Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

V-High 帯を用いた放送型ビデオオンデマンドシステムの評価実験

松本哲[†1]　義久智樹[†1]　下條真司[†1]

概要：近年の無線通信の高速化に伴い，ビデオオンデマンドシステムに対する注目が高まっている．従来のビデオオンデマンドシステムでは，映像データを受信する再生端末の数が多くなると，再生開始までの待ち時間や途切れ時間といった性能が長くなる問題があった．この問題を解決するために，著者らの研究グループでは，放送型配信で映像データを配信する放送型ビデオオンデマンドを研究開発している．筆者らのこれまでの研究では，多数の状況における性能計測を短時間で効率的に行うためにシミュレーション評価を行っていた．しかし，実システムにおける幾つかの実装上の特徴を考慮しておらず，性能を正確にシミュレートできていない可能背があった．そこで，本研究では，V-High 帯を用いた放送型ビデオオンデマンドシステムにより，実システムを用いた放送型ビデオオンデマンドシステムにより評価実験を行う．評価実験の結果，再生が途切れないという条件のもと，映像データを 9 分割して並列に放送することで，再生が開始されるまでの待ち時間を最大 84%短縮できることが明らかになった．

キーワード：映像配信，ストリーミング配信，電波放送，連続メディアデータ

1. はじめに

近年の無線通信の高速化に伴い，ビデオオンデマンドシステムに対する注目が高まっている．ビデオオンデマンドシステムでは，利用者は，ホームページ等で公開されている映像リストの中から視聴したい映像を選択し，映像の初めから再生して視聴を開始する．利用者が映像ファイルをダウンロードしてから再生するビデオダウンロードシステムと比べて，利用者は映像ファイルのダウンロード完了を待つ必要がないこと等から，Amazon Prime Video や Netflix などの多数のビデオオンデマンドサービスが開始されている．

ビデオオンデマンドシステムでは，映像を再生する再生端末は，配信サーバから映像データを受信しながら再生する．ある配信サーバから映像データを受信する再生端末の数が多くなって配信サーバの処理負荷や通信負荷が大きくなると，映像データの受信が再生に間に合わず途切れが発生したり再生開始までの待ち時間が長くなったりする．そこで，筆者らの研究グループでは，放送型配信を用いたビデオオンデマンドシススステムである放送型ビデオオンデマンドシステムを研究開発している．放送型配信を用いることで，映像配信に伴う配信サーバの負荷が再生端末の数に依存しなくなり，再生の途切れが発生しにくくなる．

しかし，これまでの放送型ビデオオンデマンドシステムに関する研究では，放送方式や放送型配信に用いる通信帯域（放送帯域）等に対する再生開始までの待ち時間や再生途切れ時間といった性能を短時間で計測するためにシミュレーションプログラムを用いていた（[1] - [6]）．シミュレーションプログラムでは，主に実システムにおける以下の点を考慮しておらず，性能を正確にシミュレートできていない可能性があった．

- 実現可能な放送帯域
- 実処理に伴う配信遅延
- 映像データのバッファリング

実システムを用いた性能計測により，同様の構成の放送型ビデオオンデマンドシステムの性能を把握でき，有効性の確認等を行える．

そこで，本研究では，実システムを用いた放送型ビデオオンデマンドシステムにより性能計測を行う．本研究の実システムでは，放送型配信に電波放送（V-High 帯）を用いる．これまでにイントラネット上で放送型ビデオオンデマンドシステムの実システム評価を行った研究はあるが，高価なハードウェアが必要であったり電波法上の制限から電波の発射が非常に困難であり，電波放送を用いた放送型ビデオオンデマンドシステムは実現されていなかった．本論文では，V-High 帯を用いた放送型ビデオオンデマンドシステムの評価実験結果を報告する．評価実験の結果，再生が途切れないという条件のもと，映像データを 9 分割して並列に放送することで，再生が開始されるまでの待ち時間を最大 84%短縮できることが明らかになった．

以下，2 章で関連研究を紹介し，3 章で放送型ビデオオンデマンドシステムと放送方式について説明する．4 章で実システムの構成を説明し，5 章で評価実験結果を示す．最後に 6 章で本論文をまとめる．

2. 関連研究

ビデオオンデマンドシステムにおける再生待ち時間や途切れ時間を短縮する手法として，映像ファイルを複製配置する手法（[1]）やピアツーピア技術を用いた手法（[2] - [4]）が提案されている．これらの手法では，インターネット等の通信網を用いて各再生端末を 1 対 1 で通信する場合を考えており，再生端末の数が多くなると配信サーバの負荷が大きくなる問題がある．

文献[7] - [9]では，マルチキャストを用いた 1 対多の通信

†1 大阪大学
Osaka University.

