

放送通信融合環境における データ配信システムの設計と実装

尾崎 健志¹ 後藤 佑介¹

概要: 近年、音声や映像といった一続きの動画データを複数の配信方式で同時に配信する放送通信融合環境に関する研究が行われている。放送通信融合環境では、従来のサーバとクライアントで構築されたネットワーク環境とは異なり、データを要求する端末は、サーバから放送型配信でデータを受信しながら、サーバおよび他の端末から端末間通信で残りのデータを受信することで、従来の通信のみでデータを送信する場合と比べてネットワーク全体の負荷を軽減できる。これまでの放送通信融合環境における研究では、放送型配信と端末間通信それぞれでデータのどの部分を配信するかを決定するスケジューリング手法が提案されてきたが、計算機シミュレーションによる評価しか行われていない。そこで、本研究では、放送通信融合環境におけるデータ配信システムを設計、実装し、システムの有用性を確認する。

1. はじめに

近年の放送通信融合環境の普及にともない、音声や映像といった動画データを複数の配信方式で同時に配信する研究が行われている。従来のサーバとクライアントで構築されたネットワーク環境では、データの配信方式としてオンデマンド型配信と放送型配信の二つがある。オンデマンド型配信では、クライアントがコンテンツを要求するたびに、サーバは帯域幅を確保してクライアントにデータを配信する。クライアントは所望するタイミングでデータを受信できるが、クライアント数が増加するとサーバの負荷が増加し、負荷が上限を上回ると配信中に待ち時間が発生する。一方、放送型配信では、サーバは一定の帯域幅でクライアントに同じデータを繰り返し配信することで、サーバの負荷を抑制できる。しかし、クライアントはデータの受信を要求してから再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する。クライアントの視聴意欲は待ち時間が長くなるほど低下するため、待ち時間を短縮する必要がある。

本研究では、放送通信融合環境において、放送チャンネルと通信チャンネルを同時に利用してクライアント端末にデータを配信する方式(以下、ハイブリッド型配信)を用いる。ハイブリッド型配信では、サーバからのデータ配信に加えてネットワークに接続している複数の端末から端末間通信でデータを送信するため、サーバの負荷を軽減できる。一

方で、待ち時間を効率的に短縮するため、放送型配信と端末間通信それぞれでデータのどの部分を配信するかを決定するスケジューリング手法が必要となる。放送通信融合環境において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法はこれまでに提案されているが、計算機によるシミュレーション評価しか行われていない。そこで、本研究では、放送通信融合環境におけるデータ配信システムを設計、実装し、システムの有用性を示す。

2. データ配信方式

2.1 サーバ・クライアント間のデータ配信

従来のサーバとクライアントで構築されたネットワーク環境におけるデータ配信方式は、オンデマンド型配信と放送型配信の二つがある。以下で順番に説明する。

2.1.1 オンデマンド型配信

オンデマンド型配信でサーバが動画データを配信の様子を図 1 に示す。オンデマンド型配信では、サーバはデータの受信を要求するクライアントごとにチャンネルを設定し、チャンネルの帯域幅を確保してデータを配信する。一方で、クライアントの数に比例して、サーバの処理負荷や通信に必要な帯域幅は増加する。通信に必要な帯域幅が使用できる帯域幅を上回ると、サーバにデータの受信を要求する新たなクライアントに対して帯域幅を確保できず、待ち時間は長大化する。

