

分割放送型配信における再生途切れのないスケジューリング技術に関する研究

代表研究者 後藤 佑介 岡山大学 大学院自然科学研究科 准教授
共同研究者 谷口 秀夫 岡山大学 大学院自然科学研究科 教授

1 はじめに

近年のインターネットの普及にともない、音声や映像といった動画データを IP ネットワーク上で配信する研究が盛んに行われている [1]。多くのインターネットサービスで利用されている配信方式である VoD (Video on Demand) は、視聴者の受信要求に応じて直ちに動画データを配信できるが、視聴者の受信端末 (以下、クライアント) 数に比例して、配信サーバの処理負荷や使用する帯域幅は増加する。そこで、マルチキャストやブロードキャストを用いて、一定の帯域幅で複数のクライアントに同じ動画データをまとめて配信する方式が提案されている。この配信方式は、クライアント数の増加による配信サーバの処理負荷や使用する帯域幅の増加を抑制できる。一方で、クライアントの再生要求に対して個別にユニキャストのチャンネルを設定して配信する Full VoD と異なり、複数のクライアントに同じデータを繰り返し配信する Near VoD であるため、クライアントは所望のデータが配信されるまで待つ必要がある。

受信要求から再生開始までの待機時間 (以下、待ち時間) を短縮するため、動画データを複数の部分 (以下、セグメント) に分割し、複数の通信路 (以下、チャンネル) で配信する分割放送型配信が提案された。分割放送型配信では、データの分割比率の偏りにより再生中にデータの途切れ (以下、途切れ時間) が発生しないように、配信計画 (以下、配信スケジュール) を決定するスケジューリング手法が数多く提案されている [2-6]。しかし、これらの提案は、システムの処理負荷やパケット損失といった実際のネットワーク環境で発生する要因を考慮していない。

そこで、システムの処理負荷やパケット損失が分割放送型配信に与える影響を評価するため、分割放送型配信システム d-Cast [7] が提案されている。しかし、d-Cast は、パケットヘッダやセグメントの復元情報といった付加情報が配信に与える影響に対処していないため、途切れ時間が発生する。また、クライアントがセグメントを受信する契機をセグメントの先頭に限定しているため、同様に途切れ時間が発生する。さらに、再生に必要な最低限のデータを受信すると再生を開始できる再生方式である逐次再生に対応しておらず、再生開始までに待ち時間が発生する。

分割放送型配信で発生する待ち時間は、ユーザの受信要求から再生開始までの開始待ち時間と、コンテンツ再生中に発生する再生途切れ時間の 2 種類に分類される。そこで、本研究では、ユーザの視聴形態や実際のネットワーク環境で発生する問題を考慮した上で、途切れ時間を短縮するスケジューリング技術の提案を行い、評価する。また、スケジューリング技術を導入可能な放送型配信システムを実現し、有用性を検証する。

2 分割放送型配信

2-1 スケジューリング手法

動画データの分割放送型配信において、データの分割比率の偏りにより途切れ時間が発生しないように、配信スケジュールを決定するスケジューリング手法は数多く提案されている。スケジューリング手法は、チャンネルの帯域幅や動画の再生レートといったさまざまな条件を考慮して適切な配信スケジュールを決定する。例えば、Harmonic Broadcasting (HB) 法 [8] は、配信に必要なチャンネルの帯域幅の増加を抑制できる手法であり、Staircase 法 [9] は、クライアントに要求されるディスク I/O 速度の増加を抑制できる手法である。Fast Broadcasting (FB) 法 [10] は、第 1 セグメントのデータサイズの比率を 1 としたとき、第 k セグメントのデータサイズの比率を 2^{k-1} (k は自然数) とするスケジューリング手法である。HB 法と Staircase 法はバッファをもたないクライアントに対応していないが、FB 法では、バッファをもたないクライアントでも途切れなく視聴できる。

Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting (BE-AHB) 法 [11] は、MPEG2 の Group of Pictures (GOP) や MP3 のフレームといった、再生単位と呼ばれるデータの再生に最低限必要なひとかたま

りのデータの受信に着目している。クライアントが再生単位のデータの受信が完了するまで再生できない状況で、再生単位を考慮して配信スケジュールを作成することで、待ち時間を短縮する。さらに、複数の再生単位をまとめて配信することで、配信に必要なチャンネル数を抑制できる。

上記のスケジューリング手法のほかにも、パケット損失に着目した手法 [12]，バッファ容量や受信に使用できる帯域幅といったクライアントの受信能力に着目した手法 [13-16]，および可変ビットレートの動画配信に着目した手法 [17] が提案されている。

