

帯域幅が異なるクライアントの混在環境における 分割放送型配信システムの実装と評価

井上 祐輔¹ 木村 明寛¹ 後藤 佑介¹

概要: 音声や映像といった一続きの動画を多くのクライアントが視聴する場合、放送型によるデータ配信が有効である。特に、動画データを分割して複数の通信路を用いて繰り返し放送することでデータ受信時の待ち時間を短縮する分割放送型配信では、分割したデータを効率的に放送するためのスケジューリング手法が数多く提案されている。我々の研究グループでは、サーバ計算機と複数のクライアント用計算機で構成される計算機ネットワーク環境でこれらのスケジューリング手法を導入可能な分割放送型配信システムを提案し、スケジューリング手法の性能評価を行っている。しかし、本システムでは、使用できる帯域幅に応じたチャンネル切替えおよびセグメントの非同期配信に対応しておらず、同一ネットワーク上で使用できる帯域幅が異なる複数種類のクライアントにデータを配信する場合のスケジューリング手法の導入および評価を行っていなかった。本論文では、異なる帯域幅をもつクライアントが混在する環境に対応した分割放送型配信システムを実装する。評価では、使用できる帯域幅が異なる複数のクライアント計算機を用いた計算機ネットワーク環境において、スケジューリング手法を用いた場合の待ち時間および途切れ時間の短縮効果を確認する。

1. はじめに

多数の視聴者に特定の動画データを配信する方法として、放送型配信が挙げられる。放送型配信では、マルチキャストといった1対多の通信技術を使用し、サーバは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繰り返し配信する。現在、Video on Demand (以下、VoD) による動画配信が普及しているが、利用者の増加やIPマルチキャストに関する法整備 [1] が進んでおり、放送型配信の利用者は今後増加することが予想される。

放送型配信では、クライアントの受信要求に応じてサーバが帯域幅を確保して動画を配信するVoDに比べ、サーバは配信に必要な帯域幅を低減し、処理負荷を抑制できる。一方で、クライアントはサーバに要求した動画データの先頭部分が配信されるまで再生開始を待つ必要がある。そこで、動画データを複数の部分に分割して複数のチャンネルで配信することで待ち時間を短縮する分割放送型配信が提案されている。分割放送型配信では、分割した各動画データをどのチャンネルでどの時間帯に配信するかを定めた配信スケジュールを用いることで、動画データの先頭部分が配信されるまでの待ち時間を短縮する。このとき、サー

バは、動画データに代表される一続きの連続メディアデータの再生中に途切れが発生しないようにした上で待ち時間をできるだけ短くするため、配信スケジュールを作成する必要がある。これまでの分割放送型配信の研究では、待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法が提案されてきた。我々の研究グループでは、これらのスケジューリング手法を導入可能な分割放送型配信システムを実現し、待ち時間の短縮効果および途切れ時間について評価してきた。

近年、スマートフォンに代表される携帯型計算機の普及により、従来の据置型計算機を含む多くの種類の計算機で同じ動画を同時に視聴できる環境が整備されている [2]。このような視聴環境では、クライアントが動画データの受信に使用できる帯域幅は、計算機の種類に応じて大きく変化する。このため、帯域幅の異なるクライアントが混在する計算機ネットワーク環境において、分割放送型配信システムを導入するスケジューリング手法を評価する必要がある。

これまでの研究で、帯域幅が異なるクライアントの混在環境でクライアントの待ち時間を短縮するスケジューリング手法 [3] を提案し、シミュレーション環境で評価を行ってきたが、計算機ネットワーク環境における評価は行っていなかった。また、これまでに実現した分割放送型配信システムで想定するクライアント計算機は一種類であったため、使用できる帯域幅に応じたチャンネル切替えおよびセグ

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology,
Okayama University

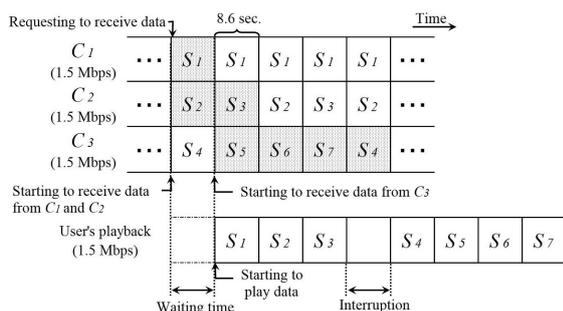


図 1 FB 法の配信スケジュール例
(クライアントが使用できる帯域幅 : 3.0 Mbps)

メントの非同期配信を考慮していなかった。そこで、本研究では、これら二つの問題に対処した上で帯域幅が異なるクライアントの混在環境における分割放送型配信システムを実装し、スケジューリング手法を用いた評価を行う。

2. 分割放送型配信

2.1 概要

分割放送型配信は、動画データを複数の部分（以下、セグメント）に分割して、最初のセグメントを頻りに配信することで待ち時間を短縮する配信方式である。動画データの先頭部分を配信する回数が増えることで、クライアントは動画データの受信を要求してから再生を開始するまでの待ち時間を短縮できる。また、分割した動画データのうちの部分をどのタイムスロットで配信するかを決定するスケジューリング手法 [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9] が提案されている。以下で、分割放送型配信におけるスケジューリング手法、および分割放送型配信システムについてそれぞれ説明する。

2.2 FB 法

分割放送型配信におけるスケジューリング手法である Fast Data Broadcasting and Receiving Scheme (以下、FB 法) [4] について説明する。FB 法は、サーバが配信に使用する帯域幅を k 個のチャンネルに分け、動画データを $2^k - 1$ 個のセグメントに等分割した上で、 i 番目のチャンネル C_i に連続した 2^{i-1} 個のセグメントを配置する手法である。

