモードに移行する際に必要になる。映像データを受信している再生端末は、

通信からブロックを要求しているため、ブロックを要求している再生端末の数を数えることで、映像データを受信している再生端末の数を認識できる。また、ブロックの配信開始から配信終了までの時間を計測して保存しておくことで、ブロックの配信にかかった時間を認識できる。

さらに、サーバには放送設備を介してブロックを配信する機能がある。放送するブロックのデータをインターネットや専用線を介して放送設備に送信することで、ブロックを再生端末に放送できる。放送する際、放送しているブロックの映像データの識別子と番号をメタデータとして追加することで、受信した再生端末は受信したブロックの番号を把握できる。

## 2.4 データ

配信するデータは映像や音声といった連続メディアデータとする。データはいくつかのブロックに分割される。1章で述べたように、ブロックは再生の単位であり、再生端末は、各ブロックを受信完了すると、そのブロックを再生できる。たとえば、よく用いられている MPEG2 で符号化された映像データはいくつかの GOP で構成される。GOP には 0.5 秒の映像が含まれ、再生端末は各 GOP を受信完了すると再生できる。この場合、GOP がブロックに相当する。

1つの放送チャンネルで1つの映像データを配信するため、本論文では1つの映像データを配信する場合を想定している。しかし、他の放送チャンネルで他の映像データを配信できるため、提案手法は1つの映像データしか配信できないわけではない。

## 2.5 プリフェッチについて

利用者がこれから再生する映像データをあらかじめ再生端末が把握できる場合、再生端末は、再生を開始する前にそのデータを受信 (プリフェッチ) しておく。事前にデータを受信しておくことで、中断のない再生が可能になる。しかし、多くの場合、再生端末は利用者がこれから再生する映像データを把握することは難しい。たとえば、以下の状況があげられる。

- 再生端末が利用者の好みを把握できる機能を有していない。
- 利用者が特段の意図なくなんとなく映像を再生する。
- 利用者が今すぐに再生したい映像を選択する。

このような場合、再生端末は利用者が再生を要求してからデータの受信を開始することになる。本論文では、上記の再生端末があらかじめデータを受信していない状況を想定する。

## 3. 関連研究

通信方式のみを用いた単純なストリーミング配信では、



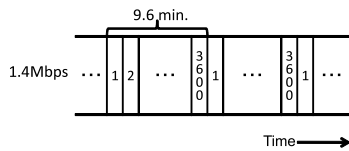


図 3 カルーセル放送

Fig. 3 carousel broadcasting.

サーバはブロックを各再生端末に順番に配信することが多いが、放送通信融合環境では、サーバはどのブロックを放送するか決定し、再生端末はどのブロックをサーバに要求するか決定する必要がある。このため、放送通信融合環境におけるストリーミング配信において、再生中断時間を効率良く短縮できるように放送や要求するブロックを決定するいくつかの手法が提案されている [5]。

カルーセル法と呼ばれる手法では、サーバはブロックを最初から最後まで順番に繰り返して放送する [6]。図 3 では、図 1 に示した 3,600 個のブロックを順番に繰り返して放送している。放送帯域は 1.4Mbps であり、30 分の 448 Kbps のデータを 1.4Mbps で放送するため、9.6 分ごとに繰り返して放送することになる。各再生端末は、受信していない初めの方のブロックを通信で要求する。初めの方のブロックとは映像データの最初に近い方のブロックを指す。具体的には、サーバは放送設備を介してブロックを配信する機能を用いて、ブロックを順番に放送する。映像データの最後のブロックを放送すると、再度初めのブロックから順番に放送する。再生端末は、利用者が再生する映像を選択すると、放送されている、選択した映像データのブロックを受信しつつ、受信していない初めの方のブロックを通信でサーバに要求する。サーバは要求されたブロックを、要求した再生端末に通信で順番に配信する。再生端末には、通信と放送からデータを受信できる機能および通信でブロックを要求できる機能、また、サーバの要求されたブロックを通信から配信する機能があるため、上記の動作が可能である。再生端末は各ブロックを受信すると、映像データを受信しながら再生する機能を用いて残りのブロックを受信しながら映像データを再生する。しかし、サーバは、再生端末が未受信のブロックを考慮せずに単純に順番に放送するため、放送したブロックを再生端末がすでに受信している可能性が、再生端末が未受信のブロックを考慮して放送するブロックを決定する場合（後述する DBSC 法および提案手法）に比べて高くなる。その結果、複数の再生端末にまとめてブロックを配信できるという放送の利点を活かしきれず、再生中断時間を効率的に短縮できていなかった。

Shah らはストリームマージを提案している [8]。ストリームマージでは、サーバがブロックを放送していない場合に再生端末からブロックを要求されると、そのブロックから最後のブロックまでを順番に放送する。他の再生端末

