

放送通信融合環境における映像データ受信 待ち時間を考慮したストリーミング配信手法

義久 智樹^{†1} 西尾 章治郎^{†1}

近年の映像ストリーミング配信の普及に伴い、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、映像データの再生端末は、放送からと同時に通信でデータを要求して受信できる。再生端末の数が多い場合、映像の配信サーバは、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、再生端末がデータを要求する度に放送することが多く、複数の要求をまとめて満たすことができず、再生中断時間を効率的に短縮できない。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。

A Streaming Delivery Method considering Witing Time for Video Data Reception on Hybrid Broadcasting Environments

TOMOKI YOSHIHISA^{†1} and SHOJIRO NISHIO^{†1}

The recent development of video streaming delivery has meant that hybrid broadcasting environments have attracted great attention. In hybrid broadcasting environments, clients can receive required data from a communication system and 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 require 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 server often broadcasts data every the clients require the 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.

1. はじめに

近年の情報通信技術の発達に伴い、映像の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、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方式は大きく2種類に分けられる。一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),2)}。このため、すべての再生端末と通信して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データが放送されるまで待たなければならない。例えば、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。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^{3),4)}。しかし、再生端末の数が増えるほど配信するデータ量が多くなる。例えば、YouTubeの再生ボタンをクリックすることで、再生端末は、比較的すぐに映像の再生を開始できる。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、配信するデータ量を削減できる。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⁵⁾。

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で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幾つかの手法が提案されている。これらの手法では、映像データをブロックと呼ぶ幾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データを再生できる⁶⁾。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。GOPでは0.5秒のデータ毎に分割することが多い。例えば、30分の映像の場合、図1に示すように3600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

^{†1} 大阪大学
Osaka University

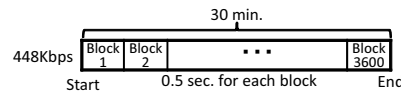


図1 ブロックの例
Fig. 1 Example of blocks

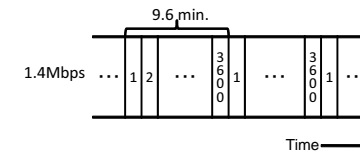


図2 カルーセル放送
Fig. 2 carousel broadcasting

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。この手法では、映像の再生を要求する間隔が短く、再生端末の数が多いほど効率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と同じブロックを要求している再生端末の数も多くなるが、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い。

そこで本研究では、再生端末の数が少なくなると、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、効率的に再生中断時間を短縮できる。提案手法では、通信からのブロックあたりの受信速度を速めるため、再生端末は通信で常に1個のブロックのみ要求している。サーバは、要求を出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、映像データの最後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待ち時間をシミュレーションにより評価する。

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

2. 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の場合、サーバは映像データを各再生端末に順番に配信するだけだが、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よ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幾つかの手法が提案されている⁷⁾。

カルーセル放送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⁸⁾。図2では、図1に示した3600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448Kbpsのデータを1.4Mbpsで放送するため、9.6分毎に繰り返して放送することになる。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。しかし、他の再生端末の要求を考慮していないため、再生端末が映像の再生を要求する間隔が短く、再生端末の数が多い場合には、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、待ち時間を短縮できない。

Shahらはストリームマージを提案している⁹⁾。ストリームマージでは、サーバが放送を開始していない場合に再生端末からブロックの配信を要求されると、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、カルーセル放送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放送よりも平均再生中断時間が長くなる¹⁰⁾。

Super-Scaler VoD¹¹⁾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。通信量の削減につながり、ブロックを早く配信できる。NBB VoD (Neighbors-Buffering-Based)¹²⁾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、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