2.1.2 放送型配信

放送型配信でサーバがデータを配信の様子を図 2 に示す。放送型配信は、マルチキャストを用いて、あらかじめ

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

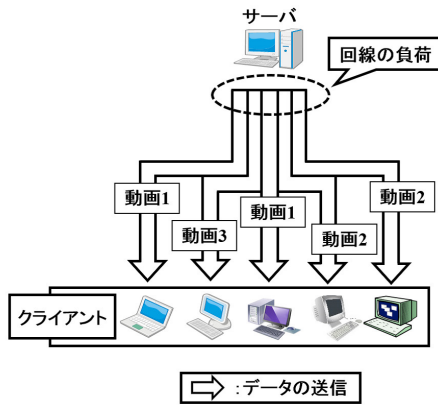


図 1 オンデマンド型配信

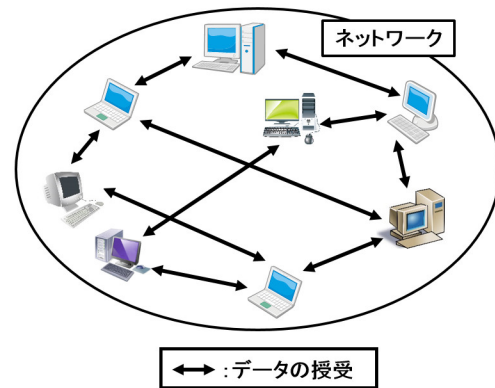


図 3 端末間通信

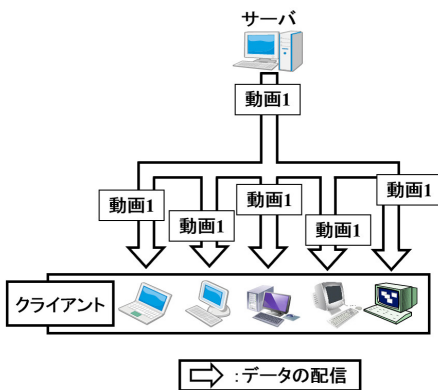


図 2 放送型配信

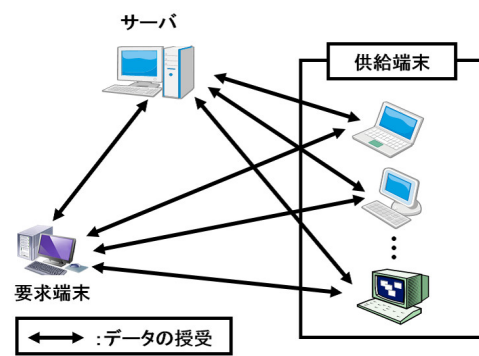


図 4 ハイブリッド型配信

指定した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である。サーバは一定の帯域幅でデータを配信でき、クライアントの数が增加しても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、クライアントは、データの受信を要求してから再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する。

2.2 端末間通信

端末間通信におけるネットワーク構成を図 3 に示す。端末間通信では、サービスを提供する特定のサーバを含めず、データの送受信が可能な複数のクライアント端末のみでネットワークを構成する。クライアント端末は二種類で構成され、データの受信を要求する端末を要求端末、データを要求端末に送信する端末を供給端末と呼ぶ。クライアント端末は、要求に応じて要求端末や供給端末になる。端末間通信では、すべてのデータの送受信を端末間で行うため、ネットワーク全体の負荷を分散できる。一方で、データを管理するサーバが存在しないため、ネットワーク内に存在するデータを一元的に管理することは難しくなる。

2.3 ハイブリッド型配信

放送通信融合環境において、放送チャンネルと通信チャンネルを同時に利用してクライアント端末にデータを配信する

ハイブリッド型配信について説明する。図 4 に、ハイブリッド型配信のネットワーク構成を示す。ハイブリッド型配信のネットワークは、サーバ、要求端末、および供給端末で構成される。ハイブリッド型配信では、サーバと供給端末はデータを幾つかの部分(以下、セグメント)に分割して、要求端末に配信する。また、データを受信した要求端末は、他の要求端末から同じデータの受信要求を受け取ると、供給端末としてセグメントを送信する。

ハイブリッド型配信では、サーバはネットワークに接続しているすべての端末を管理し、放送チャンネルを用いてすべての端末にデータを繰り返し配信する。また、要求端末が供給端末にデータを要求すると、供給端末はデータを複数のセグメントに分割した上で、通信チャンネルを用いて要求端末に送信する。このとき、要求端末は、サーバと供給端末からセグメントをそれぞれ受信してバッファに保存し、データの最初のセグメントを受信すると、再生を開始できる。

2.4 データ配信方式の比較

2.1, 2.2, および 2.3 節で説明した配信方式の特徴を表 1 に示す。オンデマンド型配信では、サーバはクライアントからの受信要求に応じて直ちにクライアントにデータを送信できるが、クライアント数に比例してサーバの処理負荷

表 1 各配信方式の特徴

配信手法	長所	短所
オンデマンド型配信	クライアントの受信要求に応じて直ちに送信可能	クライアント数に比例して処理負荷や使用する帯域幅が増加
放送型配信	サーバの処理負荷や使用する帯域幅の増加を抑制	クライアントのデータ受信時に待ち時間が発生
端末間通信	ネットワーク全体の処理負荷を分散可能	ネットワーク内におけるデータの一元管理が困難
ハイブリッド型配信	オンデマンド型配信および放送型配信の長所をもつ。	データの配信処理が複雑

や使用する帯域幅は増加する。次に、放送型配信では、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が、クライアントのデータ受信時に待ち時間が発生する。端末間通信では、ネットワーク全体の処理負荷を分散できるが、ネットワーク内におけるデータを一元的に管理することは困難である。最後に、ハイブリッド型配信では、供給端末がオンデマンド型で送信しながらサーバが放送型で配信することで、オンデマンド型配信と放送型配信の長所をもつ。一方で、データの配信処理は複雑になるため、サーバが使用できる帯域幅や再生レートといったネットワーク条件を考慮したスケジューリング手法が必要となる。

3. 関連研究

3.1 概要

サーバがスケジューリング手法を用いて動画データを配信すると、クライアントは受信時の待ち時間を短縮して途切れの発生を抑制できる。放送型配信、端末間通信、およびハイブリッド型配信では、使用できる帯域幅や再生レートを考慮してデータ受信時の待ち時間を短縮するスケジューリング手法が数多く提案されている。以下で、それぞれの配信方式におけるスケジューリング手法について説明する。