は、放送されるブロックを受信しつつ、未受信のブロックを通信で要求する。サーバは、ブロックの要求を受信してから放送を開始するため、少なくとも放送するブロックを必要とする再生端末が 1 台はある。しかし、他の再生端末の要求を考慮していないため、カルーセル法と同じくまとめて要求を満たせるという放送の利点を活かしきれず、放送通信融合環境ではカルーセル法よりも平均再生中断時間が長くなる。

Super-Scaler VoD [7] では、カルーセル放送を用いているが、再生端末が通信でブロックを要求してもすぐに配信せず、他の再生端末が同じブロックを要求するまである程度待ってから配信することで複数の再生端末の要求を同時に満たしている。NBB VoD (Neighbors-Buffering-Based) [9] では、サーバがブロックを配信するだけでなく、再生端末間でも送受信する P2P (Peer-to-Peer) 技術を用いることでサーバの負荷を軽減させている。しかし、これらの手法ではカルーセル放送を用いているため、すべてのブロックを順番に放送しており、再生端末が要求していないブロックを放送していることがあった。

DBSC (Dynamic Broadcast Schedule Creation) 法 [10] では、サーバはブロックを放送するたびに次に放送するブロックを決定する。ブロックの放送が終了すると、通信で要求されているブロックを参照し、通信からの配信に時間がかかるデータを放送している。具体的には、サーバは、ブロックの配信状況を把握できる機能を用いて、再生端末ごとにブロックの配信にかかった平均時間を算出する。要求されている各ブロックに対して、配信にかかる平均時間の合計が最も長いブロックを、サーバは放送する機能を用いて配信する。DBSC 法では、再生端末が未受信のブロックを考慮して放送するブロックを決定することで、複数の再生端末にまとめてブロックを配信できるという放送の利点を活かして、再生中断時間をカルーセル法より短縮することを目指している。しかし、これだけでは再生端末が未受信のブロックを考慮しきれず、再生端末の数が少ない場合に、カルーセル法より再生中断時間が長くなっていった。

再生中断時間を短縮する効率は、複数の端末が共有する再生データ数が多いことや、通信で配信するブロック、放送で配信するブロックで変化し、再生端末の多い/少ない、帯域の大小等の状況により、アプローチが変化する。提案手法では、シーケンシャルモードと呼ぶ、再生端末が未受信のブロックを順番に放送するモードを導入することにより、再生端末の数が少ない場合において、DBSC 法よりさらに再生中断時間を短縮することを達成している。提案手法による改善効果の達成度は、評価結果により確認できる。

#### 4. 提案手法

提案する DTSM (DBSC with Totally Sequential Mode)

法の説明を行う。DTSM法では、再生端末の数が少なくなると、カルーセル法のようにブロックを順番に放送する。また、ブロックを順番に放送している期間が異なるDSM (DBSC with Sequential Mode) 法の説明も行う。DSM法は提案手法の亜流であり、DTSM法とシーケンシャルモードの期間が異なる直感的な手法として説明した。後の評価において、DSM法よりDTSM法が有効であることを確認したため、本論文ではDTSM法を提案手法としている。

放送通信融合環境におけるストリーミング配信手法のアルゴリズムは通信で要求するブロックの決定方法と放送するブロックの決定方法の2種類に分けられる。これらは既存のDBSC法に着想を得ている。提案手法オリジナルの部分となるシーケンシャルモードは4.4節で説明する。

#### 4.1 通信で要求するブロックの決定方法

ブロックは初めから最後まで順番に再生されて初めの方ほどブロックの受信にかけられる時間が短いため、初めの方のブロックを早く受信することで再生中断時間を効率良く短縮できる。そこでDTSM法では、各再生端末は未受信の最も初めの方のブロックを通信で要求する。要求していたブロックの受信を完了すると、次に再び未受信の最も初めの方のブロックを通信で要求する。再生端末は、すべてのブロックがそろそろまで通信でブロックを要求し続けることになる。