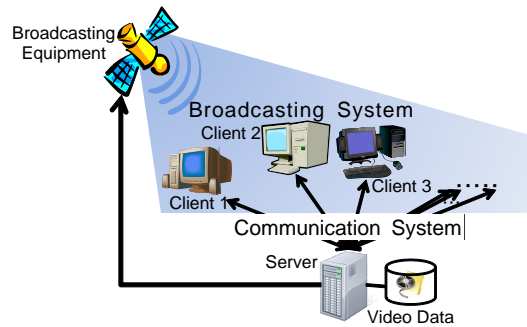


図 3 放送通信融合環境
Fig. 3 A hybrid broadcasting environment

する度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。再生端末が映像の再生を要求する間隔が短く、再生端末の数が多い場合には、まとめて要求を満たせるという放送の利点を活かすことができ、カルーセル放送よりも平均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、同じブロックを要求する再生端末が少なくなると、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。

本研究では、再生端末の数が少ない状況における DBSC 法の性能を改善するため、再生端末の数が少なくなると、カルーセル放送のように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。

3. 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。

3.1 システム構成

図 3 にシステム構成を示す。上部は放送方式を用いるシステムを示し、下部は通信方式を用いるシステムを示す。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。

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があげられる。再生端末にはインターネットに繋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繋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繋がり、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。

3.2 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。データは幾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。例えば、よく用いられている MPEG2 で符号化された映像データは幾つかの GOP で構成される。GOP には 0.5 秒のデータが含まれ、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。

一つの放送チャンネルで一つの映像データを配信するため、本論文では一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、提案手法は一つの映像データしか配信できないわけではない。

3.3 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。例えば、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。

4. 提案手法

提案する DBSC-SM (DBSC with Sequential Mode), DBSC-TSM (DBSC with Total Sequential Mode) 法の説明を行う。これらの手法は, DBSC 法を改良した手法であり, 再生端末の数が少なくなると, カラーセル放送のようにブロックを順番に放送する。後に説明するが, DBSC-SM 法と DBSC-TSM 法では, ブロックを順番に放送している期間が異なる。

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。以下に DBSC 法の説明も含めつつ順番に説明する。

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るため, 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よく短縮できる。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。そこで DBSC 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している。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うまで通信でブロックを要求し続けることになる。DBSC-SM および DBSC-TSM 法においても, DBSC 法と同じく, 再生端末は未受信の初めの方のブロックを要求する。

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度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, DBSC 法では, 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している。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番号として, 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。例えば, 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。

ここで, 映像を再生している再生端末の数が小さい場合には, シーケンシャルモードと呼ぶ, ブロックを順番に放送するモードに移行する。

4.3 シーケンシャルモード

再生端末は常に通信でブロックを要求しているため, サーバは通信から配信している再生端末の数を計測することで, 映像を再生している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, 通常通り式 (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を放送した後, 次にそのブロックの次のブロックを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。

- DBSC-SM 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。
- DBSC-TSM 法: 一度 $R < R_{th}$ 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。

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

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, 通信からブロックを受信している再生端末の数が増加しつづけることになる。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 C/r で与えることとした。

4.4 具体例

図 1 で示す 448Kbps の 30 分の映像を考える。ブロックの数は $1800/0.5 = 3600$ 個になる。サーバの通信帯域を 5Mbps とすると, $R_{th} = 5Mbps/448Kbps = 11$ になる。時刻 t_1 において 11 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 10 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, DBSC-SM

法および DBSC-TSM 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 11 台に戻る。DBSC-SM 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、DBSC-TLM 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, …, 3600 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。この再生中断時間には、映像の再生途中の中断時間だけでなく、初めに再生要求を出してから再生が開始されるまでの中断時間も含まれる。

評価パラメータをを表 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 1.4Mbps 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 5Mbps 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 448Kbps 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。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。平均要求到着間隔について、Zink らは 2149 個の映像配信サービスの平均要求到着間隔が 917 秒であることを明らかにしている⁷⁾。地上波デジタル放送では 12 セグメント用いることができ、各セグメントで 1 個の映像を配信すると 12 個の映像を配信できる。これより、12 個の映像に対する平均要求到着間隔は $917 / (2149 / 12) = 5.1$ 秒と考え、平均要求到着間隔を 5.1 秒で与える。再生中断時間が十分に収束されることが確認できた 6 時間分までシミュレーションを行った。