FB 法を用いた場合について、サーバの配信スケジュール例を図 1 に示す。サーバが使用する帯域幅を 4.5 Mbps、動画データの再生レートを 1.5 Mbps、および動画データの再生時間を 60 秒とする。サーバは帯域幅を 1.5 Mbps の三つのチャンネル C_1, C_2, C_3 に分割した上で、一続きの動画データを 7 つのセグメント S_1, S_2, \dots, S_7 に分割して、 C_1 で S_1, C_2 で S_2, S_3, C_3 で S_4, \dots, S_7 をそれぞれ繰り返し配信する。FB 法では、動画データを $2^k - 1$ 個のセグメントに等分割するため、 S_1, \dots, S_7 の分割比率は等しく、各セグメントの再生時間は約 8.6 秒となる。このと

き、待ち時間は S_1 を受信完了するまでの時間となり、 S_1 の再生時間と等しく約 8.6 秒となる。データを分割しない場合の待ち時間は $(60 \times 1.5) / 4.5 = 20$ 秒であるため、スケジューリング手法を用いて分割することで、待ち時間を約 57.0 % 短縮できる。

しかし、クライアントで使用できる帯域幅がサーバで配信に必要な帯域幅より小さい場合、途切れ時間が発生する。例えば、図 1 の配信スケジュールにおいて、クライアントで使用できる帯域幅とサーバで配信に必要な帯域幅がどちらも 4.5 Mbps の場合、すべてのチャンネルから動画データを受信でき、途切れ時間は発生しない。一方、クライアントで使用できる帯域幅が 3.0 Mbps に制限される場合、 S_3 の再生終了から S_4 の受信完了までの間で途切れ時間が約 8.6 秒発生する。

2.3 分割放送型配信システム

これまでに提案されてきたスケジューリング手法の多くは、帯域幅が等しい複数の計算機で構築されたシミュレーション環境を想定している。このため、帯域幅が異なる複数種類の計算機で構築される計算機ネットワーク環境でスケジューリング手法を用いる場合、システムの処理負荷やパケット損失による動画再生への影響を考慮していない。

我々の研究グループでは、計算機ネットワーク環境でスケジューリング手法を導入、および評価可能な分割放送型配信システム *Telecommunication and BroadCasting System (TeleCaS)* [11] を提案してきた。しかし、*TeleCaS* は帯域幅が異なるクライアントの混在環境に対応しておらず、このような環境を想定したスケジューリング手法を導入できない。

3. 帯域幅が異なるクライアントの混在環境

2.2 節で説明したように、図 1 で 3 つのチャンネルからセグメントを同時に受信できない場合、動画再生中に途切れ時間が発生する。FB 法では、クライアントはすべてのチャンネルから同時にセグメントを受信できるように配信スケジュールを決定する。また、各チャンネルの帯域幅は再生レートで固定される。このため、クライアントで使用できる帯域幅が 1.5 Mbps から 2.9 Mbps までの場合、受信に使用できるチャンネル数は一つとなり、帯域幅を 1.5 Mbps しかなかったり、途切れ時間は同じとなる。一方で、クライアントで使用できる帯域幅が 4.5 Mbps 以上の場合、クライアントはすべてのチャンネルからセグメントを受信でき、再生中に途切れ時間は発生しない。以上より、帯域幅が異なるクライアントの混在環境では、すべての種類のクライアントが帯域幅を最大限使用するため、使用できる帯域幅が小さいクライアントを考慮した配信スケジュールが必要となる。

Hierarchical Asynchronous Harmonic Broadcasting

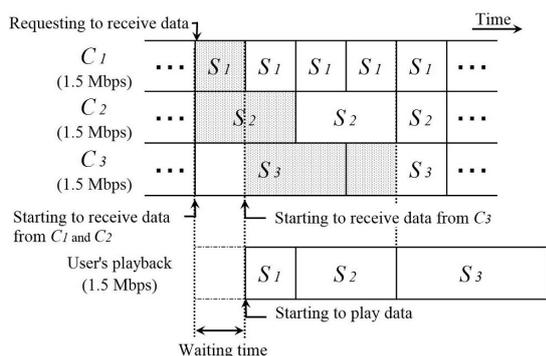


図 2 H-AHB 法の配信スケジュール例

method (H-AHB) 法 [3] は、帯域幅が異なるクライアントの混在環境を想定したスケジューリング手法である。H-AHB 法では、帯域幅が異なるクライアントの混在環境において、サーバはクライアントが使用できる帯域幅とサーバが事前に設定した各チャンネルの帯域幅をもとに、配信に使用できるチャンネル数を算出する。このとき、サーバはすべての種類のクライアントが動画データの受信時に発生する待ち時間の平均を最短にする動画データの分割数を求め、配信スケジュールを作成する。

クライアントで使用できる帯域幅が 3.0 Mbps の場合、H-AHB 法を用いてデータを受信し、再生する様子を図 2 に示す。H-AHB 法では、想定するクライアント環境において、各クライアントにおける再生開始までの待ち時間と再生中に発生する途切れ時間の合計の平均が最短となるようにデータの分割比率を決定する。図 2 の場合、クライアントは $[3.0/1.5] = 2$ 個のチャンネル C_1, C_2 から S_1, S_2 を同時に受信し、 S_1 の受信が完了すると引き続き C_3 から S_3 の受信を開始する。このようにして、クライアントは最後まで途切れなくデータを再生できる。

4. 関連研究

4.1 放送型配信におけるスケジューリング手法

これまでの研究で、動画データの配信条件に応じて待ち時間を短縮するセグメントの分割比率を決定するスケジューリング手法が提案されている。Optimized Heterogeneous Periodic Broadcast method (OHPB 法) [7] は、帯域幅が異なるクライアントの混在環境を想定したスケジューリング手法である。OHPB 法では、使用できる帯域幅が大きいクライアントの待ち時間を長大化することで使用できる帯域幅が小さいクライアントの待ち時間を短縮するモデル 1、および既存のスケジューリング手法である Optimized Periodic Broadcast (OPB 法)[8] で発生する待ち時間を短縮するモデル 2 の両方を用いることで、待ち時間を短縮する。

