

近距離放送型配信における 待ち時間短縮のためのスケジューリング手法

後藤 佑介^{†1} 義久 智樹^{†2}
谷口 秀夫^{†1} 金澤 正憲^{†3}

近年の放送・通信融合環境の普及にともない、特定の場所で端末を利用するユーザに音声や映像といった連続メディアデータを配信する近距離放送型配信に対する注目が高まっている。近距離放送型配信では、サーバは限定された放送エリア内でユーザに対して有効な情報を効率的に配信できる。しかし、ユーザは随時移動しているため、放送エリアの外に出てしまうと番組を視聴できなくなる。ユーザが番組を最後まで視聴するためには、配信側はユーザの興味を引くスポット映像を番組の前半部に放送し、興味を持ったユーザに本編の映像を後半部で視聴してもらう必要がある。放送型配信では、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ため、この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されているが、近距離放送型配信ではこれまで検討されていなかった。スポット映像の再生終了後に発生する待ち時間が長くなると、スポット映像の再生が終了するまで途切れずに視聴できていたコンテンツの流れを妨げることになる。本論文では、近距離放送型配信において、受信時に発生する待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、本編映像の視聴時に許容される待ち時間に上限を設定し、各チャンネルの帯域幅を決定してスケジューリングすることで、待ち時間を一定値以下に短縮する。

A Scheduling Method for Waiting Time Reduction on Close-range Broadcasting

YUSUKE GOTOH,^{†1} TOMOKI YOSHIHISA,^{†2}
HIDEO TANIGUCHI^{†1} and MASANORI KANAZAWA^{†3}

Due to the recent popularization of digital webcast systems, close-range broadcasting using continuous media data, i.e. audio and video, has been attracted great attention. In close-range broadcasting, the server can deliver the movie such as useful information and advertisement effectively to many clients in a confined area. However, since users move around and they interrupt watching the movie by moving out of area, the server needs to deliver two types of data that one is a spot movie and the other is a main scene. In broadcasting

systems, generally, clients have to wait until their desired data is broadcast. Therefore, there are many researches to reduce the waiting time. Although several methods to reduce waiting time in continuous media data broadcasting are proposed, we do not consider the case of where clients play two types of data concurrently. In this paper, we propose a scheduling method to reduce the waiting time on close-range broadcasting. In our proposed method, by dividing the data and producing an effective broadcasting schedule according to the waiting time for starting the main scene between spot movie and main scene, the waiting time is reduced.

1. はじめに

近年の放送・通信融合環境の普及¹⁾にともない、特定の場所で端末を利用するユーザに音声や映像といった連続メディアデータを配信する近距離放送型配信に対する注目が高まっている。近距離放送型配信では、サーバは限定された放送エリア内に入るユーザに対して有効な情報を効率的に配信できる。ユーザは、端末を用いてエリア限定で放送される番組を視聴できる。しかし、ユーザは随時移動しているため、放送エリアの外に出てしまうと番組を視聴できなくなる。ユーザが番組を最後まで視聴するためには、配信側はユーザの興味を引くスポット映像を番組の前半部に放送し、興味をもったユーザには続きの映像として本編映像を後半部で視聴してもらう必要がある。

放送型配信では、一般に、クライアントはデータの受信を要求してから再生が開始されるまで待つ必要があるため、この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている。筆者らは、これまで、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スケジューリング手法を提案してきたが、2種類の連続メディアデータの再生中にユーザが視聴を待機する場合を考慮していなかった。2種類の連続メディアデータを連続して視聴する場合、スポット映像の再生時に発生する待ち時間（以下、再生開始待ち時間）の他に、前半部であるスポット映像の再生終了から後半部である本編映像の再生開始までの間に待ち時間（以下、本編開始待ち時間）が発生する。放送スケジュールを作成する場合、スポット映像を放送するチャンネルの帯域幅を大きくして再生開始待ち時間を一定の割合以上に短縮すると、本編

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

^{†2} 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

^{†3} 京都情報大学院大学
The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics



図 1 想定する近距離放送型配信の構成
 Fig.1 Assuming structure of close-range broadcasting.