プログレッシブダウンロードのように、配信サーバが再生レートより十分大きい帯域幅を使用して動画データを配信して、クライアントがバッファリングしながら再生する場合、クライアントは待ち時間を短縮できるが、高性能のプロセッサやメモリが必要となる。本研究では、性能が高い計算機から低い計算機まで、さまざまな種類のクライアントがスケジューリング手法を用いた分割放送型配信を同時に利用できる条件で評価を行うため、配信サーバが使用できる帯域幅は再生レートの数倍程度とする。これは、多くのクライアントが配信サーバから複数のチャンネルで複数のセグメントを同時に受信する分割放送型配信技術を普及させる上で重要である。

2-2 既存の放送型配信システム

2-1 で述べたスケジューリング手法は、システムの処理負荷やパケット損失が発生しない環境を想定しており、これらの要因が分割放送型配信に与える影響を考慮していない。この影響を明らかにするため、分割放送型配信システム d-Cast [7] が提案されている。d-Cast は、既存のさまざまなスケジューリング手法を導入でき、配信サーバとクライアントで構成されるネットワーク環境に応じたインターネット放送システムを構築できる。

2-1 既存システムの課題

(1) 付加情報による配信スケジュールへの影響

d-Cast は付加情報が配信に与える影響に対処していないため、異なるチャンネル間でセグメントの配信開始時刻が同期されることが必要なスケジューリング手法を用いた場合、途切れ時間が発生する。途切れ時間が発生する様子を説明するため、セグメントの先頭の配信契機を同期するスケジューリング手法である FB 法を用いて、付加情報を考慮しない場合の配信スケジュールを図 1、付加情報を考慮した場合の配信スケジュールを図 2 に示す。図 1、2 はともに、動画データを二つのセグメント S_1 、 S_2 に 1:2 の割合で分割し、等しい帯域幅をもつ二つのチャンネルで S_1 と S_2 をそれぞれ繰り返し配信する。

図 1 で、時刻 t_1 にデータの受信を要求したクライアントは、直ちに S_1 と S_2 の先頭からどちらも受信を開始できる。クライアントは、 S_1 を再生している間、 S_2 を先頭からバッファに保存する。時刻 t_2 に S_1 の再生が終了すると、次に再生する S_2 を先頭からバッファに保存しているため、途切れなく再生を続けることができる。したがって、途切れなく再生を開始するためには、 S_1 と S_2 の先頭の配信開始時刻は同じであることが重要である。

一方、図 2 で、付加情報を考慮すると、 S_1 と S_2 の先頭の配信開始時刻は異なる。例えば、時刻 t_3 で受信を要求したクライアントは、 S_1 の先頭の受信を開始できるが、 S_2 の先頭の受信を開始できない。したがって、時刻 t_4 に S_1 の再生が終了してから S_2 の先頭の受信を開始する時刻 t_5 までの間で途切れ時間が発生する。

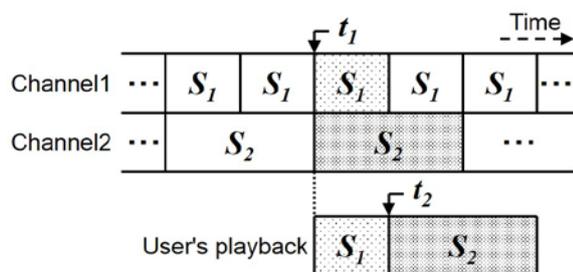


図 1: FB 法の配信スケジュール
(配信情報なし)

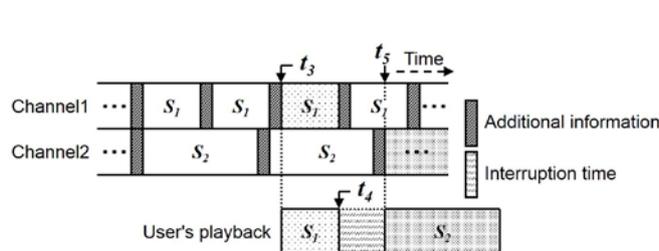


図 2: FB 法の配信スケジュール
(配信情報あり)

(2) セグメントの受信契機

d-Cast は、クライアントがセグメントを受信する契機をセグメントの先頭に限定している。このため、クライアントがセグメントを途中から受信できるスケジューリング手法の場合、途切れ時間が発生する。途切れ時間が発生する様子を説明するため、BE-AHB 法を用いた配信スケジュールを図 3 に示す。BE-AHB 法は、すべてのチャンネルで同時に受信を開始することで、クライアントがデータを途中から受信できるスケジューリング手法である。動画データを二つのセグメント S_1 , S_2 に分割し、等しい帯域幅をもつ二つのチャンネルでそれぞれ配信する。クライアントがセグメントを途中から受信できる場合、途切れ時間は発生しない。

d-Cast の配信サーバは、分割放送型配信を実現する独自の通信プロトコルにしたがって、セグメント番号やセグメントのデータサイズといった、セグメントの受信に必要な情報（以下、配信開始部）を各セグメントの先頭に付加する。d-Cast のクライアントは、各セグメントの先頭に付加された配信開始部を受信し、セグメントの受信に必要な情報を取得すると、セグメントの受信を開始できる。このため、図 3 で、時刻 t_1 に S_1 の受信を開始したクライアントは、次に S_2 の先頭が配信される時刻 t_2 まで S_2 の受信を開始できない。この場合、 S_2 の受信終了時刻が遅れ、途切れ時間が発生する。

