

放送通信融合型ストリーミング配信環境における 受信データ予測による再生途切れ時間短縮手法

梅澤 真弘[†] 義久 智樹^{††} 原 隆浩^{†††} 西尾章治郎^{†††}

[†] 大阪大学工学部電子情報工学科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

^{†††} 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 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: [†]umezawa.masahiro@ise.eng.osaka-u.ac.jp, ^{††}yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 放送通信融合型ストリーミング配信環境では、再生端末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通信からも受信する。データの再生開始時刻までに受信が間に合わない場合、再生に途切れが発生するため、再生途切れ時間を短くする多数の研究が行われている。しかし、データの一部を通信から受信できるにもかかわらずすべてのデータを放送していたため、データの放送周期が長くなって再生途切れ時間を効率的に短縮できていなかった。そこで本稿では、通信から受信できると予測されるデータを除いた放送スケジュールを作成する手法を提案する。評価の結果、通信状況に応じて適切にデータが除かれていれば、従来手法に比べて再生途切れ時間を短縮できることを確認した。

キーワード ニアビデオオンデマンド、放送型配信、スケジューリング

Interruption Time Reduction Methods by Predicting Data Reception for Steaming Delivery on Broadcast and Communication Integration Environments

Masahiro UMEZAWA[†], Tomoki YOSHIHISA^{††}, Takahiro HARA^{†††}, and Shojiro NISHIO^{†††}

[†] School of Engineering, Osaka University Yamadaoka 2-1, Suita-shi, 565-0871 Japan

^{††} Cybermedia Center, Osaka University

^{†††} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Yamadaoka 1-5, Suita-shi, 565-0871 Japan

E-mail: [†]umezawa.masahiro@ise.eng.osaka-u.ac.jp, ^{††}yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

1. ま え が き

近年の放送通信融合環境への関心の高まりに伴い、放送と通信の両方を用いてストリーミング配信を行う放送通信融合型ストリーミング配信環境が注目されている。放送とは、テレビやラジオのように放送設備から電波を放射し、放送スケジュールに従って全ての端末にデータを送信する方式を指す。また通信とは、インターネットのようにサーバや端末が任意のタイミングでデータを送受信する方式をいう。放送と通信を融合させることで、両方からストリーミングデータを受信できる利点があ

る。放送通信融合型ストリーミング配信環境では、音楽や映像などのストリーミングデータが放送と同時に通信からも配信される。ストリーミングデータを再生する再生端末は、データを受信しながら再生できるが、データの再生開始時刻までに受信が間に合わない場合、再生に途切れが発生する。再生途切れ時間とは、再生を開始するまでの時間と再生が途切れている時間の和を意味する。ストリーミングデータの再生を楽しむためには再生途切れ時間が短いことが望ましいため、再生途切れ時間を短縮する多数の研究が行われている ([1], [2], [5] ~ [8])。これらの手法のほとんどは、すべてのデータを繰り返して放送し、

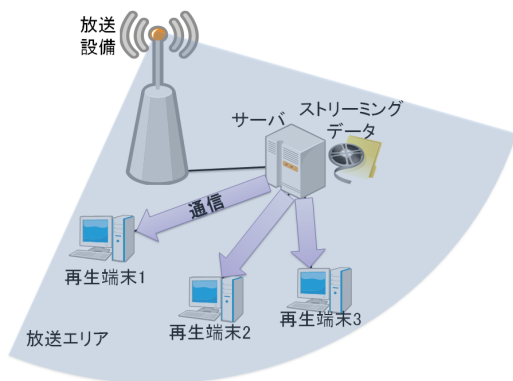


図 1 放送通信融合型ストリーミング配信環境

再生開始時刻までに放送からでは受信完了できないデータを通信から受信している。しかし、データの一部を通信から受信できるにもかかわらず、すべてのデータを放送しているため、データの放送周期が長くなってデータを受信できる機会が少なくなり、再生途切れ時間を効率的に短縮できていなかった。

そこで本研究では、放送通信融合型ストリーミング配信環境における受信データ予測による再生途切れ時間短縮手法を提案する。提案手法では、通信から受信できると予測されるデータを除いた放送スケジュールを作成する。放送するデータが少なくなるため、データの放送周期が短くなってデータを受信できる機会が増え、再生途切れ時間を短縮できる。再生端末が実際に通信から受信するデータと予測されたデータが大きく異なる場合、再生途切れ時間が長くなるため、定期的に通信から受信するデータを予測し直して放送スケジュールを更新する。評価の結果、通信状況に応じて平均再生途切れ時間を効率よく短縮できるように適切にデータが除かれていれば、従来手法に比べて再生途切れ時間を短縮できることを確認した。

以下、2. で関連研究を紹介する。3. で提案手法を説明し、4. で評価する。最後に 5. で本論文をまとめる。

2. 関連研究

まず、放送通信融合型ストリーミング配信環境について説明し、次に従来手法を説明する。

2.1 放送通信融合型ストリーミング配信環境

図 1 に放送通信融合型ストリーミング配信環境の構成を示す。放送エリア内の再生端末は放送設備から配信されるデータを受信できると同時にサーバからもデータを受信できる。放送設備からは、幾つかの放送チャネルを用いてデータが配信される。サーバはストリーミングデータを保持しており、放送設備を用いて放送からすべての再生端末にデータを配信でき、また通信から直接各再生端末にデータを送信できる。

