

# データ放送の分割配信における スケジュールの動的更新手法

後藤 佑介<sup>1</sup> 谷口 秀夫<sup>1</sup>

**概要:** 近年のインターネット放送の普及にともない、音声や映像といった動画データを放送形式で配信する技術に対する注目が高まっている。放送形式の配信では、一般に、クライアントはデータの再生が開始されるまで待つ必要があるが、データを分割して複数のチャンネルで繰り返し放送する分割配信方式により、この待ち時間を短縮できる。また、分割配信方式において、データをどのように分割して複数のチャンネルで配信するかを決定する方法として、数多くのスケジューリング手法が提案されてきた。筆者らは、データの再生中に途切れを許容しない環境で待ち時間を短縮する手法をこれまでに提案してきたが、配信中にサーバが使用できるチャンネルの帯域幅が変化する場合を考慮していなかった。本研究では、動画データを用いた放送形式の配信において、使用できる帯域幅の増加による配信スケジュールの変化に対応したスケジューリング手法を提案する。提案手法では、使用できる帯域幅の変化量に合わせて放送中にスケジューリングを更新することで、データの配信環境の変化に対応する。また、既存のスケジューリング手法と待ち時間の比較評価を行い、提案手法の有効性を示す。

## 1. はじめに

近年のインターネット放送の普及にともない、音声や映像で構成された動画データを放送形式で配信する研究が多数行われている。放送形式の配信では、一般に、サーバは周期的に同じデータを繰り返し放送する。複数のクライアントに同じデータをまとめて配信できるため、同じデータの受信を要求するクライアント数が多い場合に有効な手段であるが、クライアントは所望のデータが放送されるまで待つ必要がある。このため、クライアントがデータを途切れずに再生できることを考慮した上で、この待ち時間を短縮するさまざまな手法が提案されている。これらの研究では、使用できる帯域幅や再生レートを考慮して動画データを分割し、複数のチャンネルを用いて放送することで、受信にかかる待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案している。

これまでのスケジューリング手法のほとんどは、放送を開始する前に配信スケジュールを決定し、放送開始後は配信スケジュールを変更しない配信環境を想定していた。サーバは、データを配信するネットワーク環境に応じて、使用できる帯域幅をもとに固定されたチャンネル数を設定する。また、クライアントの再生レートを考慮して、データ

をいくつかの部分に分割し、複数のチャンネルで繰り返し配信するためのスケジュールを作成する。このため、配信スケジュールを決定して放送を開始した後は、サーバは放送を終了させるまでスケジューリングを変更できない。

しかし、実際のネットワーク環境で放送形式による配信を行う場合、サーバが使用できる帯域幅は放送中に変化する場合がある。例えば、以下のような配信環境の変化が考えられる。

- これまでに放送していたコンテンツの配信が終了し、使用していたチャンネルの帯域幅を別の放送中のコンテンツの配信に使用できるようになった。
- 視聴率が高いコンテンツデータを配信するため、より多くの帯域幅を割り当てる必要が生じた。
- 地震速報や報道速報といった緊急性が高い放送を行うため、現在の放送で使用している帯域幅に加えて、他のチャンネルから帯域の一部を利用する必要が生じた。

放送中にスケジューリングを更新する場合、更新前のデータを再生している間に途切れが発生したり、データ再生開始までの待ち時間が一時的に長大化することが考えられる。このとき、スケジューリングを更新する時点で視聴しているクライアント、およびスケジュールを更新してすぐに視聴を要求するクライアントが再生を開始できるまでの待ち時間は長くなるため、問題である。

本研究では、放送形式によるデータの分割配信において、

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

使用できる帯域幅の増加を考慮して配信スケジュールを放送中に更新するスケジューリング手法を提案する。提案手法では、スケジューリングの更新が要求された時点で、使用できる帯域幅の増加分で作成したチャンネルを用いて、データの初めの部分をすぐに配信する。また、これまでに使用していたチャンネルで更新後のスケジューリングをできるだけ早く開始できるように、配信スケジュールを作成する。クライアントは、帯域幅を最大限利用してチャンネルからデータを受信できるため、これまでのスケジューリング手法に比べて待ち時間を短縮できる。更新が要求された時点では、他のチャンネルは更新前のデータを配信しているため、更新後の配信スケジュールへの切り替えにともない待ち時間の長大化が考えられる。評価では、この待ち時間について、これまでのスケジューリング手法と比較し、提案手法の有効性を示す。

本論文は、以下のように構成される。2章で、放送形式の配信で待ち時間が発生する仕組みについて述べ、3章で関連研究を説明する。4章で既存のスケジューリング手法の問題点について述べ、5章で提案手法を説明する。6章で評価を行い、最後に7章で本論文をまとめる。

## 2. 動画データの配信方式

### 2.1 放送形式の配信

動画データの配信方式において、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放送形式で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、クライアントは所望のデータが配信されるまで待つ必要がある。放送形式の配信方式について、待ち時間が発生する様子を図1に示す。右に行くほど時間が経過している。放送形式の配信では、サーバは複数のクライアントにデータを繰り返し配信する。このため、クライアントがデータの受信をサーバに要求してから受信を完了するまでの間に待ち時間が発生する。データを繰り返して放送している場合、この待ち時間は、最大で動画データの放送時間の1周期分だけ発生する。例えば、サーバが1.5 Mbpsの帯域幅を用いて、再生レートが0.9 Mbpsで再生時間が3分の動画データを1つのチャンネルで配信する場合、1.8分の待ち時間が発生する。