#### 4.2 放送するブロックの決定方法

サーバは1個のブロックの放送を終了するたびに次に放送するブロックを決定する。放送では、複数の再生端末に同時にブロックを配信できるため、多くの再生端末が受信していないブロックを再生することが望ましい。そこで、DTSM法では、DBSC法と同じく、サーバは通信で要求されているブロックの中から放送するブロックを決定する。再生端末が通信よりも放送からの方が早くブロック受信できる確率を高めるために、サーバは、要求されているブロックを通信で配信する場合に必要な時間を予測する。同じブロックの要求に対して配信に必要な予測時間を合計し、最大の合計値を与えるブロックを放送する。具体的には、ブロックが $N$ 個ある場合、 $I_j$  ( $j = 1, \dots, N$ ) をブロック $j$ を要求している再生端末IDとし、 $T_k$  を再生端末 $k$ が通信からブロックを受信するのにかかる時間とすると、

$$A_j = \sum_{k \in I_j} T_k \quad (1)$$

を最大にするブロック $j$ を放送する。 $T_k$ は、過去のブロックの配信にかかった時間から予測できる。たとえば、再生端末 $C_1$ と $C_2$ がブロック1を要求しており、 $C_1$ がブロック1の受信完了にかかる時間 $T_1 = 3$ 秒、 $C_2$ がブロック1の受信完了にかかる時間 $T_2 = 5$ 秒とする。さらに、再生端

末 $C_3$ がブロック2を要求しており、 $T_3 = 4$ 秒とする。 $I_1$ は $\{1, 2\}$ 、 $I_2$ は $\{3\}$ になる。このとき、 $A_1 = 8$ 秒、 $A_2 = 4$ 秒となり、ブロック1を放送することになる。

#### 4.3 既存手法の問題点

既存のDBSC法では、映像を再生している再生端末の数が少ない場合、同じブロックを要求する再生端末の数が少なくなると、放送したブロックを再生端末が受信していない割合が少なくなり、再生中断時間を効果的に短縮できていなかった。この問題は、DBSC法では再生端末が通信で要求しているブロックの中から放送するブロックを選択しているためである。解決策として、再生端末の数が少ない場合には、通信で要求してなくても、複数の再生端末が受信していないブロックを放送することが考えられる。再生端末の数が多き場合には、同じブロックを要求する再生端末が複数台あるため、通信で要求しているブロックを放送する方が、複数の再生端末が再生が途切れないうちに必要ブロックを配信でき、再生中断時間を効果的に短縮できている。

しかし、多くの再生端末が未受信のブロックを放送しても、そのブロックの再生開始時刻が後ろの方であれば、再生中断時間を効果的に短縮できない。たとえば、最後のブロックを受信していない再生端末が多くなりやすいが、最後のブロックを放送しても、そのときの再生位置から最後のブロックを再生するまでの間に再生中断が発生して、再生中断時間の短縮につながりにくい。

シーケンシャルモードでは $R < R_{th}$ となっており、4.5節にあるように通信帯域より再生レートが大きく、あるタイミングで必ず通信から受信しているブロックに再生しているブロックが追い付く。そこで、ある再生端末がブロック $m$ まで受信していてブロック $m+1$ を通信から受信完了するのを待っており、再生が中断されている状態を考える。この状況では、ブロック $m+1$ を放送することで再生を開始できるため、ブロック $m+1$ を放送するとする。この再生端末がブロック $m+2$ を通信から受信開始しても、通信帯域より再生レートが大きいため、結局ブロック $m+2$ の受信待ちになる。このため、次に $m+2$ を放送することで、再生中断を回避でき、平均再生中断時間の短縮につながる。同様の議論が、ブロック $m+3$ 以降についても成り立ち、順番にブロックを放送するモードが適していることが分かる。再生端末は通信で初めの方のブロックを要求していくため、通信で要求しているブロックより後ろのブロックは未受信であることが多く、式(1)で与えられるブロックに続けて後ろのブロックを放送していくことで、複数の再生端末が受信していないブロックを放送できる。

そこで、提案手法では、再生端末の数が少ない場合に、シーケンシャルモードと呼ぶ、再生端末が通信で要求しているブロックに続けて順番にブロックを放送するモードに

移行する。

#### 4.4 シーケンシャルモード

映像を再生している再生端末はつねに通信からブロックを受信しているため、サーバはブロックを受信している再生端末の数を計測することで、再生端末の数を計測できる。再生端末の数を  $R$  とすると、 $R$  が閾値  $R_{th}$  より大きい場合、再生端末の数は多いと判断し、通常どおり式 (1) で与えられるブロックを放送する。 $R$  が  $R_{th}$  より小さい場合、再生端末の数が少ないと判断し、シーケンシャルモードに移行する。シーケンシャルモードでは、式 (1) で与えられるブロック  $j$  を放送した後、次にそのブロックの次のブロック  $j+1$  をと、順番に放送していく。各手法でシーケンシャルモードの期間が異なる。

- DTSM 法：1 度  $R < R_{th}$  となると、最後のブロック  $N$  を放送するまでシーケンシャルモードで順番に放送する。
- DSM 法： $R < R_{th}$  の間のみシーケンシャルモードとなり、順番に放送する。