Heterogeneous Receiver-Oriented broadcasting (HeRO) [9] では、サーバは動画データを $1, 2, 2^2, \dots, 2^{k-1}$ の比率

で k 個のセグメントに分割し、再生レートと等しい帯域幅でセグメントを配信することで待ち時間を短縮する。

4.2 放送型配信システム

Contents-based Broadcasting System (*Corne*) [13] は、ユーザが複数の映像コンテンツから視聴したいコンテンツを選択しながら順番に視聴する番組形態 (以下、選択型コンテンツ) を考慮したシステムである。選択型コンテンツの放送型配信において、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が提案されており、*Corne* はこれらのスケジューリング手法を導入可能なシステムである。

放送通信融合型データ配信システム Broadcasting System with P2P Environments (*Brossom*) [14] は、動画データを配信するサーバおよびサーバが放送する動画データをもつ複数の供給端末の両方が連携して、クライアントに動画データを配信するシステムである。動画データを要求する端末は、サーバから放送型でセグメントを受信するとともに、該当する動画データをもつ複数の供給端末から Peer-to-Peer (P2P) で残りのセグメントを受信することで、サーバは処理負荷を低減でき、使用する帯域幅を削減できる。

本研究では、帯域幅が異なるクライアントの混在環境に対応した *TeleCaS* を実現する。実現における課題として、データ受信中に必要となるチャンネルの切替え処理を実装していない点、およびセグメントの非同期配信に対応していない点が挙げられる。

5. 実現方式

5.1 課題

5.1.1 使用できる帯域幅に応じたチャンネル切替え

TeleCaS では、サーバはスケジューリング手法が作成する配信スケジュールをもとに、動画データを分割放送型でクライアントに配信する。このとき、サーバは、一つの通信路を時分割して複数の論理チャンネルを構築し、動画データを分割した複数のセグメントをクライアントに配信する。これまでの *TeleCaS* では、クライアントが動画データを受信する通信路は一つのみであり、クライアントは一部のチャンネルを選択してセグメントを受信できず、チャンネル切替えの契機を特定できない。

帯域幅が異なるクライアントの混在環境を想定したスケジューリング手法をこれまでの *TeleCaS* に適用する場合、サーバはクライアントが使用できる帯域幅を上回る帯域幅でセグメントをスケジューリングして、クライアントに配信する。チャンネルの切替えができない場合、クライアントはあるチャンネルでセグメントの受信が完了した後、同時に受信できなかった別のチャンネルから続きのセグメントを受信できず、動画データの再生中に途切れが発生する。

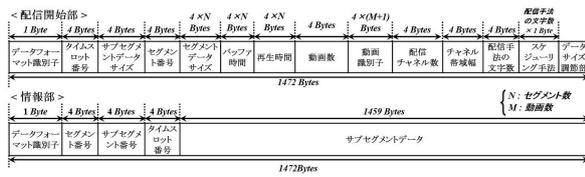


図 3 データフォーマット

このため、本研究において、帯域幅が異なるクライアントの混在環境では、クライアントは使用できる帯域幅に応じて受信中に使用するチャンネルを切り替え可能な仕組みを *TeleCaS* に実現する必要がある。

5.1.2 セグメントの非同期配信

帯域幅が異なるクライアントの混在環境に H-AHB 法を適用する場合、セグメントの分割数は既存のスケジューリング手法に比べて多くなる。セグメントの分割数が増加すると、各チャンネルの帯域幅は同じであるため、第 1 セグメントのデータサイズは減少して最終セグメントのデータサイズは増加し、これら二つのセグメントにおけるデータサイズの差は大きくなる。これまでの *TeleCaS* では、待ち時間および途切れ時間を短縮するため、各チャンネルでセグメントの配信周期を同期させる仕組み（以下、同期配信）を実現していた。H-AHB 法でセグメントの同期配信を行う場合、各チャンネルはデータサイズがもっとも大きいセグメントを配信するチャンネルの放送周期に合わせる必要がある。このとき、チャンネル数の増加にともない第 1 セグメントを配信するチャンネルの放送周期が長くなり、待ち時間が長大化する問題がある。

5.2 対処

5.2.1 チャンネル切替えの契機

チャンネル切替えの契機を設定するため、*TeleCaS* のデータフォーマットを拡張する。実現方式のデータフォーマットを図 3 に示す。これまでの *TeleCaS* と同様に、データフォーマットは、セグメントの受信に必要な情報（以下、配信開始部）、およびセグメントを等分割した各部分をもとにセグメントに復元する情報（以下、情報部）の二種類で構成する。従来の配信開始部は、識別子、タイムスロット番号、サブセグメントデータサイズ、セグメント番号、セグメントデータサイズ、バッファ時間、再生時間、動画数、動画識別子およびデータサイズ調節部で構成する。実現方式では、従来の配信開始部をもとに、サーバが使用するチャンネル数、チャンネル帯域幅、配信手法の文字数、および配信に使用するスケジューリング手法の設定を追加する。

チャンネル切替えの手順について説明する。まず、サーバから配信される配信開始部を受信したクライアントは、サーバが配信するチャンネル数、および使用するスケジューリング手法の情報をもとに、配信スケジュールを作成する。