### 2.2 分割配信

放送形式の配信で発生する待ち時間を短縮するため、動画データをセグメントと呼ばれるいくつかの部分に分割して、複数のチャンネルで配信する分割配信が考えられてきた[2], [3], [4], [5]。分割配信では、データの初めのセグメントを頻繁に繰り返し配信することで、一続きの動画データを分割せずに配信する場合に比べて待ち時間を短縮する。

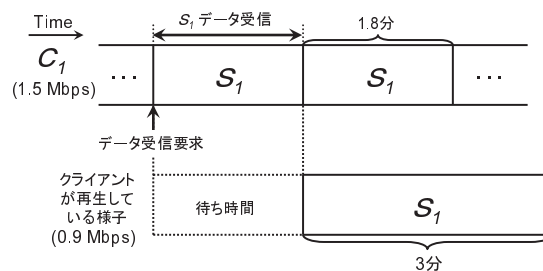


図1 放送形式によるデータ配信例

Fig. 1 An example of broadcasting situation under simple method.

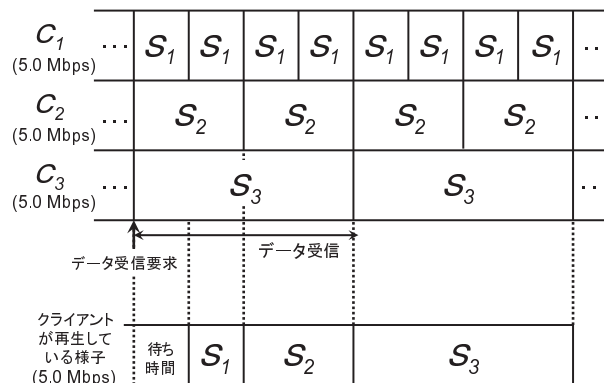


図2 FB法のスケジューリング例

Fig. 2 An example of broadcasting situation under FB method.

また、データの分割比率が偏って再生中に途切れが発生しないようにするため、スケジューリング手法を用いてデータの分割比率を決定する。

分割配信において、クライアントが動画データの受信要求を出してから再生が終了するまでの様子を図2に示す。サーバは、スケジューリング手法であるFast data Broadcasting (FB)法[6]を用いて、データを3分割して放送する場合を考える。FB法では、各チャンネルの帯域幅は再生レートと同じ大きさとなるため、サーバが使用する帯域幅は、合計で $5.0 \times 3 = 15$  Mbpsとなる。 $S_1$ は、動画データを $S_1, S_2$ , および $S_3$ に3分割したときの1番目のセグメントであり、再生時間が1分のデータである。また、 $S_2$ は2番目のセグメントで2分、 $S_3$ は3番目のセグメントで4分である。各セグメントの再生時間は計算式で求められる。 $C_1, C_2$ , および $C_3$ は、 $S_1, S_2$ , および $S_3$ をそれぞれ繰り返し放送するチャンネルである。クライアントの再生レートは5.0 Mbpsとする。図2において、クライアントがサーバにデータの受信を要求すると、すべてのチャンネルを使用して $S_1, S_2$ , および $S_3$ の受信を同時に開始する。クライアントは、 $S_1$ の受信完了と同時に $S_1$ の再生を開始できる。また、 $S_1$ の再生終了と同時に $S_2$ の受信を完了できるため、 $S_1$ の再生終了後、途切れなく続けて $S_2$ および $S_3$ を再生できる。このとき、待ち時間は $S_1$ を受信する時間(1分)のみとなる。

### 3. 関連研究

放送形式の配信において、動画データを分割することで待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法はいくつか提案されている。BroadCatch [7] では、放送するデータを  $2^{K-1}$  個のセグメントに等分割して、再生レートと等しい  $K$  個のチャネルを用いて繰り返し放送する。チャネルによって放送するデータの大きさを変えたり、再生開始時刻をずらすことで、クライアントが再生を開始するまでにかかる待ち時間を短縮する。しかし、使用する帯域幅がチャネルの数に比例するため、帯域幅に上限がある場合、放送に使用するチャネルの数を確保できない可能性がある。

HB (Harmonic Broadcasting) 法 [8] では、動画データを  $N$  個のセグメント  $S_1, \dots, S_N$  に等分割する。さらに、 $S_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) を  $M$  個のサブセグメント  $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$  に等分割し、 $N$  個のチャネル  $C_1, \dots, C_N$  を用いて、 $C_i$  で  $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$  を繰り返して放送する。例えば、衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて、MPEG2 で符号化された 5.0 Mbps の 60 分の連続メディアデータを放送する場合、 $N = 67$  となり、67 個のチャネルが必要になる。

BE-AHB (Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [9] は、分割配信におけるスケジューリング手法である。サーバが利用できる帯域幅とクライアントの再生レートをもとに、動画データをいくつかの部分に分割することで、データを途切れなく放送できる。

Heterogeneous Receiver-Oriented Broadcasting (HeRO) [10] では、各セグメントのデータが  $1, 2, 2^2, \dots, 2^{K-1}$  になるように、データを  $K$  個のセグメントに分割する。利用できる帯域幅が小さいクライアントが再生を開始するまでに発生する待ち時間に着目した手法である。しかし、 $K$  番目のチャネルで放送するデータのサイズは全体の約半分の大きさになるため、クライアントが受信を要求するタイミングによって、再生中に途切れが発生する可能性がある。