映像を放送するチャンネルの帯域幅は相対的に増加し、本編開始待ち時間が大きく増加する。本編開始待ち時間が長くなると、スポット映像に興味を持ったユーザの視聴意欲が失われ、視聴を中止するユーザが増加する。このため、本編開始待ち時間を必要以上に長大化させないことが重要になる。

本論文では、近距離放送型配信において、受信時に発生する待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、ユーザが許容する本編開始待ち時間に上限を設定する。また、スポット映像と本編映像の再生時間を考慮して各チャンネルの帯域幅を決定し、放送スケジュールを作成することで、番組視聴時の待ち時間の合計を一定値以下に短縮する。

本論文は、以下のように構成される。2章で近距離放送型配信について説明し、3章で関連研究について説明する。4章では提案手法を説明し、5章で評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 近距離放送型配信

2.1 概要

本章では、近距離放送型配信について述べる。本論文で想定する近距離放送型配信の構成図を図1に示す。サーバは電波出力を制限して視聴範囲を限定することで、他のチャンネルとの干渉を抑え、限定されたエリアで音声や映像といった連続メディアデータを配信できる。ユーザは、端末を利用して視聴地域に応じた情報を受信できるため、利便性が向上する。

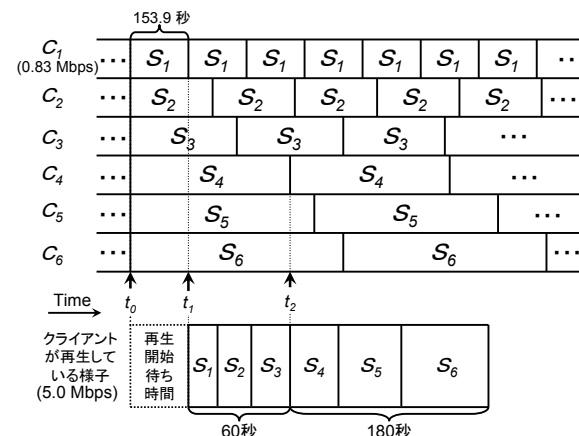


図 2 途切れが発生しない場合の例
 Fig.2 Example of broadcasting situation without interruption

2.2 待ち時間が発生する仕組み

本節では、待ち時間が発生する仕組みについて説明する。放送型配信では、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。受信要求からデータの最初の部分を受信するまでの間は受信開始を待つため、データを繰り返して放送している場合、この待ち時間は、連続メディアデータの受信時間分発生する。例えば、受信に60分かかる連続メディアデータを1つのチャンネルで受信する場合、60分の待ち時間が発生する。このため、一般的には、連続メディアデータを分割して、初めの部分を頻繁に放送することで、待ち時間を短縮している。このような放送形式を分割放送型と呼ぶ。分割放送型では、連続メディアデータをいくつかのセグメントに分割し、複数の放送チャンネルを用いて放送する。サーバは、データの初めの部分のセグメントを頻繁に放送することで、クライアントの待ち時間を短縮する。このような放送形態は、電波放送や帯域が保証されたIPマルチキャストといった放送を想定している。

分割放送型では、クライアントのデータ再生中に途切れが発生しないようにスケジュールリングすることが重要である。これまでの研究では、クライアントが使用できる帯域幅を用いて、複数のチャンネルから同時に受信することで、途切れのない再生を実現していた。このことについて、以下に説明する。

クライアントが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。理解しやすい例として、ここでは、サーバがBE-AHB法¹⁵⁾を用いて、スポット映像

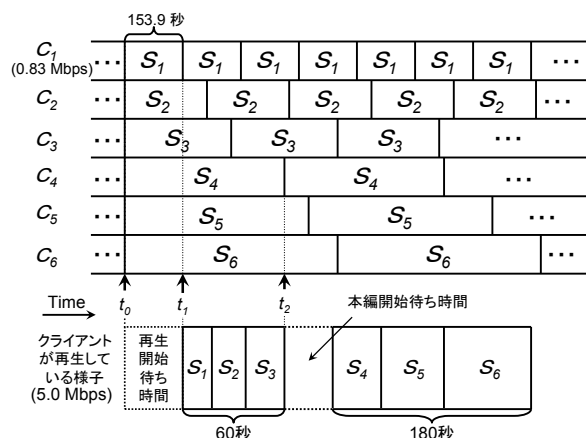


図 3 本編開始待ち時間を考慮する場合の例

Fig. 3 Example of broadcasting situation considering waiting time for starting the main scene