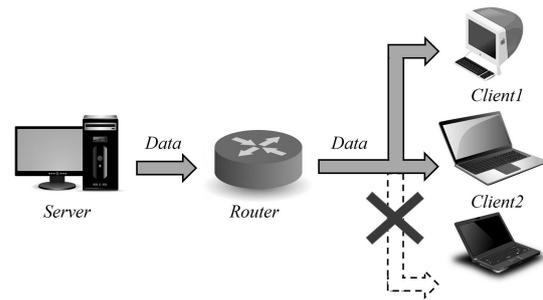


図 4 IGMP-Snooping を使用した放送型配信の例

次に、クライアントはサーバから配信されるチャンネルごとのセグメント数を求める。クライアントは、現在受信しているチャンネルで配信されるすべてのセグメントの受信が完了すると、このチャンネルからの受信を停止し、まだ受信していない別のチャンネルからセグメントの受信を開始する。以上の手順で、*TeleCaS* で用いるスケジューリング手法が想定する契機でチャンネルを切替える。

5.2.2 データ受信中のチャンネル切替え

TeleCaS において、チャンネルの切替えを想定した帯域幅が異なるクライアントの混在環境の配信スケジュールを実現するため、複数の通信路を使用して一つの通信路が一つのチャンネルとして動作するシステムに拡張する。このとき、複数のチャンネル間でチャンネルの切替えを実現するため、IGMP-Snooping [12] を使用する。IGMP-Snooping では、クライアントがマルチキャストグループに参加する場合、ルータに送信する IGMP-JOIN メッセージをもとに、ルータはサーバからマルチキャストで配信されるデータをマルチキャストグループに参加しているクライアントのみに転送する。

図 4 に、IGMP-Snooping を使用した放送型配信の例を示す。IGMP-Snooping を使用しない場合、ルータはサーバがマルチキャストで配信するデータをすべてのクライアント 1, 2, 3 に転送する。一方、IGMP-Snooping を使用する場合、ルータはマルチキャストグループに参加しているクライアント 1, 2 にデータを転送するが、マルチキャストグループに参加していないクライアント 3 にはデータを転送しない。クライアントは、帯域幅が異なるクライアントの混在環境における配信スケジュールをもとに、クライアントの種類ごとに使用できる帯域幅をもとに参加するマルチキャストグループを設定することで、特定のチャンネルから動画データを受信できる。

例えば、3.0 Mbps の帯域幅をもつクライアントが図 1 の配信スケジュールで動画データを受信する場合を考える。まず、クライアントは C_1 , C_2 を配信するマルチキャストグループへ参加し、 C_1 , C_2 からセグメントを受信するが、 C_3 からはセグメントを受信しない。 C_1 で S_1 の受信が完了すると、 C_1 を配信するマルチキャストグループから離

脱して C_1 からの受信を中止し、 C_3 からの受信を開始する。このようにして、図 1 の斜線部と同じスケジュールでセグメントを受信できる。

5.2.3 セグメントの非同期配信

セグメントの非同期配信を行うことで、クライアントは受信時の待ち時間を短縮できる。一方で、論文 [11] より、TeleCaS で作成する配信スケジュールは、シミュレーション環境の場合と比べて配信開始部の配信時間分だけずれるため、途切れ時間が発生する。そこで、非同期配信を行うチャンネルは、各チャンネルで配信するセグメントの配信周期を用いてセグメントの配信回数をできるだけ多く設定することで、途切れ時間の長大化を抑え、待ち時間を短縮する。

図 2 で説明した H-AHB 法を用いて、TeleCaS 上で配信する場合の配信スケジュールを図 5 に示す。図 5 内の網掛け部は、各チャンネルでセグメントを配信しない時間帯を示す。TeleCaS 上で H-AHB 法を用いて配信する場合、シミュレーション環境における配信スケジュールに比べ、 S_1, S_2 の配信回数がそれぞれ減少する。TeleCaS では、サーバはセグメントの配信契機を各チャンネルで同期させるため、データサイズが一番大きいセグメントを配信するチャンネル以外のチャンネルは、セグメントの配信が完了するまで待つ必要がある。このとき、クライアントが動画データの再生を開始するために必要となる S_1 の配信回数が減少するため、動画データの再生を開始するまでの待ち時間は長大化する。

非同期配信を行うチャンネルの決定方法として、若番チャンネルから非同期配信を行うチャンネル数を増やす方法と、老番チャンネルから非同期配信を行うチャンネル数を増やす方法の二つが挙げられる。若番チャンネルから非同期配信を行う場合の例を図 6、老番チャンネルから非同期配信を行う場合の例を図 7 にそれぞれ示す。図 6、図 7 より、 S_1 の配信回数は図 5 の場合に比べて増加する。図 6 では、若番チャンネルである C_1 が非同期配信を行うことで、動画データの先頭部分である S_1 を配信する回数は増加する。一方、図 7 では、老番チャンネルである C_3 は、データサイズが大きいセグメントである S_3 を非同期で配信する。このとき、若番チャンネルで配信する S_1 の配信周期が短くなり配信回数が増えるため、待ち時間を短縮できる。

5.3 TeleCaS における実現方式の実装

5.3.1 想定環境

分割放送型配信システム TeleCaS で実現方式を実装するため、想定する帯域幅が異なるクライアントの混在環境を以下に示す。

- (1) サーバは、動画データを配信するために十分な帯域幅とマルチキャストアドレスをもつ。
- (2) サーバは、複数のマルチキャストアドレスを用いて複

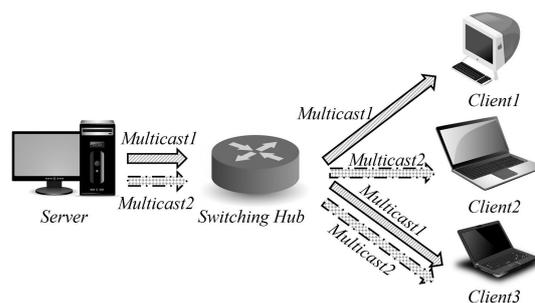


図 8 評価環境の構成

表 1 計算機の性能

Server (1PC)	CPU Memory OS NIC	Intel® Core™2 Duo CPU E7500 (2.93GHz) 2.0GBytes Ubuntu 12.10 RTL8101E/RTL8102E
Dummynet (1PC)	CPU Memory OS NIC1 NIC2	Intel® Core™2 Duo CPU E7500 (2.93GHz) 2.0GBytes FreeBSD 8.2-RELEASE RTL8169SC RTL8169SC
Client (3PCs)	CPU Memory OS NIC	Intel® Core™2 Duo CPU E7500 (2.93GHz) 2.0GBytes Ubuntu 12.10 RTL8101E/RTL8102E