Optimized Heterogeneous Periodic Broadcast (OHPB) 法 [11] では、受信を要求するすべてのクライアントが利用可能な帯域の平均と、新たに受信を要求するクライアントが利用可能な帯域に着目している。クライアントがデータの受信を要求すると、サーバは一定かつできるだけ高い再生品質を得られる帯域をその都度算出して割り当てる。このとき、データの受信時間と再生時間の差が小さくなるため、クライアントは待ち時間を短縮できる。

また、ユーザがコンテンツを選択して視聴する選択型コンテンツを用いた放送形式の配信におけるスケジューリング手法として、CCB-CB (Contents Cumulated Broadcasting Considering Bandwidth) 法 [13] がある。CCB-CB 法では、再生レートと等しい帯域幅のチャネルをできるだけ

確保することで、待ち時間を短縮している。根から順に、各深さで状態数が一番小さいコンテンツを視聴順序として選択した場合に、途切れなく再生できることを考慮し、視聴順序上のコンテンツを優先的に放送する。

我々の研究グループでは、動画データの分割配信において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案してきた [14], [15]。これらのスケジューリング手法では、動画データを複数の部分に分割して複数のチャネルで繰り返し放送することで待ち時間を短縮しているが、放送中に配信スケジュールを更新することを考慮したスケジューリングではない。

### 4. スケジューリングの動的更新における課題

#### 4.1 概要

本章では、放送中の配信スケジュールを動的に更新する場合の課題について述べる。これまでのスケジューリング手法のほとんどは、放送開始前に使用するスケジューリング手法を用いてデータを複数のセグメントに分割し、複数のチャネルに割り当てて繰り返し放送していた。しかし、これまでのスケジューリング手法では、放送中に動画データを更新することを考慮していない。このため、放送開始後にデータの配信スケジュールを更新する場合、放送をいったん中断して、更新後に用いる配信スケジューリングをもとに、動画データを分割したセグメントをチャネルに割り当てて、放送を再開する必要がある。この場合、更新前の動画データを視聴していたユーザは、再生が途切れて残りの部分を再生できなくなる可能性がある。また、更新後の動画データの視聴を要求しても、すべてのチャネルで更新後の配信スケジュールが開始されるまでは待ち時間が長大化する場合が考えられる。

例えば、サーバが放送中に配信スケジュールを更新する場合のスケジューリング例を図 3 に示す。2.2 節と同様に、FB 法 [6] を用いて、データを 3 分割して放送する。また、時刻  $t_1$  に帯域幅が 5.0 Mbps のチャネル  $C'_1$  が追加され、スケジューリングが更新される場合を考える。更新後のデータ再生は、 $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4$  の順番で行われるとする。既存のスケジューリング手法では、放送中のチャネルで配信しているセグメントのうち、利用できる帯域幅が追加された時刻からもっとも遅くに放送周期が終了するセグメントの放送終了時刻に合わせて、更新後の配信スケジュールの開始時刻が決定される。このため、サーバは、時刻  $t_1$  にスケジューリングの更新が要求されても、スケジューリングをすぐに更新できない。サーバは、これまでに配信していたすべてのセグメントの放送周期が終了する時刻  $t_2$  までスケジューリングの更新を待つ必要があり、待ち時間は  $t_2 - t_1$  の分だけ長大化する。

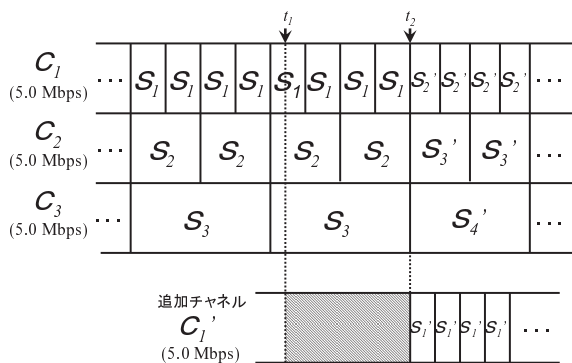


図 3 放送中のスケジューリング更新例

Fig. 3 An example of a broadcast re-schedule under simple method.

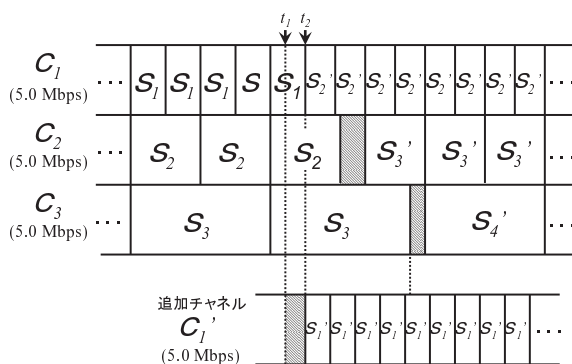


図 4 SCT 法の放送スケジュール例

Fig. 4 An example of a broadcast schedule under SCT method.