再生の単位をブロックと呼び、再生端末はブロック毎にデータを再生できる。ストリーミングデータには複数のブロックが含まれる。放送通信融合型ストリーミング配信環境の例として、有線でインターネットに繋がったテレビや無線 LAN に繋がるワンセグプレーヤー等が挙げられる。このような放送通信融合型ストリーミング配信環境において再生途切れ時間を短縮する

幾つかの手法が提案されている。

2.2 従来手法

放送通信融合型ストリーミング配信環境における再生途切れ時間短縮手法として、UVoD (Unified Video-on-Demand) [5], SSVoD (Super-Scalar Video-on-Demand) [6], NBB VoD (Neighbors-Buffering Based Video-on-Demand) [7] が提案されている。

UVoD [5] では、複数の放送チャネルを用いて同じデータを繰り返し放送している。各放送チャネルの初めのブロックを配信するタイミングをずらすことで、再生端末がブロックを受信できる機会が増え、再生開始までの再生途切れ時間の短縮を実現している。また、放送からの受信では再生開始時刻に間に合わずに再生途切れが発生するブロックがある場合、通信を用いて、サーバからその再生端末にそのブロックを配信することでさらに再生途切れ時間を短縮している。

SSVoD [6] では、UVoD と同様、初めのブロックを配信するタイミングをずらして複数の放送チャネルで同じデータを繰り返して放送する。放送からではブロックの受信が再生開始時刻に間に合わない場合、一定時間に同じブロックに対して視聴要求を出した幾つかの再生端末にマルチキャストで配信を行う。これにより、複数の再生端末にまとめてブロックを配信できるため、視聴要求が多いデータに対して UVoD より効率良く配信を行える。

NBB VoD [7] では、他の手法と同様に放送からデータを配信している。放送からではデータの受信が再生開始時刻に間に合わないブロックがある場合、そのブロックを他の再生端末が既に受信していれば、その再生端末からブロックを受信する。しかし、必要なブロックをどの再生端末も受信していない場合、サーバから必要なブロックを受信する。

提案手法では、すべてのブロックを放送するのではなく、通信から受信できると予測される部分を除いて放送スケジュールを作成する点が新しく、これにより従来手法よりも再生途切れ時間を短縮できる。

3. 提案手法

本章では、提案する放送通信融合型ストリーミング配信環境における再生途切れ時間短縮手法について説明する。まず、想定環境を示し、その後放送側の配信手法、通信側の配信手法を順番に説明する。

3.1 想定環境

本研究では 2.1 で説明した放送通信融合型ストリーミング配信環境を想定する。サーバが保持するストリーミングデータの数が多く再生端末がどのデータを再生するか分からないため、各再生端末は視聴要求を出してからデータの受信を開始し、あらかじめ受信しておくことはしない。再生端末は、ストリーミングデータを最初から最後まで早送りや巻き戻しをせずに再生するものとする。また、再生端末は、再生するストリーミングデータのすべてのブロックを保存する十分な容量のストレージをもつ。

3.2 データ受信予測帯域

提案手法では、通信から受信できると予測されるブロックを除いて放送スケジュールを作成する。各再生端末は、放送スケジュールから除かれているブロックを通信からしか受信できない。除かれたブロックの数が多い場合、通信から受信するブロックが多くなり、再生開始時刻までに受信完了できないブロックが多くなる。結果として、再生途切れ時間が長くなる。一方、除かれたブロックの数が少ない場合、ブロックの放送周期が長くなって、次に同じブロックが放送されるまで時間がかかり、再生途切れ時間が長くなる。放送スケジュールから除くことで再生途切れ時間を効率的に短縮できるブロックの数は、再生端末の通信帯域に依存する。通信帯域は時間的に変化するが、データ受信予測のうえで、将来の通信帯域の変化を把握できない。そこで、放送スケジュール作成のためにデータ受信予測に用いる通信帯域を一定と考え、この値をデータ受信予測帯域と呼ぶ。例えば、データ受信予測帯域を c Mbps とすると、時間 t 秒の間にすべての再生端末は $ct/8M$ バイトのデータを通信から受信できると予測する。データ受信予測帯域は、放送スケジュールを作成するうえでのパラメータとなる。データ受信予測帯域によって放送スケジュールが変わり、再生途切れ時間も変化する。詳しくは 4.4 で評価しているが、再生途切れ時間を最短にするデータ受信予測帯域（データ受信予測最適帯域）があるため、放送スケジュールを決定する際、データ受信予測最適帯域を発見することが望ましいが、必ずしもデータ受信予測最適帯域をデータ受信予測帯域として与えなくても、ある値より小さければ、従来手法より再生途切れ時間を短縮できる。データ受信予測最適帯域は再生端末の実際の通信帯域や視聴要求の到着間隔等に依存する。