3.2 スケジューリング手法

3.2.1 放送型配信

動画データをセグメントに分割せずに放送型で配信する場合、クライアントはサーバから配信される動画データをすべて受信す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セグメントに分割して複数のチャンネルで繰り返し配信する分割放送型配信を用いることで、クライアントはデータの配信要求から再生開始までの待ち時間を短縮できる。

分割放送型配信のスケジューリング手法である Bandwidth Equivalent- Asynchronous Harmonic Broadcasting (BE-AHB) 法 [1] を用いて、クライアントがデータの受信をサーバに要求してからデータの再生を開始するまでの様子を図 5 に示す。BE-AHB 法は、帯域幅が等しい複数のチャンネルを用いて、受信時間と再生時間をもとにセグメントのデータサイズを決定するスケジューリング手法である。動画データの再生レートを 0.9 Mbps、チャンネルの帯域幅を 1.5 Mbps、および分割数を 2 とし、サーバは再生時間が 60 秒の動画データを二つのセグメント S_1 、 S_2 に分割して

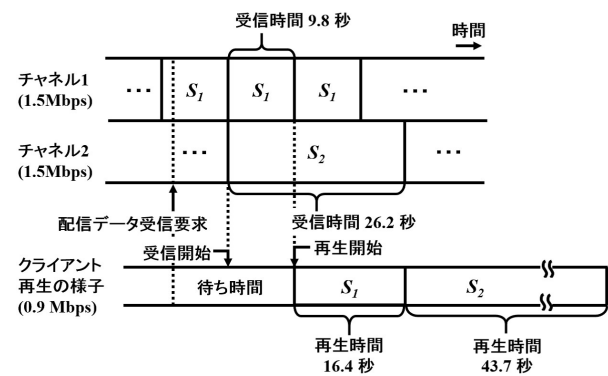


図 5 分割放送型配信のスケジューリング例 (BE-AHB 法)

配信する。BE-AHB 法では、 S_1 の受信時間と再生時間の合計に比べて S_2 の受信時間が長い場合、 S_1 の再生終了から S_2 の再生開始までの間に途切れが発生する。図 5 の例では、 S_1 の受信時間が 9.8 秒、再生時間が 16.4 秒で、 S_2 の受信時間は 26.2 秒であるため、途切れは発生しない。

3.2.2 端末間通信

端末間通信におけるスケジューリング手法として、Waiting time Reduction for P2P Streaming (WRPS) 法 [2]、および Waiting time reduction considering Peer bandwidth for P2P Streaming (WPPS) 法 [3] がある。WRPS 法を用いて、要求端末が複数の供給端末にデータの受信を要求して再生を開始するまでの様子を図 6 に示す。WRPS 法では、セグメントの送信終了時刻がもっとも早い供給端末を選択してセグメントをスケジューリングすることで、再生開始までの待ち時間を短縮する。

WPPS 法では、再生レートを上回る帯域幅をもつ送信中の供給端末から帯域幅の一部を割り当てた上で、セグメントの配信終了時刻がもっとも早い供給端末を選択してセグメントをスケジューリングすることで、再生開始までの待ち時間を短縮する。例えば、他の端末に 10 Mbps の帯域幅で再生レートが 5.0 Mbps の動画をセグメントに分割して送信する供給端末を要求端末が選択した場合、要求端末は再生レート分の帯域幅を差し引いた 5.0 Mbps の帯域幅を確保してデータを要求する。要求端末は、この供給端末からセグメントを受信することで、最後まで途切れなくデータを再生できる。

3.2.3 ハイブリッド型配信

放送通信融合環境では、要求端末がデータの受信をサーバや供給端末に要求してから再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する。放送通信融合環境における待ち時間の発生について、Neighbors-Buffering Broadcasting Considering Bandwidth (NBB-CB) 法 [4] のスケジューリング例を図 7 に示す。NBB-CB 法では、要求端末はサーバから放送型配信でセグメントを受信しながら、端末間の帯域幅を考慮して選択された複数の供給端末に対してどのセグメントを要求するかを決定し、オンデマンド型配信でセグメ

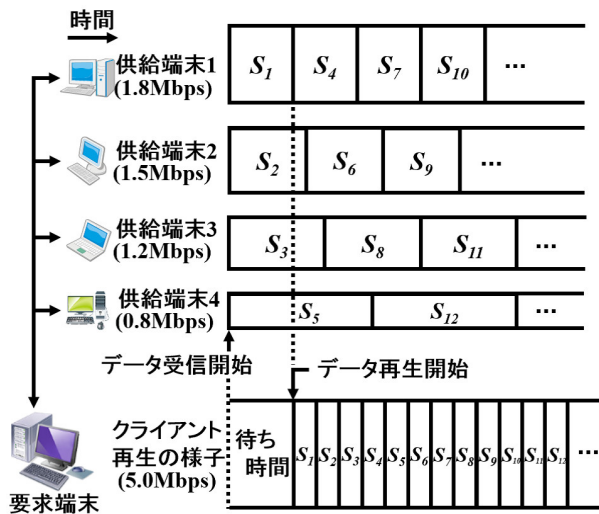


図 6 WRPS 法のスケジューリング例

ントを受信する。図 7 の場合、要求端末が S_{k-1} を放送中のサーバにデータを要求すると、要求端末はサーバから放送型配信で S_k, \dots, S_n のセグメントを受信する。同時に、要求端末は選択した三つの供給端末から端末間通信で S_1, \dots, S_{k-1} のセグメントを受信する。要求端末は、 S_1 の再生を開始すると最後まで途切れずに再生できるため、待ち時間は S_1 の受信時間のみとなる。