(3) 再生を開始する契機

(1), (2) で述べた課題は、配信スケジュールのとおり配信サーバの配信とクライアントの受信ができないことによる途切れ時間の増加である。さらに、d-Cast では、クライアントがデータを受信しながら再生する逐次再生を想定したスケジューリング手法に対応しておらず、待ち時間を短縮できない課題がある。d-Cast でクライアントが再生を開始する契機は、再生対象のデータをすべて受信した時点であり、逐次再生に対応できない。

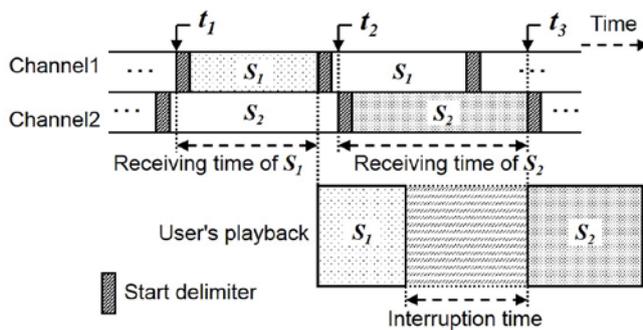


図 3: BE-AHB 法の配信スケジュール

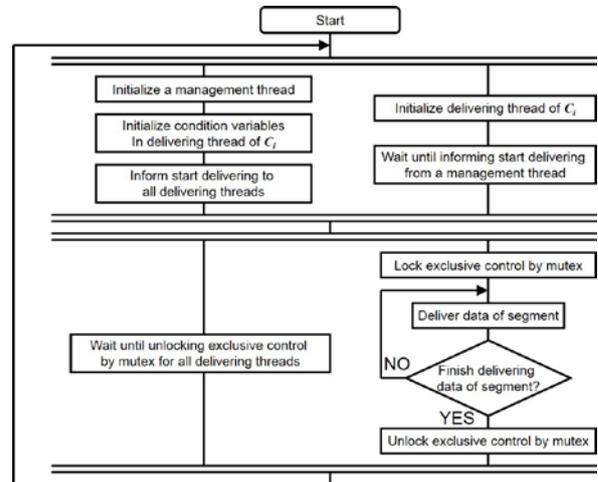


図 4: 配信サーバの処理流れ

3 実現方式

3-1 付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式

2-3-(1) で述べた付加情報による配信スケジュールへの影響に対処するため、付加情報を考慮して分割比率を決定する方式と、データの配信を開始する契機（以下、データの配信契機）を同期する方式の二つが考えられる。付加情報を考慮して分割比率を決定する方式では、付加情報を含めたデータサイズをもとに分割比率を決定し、各チャンネルでセグメントの先頭の配信開始時刻が同じになるように配信スケジュールを作成する。この方式は、付加情報を正確に把握する必要があるが、付加情報は通信プロトコルによって異なるため、把握することは困難である。一方、データの配信契機を同期する方式では、すべてのセグメントの配信が終了するまで、次に配信するセグメントのデータの配信開始を待つ。この方式は、付加情報を正確に把握する必要はないが、データの配信開始を待つため、データを配信しない時間が発生し、付加情報を考慮して分割比率を決定する方式と比べて配信の効率は低下する。しかし、2-3-(2) で述べたように、付加情報として配信する配信開始部は、 S_1 を配信するチャンネルのみに付加する。また、配信開始部のデータサイズは、Ethernet フレームのデータサイズである 1500 バイトより小さい。このため、 S_1 を配信するチャンネル以外の残りのチャンネルについて、配信開始部の配信時間分の待ち時間による配信効率の低下は小さい。

実際のネットワーク環境では、さまざまな通信プロトコルが混在する。本論文では、このような配信環境に対応するため、データの配信契機を同期する方式を実現する。この方式は、各チャンネルの配信処理とデー

データの配信契機を同期する処理をスレッドでそれぞれ並列化した上で、並列化した処理の間で処理の開始と停止を通知する仕組みと並列化した処理を排他制御により同期する仕組みを用いて、データの配信契機を同期する。実現方式における配信サーバの処理流れを図 4 に示す。配信に用いるチャンネル数を N とし、 i ($1 \leq i \leq N$) 番目のチャンネルを C_i とする。配信サーバは、データの配信契機を管理する処理を管理スレッド、 C_i の配信処理を C_i の配信スレッドとしてそれぞれ並列化する。