と本編映像をそれぞれ 3 分割し、計 6 つのチャンネルで放送する場合を考える。映像データは MPEG-2 で符号化されており、スポット映像の再生時間は 60 秒、本編映像の再生時間は 180 秒とする。BE-AHB 法では、各チャンネルの帯域幅はすべて等しい。使用するチャンネルを C_1, \dots, C_6 とし、使用できる帯域幅を 5.0 Mbps とすると、各チャンネルの帯域幅は $C_1 = \dots = C_6 = 5.0/6 = 0.83$ Mbps となる。再生レートは 5.0 Mbps とする。 S_1 は、連続メディアデータを S_1, \dots, S_6 に 6 分割したときの 1 番目の部分であり、再生時間が 25.5 秒のデータである。また、 S_2 は再生時間が 29.8 秒となり、 S_6 は再生時間が 55.3 秒のデータとなる。 S_1, \dots, S_6 のデータサイズは、数式で与えられる¹⁵⁾。 C_1 では、再生時間が 25.5 秒で再生レートが 5.0 Mbps の S_1 を 0.83 Mbps の帯域を用いて放送するため、 $25.5 \times 5.0/0.83 = 153.9$ 秒ごとに繰り返して放送する。同様に、 C_2 では $29.8 \times 5.0/0.83 = 179.5$ 秒、 C_6 では $55.3 \times 5.0/0.556 = 333.1$ 秒ごとに繰り返して放送する。BE-AHB 法の場合、最初のセグメントの受信が完了した後で再生を開始するため、6 分割して放送する場合の待ち時間は S_1 の受信時間のみとなり、153.9 秒となる。分割せずに放送する場合、再生時間が合計 240 秒で再生レートが 5.0 Mbps のデータを 5.0 Mbps の帯域を用いて放送するため、240 秒ごとに繰り返して放送することになり、待ち時間は 240 秒となる。このため、6 分割したときの平均待ち時間は、分割していない場合に比べて $(240 - 153.9)/240 \times 100 = 35.9\%$ 短縮できる。

これまでの手法では、クライアントのデータ再生中に途切れが発生しないようにスケジュー

リングを行っていた。しかし、1 章で説明したように、近距離放送型配信で 2 種類の連続メディアデータを連続して視聴する場合、再生開始待ち時間の他に、スポット映像の再生終了から本編映像の再生開始までの間に本編開始待ち時間が発生する。放送スケジュールを作成する場合、スポット映像を放送するチャンネルの帯域幅を大きくして再生開始待ち時間が一定の割合以上に短縮すると、本編を放送するチャンネルの帯域幅は相対的に増加し、本編開始待ち時間が長大化する。番組に興味をもったユーザは、本編開始待ち時間がある程度許容するが、本編開始待ち時間がユーザが許容する時間より長くなると、スポット映像に興味をもったユーザの視聴意欲が失われ、視聴を中止するユーザが増加する。既存手法で想定している放送スケジューリングは単一の連続メディアデータを対象としており、本編開始待ち時間を考慮していない。このため、本編開始待ち時間が必要以上に長大化させないことが重要になる。

本編開始待ち時間を考慮した場合のスケジューリングを図 3 に示す。本編開始待ち時間はスポット映像と本編映像の間に設定され、30 秒とする。先ほどの例と同様に、サーバは BE-AHB 法で分割したデータを複数のチャンネルを使用して繰り返して放送する。このとき、クライアントはスポット映像の最後の部分である S_3 の再生終了後に本編映像の最初部分である S_4 を再生できるが、本編開始待ち時間を考慮したスケジューリングではないため、待ち時間を効率的に短縮できない。本研究では、本編開始待ち時間の再生終了時刻にあわせて本編映像の再生を開始できるようにデータを分割して放送することで、データ受信時の待ち時間を短縮する。

3. 関連研究

近距離放送型配信を用いたサービスはいくつか提案されている。エリアワンセグ²⁾は、携帯端末に対応した地上デジタル放送の仕組みであるワンセグ技術を用いて、放送局とは別に半径 1 キロメートル程度の狭いエリアに限定して、独自の映像やデータを配信する。電波受信が限定された特定のエリア内で、放送場所や時間に適したコンテンツを配信することで、駅やスタジアムといった人が密集する場所で効果的に情報を配信できる。

スポットワンセグ³⁾は、エリアワンセグと同様に、特定のユーザに放送できるサービスである。エリアワンセグに比べて電波が微弱であるため、送信範囲が半径 1 メートル程度と限られているが、無線局免許は不要であるため、誰でも放送サービスを行うことができる。しかし、上記のサービスにおいて、データ受信時に発生する待ち時間を短縮する放送スケジューリングはこれまで提案されてこなかった。

次に、放送型配信において、受信中に発生する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⁴⁾⁻¹¹⁾。

Heterogeneous Receiver-Oriented Broadcasting (HeRO)¹²⁾ では、セグメントと呼ばれる分割したデータが $1, 2, 2^2, \dots, 2^{K-1}$ の比率になるように、データを K 個に分割する。使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 番目のチャン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。