## 4.2 既存研究

放送中に配信スケジュールを更新する手法として、Seamless Channel Transition (SCT) 法が提案されている。SCT 法は、既存のスケジューリング手法である FB 法 [6] の考え方を採用している。放送開始時には FB 法でスケジューリングし、更新後の配信スケジュールの作成にも FB 法を用いる。図 4 に、既存手法 SCT 法で配信する場合のスケジューリングの例を示す。サーバは、使用できる帯域幅として 15 Mbps を用いて、再生レートが 5.0 Mbps の動画データを配信すると想定する。FB 法では、各チャンネルの帯域幅は再生レートと同じ大きさとなるため、図 4 の例で、サーバが使用するチャンネル数は 3 となる。また、FB 法は、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  $k$  ( $k \geq 1$ ) セグメントのデータサイズの比率を  $2^{k-1}$  とするスケジューリング手法である。このため、 $C_1, \dots, C_4$  をチャンネルとすると、 $C_1, \dots, C_4$  でそれぞれ配信するセグメント  $S_1, \dots, S_4$  の分割比率は、1 : 2 : 4 : 8 となる。各データの再生時間は、計算式で求められる。

図 4 に示すように、SCT 法では、これまでのスケジューリング手法で考慮していた放送中のすべてのチャンネルの放送周期ではなく、初めのセグメントを放送しているチャンネルの放送終了時刻に着目している。例えば、時刻  $t_1$  にチャンネル  $C'_1$  が追加される場合、 $S_1$  の放送終了時刻となる時刻

$t_2$  に  $S'_1$  の放送を開始する。以降は、 $S'_1, S'_2, S'_3$  の放送終了時刻に合わせて、 $S'_2, S'_3, S'_4$  の放送をそれぞれ開始する。図 3 と比較して、放送中のすべてのチャンネルの放送周期を考慮しないため、これまでのスケジューリング手法よりも待ち時間を短縮できる。

## 4.3 既存手法 SCT 法の課題

既存研究 SCT 法は、FB 法の放送スケジュールを用いるため、チャンネルの帯域幅と再生レートは等しくなければならない。このため、追加する帯域幅について、SCT 法では再生レート未満となる帯域幅は利用できず、問題である。また、追加するチャンネルを含め、すべてのチャンネルで変更前のスケジューリングの影響を受ける。以降の節で、SCT 法の課題について詳しく述べる。

### 4.3.1 使用できる帯域幅

サーバは、放送中に使用できる帯域幅が増加すると、これまでに使用していたチャンネルと合わせたスケジューリングを行う。SCT 法では、各チャンネルの帯域幅は再生レートと等しくする必要があった。このため、4.2 節で述べたスケジューリングの場合、再生レートである 5.0Mbps 以上の帯域幅が追加されなければ新たにチャンネルを追加できない。例えば、追加する帯域幅が 4.0Mbps、再生レートが 5.0Mbps の場合、追加する帯域幅が再生レートを下回るため追加チャンネルを確保できず、追加分である 4.0Mbps は利用できない。一方、追加する帯域幅が再生レートを上回る場合、再生レートを同じ帯域幅のチャンネルをできるだけ多く作成することになるが、再生レート未満の帯域幅は利用できない。例えば、追加する帯域幅が 9.0Mbps、再生レートが 5.0Mbps の場合、追加チャンネルとして 1 つ確保できるが、残りの帯域幅である 4.0Mbps は利用できない。

### 4.3.2 更新後のスケジューリングへの影響

データ放送中に使用できる帯域幅が変化すると、配信スケジュールを更新しなければ追加分の帯域幅を有効に利用できない。なぜなら、更新前の配信スケジュールは、再生レートや使用できる帯域幅、および使用するチャンネル数といった多くの要素をもとに、再生中に途切れが発生しないようにデータの分割比率を決定するためである。一方で、放送中に配信スケジュールを更新すると、更新要求時刻からすべてのチャンネルで更新後の配信スケジュールが開始されて放送が安定状態になるまでの間で、データ再生中に途切れが発生する可能性がある。このとき、待ち時間はさらに長くなる。

SCT 法では、初めのセグメントを放送しているチャンネルの放送終了時刻を考慮して配信スケジュールを作成する。このため、追加チャンネルを含めすべてのチャンネルで更新前のスケジューリングの影響を受ける。そこで、追加チャンネルにおける更新前のスケジューリングの影響を最小にして、追加する帯域幅を最大限利用することで、より効率的

なスケジューリングを実現できる。

## 5. 提案手法

### 5.1 概要

動画データの分割配信において、放送中に配信スケジュールを更新できるスケジューリング手法として、Hierarchical Real-time Broadcasting (HRB) 法を提案する。提案手法 HRB 法では、放送中に使用できる帯域幅が追加された時点で、追加された帯域幅を最大限利用してチャンネルを追加する。また、更新が要求された時点で追加分のチャンネルの配信をすぐに開始することで、各チャンネルで配信するセグメントのデータサイズをより小さくできる。また、各チャンネルについて、更新前の配信スケジュールが終了する契機で更新後のスケジューリングを反映することで、更新後のスケジューリングへ移行する際の影響を抑制し、待ち時間を短縮する。

### 5.2 想定環境

スケジューリング手法を提案するにあたって、想定する環境を箇条書きで示す。

- サーバが放送に使用できる帯域幅は上限がある。
- 動画データは受信開始と同時に再生できず、セグメントの受信を完了しなければ再生を開始できない。
- サーバは擬似オンデマンド型の放送を行い、複数のチャンネルを用いてセグメントを繰り返して放送する。
- クライアントがデータの再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できる。
- クライアントはバッファを持ち、受信したデータを再生している間も放送されているデータを受信し、バッファに保存できる。