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

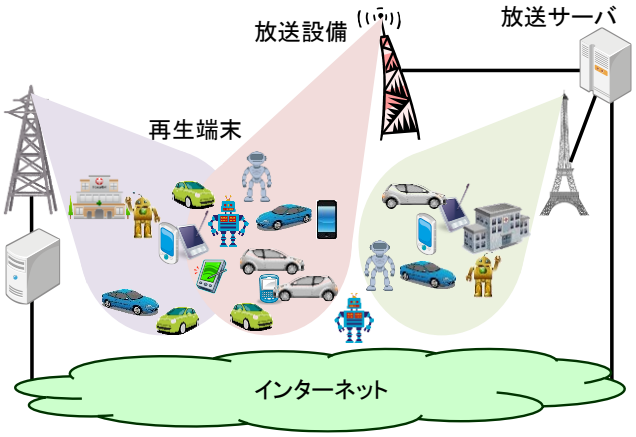


図 1　放送型ビデオオンデマンドシステムの想定環境

Figure 1　An assumed system environment for broadcast-type video-on-demand systems.

を行って配信サーバの負荷を削減する手法を提案している．これらの手法では，マルチキャストを確実に行えるように最低の帯域や再生端末へのデータ到達性が保証されている環境を想定している．実環境では，通信サービスの都合上マルチキャスト帯域を保証できなかったり，ルータでマルチキャストの転送を禁止している場合がある．

通信と，放送波を用いたブロードキャストを併用するシステムが幾つか提案されている（[10] - [12]）．これらのシステムでは，放送で映像を配信し，通信で関連する情報を配信している．しかし，オンデマンド型の映像配信を行えない．

著者らの以前の研究[13]では，クライアント機器が放送チャネルと通信チャネルの両方からデータを受信できるという点について，中断時間の短縮を目指し，柔軟な帯域割り当てのための映像データ配信手法を提案した．提案手法のシミュレート結果では，従来の手法に比べ帯域幅を適切に配分することで，最短の中断時間を達成した．

3. 放送型ビデオオンデマンド

本章では，初めに放送型ビデオオンデマンドシステムについて説明し，その後放送型ビデオオンデマンドシステムにおける映像データの放送手法に関して，三つの手法を紹介する。これらの手法は，本研究の実システムで実装する手法である．

3.1 放送型ビデオオンデマンドシステム

放送型ビデオオンデマンドシステムの想定環境を図 1 に示す．配信サーバは映像ファイルを保持しており、放送設備と接続されている．映像ファイルは幾つかの部分（セグメント）に分割でき，配信サーバは、放送設備を介してセグメントを放送できる．放送設備の放送範囲内にある再生端末は，放送設備が放送したセグメントを受信できる．再生端末は，受信したセグメントをそれぞれ再生できる．放送型配信システムでは，配信ヘッダーと呼ばれる放送するデータに関する情報が記述された部分を再生端末が受信しなければ，その後に放送されるデータを受信できない．これは，放送されるデータのデータサイズや放送方式を再生端末が認識できなくなるためである．

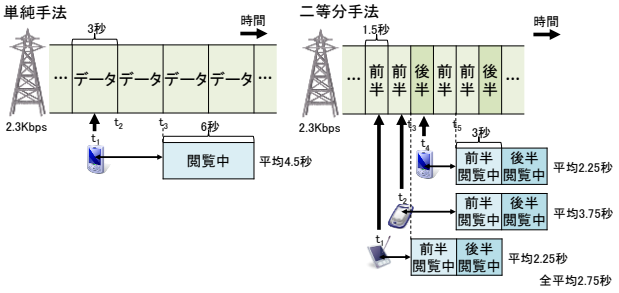


図 2　単純手法および二等分手法のイメージ

Figure 2　Images of the simple method and the binary method

このような放送型配信システムの例として，地上波デジタル放送や，衛星放送が挙げられる．電波放送以外の放送型配信システムとして，ケーブルテレビ放送や帯域保証された IP プロトコルのブロードキャストアドレスやマルチキャストアドレスが挙げられる．