放送通信融合環境のデータ配信技術として、Peer-to-Peer (P2P) 技術を用いたストリーミング配信に関する研究が行われている。Neighbors-Buffering Based video-on-demand (NBB-VoD) 法 [5] では、NBB-CB 法と同様に、要求端末は供給端末から同時にセグメントを受信する。しかし、端末間の通信で使用できる供給端末は一つのみであるため、要求端末は使用できる帯域幅に応じて複数の端末から同時にデータを受信できない。

3.3 データ配信システム

3.3.1 放送型配信

動画データの放送型配信システムとして、*TeleCaS* [6] が挙げられる。*TeleCaS* 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、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を実現することで、データの配信時に発生する待ち時間や途切れ時間を短縮できる。

また、選択型コンテンツの放送型配信システムとして、*Corne* [7] が挙げられる。選択型コンテンツでは、コンテンツの視聴順序が複数に分岐しており、ユーザの嗜好に合わせてコンテンツを選択し、視聴することを想定している。選択型コンテンツの例として、ユーザ選択に応じて正解のコンテンツと不正解のコンテンツに分岐する択一式のクイズ番組が挙げられる。*Corne* は、制御情報が配信スケジュールに影響を与える問題に対処したデータの配信契

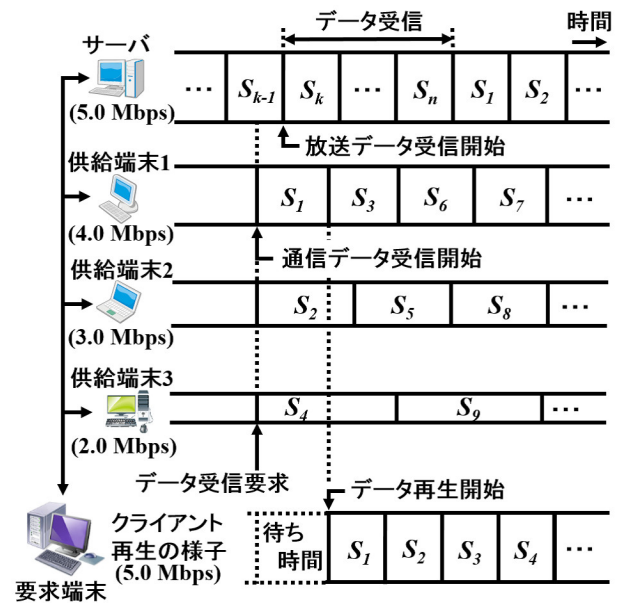


図 7 NBB-CB 法のスケジューリング例

機を同期する方式、および逐次再生に対応する方式を実現することで、実際のネットワーク環境を考慮して選択型コンテンツを配信できる。また、*Corne* は選択型コンテンツの放送型配信において多くのスケジューリング手法 [8], [9] を適用可能である。

3.3.2 端末間通信

端末間通信を用いたデータ配信システムとして、Content Delivery System for P2P Streaming (DeSPeS) [10] が挙げられる。DeSPeS では、独自の通信プロトコルにもとづいて、各端末は端末間で動画データを送受信する。また、要求端末が選択した各供給端末が使用できる帯域幅を考慮したスケジューリング手法を用いて、端末間通信の性能評価を行う。

4. 設計

4.1 逐次再生方式

サーバおよび供給端末がスケジューリング手法を用いてデータを配信するためには、要求端末が逐次再生方式を実現する必要がある。逐次再生方式では、データの再生に必要なデータ量をバッファに格納できれば、すべてのデータの受信が完了していても再生を開始できる。従来のデータ配信システムでは、データの受信が完了しなければ再生を開始できず、待ち時間が長大化していた。逐次再生方式を実現することで、要求端末はバッファサイズに応じた配信スケジュールを作成でき、受信時の待ち時間を短縮できる。

提案システムで実現する逐次再生の様子を図 8 に示す。実現方式では、要求端末は放送型配信でサーバからセグメントを受信しながら、端末間通信で複数の供給端末からセグメントを受信してバッファに保存する。また、提案シス