各チャンネルでデータを受信する場合、各ブロックの先頭から受信できなくても、そのブロックの放送時間分のデータを受け取ればすべてを受け取ることができると仮定する。これは、各チャンネルは、時分割でチャンネルが構成される論理的なチャンネルを想定しているためである。

既存手法である SCT 法においても、放送中の配信スケジュールの更新を想定しているが、本研究では、チャンネルの帯域幅をパラメータとして与えることで、帯域幅を最大限に利用する点が異なる。SCT 法では、チャンネルの帯域幅は再生レートと等しくなるように固定されている。

### 5.3 スケジューリング手順

提案手法では、使用する帯域幅とチャンネル数の関係から、各チャンネルの帯域幅はすべて等しくなるように割り当てる。また、各チャンネルの帯域幅と再生レートの関係をもとに、各チャンネルで配信するセグメントの放送周期を算出してスケジューリングする。このとき、クライアントはデータの受信を要求すると、初めのセグメントの再生を開始した後

表 1 定式化のための変数

記号	説明
$B$	サーバの帯域幅
$B'$	追加する帯域幅
$r$	再生レート
$S_i$	セグメント, $i = 1, \dots, n$
$S'_i$	更新後のセグメント, $i = 1, \dots, m + n$
$D$	動画データの再生時間
$n$	更新前のチャンネル数, $n = \lceil \frac{B}{r} \rceil$
$m$	追加チャンネル数, $m = \lceil \frac{B'}{r} \rceil$
$d_i$	$S_i$ の再生時間, $i = 1, \dots, n$
$d'_i$	$S'_i$ の再生時間, $i = 1, \dots, m + n$
$C_i$	チャンネル
$C'_i$	追加チャンネル
$b$	$C_i$ の帯域幅
$b'$	$C'_1$ の帯域幅

は、順番にセグメントを再生し、途切れなく最後まで視聴できる。また、放送中にスケジューリングの更新が要求された時点では、追加する帯域幅から各チャンネルの帯域幅と等しいチャンネルをできるだけ多く作成する。また、残りの帯域幅も一つのチャンネルとして作成した上で、初めの部分のセグメントを放送できるようにスケジューリングする。

提案手法のスケジューリング手順は、以下の通りである。スケジューリングは、放送開始時と放送中のスケジューリング更新時の二つに分けて行う。各記号の意味を表 1 に示す。

- 放送開始時

- (1)  $n$  個のチャンネル  $C_1, \dots, C_n$  を用いる。式 (1) に従い、 $C_1, \dots, C_n$  の帯域幅  $b$  を算出する。

$$b = \frac{B}{n} \quad (1)$$

- (2)  $n$  個のチャンネルから同時に受信できるクライアントが最後まで途切れずに再生できるように、 $S_i$  の再生時間  $d_i$  を算出する。

$$d_i = D \times \frac{(1 + \frac{b}{r})^{i-1} \times \frac{b}{r}}{(1 + \frac{b}{r})^n - 1} \quad (2)$$

- 放送中のスケジューリング更新時

- (1) 追加する帯域幅  $B'$  を分割する。このとき、更新前の各チャンネルと同じ大きさの帯域幅をできるだけ確保するため、 $C'_2, \dots, C'_m$  の帯域幅は  $b$ 、 $C'_1$  の帯域幅  $b'$  は  $B' - b \times (m - 1)$  とする。

- (2)  $m + n$  個のチャンネルから同時に受信できるクライアントが最後まで途切れずに再生できるように、 $S'_i$  の再生時間  $d'_i$  を算出する。

- (i)  $i = 1, \dots, m$  のとき

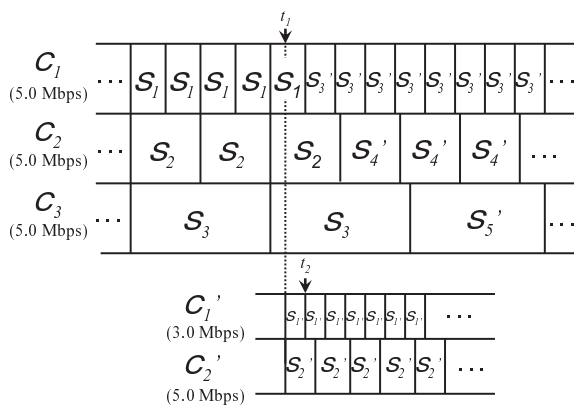


図 5 提案手法 HRB 法のスケジューリング例

Fig. 5 An example of a broadcast schedule under HRB method.

$$d'_i = D \times \frac{(1 + \frac{b}{r})^{i-1} \times (1 + \frac{b'}{r})}{1 + (1 + \frac{b'}{r}) \times \frac{(1 + \frac{b}{r})^{n-1} - 1}{\frac{b}{r}}} \quad (3)$$

(ii)  $i = m + 1, \dots, n$  のとき

$$d'_i = D \times \frac{(1 + \frac{b}{r})^{i-1} \times (1 + \frac{b'}{r})}{1 + (1 + \frac{b'}{r}) \times \frac{(1 + \frac{b}{r})^{n-1} - 1}{\frac{b}{r}}} \quad (4)$$

(3)  $d'_i$  を用いて,  $S'_1, \dots, S'_{m+n}$  を  $C'_1, \dots, C'_m$ , および  $C_1, \dots, C_n$  で繰り返し放送する.  $S'_{m+1}, \dots, S'_{m+n}$  については, 各チャンネル  $C_1, \dots, C_n$  で時刻  $t_0$  までに放送していた  $S_1, \dots, S_n$  の放送終了後にスケジューリングを更新する.