3.3 放送側の配信手法

提案手法では、データを N 個のセグメント $S_i (i=1, \dots, N)$ に分割し、複数の放送チャネルと通信を用いて配信する。セグメントには連続する複数のブロックが含まれ、 S_i に含まれるブロックの数を N_i で表す。各放送チャネルで同じセグメントを繰り返して放送する。各放送チャネルの帯域幅 b は、放送帯域 B を等分割して与えられ、放送チャネルの数を K とすると、 $B = bK$ となる。提案手法では、通信から受信できると予測されるブロックをセグメントにまとめて放送スケジュールから除き、他のセグメントを放送スケジュールに含める。 K 個の放送チャネル $C_i (i=1, \dots, K)$ があり、各放送チャネルで同じセグメントを繰り返して放送する。ストリーミングデータの再生時間を D 、データ受信予測帯域を c 、再生レートを r 、ブロックサイズを S とする。放送しないブロックの決定方法によって 4 種類の手法が考えられる。以下に説明する。

3.3.1 FC (First-segment from Communication) 法

通信帯域が大きい場合、ストリーミングデータの前の方を通信から受信することで放送よりも早く受信でき、再生開始時刻を早くできると考えられる。そこで FC 法では、ストリーミングデータの前の方のブロックを除いた放送スケジュールを作成する。 C_i で S_{i+1} を繰り返して放送する。セグメントの数は $K+1$ 個となる。通信からは少なくとも S_1 を受信すると予測

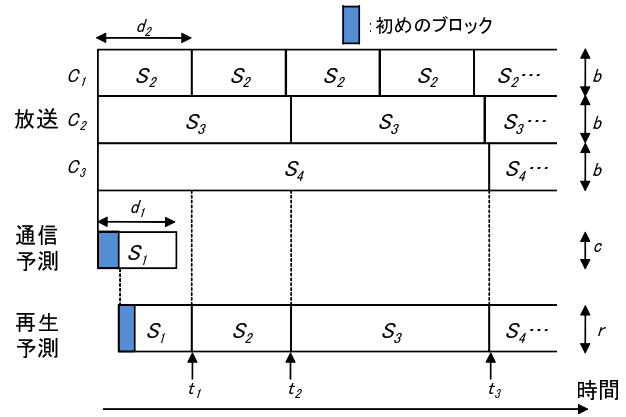


図 2 FC 法の放送スケジュールと再生状況

して放送スケジュールを作成しているが、再生端末は 3.4 で説明する手順で通信からブロックを受信するため、 S_1 のみを通信から受信するわけではない。

放送チャネルが 3 個のときの放送スケジュールを図 2 に示す。横軸は時間、縦軸は帯域をそれぞれ表し、右に行くほど、時間が経過していることを示す。最上部の「放送」が放送スケジュールを示し、「通信予測」は通信から受信すると予測されるセグメントを示している。「再生予測」は最初のブロックの受信完了と同時に再生を開始した場合に再生している状況を示す。 C_1 で S_2 、 C_2 で S_3 、 C_3 で S_4 を繰り返して放送している。FC 法では初めの方を放送しないため、再生端末は視聴要求を出すすぐに最初のブロックを通信から受信し、再生を開始する。通信から S_1 を受信しながら再生し、 S_1 の再生終了時刻 t_1 に S_2 を受信完了できるように d_2 を決定する。通信帯域がデータ受信予測帯域以上であれば、再生端末は S_1 の再生終了後、途切れることなく S_2 の再生を開始できる。同様に、 S_i の再生終了時刻 t_i に S_{i+1} を受信完了できるように d_{i+1} を決定する。紙面の都合上、導出過程を省くが、 d_i を用いて N_i は以下の式で与えられる。ただし、 $(1 + \frac{b}{r})^K$ を F_{FC} で表す。

$$d_i = \begin{cases} \frac{r}{cF_{FC}} \times \left\{ D - \frac{S(F_{FC}-1)}{c} \right\} & (i=1) \\ \left(1 + \frac{b}{r}\right)^{i-1} \left(\frac{S}{c} + \frac{cd_1}{r}\right) & (i=2, 3, \dots) \end{cases} \quad (1)$$

$$N_i = \begin{cases} \left\lfloor \frac{bd_i}{S} \right\rfloor & (i=1) \\ \left\lfloor \frac{cd_i}{S} \right\rfloor & (i=2, 3, \dots, K+1) \end{cases} \quad (2)$$

3.3.2 LC (Last-segment from Communication) 法

通信帯域が小さい場合、ストリーミングデータの前の方を放送から受信することで通信よりも早く受信でき、再生開始時刻を早くできると考えられる。そこで LC 法では、ストリーミングデータの後ろの方のブロックを除いて放送スケジュールを作成する。 C_i で S_i を繰り返して放送し、通信からは少なくとも S_{K+1} を受信すると予測して放送スケジュールを作成する。

放送チャネルが 3 個のときの放送スケジュールを図 3 に示す。LC 法では初めの方を放送から受信すると考えているため、再生端末が放送から最初のブロックを受信するとすぐに再生する場合を考える。ただし、実際には通信から最初のブロックを