数のクライアントにセグメントを同時に繰返し配信する。

- (3) クライアントは、少なくとも一つのチャンネルを受信できる帯域幅をもつ。
- (4) クライアントは、ブラウザ上で動画プレイヤーを用いて動画データを視聴する。

5.3.2 実装内容

5.2 節で述べた対処をもとに、帯域幅が異なるクライアントの混在環境に対応した TeleCaS を実装した。これまでの研究で、IGMP-Snooping の適用において、マルチキャストグループに対する JOIN/LEAVE メッセージが増加すると IGMP の負荷が上昇し、JOIN メッセージの処理を正常に終了できない場合が発生する [10]。そこで、マルチキャストグループに対する JOIN メッセージを正常に処理するために十分な時間間隔を JOIN メッセージ間で設定した。

6. 評価

6.1 評価環境

TeleCaS の評価環境を図 8、評価に用いた各計算機の性能を表 1 にそれぞれ示す。想定する計算機ネットワーク環境は、TeleCaS を導入したサーバ計算機 1 台とクライアント計算機 3 台で構築した。サーバ計算機とクライアント計算機との間は、IGMP-Snooping を利用できるスイッチングハブ [15] を経由して Gigabit Ethernet で有線接続することで、クライアントが使用する帯域幅に応じてセグメントを受信するチャンネルを切り替えることができる。図 8 の場合、はじめにクライアント 1 はマルチキャスト 1 からのみ

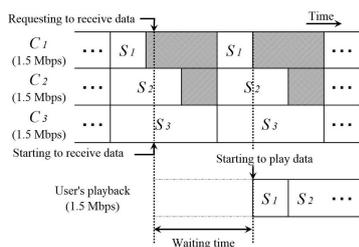


図 5 TeleCaS における H-AHB 法の配信例

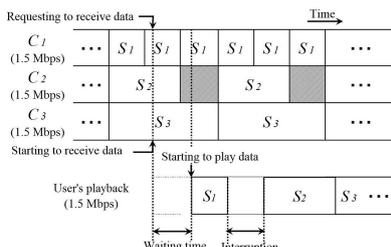


図 6 若番チャンネル C₁ による非同期配信の例

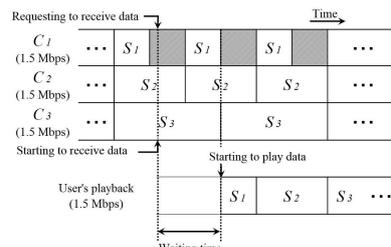


図 7 老番チャンネル C₃ による非同期配信の例

データを受信でき、マルチキャスト 1 からの受信が完了すると、チャンネルを切り替えてマルチキャスト 2 から受信を開始できる。

評価では、サーバは H-AHB 法、もしくは FB 法のどちらかを用いて作成した配信スケジュールをもとに、分割放送型で複数のセグメントを配信する。また、TeleCaS 上で待ち時間および途切れ時間を測定して、計算機ネットワーク環境におけるスケジューリング手法の有用性を確認する。待ち時間の評価では、第 1 セグメントの受信完了後に再生を開始することで、スケジューリング手法で想定される待ち時間を実現する。

クライアントで使用できる帯域幅は三種類を想定し、計算機ネットワーク環境に接続するクライアント計算機全体に対する各種クライアント計算機の台数の割合を示すクライアントの存在確率は、すべての種類で同じとする。この存在確率は、H-AHB 法の配信スケジュールの作成で使用する。各種クライアントで使用できる帯域幅は 1.5 Mbps, 5.0 Mbps, および 10 Mbps とし、サーバが使用する帯域幅は 10 Mbps とする。動画データの再生レートは 1.5 Mbps とする。各チャンネルの帯域幅は、H-AHB 法で 0.5 Mbps, FB 法で 1.5 Mbps とする。このとき、配信に必要となるチャンネル数は、H-AHB 法で $\lceil 10.0/0.5 \rceil = 20$, FB 法で $\lceil 10.0/1.5 \rceil = 6$ となる。待ち時間および途切れ時間は、それぞれの評価で設定したパラメータの値をもとに各種クライアントで 6 回測定を行った平均値とする。

6.2 非同期配信における待ち時間と途切れ時間

TeleCaS では、待ち時間および途切れ時間を短縮するため同期配信を実装した。しかし、5.2.3 項で説明したように、セグメントの同期配信を行うことでセグメントの配信回数が減少するため、待ち時間と途切れ時間はどちらも長大化することが分かった。そこで、非同期配信における待ち時間と途切れ時間を評価する。評価に使用する動画データは 11.1 MBytes とし、評価環境、および測定方法は 6.1 節と同じとした。また、評価手法について、セグメントサイズが等しい FB 法の場合、セグメントの同期配信によるセグメントの配信回数はあまり減少しない。このため、本

節の評価では、各チャンネルで配信するセグメントサイズが異なる H-AHB 法のみを用いる。

H-AHB 法を用いて、非同期配信を行うチャンネル数の変化に応じた待ち時間と途切れ時間の合計を図 9 に示し、待ち時間と途切れ時間の内訳を図 10, 図 11 にそれぞれ示す。各図の横軸は非同期で配信するチャンネル数である。図 9 の縦軸は待ち時間と途切れ時間の合計、図 10 の縦軸は待ち時間、図 11 の縦軸は途切れ時間である。評価項目は、若番 (C₁) もしくは老番 (C₂₀) からそれぞれ数えたチャンネル数で非同期配信を行う二つの場合であり、このとき残りのチャンネルは同期配信を行う。