以上の手順でスケジューリングを行う.

#### 5.4 導入方法

図 5 に, 提案手法 HRB 法で配信する場合のスケジューリング例を示す. 4.2 節と同じように, 15 Mbps の帯域幅を用いて, 再生レートが 5.0 Mbps の動画データを放送する場合を想定する. 5.3 節のスケジューリング手順により, 式 (1) で  $C_1 = C_2 = C_3$  で 5.0 Mbps となる. 提案手法では, 式 (2) で 3 個のセグメントの再生時間を算出し, スケジューリングする. 次に, 時刻  $t_0$  に 8.0Mbps が追加された場合を考える. このとき, 再生レートと同じ帯域幅のチャンネルをできるだけ多く確保するため,  $C'_1 = 3.0$  Mbps,  $C'_2 = 5.0$  Mbps の 2 つのチャンネルが追加される. 式 (3), (4) をもとに,  $C'_1$  で  $S'_1$ ,  $C'_2$  で  $S'_2$  をスケジューリングする. 同様に, これまで放送に使用していた  $C_1, \dots, C_3$  で  $S'_3, \dots, S'_5$  をそれぞれスケジューリングする.  $C_1, \dots, C_3$  については, これまでに放送していた  $S_1, \dots, S_3$  の放送周期が終了した時点で, 更新後のセグメントにそれぞれ切り替えて放送する.

### 6. 評価

#### 6.1 概要

提案する HRB 法の評価を行う. はじめに, HRB 法の

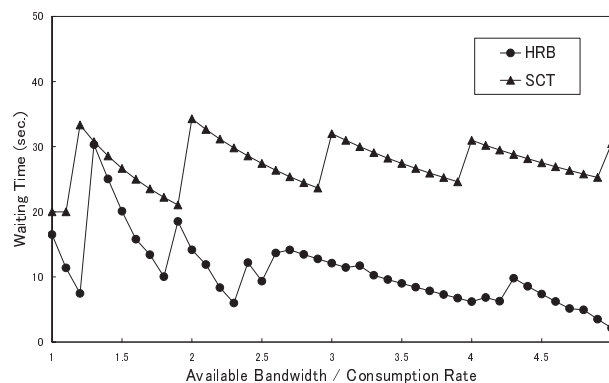


図 6 待ち時間と帯域幅

Fig. 6 The waiting time and available bandwidth.

パラメータに対する待ち時間の変化を示し, 既存手法である SCT 法との比較を行う. グラフに示す待ち時間は, 計算機によるシミュレーション結果である.

#### 6.2 帯域幅

平均待ち時間は使用できる帯域幅に依存するため, その影響を調べた. 結果を図 6 に示す. 縦軸は待ち時間, 横軸は使用できる帯域幅を再生レートで除した値である. “HRB” は提案手法 HRB 法の待ち時間, “SCT” は既存手法である SCT 法の待ち時間である. HRB 法で使用するチャンネル数は 5 とする. 再生レートは 5.0Mbps, データの再生時間は 60 秒, スケジュールの更新時刻とクライアントの要求時刻はともに放送開始後 30 秒とする. また, 追加する帯域幅は 8.0Mbps とする.

図 6 より, 使用できる帯域幅が大きいほど待ち時間は徐々に短くなり, HRB 法の待ち時間は SCT 法よりも短くなるのが分かる. HRB 法では, 使用できる帯域幅と再生レートの関係を考えてスケジューリングを行うため, 使用できる帯域幅が増加するほど待ち時間を短縮できる. 一方, SCT 法では, ある一定の範囲で待ち時間が変化しているのが分かる. SCT 法は, 再生レートと同じ帯域をもつチャンネルをもとにスケジューリングを行うため, 横軸が整数値になるときに大きく変動している. しかし, 使用できるチャンネルの数が増えるとスケジューリングが変化し, この変化にともなう途切れが発生するため, 待ち時間が増加する. このため, SCT 法は, 一定の範囲で発生する待ち時間を想定したスケジューリング手法であるといえる. 例えば, 使用できる帯域幅が 12.5 Mbps の場合, HRB 法の待ち時間は 9.3 秒, SCT 法は 27.4 秒となり, 待ち時間を 66.1 % 短縮できる.

#### 6.3 追加する帯域幅

更新時刻で追加する帯域幅の大きさにより, 待ち時間は変化すると考えられる. そこで, 追加する帯域幅による待ち時間への影響を調べた. 使用できる帯域幅は 8.5Mbps

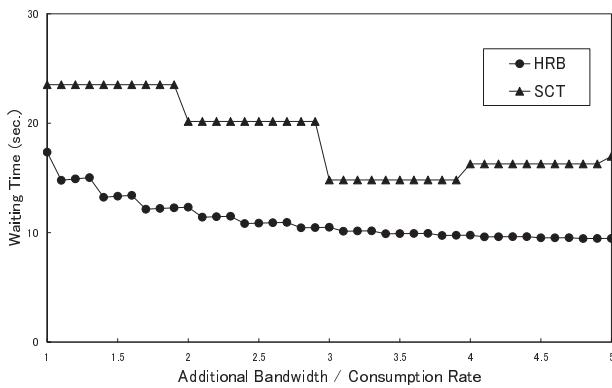


図 7 待ち時間と追加する帯域幅

Fig. 7 The waiting time and additional bandwidth.