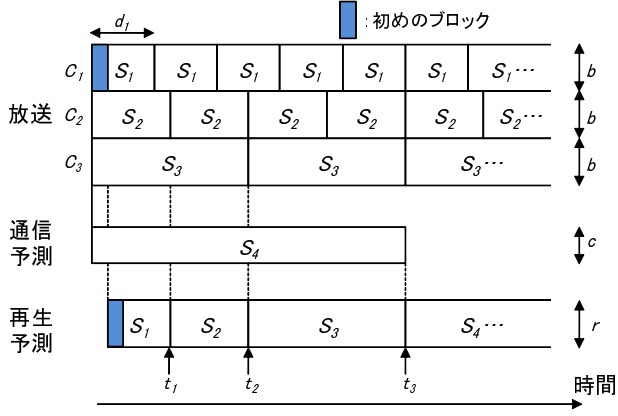


図3 LC法の放送スケジュールと再生状況

受信する場合があるため、再生端末は必ずしも初めのブロックが放送されるまで待つわけではない。\$S_i\$ の再生終了時刻 \$t_i\$ に \$S_{i+1}\$ を受信完了できるように \$d_{i+1}\$ を決定する。最後のセグメントを通信から受信完了する時刻がその前のセグメントの再生終了時刻と同じになるように \$d_{i+1}\$ を決定している。\$d_i, N_i\$ は以下の式で与えられる。ただし、\$(1 + \frac{b}{r})^{K-1}(1 + \frac{c}{r})\$ を \$F_{LC}\$ で表す。

$$d_i = \begin{cases} \frac{r}{bF_{LC}} \times \{D - \frac{S(F_{LC}-1)}{b}\} & (i=1) \\ (1 + \frac{b}{r})^{i-1} (\frac{S}{b} + \frac{bd_1}{r}) & (i=2, \dots, K) \\ (1 + \frac{b}{r})^{i-1} (1 + \frac{c}{r}) (\frac{S}{b} + \frac{bd_1}{r}) & (i=K+1) \end{cases} \quad (3)$$

$$N_i = \begin{cases} \lfloor \frac{bd_i}{S} \rfloor & (i=1, 2, \dots, K) \\ \lfloor \frac{cd_i}{S} \rfloor & (i=K+1) \end{cases} \quad (4)$$

3.3.3 MC (Middle-segment from Communication) 法

FC法, LC法の他に、中程のデータを放送スケジュールから除く事が考えられる。先頭のセグメントを放送から受信するとすると、最後のセグメントが放送で受信される場合と通信で受信されると予測する場合がある。それぞれ MC-LB (Middle-segment from Communication and Last-segment from Broadcast) 法, MC-LC (Middle-segment from Communication and Last-segment from Communication) 法と呼ぶ。

MC-LB法では、\$C_i\$ で \$S_{2i-1}\$ を繰り返し放送する。通信からは、\$S_{2j}(j=1, \dots, K-1)\$ を順番に受信すると予測する。MC-LC法では、通信から \$S_{2i}\$ を順番に受信すると予測する。\$d_i, t_i, N_i\$ は以下の式で与えられる。ただし、MC-LB法で \$t_{2K-1}\$ の \$t_1\$ の係数、また MC-LC法で \$t_{2K}\$ の \$t_1\$ の係数を \$F_{MC}\$ とする。

$$d_i = \begin{cases} \frac{r}{bF_{MC}} \times \{D - \frac{S(F_{MC}-1)}{b}\} & (i=1) \\ \frac{S}{b} + \frac{bd_1}{r} & (i=2) \\ t_{i-1} & (i \neq 1, i \text{ は奇数}) \\ t_{i-1} - t_{i-3} & (i \neq 2, i \text{ は偶数}) \end{cases} \quad (5)$$

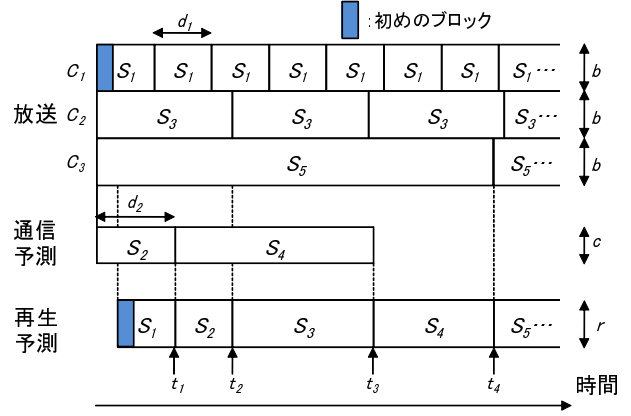


図4 MC-LB法の放送スケジュールと再生状況

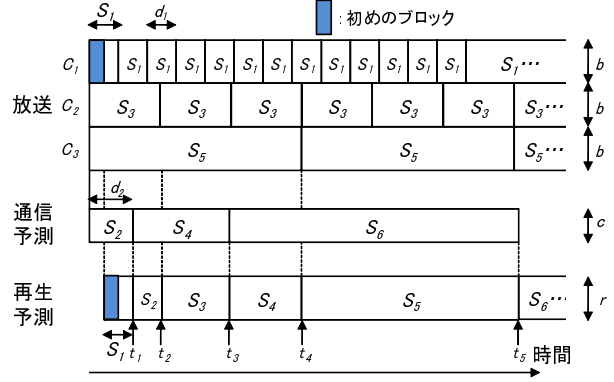


図5 MC-LC法の放送スケジュールと再生状況

$$t_i = \begin{cases} \frac{S}{b} + \frac{bd_1}{r} & (i=1) \\ t_{i-1} + \frac{bd_i}{r} & (i \neq 1, i \text{ は奇数}) \\ t_{i-1} + \frac{cd_i}{r} & (i \text{ は偶数}) \end{cases} \quad (6)$$

$$N_i = \begin{cases} \lfloor \frac{bd_i}{S} \rfloor & (i \text{ は奇数}) \\ \lfloor \frac{cd_i}{S} \rfloor & (i \text{ は偶数}) \end{cases} \quad (7)$$