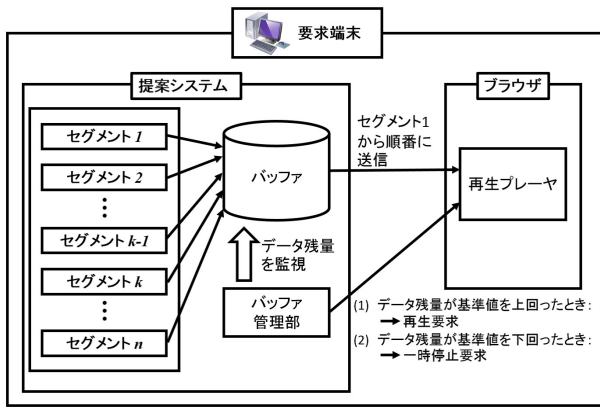


図 8 逐次再生の実現方式

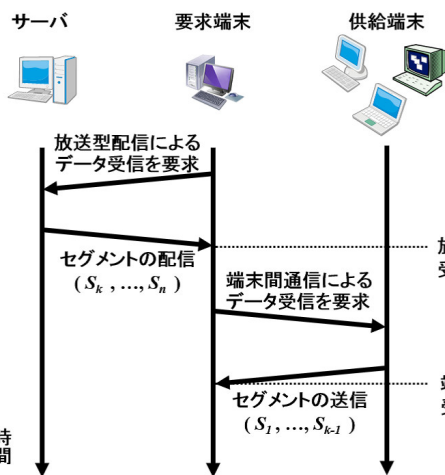


図 9 放送通信融合環境におけるデータの流れ

テムでは、要求端末がバッファに格納したデータ量を管理するバッファ管理部をもつ。バッファ管理部は、バッファに格納されているデータの残りを常に監視する。保存したセグメントのデータサイズがデータの再生に最低限必要となる基準値を上回ると、バッファ管理部はブラウザの再生プレーヤに動画の再生を要求でき、要求端末は逐次再生が可能となる。要求端末が受信したセグメントは先頭から順にブラウザへ送信され、ブラウザは受信したセグメントの再生を開始する。一方で、バッファに保存したセグメントのデータサイズが基準値を下回ると、バッファ管理部はブラウザの再生プレーヤに動画の一時停止要求を行う。この後、バッファ内のデータサイズが基準値を再び上回ると、バッファ管理部はブラウザの再生プレーヤに動画の再生開始を要求し、要求端末は動画の逐次再生を再開する。

4.2 配信スケジュールの同期方法

放送通信融合環境では、要求端末はサーバに放送型配信を要求するとともに、複数の供給端末に端末間通信を要求する。このとき、要求端末は、サーバからの配信スケジュールを考慮して、どの供給端末からどのセグメントを配信するかをスケジューリングするため、放送と通信の二つの配



図 10 放送と通信を同期した場合のスケジューリング例 (NBB-CB 法)

表 2 計算機の性能

種類	CPU	メモリ	OS
サーバ	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU (2.93GHz)	2.0 GBytes	Windows 7 Home Premium Service Pack 1
供給端末	Intel(R) Pentium(R) M (1.20GHz)	1.49 GBytes	Windows XP Home Edition Service Pack 3
要求端末	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU (2.93GHz)	2.0 GBytes	Windows 7 Home Premium Service Pack 1
Dummysnet	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU (2.93GHz)	2.0 GBytes	FreeBSD 8.2-RELEASE

信スケジュールを同期する必要がある。

実際のネットワーク環境を想定したデータ配信の流れを図 9 に示す。図 9 より、実際のネットワーク環境におけるサーバ、要求端末、および供給端末との間で、データの流はシミュレーション環境と異なることが分かる。シミュレーション環境では、要求端末のデータ受信要求は、サーバおよび供給端末に対して同時に行われる。一方、図 9 に示す実際のネットワーク環境では、要求端末は、 S_{k-1} を放送しているサーバに放送型配信でデータの受信を要求し、 S_k, \dots, S_n の受信を開始する。要求端末が時刻 t_0 にサーバからデータの受信を開始すると、最初に受信したセグメントである S_k の情報をもとに、要求端末が選択した複数の供給端末に対して、端末間通信で S_1, \dots, S_{k-1} の受信を要求する。複数の供給端末は、 S_1, \dots, S_{k-1} を要求端末に送信し、要求端末は時刻 t_1 に受信を開始する。

NBB-CB 法を用いて、放送と通信の二つの配信スケジュールを同期したスケジューリング例を図 10 に示す。シミュレーション環境では、要求端末は、サーバに対する配信要求と供給端末に対する送信要求を同時に行う。一方、実際のネットワーク環境では、サーバからのセグメント配信情報をもとに端末間通信の配信スケジュールを決定する必要がある。まず、要求端末はサーバに放送型配信を要求し、セグメントの受信を開始する。次に、要求端末は、図 9 で示した放送型配信の受信時刻 t_0 と端末間通信の受信開始

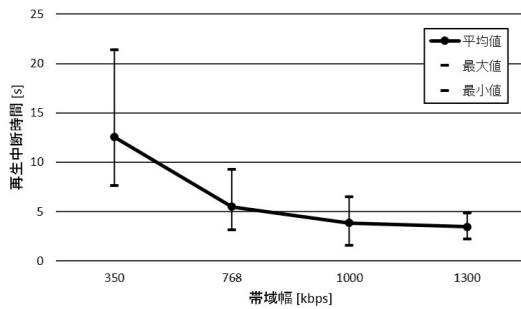


図 11 放送型配信のみによる再生中断時間 (再生レート: 350kbps)