5.2 比較手法

提案手法の元となっている DBSC 法と比較する。また再生端末数が少ない場合に効率的に平均再生中断時間を短縮できるカーセル法についても評価結果に含める。

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。例えば、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

表 1 評価パラメータ
 Table 1 Evaluation parameters

項目	値
放送帯域	1.4Mbps
通信帯域	5 Mbps
再生レート	448Kbps
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	5.1 秒
シミュレーション時間	6 時間

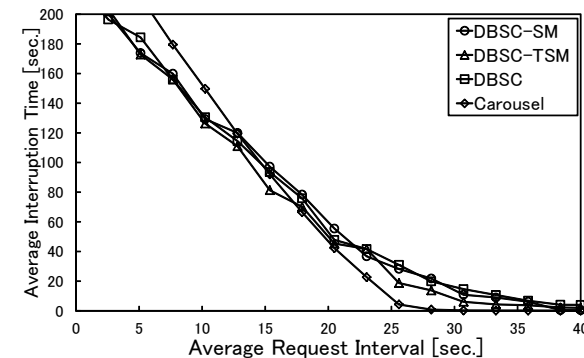


図 4 平均再生中断時間と平均要求到着間隔
 Fig. 4 Average interruption time and average request interval

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。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 18 秒より短い場合、DBSC-SM、DBSC-TSM、DBSC 法の平均再生中断時間がカルーセル法よりも短くなっていることが分かる。これは、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、さらに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、DBSC-SM、DBSC-TSM、DBSC 法の平均再生中断時間はほとんど変わらない。しかし、平均要求到着間隔が 18 秒より長い場合、カルーセル法の平均再生中断時間が短くなっている。これは、再生端末の数が少ないため、通信で要求されている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、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。この場合、シーケンシャルモードが有効に働き、DBSC 法よりも DBSC-SM、DBSC-TSM 法の平均再生中断時間が短くなっている。特に、DBSC-TSM 法の平均再生中断時間が短いことが分かる。

例えば、平均要求到着間隔が 5.1 秒の場合、カルーセル法の平均再生中断時間は 212 秒だが、DBSC-SM 法では 174 秒、DBSC-TSM 法では 173 秒、DBSC 法では 184 秒になっている。一方、平均要求到着間隔が 30 秒の場合、カルーセル法の平均再生中断時間は 0.24 秒、DBSC-SM 法では 11 秒、DBSC-TSM 法では 6 秒、DBSC 法では 15 秒になっている。提案手法により DBSC 法が改善され、DBSC-SM、DBSC-TSM 法の平均再生中断時間が DBSC 法よりも短いことが分かる。

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ある。平均要求到着間隔は 5.1 秒とした。このグラフから、再生中断時間の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、平均到着間隔が 5.1 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 4Mbps 未満であれば DBSC-SM 法や DBSC-TSM 法が平均再生中断時間を最短にしているが、4Mbps 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