シーケンシャルモードが終了すると、通常どおり式 (1) で与えられるブロックを放送する。

#### 4.5 シーケンシャルモードの閾値

通信帯域  $C$  が通信からブロックを受信している  $R$  台の再生端末に公平に分割されるとすると、再生端末あたりの通信帯域は  $C/R$  になる。 $C/R$  が再生レート  $r$  よりも小さい場合、通信帯域よりも再生レートの方が大きくなって、いずれ要求中のブロックの再生開始時刻に再生位置が追い付いて再生が途切れることになる。このため、 $C/R$  が再生レート  $r$  よりも大きい場合にはシーケンシャルモードにして多くの再生端末にまとめてブロックを配信できる状況にすることが望ましい。よって、 $C/R > r$  すなわち  $R < C/r$  の場合にはシーケンシャルモードにする方がよく、 $R_{th}$  を  $\lceil C/r \rceil$  で与えることとした。運用時には、 $C$  はサーバの平均通信帯域を計測することで求められる。

#### 4.6 具体例

図 1 で示す 448 Kbps の 30 分の映像を考える。ブロックの数は  $1,800/0.5 = 3,600$  個になる。サーバの通信帯域を 3 Mbps とすると、 $R_{th} = \lceil 3 \text{ Mbps} / 448 \text{ Kbps} \rceil = 7$  になる。

利用者が、サーバが公開している映像データの中から再生する映像を選択すると、再生端末はその映像データのブロックの受信を開始する。3 章で説明した DBSC 法と同じく、再生端末は放送と通信からブロックを受信しながら再生する。ただし、 $R < R_{th}$  になるとシーケンシャルモードになり、カルーセル法のように順番にブロックを放送する。サーバは、ブロックの配信状況を把握できる機能を用いることで、 $R < R_{th}$  が満たされているか確認できる。

表 1 評価パラメータ

Table 1 Evaluation parameters.

項目	値
放送帯域	1.4 Mbps
通信帯域	3 Mbps
再生レート	448 Kbps
映像の再生委時間	30 分
ブロックサイズ	0.5 秒
平均要求到着間隔	ポアソン分布
シミュレーション時間	6 時間

時刻  $t_1$  において 7 台の再生端末が映像を再生している場合を考える。 $t_2$  に再生端末が映像の再生を終了し、再生端末の数が 6 台になると、 $R < R_{th}$  となるため、シーケンシャルモードに移行する。このとき、式 (1) で与えられるブロックが 100 番だったとすると、DTSM 法および DSM 法では、ブロック 100, 101, 102 と順番に放送する。ブロック 102 を放送した時点で他の再生端末が映像の再生を開始すると、再生端末の数が 7 台に戻る。DSM 法では、この時点でシーケンシャルモードから戻る。式 (1) で与えられるブロックが 200 番だとすると、ブロック 102 の次はブロック 200 を放送することになる。一方、DTSM 法では、最後のブロックまで順番に放送するため、102 の後も 103, 104, ..., 3,600 と最後のブロックまで順番に放送してからシーケンシャルモードから戻る。

## 5. 評価

本章では、提案手法の評価を行う。

### 5.1 評価環境

評価では、再生端末において映像の再生が中断されている時間である再生中断時間をシミュレーションにより計測する。評価パラメータを表 1 に示す。放送チャンネルは地上波デジタル放送の 1 セグメントを想定し、放送帯域を 1.4 Mbps で与える。通信はインターネットを想定してそのボトルネックリンクを 3 Mbps とする。映像データについても、インターネットでよく用いられている MPEG4 で符号化された映像データを考え、再生レートを 448 Kbps とし、ドラマやアニメといった 30 分のデータとする。ブロックは MPEG の GOP に基づき、0.5 秒のデータとする。利用者がある映像の再生要求を出して、再生端末が放送および通信からブロックの受信を開始する間隔を要求到着間隔と呼ぶ。再生要求の平均要求到着間隔は、他の再生要求の影響を受けないため、ポアソン分布で与える。再生中断時間が十分に収束されることが確認できた 6 時間までシミュレーションを行った。

本論文で想定する放送通信融合環境では、たとえば映像サーバに 10 本の番組がある場合、サーバは各番組を各放送チャンネルで放送する。通信は 10 本の番組で共有されるが、



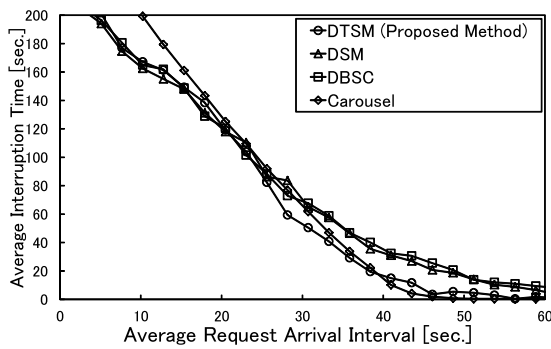


図 4 平均再生中断時間と平均要求到着間隔

Fig. 4 Average interruption time and average request arrival interval.