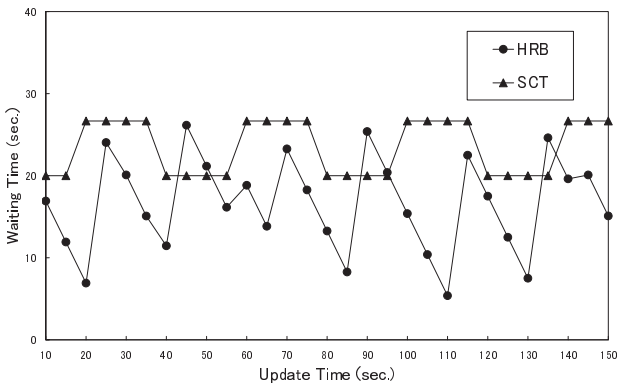


図 8 待ち時間と放送スケジュールの更新時刻

Fig. 8 The waiting time and update time.

とし、他のパラメータについては、6.2 節と同じである。結果を図 7 に示す。縦軸は待ち時間、横軸は更新時刻で追加する帯域幅である。“HRB”は提案手法 HRB 法の待ち時間、“SCT”は既存手法である SCT 法の待ち時間である。

図 7 より、HRB 法では、追加する帯域幅が増加するとチャンネル数は増加し、データの分割数は増加する。このため、 $S'_1$  のデータサイズは小さくなり、待ち時間を短縮できる。一方、SCT 法では、追加する帯域幅の増加による待ち時間への影響は HRB 法より小さいことがわかる。例えば、追加する帯域幅が 12.5 Mbps の場合、HRB 法の待ち時間は 10.9 秒、SCT 法は 20.2 秒となり、待ち時間を 46.0 % 短縮できる。

#### 6.4 更新時刻

放送のスケジュールが変更される時刻の変化により、待ち時間に影響を与えられられる。そこで、スケジュールリングの更新が要求される時刻に応じて、待ち時間の変化がどの程度になるか評価を行った。使用できる帯域幅は 7.5Mbps とし、他のパラメータについては、6.2 節と同じである。結果を図 8 に示す。縦軸は待ち時間、横軸は更新時刻である。

図 8 より、多くの更新時刻の場合で、HRB 法の待ち時間は SCT 法に比べて短縮できる。HRB 法は、使用でき

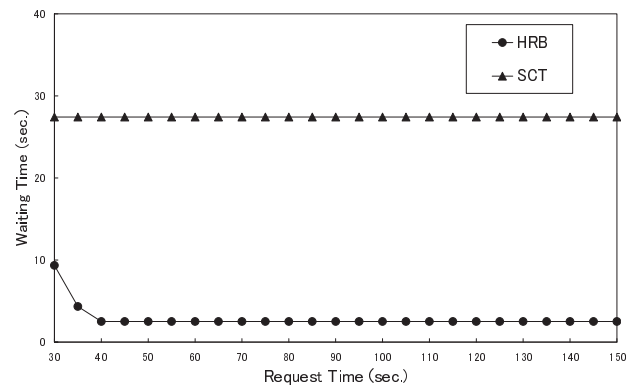


図 9 待ち時間とクライアントのデータ要求時刻

Fig. 9 The waiting time and request time.

る帯域幅を最大限利用して配信スケジュールを作成するため、更新時刻の変化による待ち時間の変化は、SCT 法に比べて大きい。このため、いくつかの場合で SCT 法よりも待ち時間は長くなった。一方、SCT 法は、ほぼ 40 秒おきに待ち時間が変動した。これは、FB 法を用いて一定の比率でデータが分割されているためであり、今回の評価では、待ち時間は 20 秒もしくは 26.7 秒のどちらかであった。

#### 6.5 クライアントのデータ要求時刻

クライアントがデータを要求する時刻の変化が待ち時間に影響を与えられられる。そこで、データ要求時刻の変化にともなう待ち時間の変化がどの程度になるか評価を行った。使用できる帯域幅は 15Mbps とし、他のパラメータについては、6.2 節と同じである。結果を図 9 に示す。縦軸は待ち時間、横軸はクライアントのデータ要求時刻である。

図 9 より、HRB 法では、更新時刻後すぐにデータを要求した場合は待ち時間の長大化が起きているが、データ要求時刻が更新時刻から 10 秒経過すると、ほぼ一定となるのがわかる。更新時刻の時点では、すべてのチャンネルで更新後のスケジュールリングが開始されておらず、特に後半部のセグメントの再生で待ち時間が発生する。一方、SCT 法では、待ち時間は一定であった。SCT 法は、HRB 法と同様に、更新時刻の時点ではスケジュールリングの影響を受けるが、再生開始までの待ち時間が HRB 法より長く、スケジュールリングの更新による影響は小さい。