BroadCatch¹³⁾ 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 個のチャンネルを用いて繰り返し放送する。各チャンネルで放送するデータサイズを変えたり、再生開始時刻をずらすことで、クライアントがデータの受信を要求してから再生を開始するまでにかかる待ち時間を減少させる。しかし、使用する帯域幅がチャン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ンネルの数を確保できない可能性がある。

HB (Harmonic Broadcasting) 法¹⁴⁾ では、連続メディアデータを N 個の部分に等分割する。分割したデータをセグメントと呼び、初めのセグメントから順に S_1, \dots, S_N で示す。さらに、 S_i ($i = 1, \dots, N$) を i 個のサブセグメント $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ に等分割し、 N 個のチャンネル C_1, \dots, C_N を用いて C_i で $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ を繰り返し放送する。例えば、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衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、 $N = 67$ となり、67 個のチャンネルが必要になる。

筆者らは、分割放送型配信におけるスケジューリング手法として、Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting (BE-AHB) 法¹⁵⁾ を提案してきた。この手法では、サーバが使用できる帯域幅とクライアントの再生レートをもとに、連続メディア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。

我々の研究グループでは、連続メディアデータの放送型配信において、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^{16),17)}。これらの手法では、連続メディアデータを複数の部分に分割して複数のチャン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、近距離放送型配信を対象としたスケジューリングではない。また、2 種類の連続メディアデータの再生中に発生する本編開始待ち時間を考慮していない。

4. 提案手法

4.1 概要

近距離放送型配信における連続メディアデータの待ち時間短縮手法として、CR-HB (Close-Range Harmonic Broadcasting) 法を提案する。提案手法では、再生中にデータの途切れが発生しないようにした上で、本編開始待ち時間を考慮して、スポット映像の放送に使用する

チャンネルの帯域幅をできるだけ大きくなるようにスケジューリングすることで、受信時の待ち時間を短縮する。

4.2 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。

- スポット映像と本編映像の 2 つの連続メディアデータを順番に再生する。
- スポット映像と本編映像の間に本編開始待ち時間を許容する。
- 放送帯域には制限がある。
- 連続メディアデータは受信開始と同時に再生できず、分割されたひとかたまりのデータ (セグメント) を受信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。

既存の BE-AHB 法および HeRO においても分割放送型配信を想定しているが、本研究では、本編開始待ち時間を利用してデータを受信する点が異なる。また、BE-AHB 法や HeRO では、使用する帯域幅に制限がない。使用する帯域幅に制限がある場合、チャンネルごとに使用できる帯域幅が減少し、待ち時間が増加する。

4.3 導入方法

本節では、連続メディアデータの近距離放送型配信における待ち時間短縮手法について説明する。用いる記号を表 1 に示す。

連続メディアデータの近距離放送型配信における待ち時間短縮問題は、スポット映像 (S_1) の受信時に発生する再生開始待ち時間と、 S_1 の再生終了から本編映像 (S_2) の受信完了までの本編開始待ち時間の合計ができるだけ短くなるようにスケジューリングすることである。これらの組み合わせは無数にあり、数学的に解くことは困難である。提案手法では、平均待ち時間が最短になるように各チャンネルで放送するデータのサイズを設定することで、待ち時間を効率的に短縮する。このとき、ユーザが許容する本編開始待ち時間を S_2 の受信時間として利用することで、 S_2 の受信時間を長くすることができ、 S_2 を放送するチャンネル C_2 の帯域幅を小さくできる。使用できる帯域幅に上限があるため、相対的に C_1 の帯域幅は大きくなり、 S_1 の受信時間は短縮されるため、再生開始待ち時間を短縮できる。本編開始待ち時間を考慮することで、各チャンネルの帯域幅の導出は複雑になるが、計算機シミュレーションで算出可能である。

表 1 定式化のための変数
Table 1 Variables for formulation

記号	説明
r	再生レート
N	セグメントの数
S_1	スポット映像のデータ
S_2	本編映像のデータ
s_{i-j}	S_i の j 番目のセグメント部分, $i = 1, 2, j = 1, \dots, N$
C_i	S_i を放送するチャンネル
$c_{i,j}$	s_{i-j} を放送するチャンネル
T_i	各映像の再生時間
$t_{i,j}$	s_{i-j} の再生時間
B_{total}	サーバが使用できる帯域幅
B_i	C_i の帯域幅
$b_{i,j}$	$c_{i,j}$ の帯域幅
α	許容される本編開始待ち時間の最大値

4.4 スケジューリング手順

本節では、提案手法のスケジューリング手順について説明する。提案手法では、想定する受信端末の環境に合わせてサーバの帯域を分割し、受信可能帯域を最大限利用するために、同時に複数個のチャンネルを使用してデータを受信することで、待ち時間を短縮する。提案手法の放送スケジュールは、以下の手順である。各記号の意味は表 1 に示している。スケジューリング手順の基本的なアイデアについては、4.3 節に記した。