放送チャンネルが3個のときの各手法の放送スケジュールを図4と図5に示す。

3.4 通信側の配信手法

再生端末は、視聴要求を出すと同時に通信からブロックの受信を開始する。以下の条件を満たすブロックを受信し、あるブロックの受信を終了すると、次に条件を満たすブロックを受信する。

- 放送されるのを待っていると途切れが発生するブロック
- 放送から受信するよりも通信から受信する方が早く受信できると予想されるブロック

- 現在の再生位置により近いブロック

これらを満たすブロックがなければ、通信帯域を無駄に消費しないように、通信からの受信を終了する。

3.5 具体例

3.3節で図示した例と同じく放送チャンネルが3個で、ストリーミングデータの再生時間を30分、放送帯域を8Mbps、データ受信予測帯域を1Mbps、ブロックのサイズを125kバイトとした場合の各セグメントに含まれるブロック番号を表1に示す。ブロックの総数は3600個になる。FC法では \$S_1\$ に含まれ

表 1 セグメントに含まれるブロック番号

	FC	LC	MC-LB	MC-LC
S_1	1~4	1~529	1~325	1~242
S_2	5~607	530~1235	326~487	243~363
S_3	608~1505	1236~2882	488~1137	364~848
S_4	1506~3600	2883~3600	1138~1543	849~1151
S_5			1544~3600	1152~2686
S_6				2687~3600

表 2 ブロックの受信方法の決定

ブロック番号	再生開始 予定時刻 [秒]	放送受信完了 予定時刻 [秒]	受信方法
1	89.23	122.25	通信
2	90.73	122.63	通信
3	91.73	123	通信
4	92.73	123.38	通信
5	93.73	123.75	通信
51	139.73	141	通信
52	140.73	141.38	通信
53	141.73	141.75	通信 中止
54	142.25	142.13	放送
55	143.75	142.5	放送

るブロック 1~4 が放送スケジュールから除かれ、LC 法では S_4 に含まれるブロック 2883~3600 が除かれる。MC-LB 法では S_2 , S_4 に含まれるブロックが放送スケジュールから除かれ、MC-LC 法では S_2 , S_4 , S_6 に含まれるブロックが除かれる。

一例として、表 1 に示す MC-LB 法を用いて、再生端末が視聴要求を出す場合の再生端末の挙動を示す。サーバは 3.4 節で示した条件に従ってブロックの配信方法を決定する。サーバは再生端末の視聴要求と同時に各ブロックの再生開始時刻を予測する。また、通信からブロックを配信する度に、そのブロックの再生開始時刻を予測し直す。ここで、時刻 0 に放送が開始され、時刻 89.23 秒に視聴要求を出す場合を考える。この例ではコンピュータシミュレーションで得られた結果を用いている。まず、再生端末は放送からブロック 1 の受信を試みるが、放送されているブロック 1 を受信完了するのが 122.25 秒後であり、途切れが発生するため、通信からブロック 1 を受信する。次にブロック 2 を放送から受信すると、再生端末は時刻 122.63 秒まで受信できない。しかし、再生開始予定時刻が時刻 90.73 秒であり、再生が途切れるため、再生端末はブロック 2 を通信から受信する。同様の処理を各ブロックに対して行う。その結果を表 2 に示す。ブロック 53 では通信を用いて配信することを決定したが、実際には通信ではなく放送から早く受信できたため、再生端末は放送からの受信が完了した時点でブロック 53 の受信を中止している。ブロック 54, 55 では、再生開始時刻までに放送されているブロックを受信できるため、放送から受信している。

3.6 放送スケジュールの更新

再生端末やサーバの帯域が変化すると、データ受信予測最適帯域が変化し、再生途切れ時間を効率的に短縮できなくなるため、定期的に放送スケジュールを更新する。更新間隔はシステ

表 3 評価に用いた値

項目	値
ストリーミングデータの再生時間	30 分
再生レート	2Mbps
放送帯域	8Mbps
放送チャンネル	4 個
再生端末の通信帯域	1Mbps
サーバの帯域	30Mbps
ブロックサイズ	125k バイト

ムに依存するが、一日毎程度で、深夜のサービスを中止している間に更新を行うと考えている。この場合、一日の間の実際の平均通信帯域と平均到着間隔を計測し、その値を用いて再生途切れ時間のシミュレーションを行い、データ受信予測最適帯域を発見する。次の日の平均通信帯域と平均到着間隔が前日と同じになるとは限らないが、任意のタイミングで視聴要求を出す再生端末の挙動を予測することは不可能なため、このデータ受信予測最適帯域を用いて作成した放送スケジュールで、次の日の配信を行う。