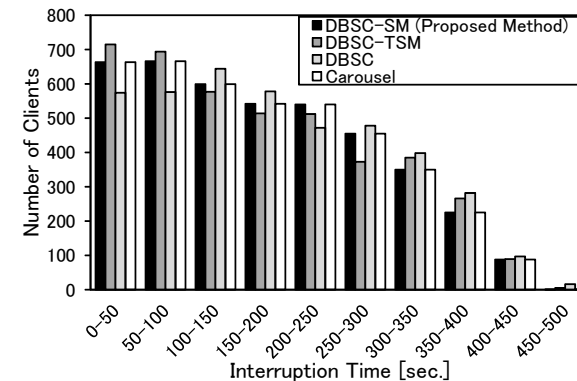


図 5 再生中断時間のヒストグラム
Fig. 5 Histogram of interruption time

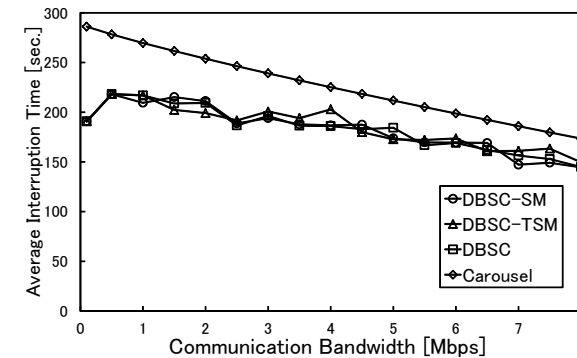


図 6 平均再生中断時間と通信帯域 (平均要求到着間隔 5.1 秒)
Fig. 6 Average interruption time and communication bandwidth (average request arrival interval is 5.1 sec.)

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ブロックを配信でき、再生中断時間を短縮できている。DBSC-SM、DBSC-TSM 法では、シーケンシャルモードを導入しているため、DBSC 法よりも平均再生中断時間が短くなっている。

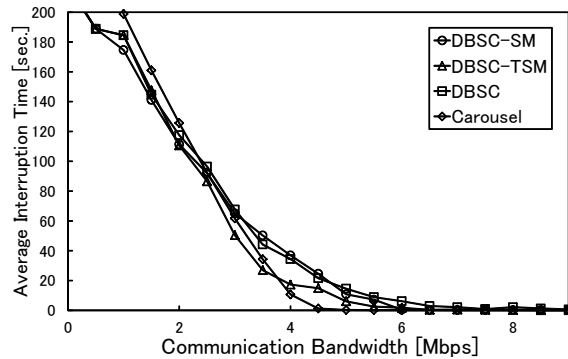


図 7 平均再生中断時間と通信帯域 (平均要求到着間隔 30 秒)

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

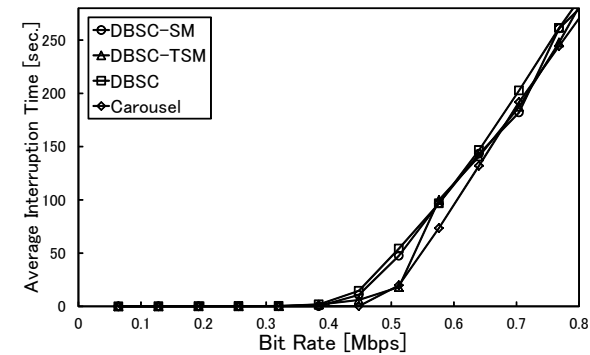


図 9 平均再生中断時間と再生レート (平均要求到着間隔 30 秒)

Fig. 9 Average interruption time and bit rate (average request arrival interval is 30 sec.)

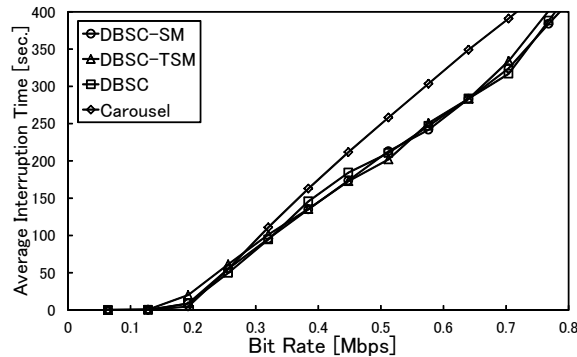


図 8 平均再生中断時間と再生レート (平均要求到着間隔 5.1 秒)

Fig. 8 Average interruption time and bit rate (average request arrival interval is 5.1 sec.)