- (1) サーバが使用できる帯域幅 B について、スポット映像のデータ S_1 を配信するチャンネル C_1 、本編映像のデータ S_2 を配信するチャンネル C_2 の 2 つのチャンネルに分割する。
- (2) 2 つの連続メディアデータ S_1, S_2 を再生時間が $t_{i,1}, \dots, t_{i,N}$ の N 個のセグメント s_{i-1}, \dots, s_{i-N} にそれぞれ分割する。
- (3) N 個のサブチャンネル $c_{i,1}, \dots, c_{i,N}$ を用いて、各サブチャンネルの帯域幅を $\frac{b_i}{N}$ ($j = 1, \dots, N$) としたとき、スポット映像の再生が終了するまでに本編映像のデータの受信が完了するように、各チャンネルで使用できる帯域幅を決定する。 C_1, C_2 の帯域幅をそれぞれ B_1, B_2 としたとき、許容される本編開始待ち時間の最大値 α を考慮して、 $c_{i,j}$ ($i = 1, 2$) の再生時間 $t_{i,j}$ を以下の式で与える。

$$t_{i,j} = \begin{cases} \left(1 + \frac{B_1}{N_r}\right)^{j-1} & (i = 1, 2 \leq j \leq N). \\ \frac{B_{total} - B_1}{N_r} \left\{ \left(1 + \frac{N_r}{B_1}\right) \times t_{1,N} + \alpha \right\}. & (i = 2, j = 1) \\ \left(1 + \frac{B - B_1}{N_r}\right)^{j-1} \times t_{2,1} & (i = 2, 2 \leq j \leq N). \end{cases}$$

なお、 T_i は以下の式で与えられる。

$$\begin{cases} T_1 = \sum_{j=1}^N t_{1,j}. \\ T_2 = \sum_{j=1}^N t_{2,j}. \end{cases}$$

- (4) (3) で算出した各チャンネルで放送するデータの再生時間とともに、待ち時間が最小になるように B_1, B_2 を決定する。 B_1, B_2 の算出方法については 5.2 節で説明するが、簡単な計算機シミュレーションで求められる。
- (5) $c_{i,j}$ で s_{i-j} を繰り返して放送する。
以上の手順でスケジューリングを行う。

4.5 導入例

連続メディアデータは、再生単位となるデータサイズごとに分割され、サーバが使用できる帯域幅にあわせて各チャンネルの帯域幅を調整する。また、CR-HB 法で作成した放送スケジュールをもとに、サーバは各チャンネルでデータを繰り返し放送する。

クライアントがサーバに連続メディアデータの受信を要求すると、クライアントは複数のチャンネルで放送されている連続メディアデータの受信を開始し、 s_{1-1} の受信完了を同時に再生を開始する。データの再生中でも放送されているデータを受信し、バッファに保存する。 s_{1-1} の再生終了後にバッファに保存した s_{1-2} を続けて再生することで、クライアントは連続メディアデータを最後まで途切れずに再生できる。例えば、図 4 において、時刻 t_0 で受信要求とともに受信を開始し、 t_1 で s_{1-1} の受信完了とともに再生を開始する場合を考える。このとき、 $b_{1,1}$ の帯域幅は 1.2 Mbps となるため、 s_{1-1} の受信時間は 66.2 秒となる。次に、本編開始待ち時間として 30 秒待機し、時刻 t_2 で s_{2-1} の受信が完了するため、クライアントは待機後すぐに s_{2-1} を再生でき、最後まで途切れずに再生できる。このとき、CR-HB 法における待ち時間は、BE-AHB 法に比べて $(153.9 - 66.2) / 153.9 \times 100 = 57.0\%$ 短縮できる。

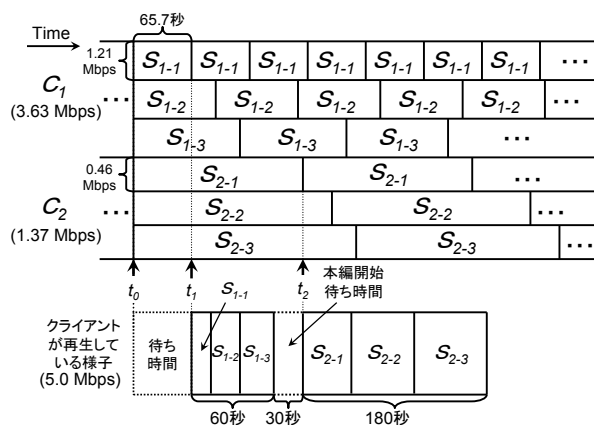


図 4 CR-HB 法の放送スケジュール例
 Fig. 4 Example of a broadcast schedule under the CR-HB method