図 9 より、非同期配信を行うチャンネル数が増加すると、若番および老番のどちらの場合でも途切れ時間は短くなる。非同期配信を行うチャンネル数が増加すると、各チャンネルで配信するセグメントの配信回数が増加し、シミュレーション環境における配信スケジュールとのずれは小さくなる。

図 10 より、非同期配信を行うチャンネル数が増加すると、若番および老番のどちらの場合でも待ち時間は短縮する。動画データの受信を要求してから一番目のチャンネルである C₁ が配信する第 1 セグメントを受信完了するまでの時間が待ち時間となる。このため、若番から非同期配信を行うチャンネル数が増加すると、非同期配信を行うチャンネルが配信するセグメントの配信回数は増加し、待ち時間は短くなる。また、非同期配信を行うチャンネル数が二つ以上の場合、C₁ の配信回数は変化せず、待ち時間はほとんど変化しない。一方、老番から非同期配信を行うチャンネル数が増加する場合、同期配信を行うチャンネルのうちデータサイズがもっとも大きいセグメントのデータサイズが小さくなり、C₁ が配信する第 1 セグメントの配信回数は増加する。このとき、非同期配信を行うチャンネル数の増加にともない、待ち時間は短くなる。

図 11 より、非同期配信を行うチャンネル数が増加すると、若番および老番のどちらの場合でも途切れ時間は短縮する。老番から非同期配信を行うチャンネル数が増加する場合、TeleCaS で配信する動画データがシミュレーション環境で作成した配信スケジュールに近づくため、非同期配信を行うチャンネル数の増加にともない、待ち時間は短くな

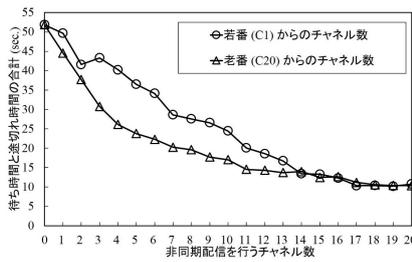


図 9 非同期配信を行うチャンネル数に応じた待ち時間と途切れ時間の合計

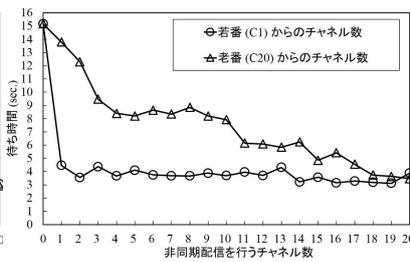


図 10 非同期配信を行うチャンネル数に応じた待ち時間

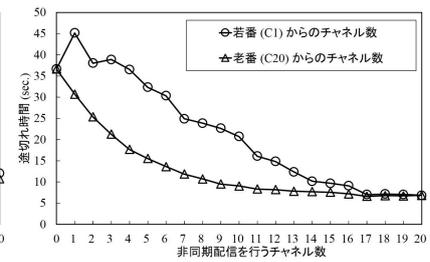


図 11 非同期配信を行うチャンネル数に応じた途切れ時間

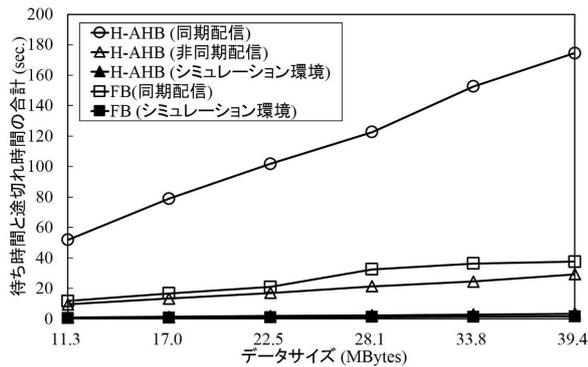


図 12 データサイズにおける待ち時間と途切れ時間の合計

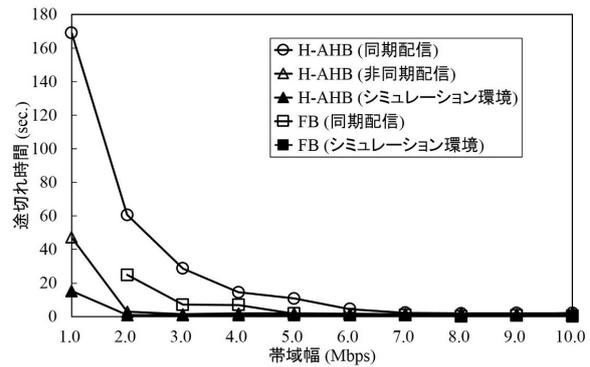


図 13 クライアントが使用できる帯域幅と途切れ時間

る。また、すべてのチャンネルで非同期配信を行う場合、若番と老番は同じ配信スケジュールとなる。

6.3 動画のデータサイズ

二種類のスケジューリング手法について、動画のデータサイズの変化に応じた待ち時間と途切れ時間の合計を図 12 に示す。図 12 は、縦軸は動画データ再生中に発生する待ち時間と途切れ時間の合計、横軸は動画のデータサイズを表す。H-AHB 法ではすべてのチャンネルで同期配信もしくは非同期配信を行う場合の二つ、およびシミュレーション環境の合計三つの場合について評価する。また、FB 法ではすべてのチャンネルで同期配信を行う場合、およびシミュレーション環境の二つの場合を評価する。サーバが使用する帯域幅、動画データの再生レート、および H-AHB 法で使用するチャンネルの帯域幅は 6.1 節と同じとする。