管理スレッドは、条件変数と呼ばれる並列化した処理の間で処理の開始と停止を通知するために利用する変数を初期化し、配信スレッドごとに条件変数を設定する。次に、条件変数を用いて、すべての配信スレッドに配信開始を通知する。通知後、すべての配信スレッドにおいて、mutex と呼ばれる排他制御を管理する仕組みにより排他制御が解除され、すべての配信スレッドと処理が同期するまで待機する。一方、 C_i の配信スレッドは、管理スレッドから配信開始が通知されるまで待機する。管理スレッドから配信開始が通知されると、 C_i の配信スレッドは mutex を排他制御し、 C_i でセグメントのデータを配信する。セグメントの配信が完了すると、 C_i の配信スレッドは mutex の排他制御を解除し、管理スレッドから条件変数により配信の再開が通知されるまで待機する。以上より、セグメントの先頭の配信契機を同期する。

3-2 クライアントがセグメントを途中から受信できる方式

2-3-(2) で述べた d-Cast におけるデータの受信契機の課題に対処するため、クライアントがセグメントを途中から受信できる方式を提案する。実現方式では、配信サーバは、d-Cast が各セグメントの先頭に追加していた配信開始部を第 1 セグメントの先頭に集約して追加する。また、セグメントを等分割した配信単位（以下、サブセグメント）ごとにセグメントの復元に必要な情報を追加し、一つの単位（以下、情報部）として配信する。実現方式におけるサブセグメントのデータフォーマットを図 5、動画データの分割放送型配信処理を図 6 に示す。時刻 t_1 で受信を要求したクライアントは、 S_1 の先頭と S_2 の途中からそれぞれ受信を開始する。次に、サブセグメントに付加されたセグメント番号とサブセグメント番号をもとに、サブセグメントをソートしながらバッファに格納する。クライアントは、チャンネル 2 から S_2 のデータサイズ分のデータを受信すると、 S_2 の受信を終了する。この方式により、クライアントは、すべてのチャンネルで同時に受信を開始することで、セグメントを途中から受信できる。

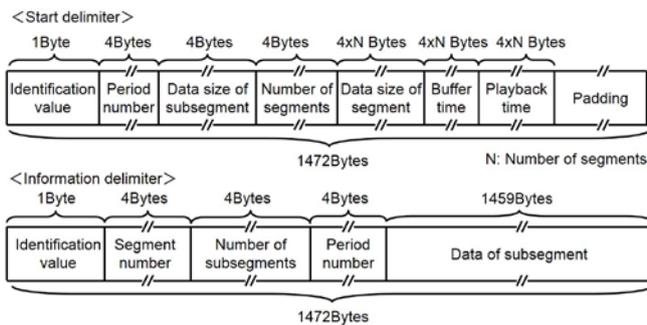


図 5: データフォーマット

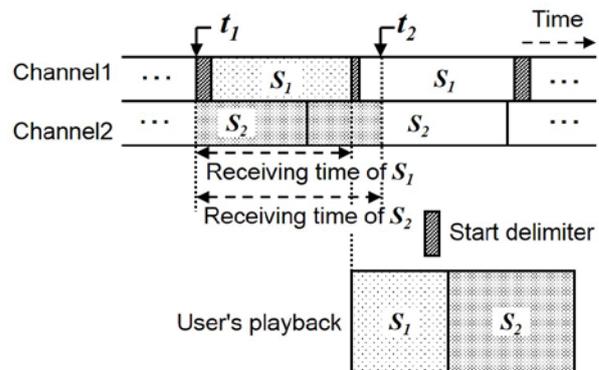


図 6: 動画データの分割放送型配信処理

3-3 逐次再生に対応する方式

2-3-(3) で述べた d-Cast におけるデータの再生契機の課題に対処するため、分割放送型配信で逐次再生の通信プロトコルを利用する方式を提案する。d-Cast は、分割放送型配信を行うため、配信サーバとクライアントの間で分割放送型配信の通信プロトコルを設定している。しかし、d-Cast は、動画を再生するプレーヤが逐次再生を行うための取り決め（以下、逐次再生の通信プロトコル）に対応していない。そこで、分割放送型配信の通信プロトコルを逐次再生の通信プロトコルの一つである Hypertext Transfer Protocol (HTTP) に変換することで、分割放送型配信で逐次再生の通信プロトコルを実現する。図 7 に、逐次再生の実現方式を示す。初めに、配信サーバは、配信スケジュールにもとづいて動画データをセグメントに分割する。次に、セグメントをサブセグメントに等分割する。最後に、分割放送型配信の通信プロトコルでサブセグメントをクライアントに配信する。一方、クライアントでは、受信機構において、分割放送型配信の通信プロトコルを用いてサブセグメントを受信する。受信機構は、セグメント番号とサブセグメント番号をもとにサブセグメントを先頭から順番にソートし、プロトコル変換機構に送信する。プロトコル変換機構は、逐次再生の通信プロトコルを用いてサブセグメントをブラウザに送信する。最後に、クライアントはブラウザを用いて動画データを逐次再生する。以上より、分割放送型配信の通信プロトコルを逐次再生の通信プロト