シミュレートしているボトルネックリンクは各番組ごとに発生するため、シミュレーションの状況は現実的といえる。具体的には、平均到着間隔に関して、人気のない映像を除いた3,170個の映像の視聴要求を約5日間計測すると、到着間隔中央値が203秒であったことが報告されている[11]。本評価環境で想定している地上波デジタル放送で配信できる映像は150個であることから、再生できる映像が150個の場合の到着間隔は、比例計算すると  $203 / (3,170 / 150) = 9.7$  秒になる。平均到着間隔が10秒程度であることから、評価では、数秒から数十秒の間隔で同じ映像を視聴する他の利用者が現れる状況をシミュレートした。

### 5.2 比較方法

放送通信融合環境において再生端末の数が多い場合に平均再生中断時間を既存の手法の中で最も短縮しているDBSC法、および再生端末数が少ない場合に最短にしているカーセル法と提案手法を比較する。

これまでの研究[10]において、再生中断時間はある程度の幅をもって収束することを確認しているため、収束時の平均再生中断時間を評価指標に用いる。評価指標に関して、再生中断時間の他に再生中断回数も考えられる。しかし、再生中断回数は、映像の再生を開始する時刻を遅らせることで減らせる。たとえば、映像の再生中に発生すると考えられる再生中断時間分待ってから再生を開始すると、再生中断回数は1回になる。このため、本研究では再生中断時間を評価指標に用いる。再生中断時間を短縮することは、再生中断回数を減らすときに必要な待ち時間を短縮することにもつながる。

### 5.3 平均要求到着間隔

映像を再生している再生端末の数は平均要求到着間隔に依存するため、平均要求到着間隔によって平均再生中断時間が変化する。そこで、平均要求到着間隔を変えてシミュレーションを行った。結果を図4に示す。縦軸は平均再生中断時間、横軸は平均要求到着間隔を示す。

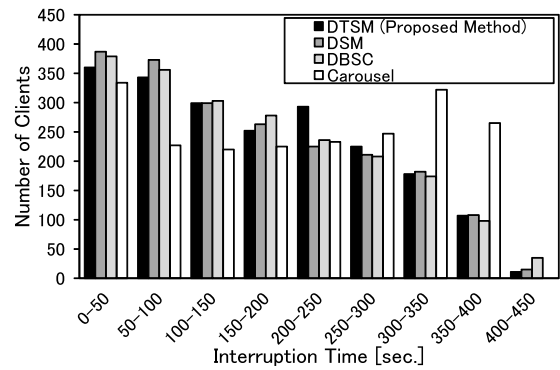


図 5 再生中断時間のヒストグラム

Fig. 5 Histogram of interruption time.

このグラフから、平均要求到着間隔が長くなるほど平均再生中断時間が短くなっていることが分かる。これは、平均要求到着間隔が長いほど映像を再生している再生端末の数が少なくなって通信から早くブロックを配信できるためである。早くブロックを配信できるため、再生開始時刻までにブロックを受信完了できている確率が高くなり、平均再生中断時間を短縮できる。

また、平均要求到着間隔が25秒ほどより短い場合、カーセル法に比べてDTSM, DSM, DBSC法の平均再生中断時間がほぼ等しく短いことが分かる。これは、後者3手法では、再生端末が通信で要求しているブロックを放送することで、通信から配信するよりも早く配信でき、複数の再生端末に同時にブロックを配信しているためである。平均要求到着間隔が短く、シーケンシャルモードに移行することが少ないため、DTSM, DSM, DBSC法の平均再生中断時間はほとんど変わらない。平均要求到着間隔が25秒ほどより長い場合、既存のDBSC法の平均再生中断時間はカーセル法よりも長くなっているが、提案するDTSM法では、40秒まで最短の平均再生中断時間を与えている。これは、シーケンシャルモードにより、ブロックを順番に放送することで多くの再生端末が未受信のブロックを放送できているためである。平均要求到着間隔が40秒より長い場合、カーセル法の平均再生中断時間が短くなっているのは、再生端末の数が少なく通信で要求されているブロックを放送するよりも、つねにブロックを順番に放送の方が、多くの再生端末に同時にブロックを配信できるためである。

たとえば、平均要求到着間隔が30秒の場合、既存手法で最短の値を与えているカーセル法の平均再生中断時間は62秒だが、提案するDTSM法では50秒と、20%削減できている。一方、平均要求到着間隔が10秒の場合、既存手法で最短の値を与えているDBSC法の平均再生中断時間は165秒であり、提案するDTSM法では167秒、DSM法では163秒とほぼ同等の平均再生中断時間を与えている。