図 12 より、H-AHB 法の同期配信における待ち時間と途切れ時間の合計は FB 法に比べて長い。H-AHB 法ではセグメントの配信契機を同期するため、シミュレーション環境と *TeleCaS* 上との間で H-AHB 法をそれぞれ用いた場合における二つの配信スケジュールのずれは、FB 法に比べて大きくなる。*TeleCaS* 上では、クライアントは H-AHB 法で作成される配信スケジュールと同じ契機で動画データを受信できず、シミュレーション環境で想定しない途切れ時間が発生する。

一方、FB 法では、動画データを複数のセグメントに等

分割するため、シミュレーション環境と *TeleCaS* における配信スケジュールの違いは配信開始部のみとなる。このとき、途切れ時間と待ち時間はどちらも長大化するが、*TeleCaS* では、セグメントの配信契機を同期することで、途切れ時間と待ち時間の長大化を抑制する [11]。

また、データサイズが 28.1 MBytes のとき、H-AHB 法の非同期配信における待ち時間は約 5.6 秒、途切れ時間は約 15.8 秒となり、合計は約 21.4 秒となる。一方、FB 法の待ち時間は 5.1 秒、途切れ時間は約 27.5 秒であり、合計は約 32.6 秒であった。以上より、セグメントの非同期配信を行うことで、帯域幅が異なるクライアントの混在環境に対応した H-AHB 法における待ち時間と途切れ時間の合計は、帯域幅が異なるクライアントの混在環境に対応していない FB 法に比べて短くなる。

6.4 クライアントが受信に使用できる帯域幅

クライアントが受信に使用できる帯域幅が増加すると、クライアントが同時に受信できるチャンネル数は増加し、待ち時間や途切れ時間を短縮できる。待ち時間について、クライアントが受信に使用できる帯域幅が第 1 セグメントを配信する帯域幅以上であれば、クライアントの待ち時間は第 1 セグメントの受信時間のみとなり、使用できる帯域幅に関わらず一定となる。そこで、クライアントが受信に使用できる帯域幅と途切れ時間の関係を調べるため、クライアントが受信に使用できる帯域幅を 1.0 Mbps から 10

Mbps まで変化させた場合の途切れ時間を図 13 に示す。縦軸は動画再生中に発生する途切れ時間、横軸はクライアントが受信に使用できる帯域幅を表す。サーバが使用する帯域幅、動画データの再生レート、および H-AHB 法で使用するチャンネルの帯域幅は、6.1 節と同じとする。評価に使用したデータサイズは 11.1 MBytes、H-AHB 法で非同期配信に用いるチャンネル数は 20 とし、評価項目は 6.3 節と同じとする。FB 法で使用するチャンネルの帯域幅は動画の再生レート (1.5 Mbps) と等しくする必要があるので、クライアントが受信に使用できる帯域幅が 1.0 Mbps の場合は評価していない。また、FB 法のシミュレーション環境で想定するクライアントは、サーバが配信するすべてのチャンネルから受信できるクライアントを想定しているため、帯域幅が 10 Mbps の場合のみ評価している。

図 13 より、どちらの手法においても、クライアントが受信に使用できる帯域幅の増加にともない、受信に使用できるチャンネル数は増加する。このとき、クライアントが同時に受信できるデータ量が増え、途切れ時間は短くなる。H-AHB 法における各チャンネルの帯域幅は 0.5 Mbps であるため、シミュレーション環境では受信に使用できる帯域幅が 2.0 Mbps 以上の場合、同時に受信できるチャンネル数が 4 以上となり、途切れ時間は最短となる。しかし、同期配信で受信に使用できる帯域幅が 8.0 Mbps 以下の場合、6.3 節で示したセグメントの配信回数の減少による影響により、配信スケジュールと同じ契機で動画データを受信できず、途切れ時間が発生する。また、非同期配信の場合、配信開始部の影響により受信に使用できる帯域幅が 3.0 Mbps において、途切れ時間が最短になった。

一方、FB 法では、クライアントが受信に使用できる帯域幅が変化すると、途切れ時間は段階的に変化する。例えば、受信に使用できる帯域幅が 3.0 Mbps から 4.0 Mbps に増加しても、途切れ時間は減少しない。受信に使用できる帯域幅が 3.0 Mbps の場合、受信可能なチャンネル数は、 $\lfloor 3.0/1.5 \rfloor = 2$ となる。一方で、受信に使用できる帯域幅が 4.0 Mbps の場合、受信可能なチャンネル数は $\lfloor 4.0/1.5 \rfloor = 2$ と等しく、同時に受信できるデータ量は 3.0 Mbps の場合と比べて変化しない。

6.5 配信チャンネル数

H-AHB 法では、動画データを配信するチャンネル数が増加すると、セグメントの分割数が増え、セグメントのデータサイズが小さくなるため、待ち時間は短くなる。そこで、TeleCaS 上で動画データを配信するチャンネル数に応じて、H-AHB 法で発生する待ち時間の短縮効果を評価する。

TeleCaS 上で同期配信、もしくは非同期配信をすべてのチャンネルでそれぞれ行う場合、およびシミュレーション環境における場合の合計三種類の各場合について、H-AHB 法を用いて配信チャンネル数を変化させた場合の待ち時間を