コルに変換することで、分割放送型配信における逐次再生を実現できる。

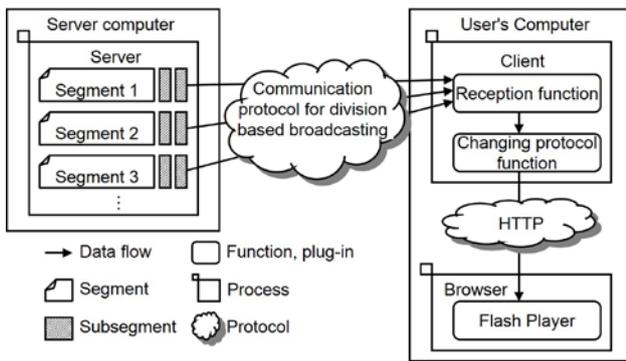


図 7: 逐次再生の実現方法

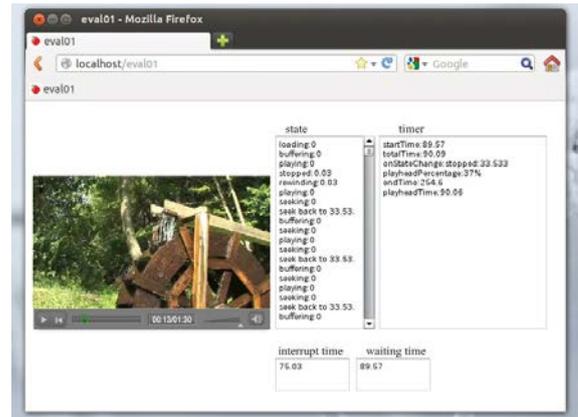


図 8: TeleCaS のスクリーンショット

3-4 実装内容

2-3-(3) で述べた d-Cast におけるこれまでに述べた実現方式を評価するシステムとして、分割放送型配信システム TeleCaS (Telecommunication and BroadCasting System) を実装した。TeleCaS は、使用するチャンネル数、チャンネルの帯域幅、セグメントのデータサイズ、およびセグメントの配信順序を自由に設定して分割放送型配信できる。また、3. で述べた実現方式の利用の可否を選択できる。TeleCaS の配信サーバとクライアントのプログラムは、C 言語で開発した。Visual Basic (VB) で開発された d-Cast と異なり、TeleCaS は動作環境に .NetFramework を用いておらず、より多くの OS 上で動作する。TeleCaS のスクリーンショットを図 8 に示す。

4 評価

4-1 評価環境

評価環境として、TeleCaS を導入した計算機を用いてネットワークを構築した。配信サーバ計算機とクライアント計算機は Gigabit Ethernet で接続した。さらに、ネットワークの帯域幅を評価に応じて設定するため、配信サーバ計算機とクライアント計算機との間に帯域制御機能 Dummynet を利用できる計算機を挿入した。評価では、配信サーバ計算機 1 台に対してクライアント計算機 3 台を接続した。ただし、マルチキャストを用いた配信方式であるため、クライアント計算機の台数は、分割放送型配信の処理の負荷、待ち時間、および途切れ時間に影響を与えない。

評価の観点には、付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式とクライアントがセグメントを途中から受信できる方式については途切れ時間の短縮性能とし、逐次再生に対応する方式については待ち時間の短縮性能とする。各方式について、実現方式を用いた場合と用いない場合で測定結果を比較する。

4-2 評価に用いるスケジューリング手法

本論文では、3-1 で述べた付加情報を考慮してデータの配信契機を同期させる方式、ならびに 3-3 節で述べたデータを受信しながら再生する逐次再生方式を評価するため、FB 法を用いる。FB 法は、配信サーバがセグメントの先頭部分の配信契機を同期してデータを配信でき、クライアントはデータを受信しながら再生できるスケジューリング手法である。配信するデータの分割方法を変更することで他のスケジューリング手法を用いることは可能だが、FB 法は他のスケジューリング手法に比べて機能が単純であり、評価項目の比較に適していると判断した。

また、3-2 で述べたクライアントがデータを途中から受信できる方式を評価するため、BE-AHB 法を用いる。BE-AHB 法は、配信開始部を第 1 セグメントの先頭に集約して追加し、サブセグメント単位でデータを受信するスケジューリング手法であり、クライアントはデータを途中から受信できる。FB 法と同様に、BE-AHB 法も他のスケジューリング手法に比べて機能が単純であり、評価項目の比較に適していると判断した。