4. 評価

提案手法の有効性を確かめるため、コンピュータシミュレーションによる評価を行った。本章では、評価結果を示し、考察を行う。

4.1 評価環境

評価に用いたパラメータを表 3 に示す。MPEG2 の Low プロファイルで符号化された 30 分の映像コンテンツを想定し、GOP (Group Of Pictures) と呼ばれる再生の単位をブロックと考え、GOP の標準サイズである 0.5 秒分をブロックのデータサイズとした。地上波デジタル放送を想定し、放送帯域を 8Mbps とし 4 個の放送チャンネル用いた。各放送チャンネルの帯域幅は、 $8/4 = 2\text{Mbps}$ となる。再生端末がストリーミングデータの視聴要求を出す平均到着間隔は、一般的な到着であるポアソン過程に従うものとし、30 秒で与えた。また各再生端末の通信帯域は一定とし、再生端末の通信帯域の合計がサーバの帯域を超えると、サーバの帯域を再生端末数に応じて等分割して割り当てる。

4.2 比較手法

UVoD や NBB VoD といった従来手法は分割放送方式 ([3], [4], [9], [10]) と呼ばれるデータをセグメント分割して放送する手法を用いておらず、提案手法と比べて再生途切れ時間が非常に長くなる。分割放送方式の一つで、少ない放送チャンネルで再生途切れ時間を最も短くできる BE-AHB (Bandwidth Equivalent Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [10] では、データをセグメントと呼ぶ幾つかのデータのまとまりに分割する。あるセグメントの再生終了と同時に次のセグメントの受信が完了するように放送スケジュールを作成することで、再生途切れ時間を短縮できる。しかし、BE-AHB 法は放送からのデータ受信のみを想定しており、通信からのデータ受信を考慮に入れていない。このため、BE-AHB 法に通信側の手法と

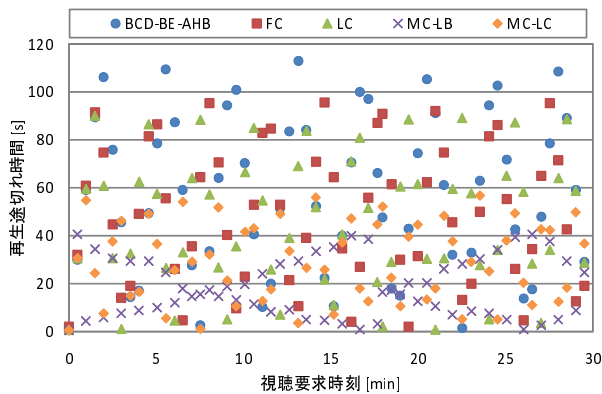


図 6 各再生端末の再生途切れ時間

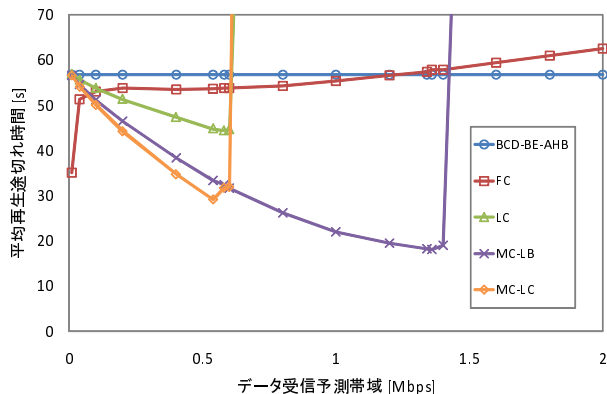


図 7 データ受信予測帯域と平均再生途切れ時間

して提案手法と同じものを用いて、放送通信融合型ストリーミング配信環境に適用させた BCD-BE-AHB 法 (Broadcast and Communication based Delivery-BE-AHB) を比較手法として用いる。

4.3 各再生端末の再生途切れ時間

各端末の再生途切れ時間をシミュレートした。結果を図 6 に示す。横軸は再生端末の視聴要求時刻、縦軸は再生終了までに発生した各再生端末の再生途切れ時間をそれぞれ表す。シミュレーション時間を 30 分とした。再生途切れ時間にばらつきはあるものの、ある範囲内で収まっていることがわかる。そこで以降の評価では、平均再生途切れ時間を評価指標として用いる。

4.4 データ受信予測帯域

データ受信予測帯域によって放送スケジュールが変わるため、平均再生途切れ時間に影響が出る。そこでデータ受信予測帯域を変化させ、各手法における再生端末の平均再生途切れ時間をシミュレーションした。視聴要求を出した再生端末の数が 200 になるまでシミュレーションを行った。結果を図 7 に示す。横軸はデータ受信予測帯域、縦軸は再生端末の平均再生途切れ時間をそれぞれ表す。

この結果より、データ受信予測帯域がある値より小さければ、4 個の提案手法はすべて従来の BCD-BE-AHB 法より平均再生途切れ時間を短縮できていることが分かる。また、FC 法以外の手法では再生途切れ時間を最短にする最適なデータ受信予測帯域があることがわかる。これは、データ受信予測帯域が