5. 評価

5.1 概要

本章では、提案する CR-HB 法の評価を行う。初めに、スポット映像を放送するチャンネル C_1 の帯域幅の変化を示す。次に、CR-HB 法のパラメータに対する平均待ち時間の変化を示し、既存手法である BE-AHB 法¹⁵⁾ および HeRO¹²⁾ との比較を行う。グラフに示す帯域幅と待ち時間は、計算機によるシミュレーション結果である。“CR-HB” は、提案手法 CR-HB 法の場合、“BE-AHB” は、既存手法 BE-AHB 法、“HeRO” は、既存手法 HeRO の場合である。

5.2 チャンネル C_1 の帯域幅

提案手法 CR-HB 法では、本編開始待ち時間を考慮してスケジューリングを行う。データ再生中に最後まで途切れが発生しないスケジューリング手法であるため、 $s_{1,1}$ を放送するチャンネル $c_{1,1}$ の帯域幅に応じて待ち時間は変化する。そこで、 C_1 の大きさに応じた再生開始待ち時間について評価した。スポット映像の再生時間は 60 秒、本編映像の再生時間は 180 秒とし、本編開始待ち時間は 30 秒とする。

図 5 より、再生開始待ち時間に最小値があることが分かる。 C_1 が小さい場合、スポット映像の受信時間が長大化するため、再生開始待ち時間は長くなる。一方、 C_1 が大きくなる

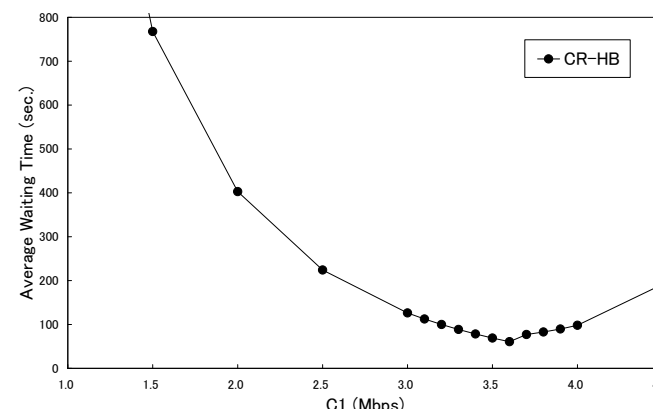


図 5 C_1 の帯域幅と待ち時間
 Fig. 5 The average waiting time and the bandwidth of C_1

と再生開始時間は一定のところまで短くなるが、許容待機時間経過後も本編映像の受信が完了せず、途切れ時間が発生する。この途切れ時間はデータ再生時に再生開始待ち時間となるため、再生開始待ち時間は長くなる。例えば、図 5 の場合、待ち時間が最小値となるのは、 $C_1 = 3.63\text{Mbps}$, $C_2 = 1.37\text{Mbps}$ のときとなる。

5.3 節以降の評価では、 C_1, C_2 の帯域幅は再生開始待ち時間が最小になる場合の値を用いる。

5.3 使用できる帯域幅と平均待ち時間

ユーザが連続メディアデータの視聴を要求してから再生が開始されるまでの待ち時間が短いほど、ユーザは満足する。許容される待ち時間の長さはユーザによって異なるため、本節では、既存手法と比べて CR-HB 法の待ち時間が短縮されることを示し、CR-HB 法の有効性を示す。

帯域幅を変化させた場合の平均待ち時間の評価結果を図 6 に示す。横軸は、使用する帯域幅をデータの再生レートで除した値である。縦軸は、平均待ち時間である。スポット映像の再生時間は 60 秒、本編映像の再生時間は 180 秒とし、本編開始待ち時間は 30 秒とする。また、再生レートは 5.0 Mbps とする。

図 6 より、CR-HB 法の平均待ち時間は他の既存手法よりも短くなるのが分かる。CR-HB 法では、本編開始待ち時間を考慮した放送スケジューリングを作成することで、待ち時間を短縮している。既存手法である BE-AHB 法や HeRO は、本編開始待ち時間を考慮した放送スケジューリングではないため、この時間を有効に利用できず、待ち時間は増加する。