4-3 付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式

(1) セグメントのデータサイズと途切れ時間

本節では、付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式における途切れ時間の短縮効果を評価する。第 1 セグメントのデータサイズを変化させた場合の途切れ時間の変化を図 9 に示す。横軸は第 1 セグメントのデータサイズとし、縦軸は 3 台のクライアント計算機でそれぞれ測定した途切れ時間の平均値とした。第 1 セグメントのデータサイズは、再生時間が異なる動画データを用いて変化させた。例えば、第 1 セグメントのデータサイズが 3.6 MBytes の動画について、再生時間は 180 秒となる。

動画のデータサイズ以外の条件として、スケジューリング手法は FB 法、分割数およびチャンネル数は 2、チャンネルの帯域幅は 1.5 Mbps、動画の再生レートは 1.5 Mbps、およびサブセグメントのデータサイズは 1460 Bytes とする。

図 9 より、実現方式を用いた場合、平均途切れ時間は 2.50 秒であり、第 1 セグメントのデータサイズが増加しても、ほぼ一定であった。一方、実現方式を用いない場合、第 1 セグメントのデータサイズの増加にともない、平均途切れ時間は増加する。以上より、実現方式を用いることで、第 1 セグメントのデータサイズが大きくなるほど、実現方式を用いない場合に比べて平均途切れ時間を効果的に短縮できる。

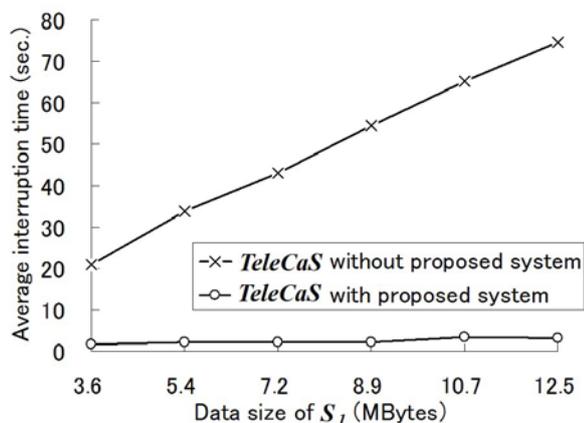


図 9: S_1 のデータサイズと平均途切れ時間 (FB 法)

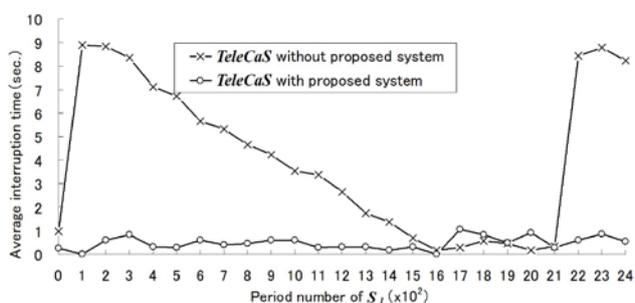


図 10: S_1 の配信回数と平均途切れ時間 (FB 法)

(2) セグメントの配信回数と途切れ時間

分割放送型配信において、配信サーバがセグメントを繰り返し配信する回数（以下、配信回数）が増加すると、付加情報が配信に与える影響は大きくなり、途切れ時間は変化する。そこで、第 1 セグメントの配信回数を変化させた場合の途切れ時間の変化を図 10 に示す。横軸は第 1 セグメントの配信回数とし、縦軸は平均途切れ時間とした。途切れ時間の測定は、配信回数が 100 回ごとに最大で 2,400 回まで行った。

動画の再生時間は 60 秒、分割数およびチャンネル数は 3 とし、その他の条件は 4-3-(1) と同じとした。

図 10 より、実現方式を用いた場合、平均途切れ時間は 0.48 秒であり、第 1 セグメントの配信回数が増加してもほぼ一定であった。一方、実現方式を用いない場合、第 1 セグメントの配信を開始してから間もなく、付加情報の影響による第 1 セグメントと第 2 セグメントの配信開始時刻の差が一番大きくなり、途切れ時間は大きく増加する。その後、配信回数が増加すると、この差は小さくなり、平均途切れ時間は減少する。また、配信回数が 2,200 回のとき、平均途切れ時間は再び増加する。これは、配信回数が 2,100 回から 2,200 回の間で、第 2 セグメントの配信回数が第 1 セグメントに比べて一回少なくなり、セグメント間でクライアントの配信開始時刻の差が再び大きくなるためである。以上より、配信回数にかかわらず、実現方式を用いることで、実現方式を用いない場合に比べて途切れ時間を短縮できる。