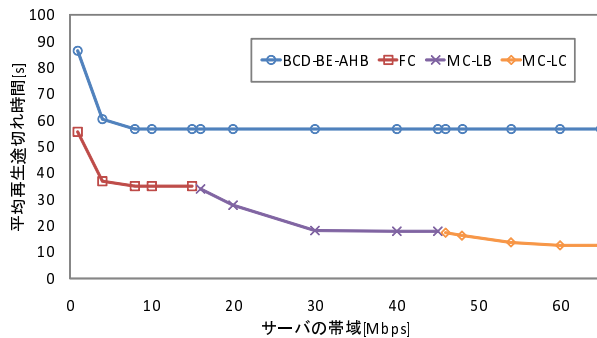


図 8 サーバの帯域と平均再生途切れ時間

小さすぎると、放送スケジュールからブロックが十分に除かれず、放送周期が長くなって再生途切れ時間が長くなり、逆に大きすぎると除きすぎて通信からのブロックの受信が再生時刻までに間に合わないためである。除く部分によってデータ受信予測帯域は異なり、FC 法では 0.01Mbps、LC 法では 0.58Mbps、MC-LB 法では 1.36Mbps、MC-LC 法では 0.55Mbps がデータ受信予測最適帯域となっている。データ受信予測最適帯域は、視聴要求の到着間隔等にも影響されるため、再生端末の平均通信帯域と同じ値が必ずしもデータ受信予測最適帯域にはなっていない。

データ受信予測帯域がデータ受信予測最適帯域よりも大きくなると急激に平均再生途切れ時間が長くなるのは、ブロックの受信にかかる時間がブロックの再生時間より長い場合、あるブロックで途切れが発生するとその次のブロックでも途切れが発生するといったように連鎖的に再生に途切れが発生するためである。

具体的な再生途切れ時間短縮の例として、この場合、MC-LB 法の再生途切れ時間が最も短く 18.1 秒、比較手法の BCD-BE-AHB 法では 56.8 秒であり、68.2%短縮できている。

4.5 サーバの帯域

サーバの帯域が 30Mbps の場合、4.4 に示したように、MC-LB 法が再生途切れ時間を最短にしていたが、サーバの帯域が変化すると、最短の再生途切れ時間を与える手法が変わる。そこでサーバ帯域を変化させて評価を行った。最も短い平均再生途切れ時間とその値を与える手法を求めた。結果を図 8 に示す。横軸はサーバの帯域、縦軸は再生端末の平均再生途切れ時間をそれぞれ表す。他のパラメータは 4.4 と同じである。

このグラフより、データ受信予測帯域が適切に設定されると既存の BCD-BE-AHB 法より平均再生途切れ時間を短縮できていることが分かる。これは、提案手法で通信から受信されると予測されるデータを放送スケジュールから除いていることが有効に働いているためと考えられる。BCD-BE-AHB 法でサーバの帯域が 10Mbps 以上の場合に一定になっているのは、サーバの帯域を十分に確保でき、再生端末あたりの通信帯域に変化がないためである。

サーバの帯域が 15Mbps 以下の場合、FC 法が平均再生途切れ時間を最短にしている。これは、すべての提案手法において再生端末は視聴要求を出した直後、初めの方のブロックを

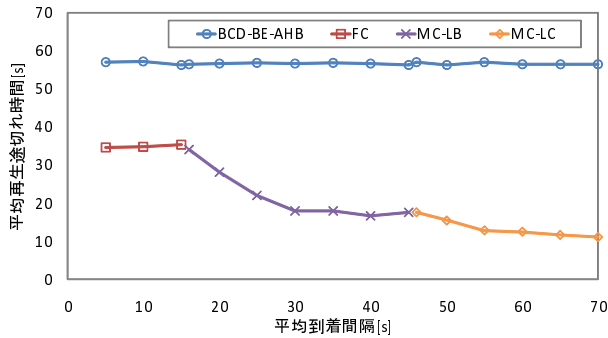


図 9 平均到着間隔と平均再生途切れ時間

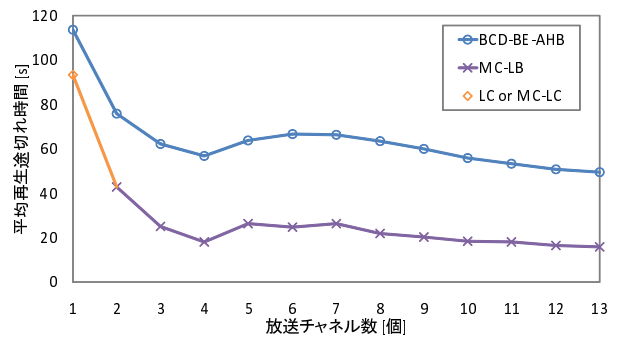


図 10 放送チャンネル数と平均再生途切れ時間

通信から受信することになり、初めの方のブロックを放送スケジュールから除いても通信から受信するブロックに変わりはないためである。FC 法では、初めの方のブロックを除いており、放送周期を短くできるため、サーバの帯域が小さい場合に再生途切れ時間を効率よく短縮できている。

16Mbps 以上になると、MC-LB 法が最短の平均途切れ時間を与えている。これは、MC-LB 法では FC 法よりも多くのブロックを放送スケジュールから除いて、放送周期を短くできたためである。また、通信から受信するセグメント数を 1 つとして中程のデータを除いた放送スケジュールを作成するよりも、複数のセグメントを用いて放送スケジュールを作成した方が放送周期を短くできるため、効率的に再生途切れ時間を短縮できている。

さらに 46Mbps 以上になると、MC-LC 法が最短の平均途切れ時間を与えている。これは、MC-LB 法同様、通信から受信するセグメントを複数用いることで、放送周期を短くできるためである。また、MC-LB 法よりも多くのブロックを放送スケジュールから除くことができ、放送周期をさらに短くできるため、MC-LB 法よりも効率的に再生途切れ時間を短縮できている。