映像ファイルを分割して順番に再生する映像符号化方式として，MPEG がある．MPEG では，映像ファイルは GoP (Group of Pictures) と呼ぶ幾つかのフレームの集合で構成されており，再生端末は GoP 毎に映像を再生できる．また，HLS (HTTP Live Streaming) においても，映像ファイルは TS ファイルと呼ぶ幾つかの映像データに分割され，再生端末は各 TS ファイルを独立して再生できる．

3.2 映像データの放送手法

本節では，放送型ビデオオンデマンドシステムにおいて，再生端末が放送されているデータの受信を開始してから映像の再生を開始するまでの待ち時間（再生開始待ち時間）を短縮する手法を説明する．初めに単純な放送手法を説明した後，単純手法と比べて待ち時間を短縮する二つの手法を説明する．

(1) 単純手法

単純手法では，映像ファイルを分割せずに繰り返して放送する．単純手法のイメージを図 2 に示す．放送設備は放送帯域 B を用いて同じ映像ファイルを繰り返し放送している．映像ファイルのデータサイズを D とすると，映像ファイルの放送に D / B かかることになる．

映像ファイルの放送が始まる度に配信ヘッダーを付加する場合，再生端末は繰り返し放送の初めの部分を受信しなければ，映像ファイルを受信できない．配信ヘッダーを受信するまでの待ち時間は平均して $D / (2B)$となる．映像ファイルの受信に D / B かかるため，平均再生開始待ち時間は

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

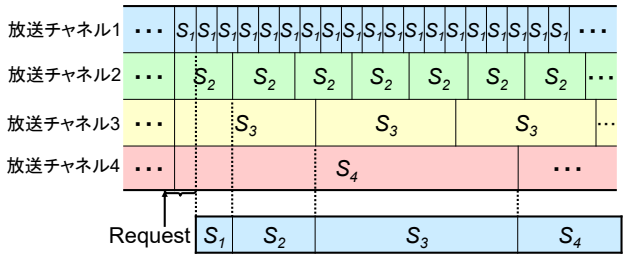


図 3　並列手法のイメージ

Figure 3　An image of the parallel method

$$\frac{3D}{2B} \tag{1}$$

となる．

(2)　二等分手法

二等分手法では，映像ファイルを前半と後半の二つのセグメントに分割して前半セグメントを頻繁に放送する．前半セグメントを頻繁に放送することで，再生端末が映像の再生を開始できる機会が増え，平均再生開始待ち時間を短縮できる．二等分手法のイメージを図 2 に示す．再生端末が前半セグメントの再生中に後半セグメントを受信完了できる条件を満たすように前半セグメントの放送回数を決定することで，再生端末は前半セグメントの再生終了後途切れることなく後半セグメントを再生できる．

映像ファイルのビットレートを R とすると，判別式 A に応じて前半セグメントを次に示す回数だけ放送した後に後半セグメントを 1 回放送すると，上記条件を満たしたうえで最短の再生開始待ち時間を与えることが分かっている (5.

$$\begin{aligned} \alpha &= B/R \\ A &= \lceil\alpha\rceil(\alpha - \lfloor\alpha\rfloor) - \lfloor\alpha\rfloor \\ \text{if } A &< 0\text{: } \lfloor\alpha\rfloor \text{ times} \\ \text{if } A &> 0\text{: } \lceil\alpha\rceil \text{ times} \end{aligned} \tag{2}$$

図 2 の例は $A < 0$ の場合であり，前半セグメントを $\lfloor\alpha\rfloor = 2$ 回放送してから後半セグメントを 1 回放送している．平均再生待ち時間は次式で与えられる．

$$\begin{aligned} \text{If } A &< 0\text{: } \frac{\alpha+3}{2\alpha+2} \times \frac{D}{B} \\ \text{If } A &> 0\text{: } \frac{3\alpha+6-2\lfloor\alpha\rfloor}{2\alpha+4} \times \frac{D}{B} \end{aligned} \tag{3}$$