5.5 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。平均到着間隔が 5.1 秒の場合の結果を図 8 に示し、平均到着間隔が 30 秒の場合の結果を図 9 に示す。これらの結果より、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分かる。これは、再生レートが大きい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。

平均要求到着間隔が 5.1 秒の場合では再生レートが 0.2Mbps 付近、平均要求到着間隔が 30 秒の場合では 0.4Mbps 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、再生端末あたりの通信帯域が再生レートより大きければ、ブロックの再生開始時刻までに受信完了でき、再生中断時間が発生しないが、小さければ、受信が間に合わずに再生中断が発生し始めるためである。平均要求到着間隔が長いほど再生端末あたりの通信帯域は多くなるため、より大きい再生レートで平均再生中断時間が長くなり始める。

通信帯域の評価結果と同じく、平均要求到着間隔が 5.1 秒の場合には DBSC-SM、DBSC-TSM、DBSC 法の平均再生中断時間は大きく変わらないが、平均要求到着間隔 30 秒で特に再生レートが 0.4Mbps 付近の場合に差が大きい。これは、再生レート 0.4Mbps 付近が、通信で要求されているブロックを放送すること、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り、この箇所ではシーケンシャルモードに移行する利点が大きく働くためである。

6. ま と め

従来の DBSC 法では、再生端末の数が少なくなると、再生中断時間を効率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。DBSC-SM 法では、再生端末の数が少ない間のみブロックを順番に放送し、DBSC-TSM 法では、一度少なくなると、最後まで順番

に放送する。評価の結果、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) J.B.Kwon: "Proxy-Assisted Scalable Periodic Broadcasting of Videos for Heterogeneous Clients," *Multimedia Tools and Applications*, Springer, Vol.51, No. 3, pp. 1105–1125 (2011).
- 2) C.K.Liaskos, S.G.Petridou, and G.I.Papadimitriou: "Cost-Aware Wireless Data Broadcasting," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 56, Issue 1, pp. 66–76 (2010).
- 3) N. Magharei and R. Rejaie: "PRIME: Peer-to-Peer Receiver-driven Mesh-based Streaming," in *Proc.IEEE INFOCOM2007* (2007).
- 4) X.Zhang, J.Liu, and B.Li: "DONet/CoolStreaming: A Data-driven Overlay Network for Live Media Streaming," in *Proc.IEEE INFOCOM2005*, Vol.3, pp.2102–2111 (2005).
- 5) R. Asorey-Cacheda, N. Courville, F. J. Gonzalez-Castano, and H. Bischl: "A Survey and Perspective on NVoD Systems for Satellite Networks," in *Proc.IEEE Int'l Work.Satellite and Space Communications (IWSSC 2007)*, pp.230-233 (2007).
- 6) T.Yoshihisa, M.Tsukamoto, S.Nishio: "A Broadcasting Scheme Considering Units to Play Continuous Media Data," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.53, Issue 3, pp.628–636 (2007).
- 7) M.M.Hefeeda, B.K.Bhargava, and D.K.Y.Yau: "A Hybrid Architecture for Cost-effective On-demand Media Streaming," *ACM Computer Networks*, Vol.44, Issue 3, pp.353–382 (2004).
- 8) J.Y.B.Lee: "UVoD: An Unified Architecture for Video-on-Demand Services," *IEEE Communication Letters*, Vol. 3, No. 9, pp.277-279 (1999).
- 9) S.Kulkarni, J.-F.Paris, P.Shah: "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).

- 10) 義久 智樹, 西尾 章治郎: "放送通信融合環境における映像再生端末数を考慮した放送スケジュール作成手法," *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 (DICOMO2011) 論文集*, Vol. 2011, pp. 414-421 (2011).
- 11) J.Y.B.Lee, and 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).
- 12) T.Taleb, N.Kato, and Y.Nemoto: "Neighbors-Buffering-Based Video-on-Demand Architecture," *Signal Processing: Image Communication*, Vol.18, Issue 7, pp.515–526 (2003).