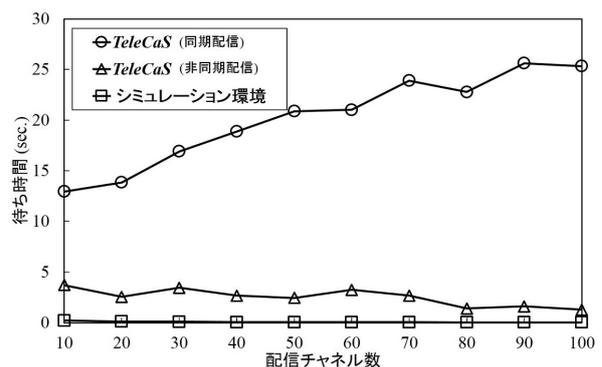


図 14 配信チャンネル数における待ち時間

図 14 に示す。縦軸は待ち時間、横軸はサーバが動画データを配信するために使用するチャンネル数を表す。H-AHB 法では、サーバが配信する各チャンネルの帯域幅を変化させることで、配信に必要となるチャンネル数は変化する。例えば、チャンネルの帯域幅が 0.5 Mbps から 1.0 Mbps に変化した場合、サーバが配信に必要となるチャンネル数は 20 から 10 に減少する。動画のデータサイズは 11.1 Mbytes、H-AHB 法で非同期配信を行うチャンネル数は全チャンネル数とする。また、サーバが使用する帯域幅、クライアントが使用できる帯域幅、および動画の再生レートは 6.1 節と同じとする。

図 14 より、同期配信を行う場合、TeleCaS では、サーバが配信するチャンネル数に応じて待ち時間は長大化する。H-AHB 法の場合、セグメントの分割数が増加すると、第 1 セグメントと最大サイズのセグメントとの間でデータサイズの差が大きくなる。また、配信するチャンネル数が増加すると各チャンネルの帯域幅は減少するため、データサイズがもっとも大きいセグメントの配信にかかる時間は長大化する。TeleCaS では、セグメントの同期配信を行うため、各チャンネルはデータサイズがもっとも大きいセグメントの配信が終了するまで、次の周期の配信開始を待つ。このため、チャンネル数の増加にともない、TeleCaS 上で発生する待ち時間は長大化する。

一方、非同期配信を行う場合、チャンネル数の増加にともないセグメントの分割数が増加し、第 1 セグメントのデータサイズが小さくなり、待ち時間は短くなる。このため、シミュレーション環境と同様に、待ち時間を短縮できる。一方で、マルチキャストグループへの参加における処理、および受信した情報部をセグメントに復元する処理の影響で、シミュレーション環境と比べて、動画データの先頭セグメントを受信するまでの間に待ち時間が発生する。

7. まとめ

本研究では、分割放送型配信システム TeleCaS において、帯域幅が異なるクライアントの混在環境を考慮したシ

システムを実装した。また、課題と対処をもとに実現方式を **TeleCaS** に実装しスケジューリング手法を用いた評価を行い、待ち時間および途切れ時間の短縮効果を確認した。評価結果より、同期配信を行うことでデータサイズが小さいセグメントの配信回数が減少し、シミュレーション環境に比べて待ち時間および途切れ時間が長大化した。また、非同期配信を行うチャンネル数が増加すると、待ち時間および途切れ時間が短縮した。

今後の課題として、無線環境と有線環境が混在した計算機ネットワーク環境における評価、Planetlab[16]を用いた実際のインターネット環境における評価、パケット欠損を考慮した分割放送型配信システムの実装、およびリアルタイム放送を考慮したスケジューリング手法 [6] の実装が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・若手研究 (B) (26730059)、基盤研究 (B) (15H02702)、基盤研究 (C) (16K01065)、および (公財) 山陽放送学術文化財団の研究助成による。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 文化庁:改正法 Q&A 問 1 — 文化庁, 文化庁 (オンライン), 入手先 <http://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/hokaisei/h18.hokaisei/qa_01.html>(参照 2016-08-17).
- [2] 総務省:平成 27 年版 情報通信白書, 総務省 (オンライン), 入手先 <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/index.html>>(参照 2016-06-08).
- [3] 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, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D, No.3, pp.667-676 (2008).
- [4] Juhn, L. and Tseng, L.: Fast Data Broadcasting and Receiving Scheme for Popular Video Service, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol.44, No.1, pp.100-105 (1998).
- [5] 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).
- [6] Yang, Z.Y., Chen, Y.M. and Tseng, L.M.: A Seamless Broadcasting Scheme with Live Video Support, International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, Vol.2012, No.373459, pp.1-8 (2012).
- [7] Shi, L., Sessini, P., Mahanti, A., Li, Z. and Eager, D.L.: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, Proc. ACM Multimedia, pp.22-27 (2006).
- [8] Mahanti, A., Eager, D., Vernon, M. and Sundaram-Stukel, D.: Scalable On-Demand Media Streaming with Packet Loss Recovery, IEEE/ACM Trans. on Networking, pp.195-209 (2003).
- [9] Hua, K.A., Bagouet, O. and Oger, D.: Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers, Proc. ACM Multimedia Computing and Networking (MMCN '03), Vol.5019, No.1, pp.220-231 (2003).
- [10] 松浦晋吾, 飯田勝吉: IPTV におけるマルチキャストグループ集約方式の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.448, pp.539-544 (2011).
- [11] 木村明寛, 後藤佑介, 谷口秀夫: 動画データを分割配信するシステムの実現と評価, 電子情報通信学会論文誌 B,

Vol.J96-B, No.10, pp.1217-1225 (2013).

- [12] RFC: Internet Group Management Protocol, Version 3,RFC (online), available <<https://tools.ietf.org/html/rfc3376>>(accessed 2016-06-08).
- [13] 藤田拓郎, 後藤佑介: スケジューリング手法を用いた選択型コンテンツの放送型配信システムの実現と評価, 第 14 回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.14, No.4, pp.5-12 (2015).
- [14] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Taniguchi, H. and Kanazawa, M.: Brossom: A P2P Streaming System for Webcast, Journal of Networking Technology, Vol.2, pp.169-181 (2011).
- [15] コレガ:CO-BSW08GTXVL2, コレガ (オンライン), 入手先 <<http://corega.jp/prod/co-bsw08gtxvl2/>>(参照 2016-06-08).
- [16] Planetlab : Planetlab, Planetlab(オンライン), 入手先 <<https://www.planet-lab.org>> (参照 2016-08-09).