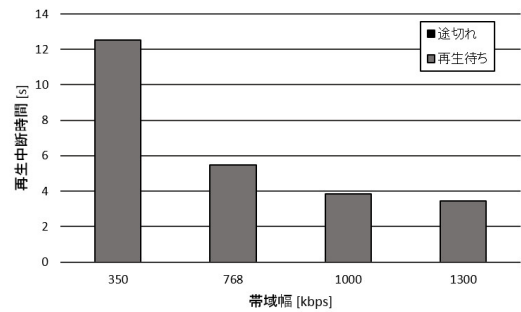


図 14 放送型配信のみによる再生中断時間の内訳 (再生レート: 350kbps)

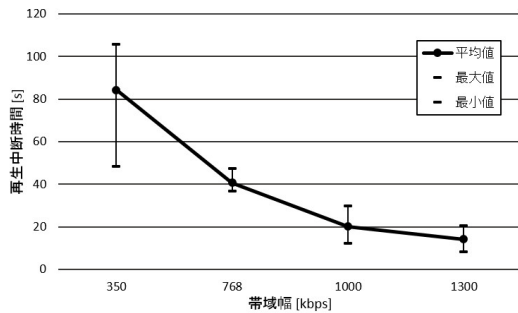


図 12 放送型配信のみによる再生中断時間 (再生レート: 768kbps)

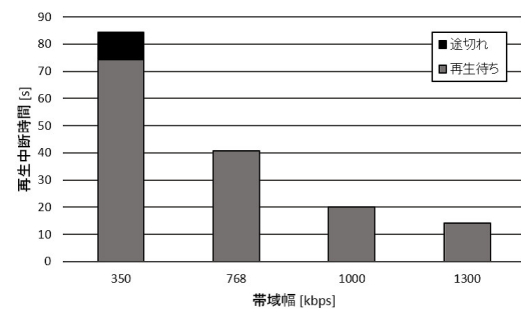


図 15 放送型配信のみによる再生中断時間の内訳 (再生レート: 768kbps)

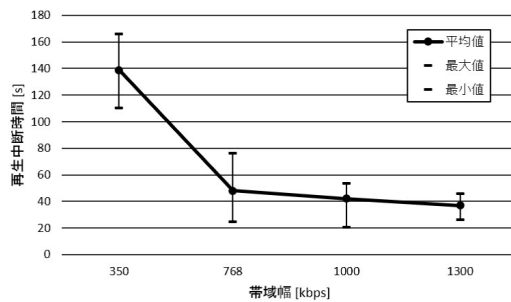


図 13 放送型配信のみによる再生中断時間 (再生レート: 1000kbps)

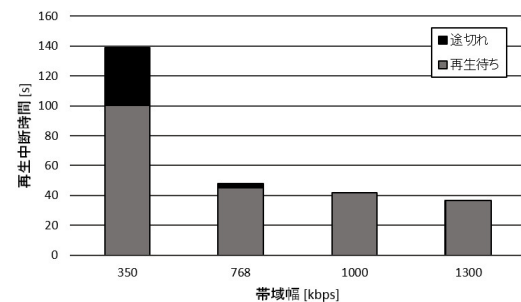


図 16 放送型配信のみによる再生中断時間の内訳 (再生レート: 1000kbps)

時刻 t_1 の差を考慮して、供給端末から受信するセグメントを決定する。このとき、要求端末は、サーバから最初に受信したセグメントの情報をもとに配信スケジュールを作成し、各供給端末に端末間通信で所望のセグメントを要求し、受信を開始する。

5. 実装

5.1 提案システムの概要

4章で示した課題と対処をもとに、提案システムを実装した。提案システムで使用するスケジューリング方式、動画再生方式、および評価データについて説明する。

5.2 使用するスケジューリング方式

本研究では、提案システムで用いるスケジューリング手法として、NBB-VoD[5]法を用いる。提案システムでは、さまざまなスケジューリング手法を適用できるが、放送通信融合環境においてデータ配信システムの有用性を示す必要がある。NBB-VoD法は、放送型配信のスケジューリン

グ手法と比較しやすく、実装が複雑でないため、本手法を用いる。

5.3 動画再生方式

本システムでは、動画データの再生時に逐次再生方式を用いることで、すべてのデータの受信が完了してなくても動画を再生できる。要求端末は、動画データのデータサイズに関係なく、一定時間分のデータの受信が完了すれば再生を開始できるため、再生時の待ち時間を短縮できる。本システムでは、再生時間が10秒分のデータを受信すると再生を開始できる。

5.4 評価データ

評価に用いる動画データは、セグメント単位で配信される。セグメントには、動画データを特定するタグと、分割

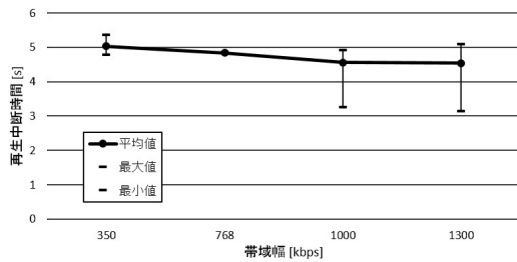


図 17 ハイブリッド型配信による再生中断時間 (再生レート: 350kbps)