(3)　並列手法

並列手法では，映像ファイルを N 個のセグメント S_i $(i = 1, \ldots, N)$ に分割し，放送帯域を N 等分した N 個の放送チャネルを用いて放送する．放送チャネル i で S_i を繰り返して放送する．並列手法のイメージを図 3 に示す．再生端末が S_i の再生を終了するまでに S_{i+1} を受信完了できる条件を満たすように各セグメントのデータサイズを決定することで，再生端末は途切れることなく最初から最後まで再生できる（[6]）．

S_{i+1} のデータサイズを D_{i+1} で表す．各放送チャネルの放送帯域は B/N となるため，S_{i+1} の放送には ND_{i+1}/B かかることになる．S_i の再生終了まで $(D_1 + \cdots + D_i)/R$ かかることから，D_{i+1} は次式で与えられる．

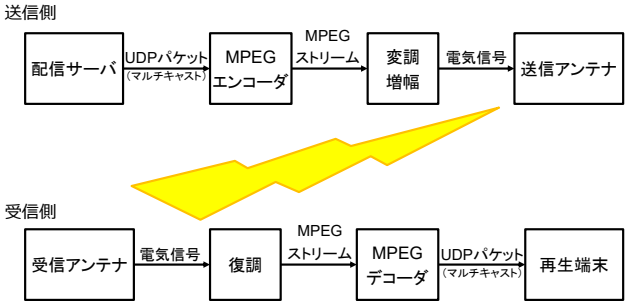


図 4　設計した放送型ビデオオンデマンドシステム構成図

Figure 4　An architecture of our designed broadcast-type video-on-demand system

$$D_{i+1} = \frac{B}{NR}\sum_{j=1}^{i} D_j \tag{4}$$

ただし，$D = \sum_{j=1}^{N} D_j$ である．平均再生待ち時間は，S_1 を受信完了するまでの平均時間と等しく，

$$\frac{3ND_1}{2B} \tag{5}$$

となる．$D_1 < D/N$ であるため，(1)よりも短くなる．

4.　放送型ビデオオンデマンドシステムの設計と実装

本章では，設計および実装した放送型ビデオオンデマンドシステムについて説明する．

4.1　システム設計

図 4 に設計した放送型ビデオオンデマンドシステムの構成図を示す．上部が送信側，下部が受信側を示す．

送信側では，配信サーバは映像データをチャンクと呼ぶ単位に区切って MPEG エンコーダに送信する．チャンクのデータサイズと送信間隔を変更することで，MPEG エンコーダへのデータ送信速度を調整できる．MPEG エンコーダへの送信には UDP パケット（マルチキャストアドレス）を用いる．MPEG エンコーダは，受信した UDP パケットを電波で放送するために，放送波で IP パケットを送信する IPDC (IP Data Cast) を用いる．MPEG エンコーダは，IPDC を行うための MPEG ストリームを作成し，変調器に送信する．変調および増幅された電気信号は，送信アンテナを介して電波として射出される．

受信側では，射出された電波を受信アンテナで受信し，復調して MPEG ストリームを得る．MPEG デコーダで UDP パケットを抽出し，再生端末に送信する．再生端末は，UDP パケットからチャンクを復元し，各セグメントを構成するチャンクを全て受信すると，そのセグメントを保存する．再生端末は，各セグメントを再生する時刻になると再生す

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

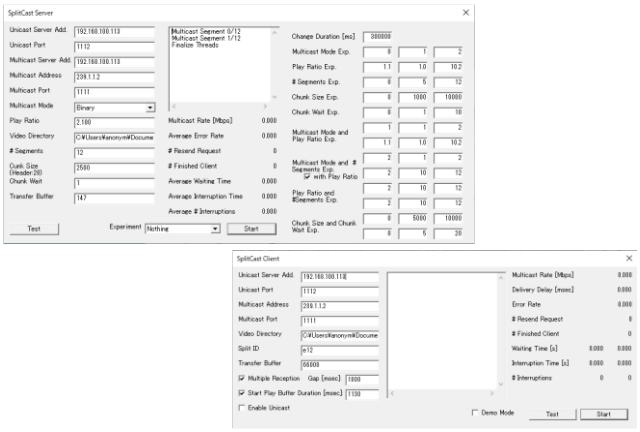


図 5　実装した配信ソフト（左上）および受信ソフト（右下）のスクリーンショット

Figure 5　Screenshots of our developed distribution software (left-top) and reception software (right-bottom)