4-4 すべてのチャンネルで同時に受信を開始する受信方式

本節では、BE-AHB 法を用いて、すべてのチャンネルで同時に受信を開始する受信方式における途切れ時間の短縮効果を評価する。

第 1 セグメントのデータサイズを変化させた場合の平均途切れ時間の変化を図 11 に示す。横軸は第 1 セグメントのデータサイズとし、縦軸は平均途切れ時間とした。チャンネルの帯域幅を 1.0 Mbps とし、その他

の条件は 4-3-(1) と同じとした。図 11 において、実現方式を用いた場合、第 1 セグメントのデータサイズが 4.0 MBytes のときの平均途切れ時間は 0.96 秒であり、データサイズが増加してもほぼ一定であった。一方、実現方式を用いない場合、第 1 セグメントのデータサイズの増加にともない、平均途切れ時間は増加する。以上より、実現方式を用いることで、第 1 セグメントのデータサイズが大きくなるほど、実現方式を用いない場合に比べて平均途切れ時間を効果的に短縮できる。

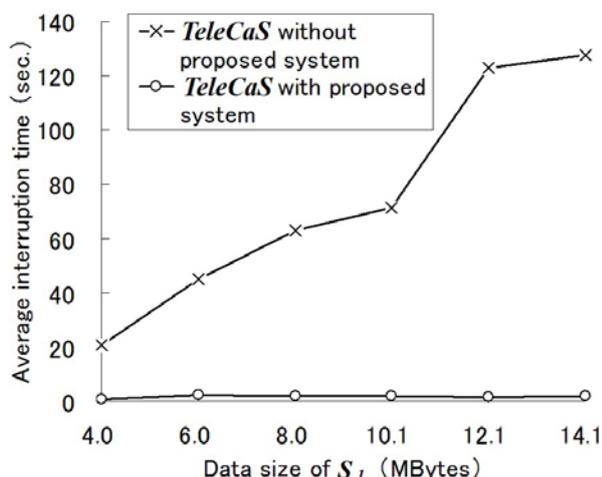


図 11: S_1 のデータサイズと平均途切れ時間 (BE-AHB 法)

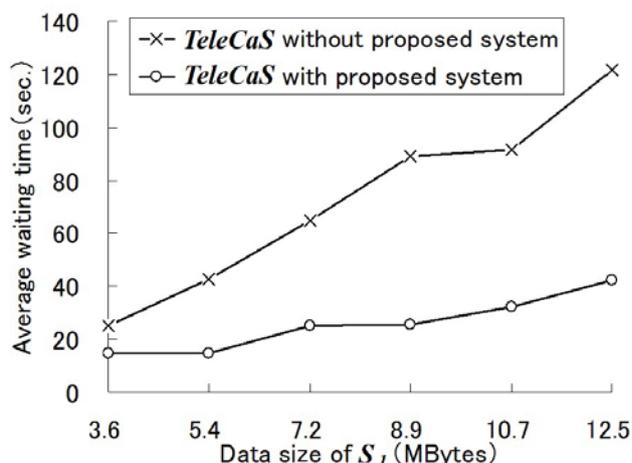


図 12: S_1 の配信回数と平均途切れ時間 (BE-AHB 法)

4-5 逐次再生の実現方式

本節では、逐次再生の実現方式における待ち時間の短縮効果を評価する。本評価では、逐次再生を想定したスケジューリング手法である FB 法を用いる。

第 1 セグメントのデータサイズを変化させた場合の待ち時間の変化を図 12 に示す。横軸は第 1 セグメントのデータサイズとし、縦軸は 3 台のクライアント計算機でそれぞれ測定した待ち時間の平均値とした。評価の条件は 4-3-(1) と同じとした。実現方式を用いた場合、第 1 セグメントのデータサイズにかかわらず、実現方式を用いない場合に比べて平均待ち時間を短縮できる。また、第 1 セグメントのデータサイズが増加すると、待ち時間の短縮効果は大きくなる。例えば、第 1 セグメントのデータサイズが 3.6 MBytes (再生時間 60 秒) の動画データでは、実現方式を用いることで、用いない場合に比べて平均待ち時間を 41.4 % 短縮する。また、第 1 セグメントのデータサイズが 12.5 Mbytes (再生時間 210 秒) の動画データでは、実現方式を用いることで、用いない場合に比べて平均待ち時間を 65.4 % 短縮した。