再生中断時間のヒストグラムを図5に示す。横軸は再生中断時間、縦軸はその再生中断時間となる再生端末の数で

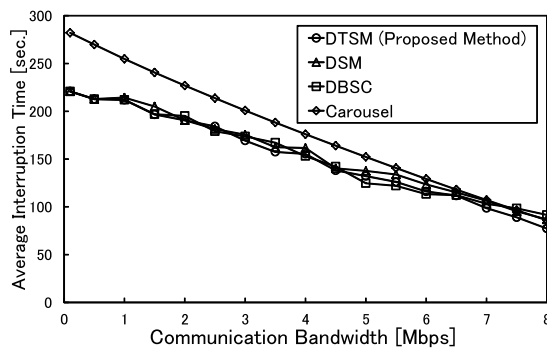


図 6 平均再生中断時間と通信帯域 (平均要求到着間隔 10 秒)

Fig. 6 Average interruption time and communication bandwidth (average request arrival interval is 10 sec.).

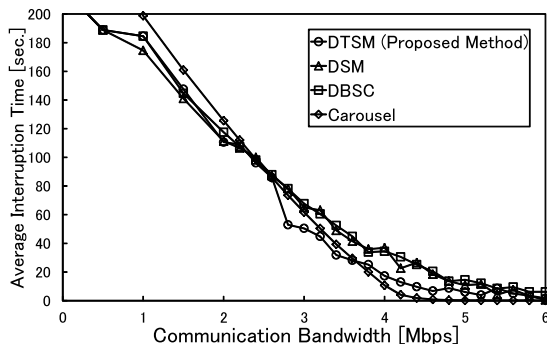


図 7 平均再生中断時間と通信帯域 (平均要求到着間隔 30 秒)

Fig. 7 Average interruption time and communication bandwidth (average request arrival interval is 30 sec.).

ある。平均要求到着間隔は 10 秒とした。このグラフから、提案手法では再生中断時間が長いほど再生端末の数が少なくなる傾向があることが分かる。

#### 5.4 通信帯域

通信帯域は平均再生中断時間に影響を与えるため、通信帯域を変化させてシミュレーションを行った。平均要求到着間隔が短い場合の代表として、平均要求到着間隔が 10 秒の場合の結果を図 6 に示し、長い場合の代表として、平均要求到着間隔が 30 秒の場合の結果を図 7 に示す。

このグラフより、通信帯域が大きくなるほど平均再生中断時間が短くなっていることが分かる。これは、通信帯域が大きいくほど再生端末は早くブロックを受信できるためである。

また、平均要求到着間隔が 30 秒の場合、通信帯域が 3.8 Mbps 未満であれば DTSM 法が平均再生中断時間を最短にしているが、3.8 Mbps 以上の場合、カルーセル法の平均再生中断時間が最短になっている。これは、通信帯域が大きくなると、再生端末が通信からブロックを受信する速度が速くなり、ブロックを受信している再生端末の数が減ることになるためである。平均要求到着間隔の評価結果と同じく、要求されたブロックを放送するよりも、ブロックを順番に放送する方が複数の再生端末に未受信のブロッ

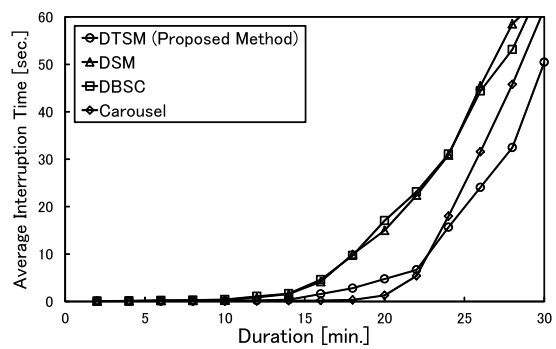


図 8 平均再生中断時間と再生時間

Fig. 8 Average interruption time and duration.

クを配信でき、再生中断時間を短縮できている。シーケンシャルモードが有効に働き、既存の DBSC 法よりも提案する DTSM や DSM 法が平均再生中断時間を短縮している。

#### 5.5 再生時間

映像の再生時間に応じて平均再生中断時間がどのように変化するか調べるために、再生時間を変えてシミュレーションを行った。結果を図 8 に示す。平均要求到着間隔は 30 秒とした。

再生時間が長いほど、平均再生中断時間が長くなっていることが分かる。これは、再生時間が長いほど、再生端末がサーバと接続している時間が長くなって通信からブロックを受信している時間も長くなり、多くの再生端末が通信からブロックを受信することになるためである。再生端末あたりの通信帯域が小さくなってブロックの受信に時間がかかって平均再生中断時間が長くなる。