LC 法では FC 法よりも多くのブロックを除いているため、放送周期を短くできる。しかし、MC-LB 法と MC-LC 法と比較すると、 S_1 のブロック数である N_1 は LC 法が最も多く、LC 法の放送周期が最も長い。このため、LC 法が最短の平均再生途切れ時間を与える手法にならず、図中に表れていない。

4.6 平均到着間隔

視聴要求の到着間隔が短い場合、視聴中の再生端末の数が増え、通信量が増加して平均再生途切れ時間が長くなると考えられる。そこで視聴要求の平均到着間隔を変化させ、各手法においてシミュレーションを行った。最も短い平均再生途切れ時間とそのときに用いた手法を求めた。結果を図 9 に示す。平均到着間隔以外のパラメータは 4.4 と同じである。

4.5 の結果と同じく、平均到着間隔が短い方から順に FC、MC-LB、MC-LC 法が最短の平均再生途切れ時間を与えていることがわかる。これは、平均到着間隔が短いほど再生端末あたりの通信帯域が少なくなり、サーバの帯域が少なくなった場合と同じ現象が発生するためである。

4.7 放送チャンネル数

放送チャンネルが論理的なチャンネルの場合、サービス提供者が放送チャンネル数を設定できる。放送チャンネル数に応じて、各放送チャンネルの帯域幅も変化するため、平均再生途切れ時間に影響が出る。そこで放送チャンネル数を変化させて、シミュレーションを行い、最も短い平均再生途切れ時間とそれを与える手法を求めた。結果を図 10 に示す。放送チャンネル数以外のパラメータは 4.4 と同じである。

BCD-BE-AHB 法において放送チャンネルを 4 個の場合、再生途切れ時間を短縮できるが、5 個以上のとき、再生途切れ時間は一度長くなってから再び短くなっている。放送チャンネル数が 5 個以上 7 個以下のとき、放送チャンネルの帯域幅が再生レートより小さく、また、通信帯域より大きくなる。しかし、放送より通信の方が早くブロックを受信できると誤って予測すると、通信から受信を開始してしまう。放送から受信する方が早いにも関わらず通信から受信してしまうため、放送されないブロックの受信に時間がかかってしまい再生途切れ時間が長くなる。しかし、放送チャンネル数が 8 個以上のときは、放送チャンネルの帯域幅は通信帯域より小さくなるために、通信で受信する方がブロックを早く受信できて、再生途切れ時間を再び短縮できている。放送チャンネル数が 1 個のときは LC 法及び MC-LC 法が最短の平均再生途切れ時間を与えている。また、これらの手法は放送チャンネル数が 1 個のとき、セグメントの数が等しく、同じ放送スケジュールを作成するため、平均再生途切れ時間は等しい。放送チャンネル数が 2 個以上のとき、MC-LB 法が最短の再生途切れ時間を与えている。これは、他の手法と比べて多くのブロックを放送スケジュールから除き、放送周期を短くできたためである。また、放送チャンネル数が 5 個以上のとき、再生途切れ時間は一度長くなってから再び短くなっている。これは、BCD-BE-AHB と同じ理由による。

5. ま と め

本稿では、放送通信融合型ストリーミング配信環境における受信データ予測による再生途切れ時間短縮手法を提案した。提案手法では、通信から受信できると予測されるデータを除いた放送スケジュールを作成する。通信状況に応じて適切に放送するデータを除くことで、従来手法よりもデータの放送周期が短くなって再生途切れ時間を短縮できる。評価の結果、放送スケ

スケジュール作成のためのデータ受信予測に用いるデータ受信予測帯域がある値より小さければ、従来手法に比べて再生途切れ時間を短縮できており、最も平均再生途切れ時間を短くするデータ受信予測帯域があることを確認した。

今後、放送スケジュールの更新方法を含めた評価に取り組むことや、状況に応じて動的に放送スケジュールを更新する手法を提案する予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B))「端末伝送型インターネット放送におけるコンテンツ配信方式」(課題番号:21700108)による成果である。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] S. Acharya, M. Franklin, and S. Zdonik, "Balancing push and pull for data broadcast," ACM SIGMOD Record, vol.26, no.2, pp.183-194, May 1997.
- [2] V. Gopalakrishnan, B. Bhattacharjee, K. Ramakrishnan, R. Jana, and D. Srivastava, "CPM: Adaptive video-on-demand with cooperative peer assists and multicast," IEEE INFOCOM 2009, pp.91-99, Apr. 2009.
- [3] L. S. Juhn, "Fast data broadcasting and receiving for popular video service," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.44, no.1, pp.100-105, March 1998 .
- [4] L.-S. Juhn and L. M. Tseng , "Harmonic broadcasting for video-on-demand service", IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 43, No. 3, pp. 268-271 , 1997.
- [5] J. Y. B. Lee, "UVoD: An Unified Architecture for Video-on-Demand Services", IEEE Communication Letters, Vol. 3, No. 9, pp. 277-279, 1999.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "再生単位となるデータサイズを考慮したスケジューリング手法", 電子情報通信学会第14回データ工学ワークショップ (DEWS 2003) 論文集, 2003.
- [10] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "再生単位を考慮したスケジューリング手法における使用チャンネル数について", 日本データベース学会 Letters, Vol. 4, No. 3, pp. 5-8 , 2005.