5 おわりに

動画データの分割放送型配信において、分割放送型配信システム d-Cast の課題に対処するため、付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式、クライアントがセグメントを途中から受信できる方式、および逐次再生に対応する方式の三つを提案した。また、これらの方式を分割放送型配信システム TeleCaS として実現して評価を行い、途切れ時間および待ち時間の短縮効果を確認した。実現方式を用いた場合、付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式の平均途切れ時間は 2.50 秒、クライアントがセグメントを途中から受信できる方式の平均途切れ時間は 0.48 秒でほぼ一定であった。一方で、実現方式を用いない場合、平均途切れ時間は動画データのデータサイズの増加に比例して増加した。したがって、実現方式は、動画データの再生時間が長いほど途切れ時間の短縮効果は大きい。次に、逐次再生に対応する方式では、動画データの再生時間を増加させると待ち時間が増加するが、実現方式を用いない場合に比べて待ち時間を短縮でき、動画データの再生時間が長いほど待ち時間の短縮率は大きくなる。例えば、再生時間が 60 秒の動画データでは、実現方式を用いることで、用いない場合に比べて平均待ち時間を 41.4 % 短縮し、再生時間が 210 秒の動画データでは 65.4 % 短縮した。

なお、動画データの分割放送型配信において、従来のスケジューリング手法の多くは、TV 配信電波に代表される非 IP 通信を想定している。これらのスケジューリング手法を IP 通信に適用する場合、付加情報が配信に与える影響を考慮しておらず、再生開始前の待ち時間の長大化や、再生中のデータ途切れが発生する。

本論文で実現した分割放送型配信システム TeleCaS では、これらの課題に対処することで、動画データを IP 通信を用いて配信する際に発生する待ち時間や途切れ時間を短縮できる。インターネット VoD の普及により、IP 通信を用いた動画データの配信は今後急速に広まることが予想され、本研究分野への取り組みは重要である。

【参考文献】

- [1] 総務省：平成 24 年版 情報通信白書，
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/index.html>.
- [2] S. Viswanathan and T. Imielinski: "Pyramid broadcasting for video on demand service," Proc. IEEE Multimedia Computing and Networking, vol.2417, pp.66-77, 1995.
- [3] C.C Aggarwal, J.L. Wolf, and P.S. Yu: "A permutation-based pyramid broadcasting scheme for video-on-demand systems," Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems '96, pp.118-126, 1996.
- [4] J.-F. Paris: "A simple low-bandwidth broadcasting protocol for video-on-demand," Proc. Int. Conf. on Computer Communication and Network, pp.118-123, 1999.
- [5] Y.C. Tseng, M.H. Yang, and C.H. Chang: "A recursive frequency splitting scheme for broadcasting hot videos in VoD service," IEEE Trans. on Communications, vol.50, no.8, pp.1335-1348, 2002.
- [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," 情処論 B, vol.通信 J91-B, no.3, pp.300-308, 2008.
- [7] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲, 高橋豊: "インターネット放送のための分割放送型配信システムの設計と実装," 信学論 (B), vol.通信 J92-B, no.1, pp.353-362, 2009.
- [8] L. Juhn and L. Tseng: "Harmonic broadcasting for video-on-demand service," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.43, no.3, pp.268-271, 1997.
- [9] L.S Juhn and L.M. Tseng: "Staircase data broadcasting and receiving scheme for hot video service," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.43, no.4, pp.1110-1117, 1997.
- [10] L. Juhn and L. Tseng: "Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.44, no.1, pp.100-105, 1998.
- [11] 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.
- [12] A. Mahanti, D.L. Eager, M.K. Vernon, and D. Sundaram-Stukel: "Scalable on-demand media streaming with packet loss recovery," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol.11, no.2, pp.195-209, 2003.
- [13] M. Tantaoui, K. Hua, and T. Do: "BroadCatch: A periodic broadcast technique for heterogeneous video-on-demand," IEEE Trans. on Broadcasting, vol.50, no.3, pp.289-301, 2004.
- [14] L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager: "Scalable streaming for heterogeneous clients," Proc. ACM Multimedia, pp.22-27, 2006.
- [15] C. Lin, J. Ding: "CAR: A low latency video-on-demand broadcasting scheme for heterogeneous receivers," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol.52, pp.336-349, 2006.
- [16] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: "異種クライアント環境における連続メディアデータ放送のための待ち時間短縮手法," 信学論 (D), vol.情報・システム J91-D, no.3, pp.667-676, 2008.
- [17] D. Saporilla, K.W. Ross, and M. Reisslein: "Periodic broadcasting with VBR-encoded video," Proc. IEEE INFOCOM 1999, vol.2, pp.464-471, 1999.
- [18] R.Janakiraman, M. Waldvogel, and L. Xu: "Fuzzycast: Efficient video-on-demand over multicast," Proc. IEEE INFOCOM 2002, pp.920-929, 2002.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
データ分離可能な没入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デジタルコンテンツ (DCON)	2014年8月
A Simple Routing Method for Reverse k-Nearest Neighbor Queries in Spatial Networks	Proc. 3rd International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC-2014)	2014年9月
Evaluation of Division Based Broadcasting System Considering Additional Information	Proc. 5th International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2014)	2014年11月
Evaluation of Scheduling Method for Heterogeneous Clients in NVoD Systems	Proc. 16th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2014)	2014年12月