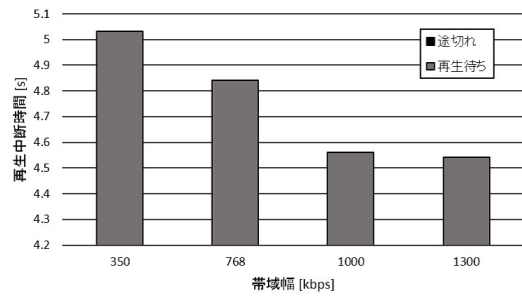


図 20 ハイブリッド型配信による再生中断時間の内訳 (再生レート: 350kbps)

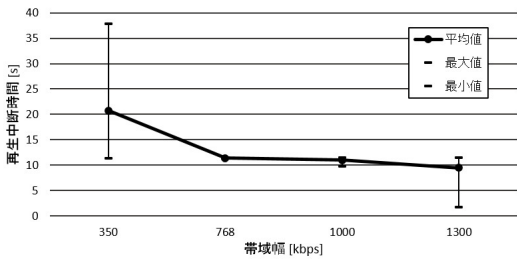


図 18 ハイブリッド型配信による再生中断時間 (再生レート: 768kbps)

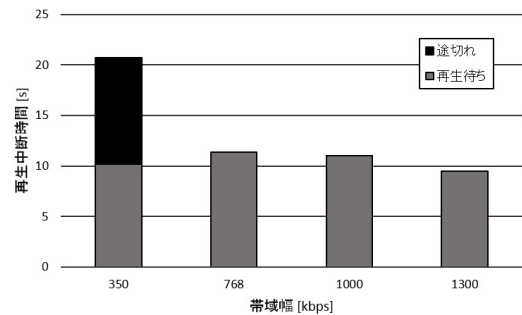


図 21 ハイブリッド型配信による再生中断時間の内訳 (再生レート: 768kbps)

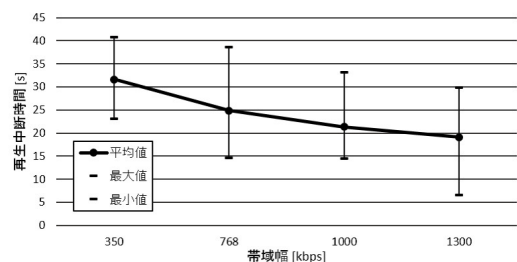


図 19 ハイブリッド型配信による再生中断時間 (再生レート: 1000kbps)

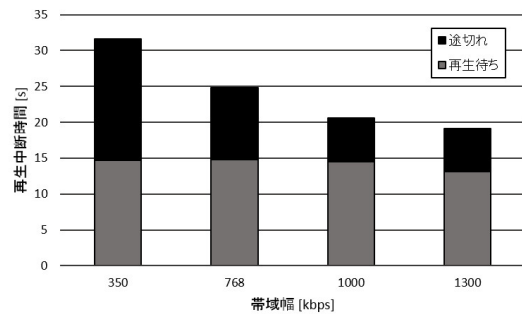


図 22 ハイブリッド型配信による再生中断時間の内訳 (再生レート: 1000kbps)

したセグメントが何番目のセグメントであることを示すセグメント番号が付加される。要求端末は、付加情報をもとに、受信したセグメントから元の動画データを復元する。

6. 評価

6.1 評価環境

評価環境として、本システムを導入した計算機を用いてネットワークを構築した。評価に用いた計算機の性能を表 2 に示す。評価では、サーバ、供給端末、および要求端末の間で帯域幅を制御する必要がある。放送型配信では、サーバ計算機内で帯域幅を調節した。一方、端末間通信では、人工的な帯域制御装置である FreeBSD Dummynet[11]を用いた。

6.2 評価結果

6.2.1 放送型配信のみによる再生中断時間

動画の再生レートが 350 kbps, 768 kbps, および 1000 kbps の 3 種類の場合について、放送型配信のみでデータを受信した場合の再生中断時間を図 11, 図 12, および

図 13 に示す。再生中断時間とは、動画再生時に発生する再生待ち時間と途切れ時間の合計である。横軸はサーバが使用できる帯域幅、縦軸は再生中断時間とする。各評価項目は評価 5 回分の平均値とし、5 回の評価のうち再生中断時間の最大値と最小値を示している。図 11, 図 12, および図 13 より、サーバの帯域幅が増加すると、再生中断時間は短くなるのがわかる。

次に、図 11, 図 12, および図 13 で発生した再生中断時間の内訳を図 14, 図 15, および図 16 にそれぞれ示す。横軸と縦軸は図 11, 図 12, および図 13 と同じであり、再生中断時間を構成する途切れ時間と再生待ち時間をそれぞれ示している。図 14 では、途切れ時間は発生していないが、図 15 におけるサーバの帯域幅が 350 kbps のとき、および図 16 におけるサーバの帯域幅が 350 kbps と 768 kbps のときでは、途切れ時間が発生している。これは、サーバが