#### 6.6 データ再生時間

データの再生時間が長くなるとデータサイズは増加するため、待ち時間は長大化する。そこで、データの再生時間の長大化による待ち時間の変化がどの程度になるか評価を行った。使用できる帯域幅は 15Mbps とし、他のパラメータについては、6.2 節と同じである。結果を図 10 に示す。縦軸は待ち時間、横軸はデータの再生時間である。

図 10 より、データの再生時間が長くなると、待ち時間

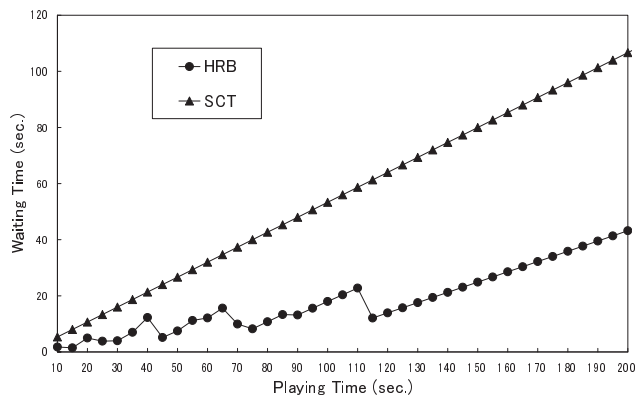


図 10 待ち時間とデータ再生時間

Fig. 10 The waiting time and playing time.

は HRB 法および SCT 法のどちらの場合も長くなること  
がわかる。HRB 法は、再生レート未満の帯域幅も使用し  
て配信スケジュールを作成するため、データの再生時間の  
長大化による影響は小さい。一方、SCT 法は、6.2 節で説  
明したように、使用できる帯域幅が増加しても待ち時間は  
一定の範囲で変化する。このため、データの再生時間の変  
化による待ち時間への影響は大きく、待ち時間はデータの  
再生時間の長大化にほぼ比例して長くなる。

## 7. おわりに

本研究では、動画データを用いた放送形式の分割配信に  
おいて、使用できる帯域幅の増加に応じて放送中に配信ス  
ケジュールを効率的に更新できるスケジューリング手法  
を提案し、評価した。提案手法 HRB 法は、放送中にスケ  
ジューリングの更新が要求された時点で、追加された帯域  
幅を最大限利用してできるだけ多くのチャンネルを作成す  
る。このとき、更新後の配信スケジュールによる配信がす  
ぐに開始できるようにスケジューリングできる。また、各  
チャンネルについて、更新前の配信スケジュールが終了す  
る時点で配信スケジュールができるだけ早く更新できるよ  
うにすることで、スケジュールの更新による影響を抑制し、  
待ち時間を短縮する。評価の結果、データの再生時間が 60  
秒、追加する帯域幅が 8.0Mbps、使用できる帯域幅が 15  
Mbps で、放送開始 30 秒後にスケジューリングが更新さ  
れる場合、HRB 法の待ち時間は既存手法 SCT 法に比べて  
66.1% 短縮できることを確認した。

今後の予定として、放送中に使用できる帯域幅が削減さ  
れる場合のスケジューリング手法や、複数の動画データを  
放送する場合のスケジューリング手法を考えている。

## 参考文献

[1] 総務省: 情報通信白書平成 24 年版 (2012).  
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/index.html>.

[2] Gotoh Y., Yoshihisa T., and Kanazawa M.: A Scheduling Method Considering Available Band-

width in Selective Contents Broadcasting, *IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC2007)*, pp.2597-2602 (2007).

[3] Jinsuk B., and Jehan F.P.: A Tree-Based Reliable Multicast Scheme Exploiting the Temporal Locality of Transmission Errors, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conf. (IPCCC2005)*, pp.275-282 (2005).

[4] Viswanathan S., and Imilelinski T.: Pyramid broadcasting for video on demand service, *Proc. Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95)*, Vol.2417, pp.66-77 (1995).

[5] Zhao Y., Eager D.L., and Vernon M.K.: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. IEEE INFOCOM*, Vol.3, pp.1522-1533 (2004).

[6] Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.44, No.1, pp.100-105 (1998).

[7] Tantaoui M., Hua K., and Do T.: BroadCatch: A Periodic Broadcast Technique for Heterogeneous Video-on-Demand, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.50, Issue 3, pp.289-301 (2004).

[8] Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920-929 (2002).

[9] 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).

[10] Hua K.A., Bagouet O., and Oger D.: Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers, *Proc. Multimedia Computing and Networking (MMCN'03)*, Vol.5019, No.1, pp.220-231 (2003).

[11] Shi L., Sessini P., Mahanti A., Li Z., and Eager D.L.: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, *Proc. ACM Multimedia*, pp.22-27 (2006).

[12] Chien W.-D., Yeh Y.-S., and Wang J.-S.: Practical Channel Transition for Near-VOD Services, *Multimedia and Expo, 2004. ICME '04. 2004 IEEE International Conference on Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME'04)*, Vol.3, pp.1843-1846 (2004).

[13] 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).

[14] Gotoh Y., Suzuki K., Yoshihisa T., and Kanazawa M.: A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems, *Journal of Mobile Multimedia*, Vol.5, No.3, pp.255-270 (2009).

[15] Gotoh Y., Yoshihisa T., Taniguchi H., and Kanazawa M.: A Scheduling Method Considering Heterogeneous Clients for NVoD Systems, *Proc. Int. Conf. on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM2012)*, pp.232-239 (2012).