また、再生時間が 10 分ほどから平均再生中断時間が長くなっていることが分かる。これは、再生時間が短ければ、上記の逆の理由で再生端末あたりの通信帯域が大きくなるためである。再生レートより通信帯域が大きければ、ブロックの再生中に次のブロックを受信完了でき、再生中断時間が長くない。

#### 5.6 再生レート

再生レートを変えて平均再生中断時間を調べることで、サービス提供者は現実的な平均再生中断時間を考慮して再生レートを決定できる。そこで、再生レートを変えてシミュレーションを行った。平均要求到着間隔が 30 秒の場合の結果を図 9 に示す。グラフより、再生レートが大きくなるほど平均再生中断時間が長くなることが分かる。これは、再生レートが大きいくほどブロックの受信に時間がかかり、ブロックの再生開始時刻までに受信完了できない確率が高くなるためである。

300 Kbps 付近から平均再生中断時間が長くなっていることが分かる。これは、再生時間の評価結果と同じく、各再生端末とサーバ間の通信帯域が再生レートより大きけれ



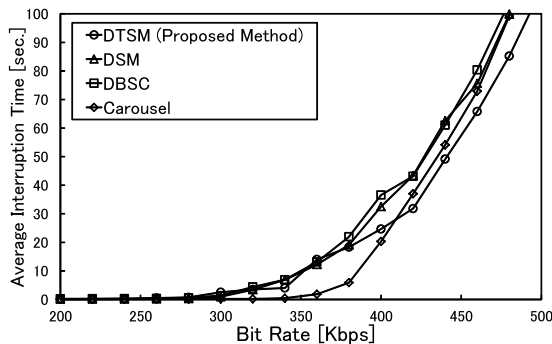


図9 平均再生中断時間と再生レート

Fig. 9 Average interruption time and bit rate.

ば、ブロックの再生中に次のブロックを受信完了でき、再生中断時間が長くないためである。

また、再生レートが420 Kbps付近でDTSM法とカルーセル法が交差していることが分かる。これは、再生レート420 Kbps付近が、通信で要求されているブロックを放送することと、順番に放送することのどちらが有効に働くか切り替わる箇所であるためである。

## 6. 議論

### 6.1 提案手法の有効性

提案するDTSM法では、平均再生中断時間を既存のDBSC法より短縮できている。これは、再生端末数が少なくなるとブロックを順番に放送するシーケンシャルモードが有効に働いているためである。ブロックを順番に放送するため、複数の再生端末が未受信のデータを配信でき、効率的に再生中断時間を短縮できる。

図4に示すように、既存のDBSC法においても平均要求到着間隔が長い場合にはカルーセル法が短い平均再生中断時間を与えているが、DTSM法では、より広い平均要求到着間隔の範囲でカルーセル法より短い平均再生中断時間を与えており、DBSC法より有効といえる。評価で用いたパラメータ以外の値でもいくつか平均再生中断時間を測定したが、同様の結果を得ている。

### 6.2 実現の課題

提案方式では、サーバは、通信からブロックを受信している再生端末の数を認識、ブロックの配信時間を予測する必要がある。サーバはこれらの処理を高速に行わなければ、ブロックの配信に遅延が生じるため、放送通信融合環境において提案方式を用いた映像ストリーミング配信を実現するためには、サーバに十分な計算能力が必要になる。

本論文や多くの既存研究で研究されているように、放送通信融合環境を用いた映像ストリーミング配信は技術的には可能だが、現状の再生端末では、放送と通信からブロックを受信して映像を再生するソフトウェアが整備されていない。このため、ソフトウェアの整備が実現の課題として

あげられる。

また、放送通信融合環境を用いることで再生端末で発生する再生中断時間を短縮できるが、現状ではサービス提供側に設備投資が必要になる。設備投資に見合った利用者獲得による収入を得られるかどうかといったビジネスモデルの確立も実現の課題としてあげられる。

### 6.3 達成レベルの考察

提案方式の狙いは、再生端末の数が少ない場合において、DBSC法よりさらに再生中断時間を短縮することである。図4に示すように、提案手法は、再生端末の数が少ない場合において、DBSC法よりさらに再生中断時間を短縮しており、少なくともこの狙いを達成できているといえる。しかし、平均要求到着間隔によっては提案手法よりカルーセル法の平均再生中断時間が短くなる場合がある。平均要求到着間隔は、映像の人気や時間帯に依存するが、サーバに届く再生端末の要求到着間隔を観測することで求められる。観測した要求到着間隔を用いてシミュレーションにより、DTSM法とカルーセル法のどちらがより短い平均再生中断時間を与えるか確認することで、より効果的な手法で平均再生中断時間を短縮できる。