使用できる帯域幅が動画の再生レートを下回ると、途切れ時間が発生することを示している。

6.2.2 ハイブリッド型配信による再生中断時間

供給端末の帯域幅を 768 kbps に設定し、動画の再生レートが 350 kbps, 768 kbps, および 1000 kbps の 3 種類の場合について、ハイブリッド型配信でデータを受信した場合の再生中断時間を図 17, 図 18, および図 19 に示す。また、それぞれのハイブリッド型配信における再生中断時間の内訳を図 20, 図 21, および図 22 に示す。横軸と縦軸は図 11 ~ 図 16 と同じである。

図 16 と図 22 を比較すると、ハイブリッド型配信の方が放送型配信のみの場合に比べて再生待ち時間が短いことがわかる。ハイブリッド型配信における再生待ち時間は、動画の再生レートの変化に依存しない。一方で、放送型配信における再生待ち時間は、動画の再生レートが大きくなると長大化する。これは、要求端末が先頭のセグメントの受信を開始する契機が原因である。動画の再生開始契機は、要求端末が先頭のセグメントを受信してから一定量のデータがバッファに格納された時点である。ハイブリッド型配信では、要求端末がデータの受信を要求すると、放送と通信で配信スケジュールを同期して、供給端末が要求端末に対してセグメントの先頭から順にデータを送信することで、再生待ち時間を短縮できる。しかし、放送型配信では、要求端末がサーバにデータの受信を要求した後、すぐに先頭のセグメントを受信できるとは限らないため、再生待ち時間は長大化する。

また、ハイブリッド型配信では、放送型配信のみの場合に比べて途切れ時間が長大化している。図 16 において、サーバの帯域幅が 1000 kbps と 1300 kbps の場合、サーバの帯域幅が動画の再生レートを上回るため、放送型配信では途切れ時間が発生しない。しかし、図 22 において、サーバの帯域幅が動画の再生レートを上回る場合でも、途切れ時間は発生している。これは、供給端末の帯域幅が動画の再生レート未満であることが原因である。以上より、ハイブリッド型配信で途切れ時間の発生を防ぐためには、サーバの帯域幅と供給端末の帯域幅がともに動画の再生レートを上回る必要があることを確認した。

7. おわりに

本研究では、放送通信融合環境においてスケジューリング手法を適用可能なハイブリッド型配信システムを設計し、実装した。設計では、データの再生に必要となるデータ量をバッファに一定量格納できればすぐに再生を開始できる逐次再生方式、および放送と通信の二つの配信スケジュールを同期させる方式の二つを示し、これらの方式を提案システムに実装した。提案システムでは、要求端末がサーバから放送型配信でセグメントを受信しながら、スケジューリング手法をもとに選択した複数の供給端末から端末間通

信で残りのセグメントを受信することで、受信時の待ち時間を短縮できる。一方で、サーバの帯域幅が動画データの再生レートを上回っている場合でも、供給端末の帯域幅が動画データの再生レート未満である場合、途切れが発生することを確認した。

今後の予定として、提案システムに既存のスケジューリング手法である NBB-CB 法 [2] 法を適用して、計算機シミュレーションとの比較評価を行う。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 26730059, 15H02702, (公財) ウエスコ学術振興財団、ならびに総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 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).
- [2] Gotoh, Y., Yoshihisa, T. and Kanazawa, M.: Method to Select Peers to Reduce Waiting Time in P2P Streaming Broadcast, *Proc. IADIS International Conference Telecommunications, Networks and Systems* 2008, pp.120-124 (2008).
- [3] Gotoh, Y., Yoshihisa, T. and Kanazawa, M.: A Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems, *Proc. 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM2008)*, pp.15-20 (2008).
- [4] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Taniguchi, H. and Kanazawa, M.: A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for Node Relay-based Webcast Considering Available Bandwidth, *Proc. 1st International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS2010)*, pp.489-494 (2010).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 後藤佑介, 山本泰平, 谷口秀夫: 選択型コンテンツの放送型配信システムの実現, 情報処理学会研究報告 (マルチメディア通信と分散処理研究会 2014-DPS-161), Vol.2014-DPS-161, No.6, pp.1-8 (2014).
- [8] 義久智樹, 金澤正憲: 選択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, Vol.47, No.12, pp.3296-3307 (2006).
- [9] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Kanazawa, M. and Takahashi, Y.: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.55, Issue 2, pp.460-467 (2009).
- [10] 後藤佑介, 鈴木健太郎, 義久智樹, 谷口秀夫, 金澤正憲: 再生中断時間短縮のための端末伝送型インターネット放送システムの設計と実装, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J93-D, No.7, pp.1102-1113 (2010).
- [11] Rizzo, L.: dummynet (online), available from < <http://info.iet.unipi.it/~luigi/ip-dummynet/> > (accessed 2015-08-15).