る．図 4 では，受信側は一つのみ掲載したが，複数であっても違いはない．

4.2　システム実装

本節では，実装した放送型ビデオオンデマンドシステムを説明する．

(1)　配信ソフトウェア

配信ソフトウェアは，映像ファイルを放送するための，配信サーバで動作するソフトウェアである．Windows 10 で実装した配信ソフトウェアのスクリーンショットを図 5（左上）に示す．

スクリーンショットの左側は配信に関する設定を行う部分である．UDP パケットを送信するためのサーバアドレスやポート番号，マルチキャストアドレスを指定できる．また，3.2 節で説明した放送手法を選択し，各手法のパラメタを設定できる．映像ファイルの場所やセグメントの数も指定できる．放送帯域を調整するためのチャンクの送信間隔やチャンクのデータサイズ，UDP パケットのデータサイズも指定できる．中央上部にあるのは動作確認のためのログ出力部分である．スクリーンショットの右側は評価実験を行うために，各パラメタを自動的に変更する範囲を指定する部分である．

(2)　受信ソフトウェア

受信ソフトウェアは，映像データを受信して再生するための，再生端末で動作するソフトウェアである．Windows 10 で実装した受信ソフトウェアのスクリーンショットを図 5（右下）に示す．

スクリーンショットの左側は受信に関する設定を行う部分である．UDP パケットを受信するためのマルチキャストアドレスやポート番号，映像ファイルの保存先を指定できる．評価実験のためのモードの切り替えも行える．中央にあるのは動作確認のためのログ出力部分である．スクリーンショットの右側は放送帯域や遅延，エラー率といった受信に関する情報を表示する部分である．



図 6　ハードウェアの写真

Figure 6　Hardware photos

表 1　ハードウェア一覧

Table 1　Hardware list

配信サーバおよび再生端末（2 台）	VAIO 社製 VAIO OS: Windows 10 Home CPU: Intel Core i7 メモリー：16GB SSD: 256GB NIC: Realtek PCIe GbE Family Controller
MPEG エンコーダ	ASTRO 社製 CX-5528
変調器	栄電社製 MSH3000A 周波数：JP 12ch (219MHz)
増幅器	栄電社製 4034A 10mW→1W
送信アンテナ	基地局用ダイポールアンテナ
受信アンテナ	マスプロ電工社製 162E3-P
復調器 兼 MPEG デコーダ	SK ネット社製 IPDC 受信機

映像ファイル構成として HLS を用い，TS ファイルがセグメントに相当する．受信した映像ファイルの再生には，ffplayer を用いた．ffplayer は，多数の映像エンコードに対応して映像再生できることから，ffmpeg と共に研究開発の分野で多用されている（[14]）．ffplayer では，HLS の再生に 1 秒ほどの TS ファイルのバッファリングが必要なため，受信ソフトではバッファリング時間を指定できるようにした．

(3)　ハードウェア

実装した放送型ビデオオンデマンドシステムのハードウェアの写真を図 6、これらの詳細を表 1 に示す．これらのハードウェアを 3.2 節の設計に基づいて接続した．

5.　評価実験

本章では評価実験について記述する．

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

5.1 評価実験環境

評価実験では，4.2 節で説明した実システムを用いた．評価のための映像ファイルを作成するために，[15]で公開されている 4K ステレオ映像の Buck BUNNY を用い，放送帯域が約 3.8 [Mbps]であったことから，60 [s]の 650 [Kbps] (480x270, 20 [fps]) の映像に ffmpeg [20]でトランスコードして利用した．放送帯域については後の評価結果で詳述する．二等分手法や並列手法におけるセグメントへの分割については，あらかじめ算出した各セグメントの再生時間を指定して ffmpeg を用いて分割した．再生レートが一定の CBR (Constant Bit Rate)で符号化したものの，MPEG の圧縮特性から，算出した再生時間やデータサイズとは数%の誤差があった．

V-High 帯の電波発射については，V-High 特定実験試験局免許を保有する IPDC フォーラムの協力を得た．実験は，2020 年 8 月 5 日午後に大阪大学サイバーメディアセンター豊中教育研究棟 7 階会議室にて行った．