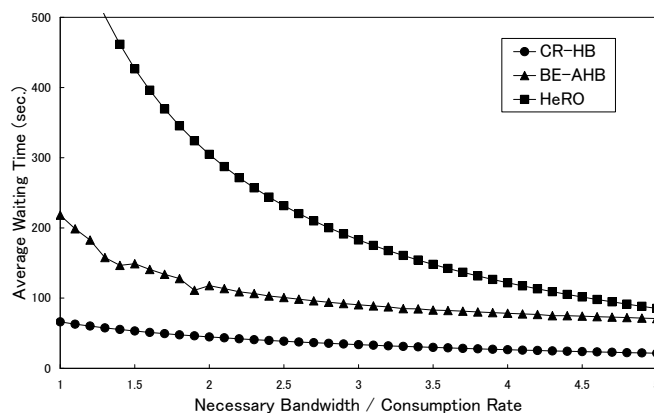


図 6 帯域幅と待ち時間

Fig. 6 The average waiting time and the necessary bandwidth

また、HeRO では、データ再生中の途切れ時間が発生するため、BE-AHB 法に比べて待ち時間が大きく増加している。例えば、15 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、待ち時間は、CR-HB 法で 33.7 秒、BE-AHB 法で 90.5 秒、HeRO で 182.9 秒となり、BE-AHB 法に比べて 62.8%、HeRO に比べて 50.5% 短縮されている。

5.4 本編の再生時間と平均待ち時間

スポット映像の再生時間が短くなれば、待ち時間は短縮される。しかし、本編映像の再生時間の割合が増加すると、本編映像を配信するために C_2 の帯域幅が大きくなるため、本編開始待ち時間の上限が経過しても途切れ時間として待つことがある。そこで、スポット映像の再生時間が一定のときの待ち時間の変化を評価した。本編映像の再生時間を变化させた場合の平均待ち時間の評価結果を図 7 に示す。横軸は本編の再生時間であり、縦軸は平均待ち時間である。スポット映像の再生時間は 60 秒、本編開始待ち時間は 30 秒とする。また、再生レートは 5.0 Mbps とする。

図 7 より、本編の再生時間が増加しても、CR-HB 法の平均待ち時間はそれほど長くないことが分かる。CR-HB 法のスケジューリングでは、スポット映像の再生時間および本編開始待ち時間を考慮したスケジューリングになっているため、本編の再生時間の増加はそれほどスケジューリングに影響を与えない。一方、既存手法である BE-AHB 法や HeRO は、スポット映像と本編映像の再生時間を合わせて放送スケジュールを作成するため、本編の再生時間の増加はスケジューリングに大きく影響を与え、待ち時間は増加する。

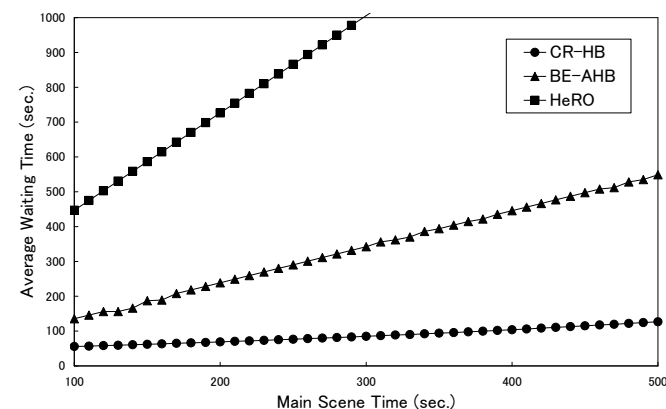


図 7 本編の再生時間と待ち時間

Fig. 7 The average waiting time and the playing time of main scene

5.5 本編開始待ち時間と待ち時間

ショッピングやアトラクションで近距離放送型配信サービスを行う場合、歩きながら視聴するユーザが多いことが考えられ、許容される本編開始待ち時間はより短くする必要がある。一方、行列に並んでいるときやスタジアムといったようにユーザが長時間移動しない場合、本編開始待ち時間はある程度許容される。このため、許容される本編開始待ち時間の長さに応じた再生開始待ち時間を評価する必要がある。

本編開始待ち時間を变化させた場合の待ち時間の評価結果を図 8 に示す。横軸はスポット映像の再生終了後に許容される本編開始待ち時間であり、縦軸は平均待ち時間である。本編映像の再生時間は 180 秒とし、再生レートは 5.0 Mbps とする。