次に、実用に対する提案方式の達成レベルの考察に関して、6.1節に記述した実現の課題があり、実用時にはこれらを解決する必要がある。

## 7. まとめ

従来のDBSC法では、再生端末の数が少なくなると、再生中断時間を効果的に短縮できないという問題があった。そこで本研究では、再生端末数が少なくなると、ブロックを順番に放送するストリーミング配信手法を提案した。提案するDTSM法では、再生端末の数が少なくなると、ブロックを最後まで順番に放送する。評価の結果、既存のDBSC法よりも再生中断時間を短縮できることを確認した。

今後、サーバが複数の放送チャンネルを使って配信する場合や、複数のサーバが通信からブロックを配信できる場合に再生中断時間を短縮する手法を提案する。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究A)「次世代オンデマンド型視聴形態のためのコンテンツ配信方式」(課題番号:23680007)および(挑戦的萌芽研究)「再生途切れのない没入型コンテンツの放送型配信に関する研究」(課題番号:23650050)による成果である。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- [1] Kwon, J.B.: Proxy-Assisted Scalable Periodic Broadcasting of Videos for Heterogeneous Clients, *Multimedia Tools and Applications*, Vol.51, No.3, pp.1105-1125, Springer (2011).
- [2] Magharei, N. and Rejaie, R.: PRIME: Peer-to-Peer

- Receiver-driven Mesh-based Streaming, *Proc. IEEE IN-FOCOM2007* (2007).
- [3] Asorey-Cacheda, R., Courville, N., Gonzalez-Castano, F.J. and Bischl, H.: A Survey and Perspective on NVoD Systems for Satellite Networks, *Proc. IEEE Int'l Work. Satellite and Space Communications (IWSSC 2007)*, pp.230-233 (2007).
- [4] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: A Broadcasting Scheme Considering Units to Play Continuous Media Data, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.53, No.3, pp.628-636 (2007).
- [5] Hefeeda, M.M., Bhargava, B.K. and Yau, D.K.Y.: A Hybrid Architecture for Cost-effective On-demand Media Streaming, *ACM Computer Networks*, Vol.44, No.3, pp.353-382 (2004).
- [6] Lee, J.Y.B.: UVoD: An Unified Architecture for Video-on-Demand Services, *IEEE Communication Letters*, Vol.3, No.9, pp.277-279 (1999).
- [7] Lee, J.Y.B. and Lee, C.H.: Design, Performance Analysis, and Implementation of a Super-Scalar Video-on-Demand System, *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.12, No.11, pp.983-997 (2002).
- [8] Kulkarni, S., Paris, J.-F. and Shah, P.: A Stream Tapping Protocol Involving Clients in the Distribution of Videos on Demand, *Springer Advances in Multimedia, Special Issue on Collaboration and Optimization for Multimedia Communications*, Vol.2008 (2008).
- [9] Taleb, T., Kato, N. and Nemoto, Y.: Neighbors-Buffering-Based Video-on-Demand Architecture, *Signal Processing: Image Communication*, Vol.18, No.7, pp.515-526 (2003).
- [10] 義久智樹, 西尾章治郎: 放送通信融合環境におけるデータ受信時間を考慮した映像配信手法, *情報処理学会論文誌*, Vol.53, No.5 (2012).
- [11] Zink, M., Suh, K., Gu, Y. and Kurose, J.: Watch Global, Cache Local: YouTube Network Traffic at a Campus Network - Measurements and Implications, *Proc. SPIE/ACM Conf. Multimedia Computing and Networking (MMCN)* (2008).



義久 智樹 (正会員)

平成 14 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。平成 15 年同大学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を修了し、平成 17 年同専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。平成 17 年京都大学学術情報メディアセンター助教。平成 20 年大阪大学サイバーメディアセンター講師を経て平成 21 年より同准教授となり、現在に至る。この間、カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員。放送通信融合環境、センサネットワークに興味を持つ。平成 22 年度本会山下記念研究賞受賞。電子情報通信学会、IEEE、日本データベース学会の各会員。



西尾 章治郎 (フェロー)

昭和 50 年京都大学工学部数理工学科卒業。昭和 55 年同大学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を経て、平成 4 年大阪大学工学部教授、平成 14 年大学院情報科学研究科教授となり、現在に至る。その間、大阪大学サイバーメディアセンター長、大学院情報科学研究科長、理事・副学長を歴任。データベースシステムにおけるデータおよび知識管理に関する研究に従事し、紫綬褒章、立石賞功績賞等を授与される。日本学術会議会員。本会では理事を歴任し、論文賞、功績賞を受賞。IEEE、電子情報通信学会フェロー。