5.2 シミュレーションとの差異

本節では，実システム評価で明らかになった，シミュレーション結果との差異を説明する．

(1) 実現可能な放送帯域

シミュレーションでは様々な放送帯域を設定できるが，実システムでは，ハードウェアやソフトウェアの処理性能等の都合から利用できる放送帯域には上限がある．そこで，実現可能な放送帯域を調査した．チャンクのデータサイズと送信間隔を変更して放送帯域を変化させた．

調査の結果，配信サーバが UDP パケットを送出する速さが 3.8 [Mpbs]を越えると，復調器から UDP パケットが送出されない現象が発生した．この時のチャンクサイズは 7.2 [Kbytes]，送信間隔は 1 [ms]である．これは，復調器の復調やパケット送出といった処理が受信に間に合わず，復調器内で動作するソフトウェアが停止したためであった．このことから，評価実験環境における最大放送帯域は 3.8 [Mbps]であることが分かった．

(2) 実処理に伴う配信遅延

シミュレーションでは変調や復調といった処理に伴う遅延を考慮していなかったが，実システムでは，これらの処理に伴う配信遅延が発生する．そこで，実処理に伴う配信遅延を計測した．チャンクサイズは 7.2 [Kbytes]，送信間隔は 1 [ms]とし，9 分割の並列手法を用い，映像データを 10 分間放送する間の配信遅延を計測した．

計測した結果，最大で 155 [ms]，最小で 81 [ms]，平均すると 135 [ms]の配信遅延が発生していることを確認した．シミュレーションと比べて再生待ち時間が 135 [ms]程度長くなることになる．なお，電波は光速（約 30 万 [km/s]）で伝搬するため，送信アンテナと受信アンテナの距離が長くても配信遅延には大きく影響しない．

(3) 映像データのバッファリング

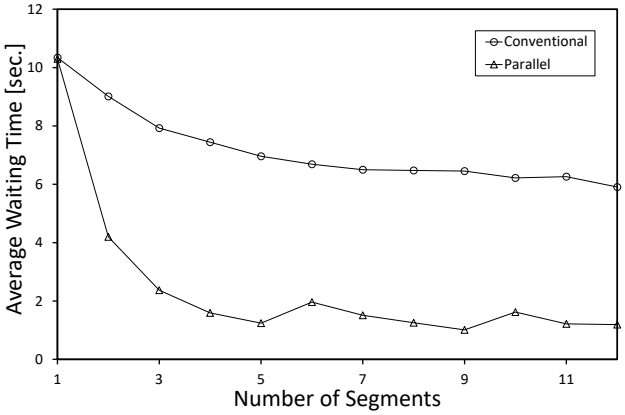


図 7　単純手法および並列手法における
平均再生待ち時間

Figure 7　Average waiting time under the simple method and the parallel method

シミュレーションでは映像データのバッファリングを考慮していなかったが，実際のほとんどの再生ソフトでは，ある程度映像データをバッファリングしてから再生する．バッファリングにかかる時間が再生待ち時間に影響する．そこで，バッファリングに必要な時間を調査した．

調査の結果，実装した放送型ビデオオンデマンドシステムでは，1.13 [s]のバッファリング時間が必要なことが分かった．これは，再生ソフトとして用いた ffplayer で TS ファイルを再生する際に必要なバッファリング時間と考えられる．

5.3 再生待ち時間および途切れ時間

本節では，実装した放送手法を用いた場合の再生待ち時間と途切れ時間を掲載する．二等分手法については，式(2)における α の値を変化させて計測したため，まず初めに短手法と並列手法の結果を示し，次に二等分手法の結果を示す．

計測には，時刻 0 [s]で配信サーバの放送開始と同時に再生端末が受信を開始し，再生端末が映像の再生を開始すると，その 1 [s]後に他の再生端末が受信を開始するものとし，10 分間計測した．

(1) 単純手法と並列手法

単純手法および並列手法では，映像ファイルの分割数であるセグメントの数が再生待ち時間に影響を及ぼす．そこで，セグメントの数を変化させて平均再生待ち時間を計測した．なお，単純手法ではセグメントを単純に順番に繰り返して放送している．