図 8 より、CR-HB 法の平均待ち時間は他の既存手法よりも短くなる事が分かる。CR-HB 法では、本編開始待ち時間を考慮した放送スケジューリングを作成することで、待ち時間を短縮している。既存手法である BE-AHB 法や HeRO は、本編開始待ち時間が 100 秒から 260 秒までの間において、待ち時間は変化しない。これらの手法では、 s_{1-1} の受信時に発生する再生開始待ち時間のみを考慮してスケジューリングしているため、本編開始待ち時間が増加しても待ち時間に影響を与えない。しかし、本編開始待ち時間が 270 秒以上のとき、HeRO の待ち時間は減少している。HeRO のスケジューリングは、CR-HB 法や BE-AHB 法と異なり、使用できる帯域幅に上限がある場合、再生中に途切れ時間が発生する。評価では、この途切れ時間が減少しているためと考えられる。

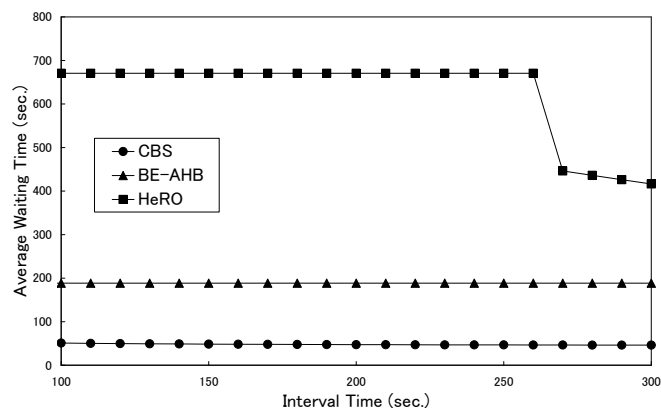


図 8 本編開始待ち時間と待ち時間

Fig.8 The average waiting time and the waiting time for starting the main scene

6. おわりに

本論文では、連続メディアデータの近距離放送型配信において、待ち時間を短縮する手法 CR-HB 法を提案した。提案手法では、本編開始待ち時間を考慮したスケジューリングを作成し、複数のチャンネルで放送することで、受信時の待ち時間を短縮する。また、平均待ち時間を最小にする帯域幅を計算機シミュレーションで算出できることを示し、既存手法である BE-AHB 法や HeRO に比べて待ち時間を短縮できることを確認した。

今後の予定として、データを選択して視聴する選択型コンテンツ¹⁷⁾の近距離放送型配信におけるスケジューリング手法を考えている。

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)の研究助成による成果である。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 総務省: 情報通信白書平成 22 年版 (2010).
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h22/index.html>.
- 2) エリアワンセグシステム開発委員会, <http://www.yrp-oneseg.jp/>.

- 3) スポットワンセグサービス,
<http://www.kccs.co.jp/company/research/spotoneseg.html>.
- 4) B. Jinsuk, and F.P. Jehan: A Tree-Based Reliable Multicast Scheme Exploiting the Temporal Locality of Transmission Errors, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC2005)*, pp.275-282 (2005).
- 5) L.-S. Juhn, and L.M. Tseng: Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.44, no.1, pp.100-105 (1998).
- 6) J.-F. Paris, S.W. Carter, and D.D.E. Long: A hybrid broadcasting protocol for video on demand, *Proc. Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN'99)*, pp.317-326 (1999).
- 7) J.-F. Paris, D.D.E. Long, and P.E. Mantey: Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand, *Proc. ACM Int. Multimedia Conf. (Multimedia'99)*, pp.189-197 (1999).
- 8) J.-F. Paris: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC'01)*, pp.347-353 (2001).
- 9) S. Viswanathan, and T. Imilelinski: Pyramid broadcasting for video on demand service, *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95)*, pp.66-77 (1995).
- 10) L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, *Proc. ACM Multimedia*, pp.22-27 (2006).
- 11) Y. Zhao, D.L. Eager, and M.K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. of IEEE INFOCOM*, vol.3, pp.1522-1533 (2004).
- 12) K.A. Hua, O. Bagouet, and D. Oger: Periodic Broadcast Protocol for Heterogeneous Receivers, *Proc. of MMCN*, pp.220-231 (2003).
- 13) M. Tantaoui, K. Hua, and T. Do: BroadCatch: A Periodic Broadcast Technique for Heterogeneous Video-on-Demand, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.50, issue 3, pp.289-301 (2004).
- 14) R. Janakiraman, and M. Waldvogel: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920-929 (2002).
- 15) 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).
- 16) Y. Gotoh, K. Suzuki, T. Yoshihisa and M. Kanazawa, "A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems," *Journal of Mobile Multimedia*, Vol.5, No.3, pp.255-270 (2009).
- 17) Y. Gotoh, T. Yoshihisa, M. Kanazawa, and Y. Takahashi: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.55, issue 2, pp.460-467 (2009).