結果を図 7 に示す．Conventional は単純手法，Parallel は並列手法を示す．横軸がセグメント数，縦軸が平均再生待ち時間である．セグメント数が多くなるほど平均再生待ち時間が短くなる傾向にあることが分かる．これは，セグメント数が多くなるほど最初めのセグメントのデータサイズが小さくなって受信にかかる時間が短くなるためである．

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

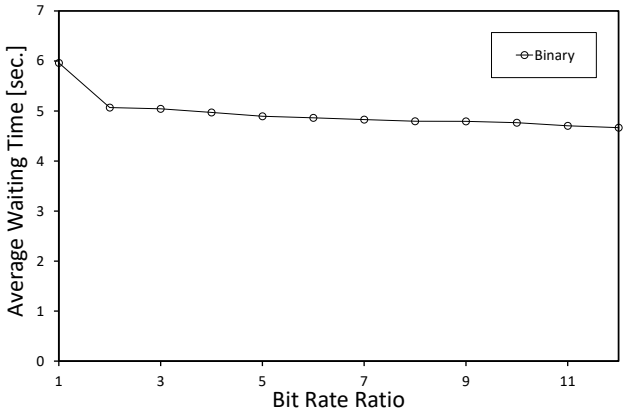


図 8　二等分手法における平均再生待ち時間

Figure 8　Average waiting time under the binary method

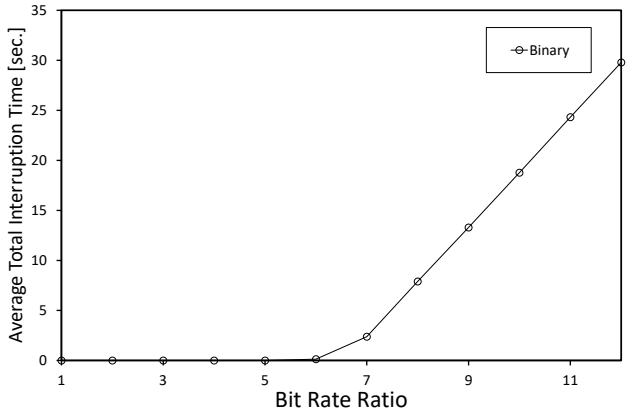


図 9　二等分手法における平均途切れ時間

Figure 9　Average interruption time under the binary method

再生端末は最初のセグメントを受信完了すると映像の再生を開始するため，セグメント数が多いほど平均再生待ち時間が短くなる．しかし，セグメント数が多くなるほどその短縮量は小さくなる傾向にあることが分かる．これは，セグメントのデータサイズがセグメント数に反比例して小さくなるためである．映像ファイルを分割する際，分割できる最小のデータサイズがあり，そのデータサイズより小さいセグメントには分割できない．

本実験環境では，放送帯域が映像の再生レートより大きいため，単純手法では映像の再生中に途切れが発生することはない．また，並列手法においても，式(4)で途切れが発生しないように各セグメントのデータサイズを与えており，途切れが発生することはなかった．

例えば，映像ファイルを 9 分割して放送する場合（短縮率最大），単純手法の平均再生待ち時間は 6.45 [s]，並列手法の平均再生待ち時間は 1 [s]となり，最大で 84%短縮できることが分かる．

(2) **二等分手法**

二分割法における α（ビットレート率）の値を変化させて平均再生待ち時間および途切れ時間を計測した．

平均再生待ち時間の結果を図 8 に示す．横軸がビットレート率, 縦軸が平均再生待ち時間である. このグラフより，大きいビットレート率を与えるほど平均再生待ち時間が短くなることが分かる．これは，ビットレート率が大きいほど前半セグメントが頻繁に放送され，再生端末が前半セグメントを受信できる機会が増加するためである．

平均途切れ時間の結果を図 9 に示す．このグラフより，ビットレート率が 6 より大きくなると途切れが発生し，ビットレート率に比例して途切れ時間が長くなっていることが分かる．これは，ビットレート率が大きくなるほど後半セグメントの放送間隔が長くなって，再生端末が前半セグメントの再生中に後半セグメントを受信できる確率が小さくなるためである．前半セグメントの放送回数がビットレート率に比例するため，途切れが発生する状況では，平均再生途切れ時間がビットレート率に比例している．

再生途切れが発生しない最大のビットレート率は 6 であり，この場合の平均再生待ち時間は 4.86 [s]である．単純手法より短いが，並列手法より長いことが分かる．

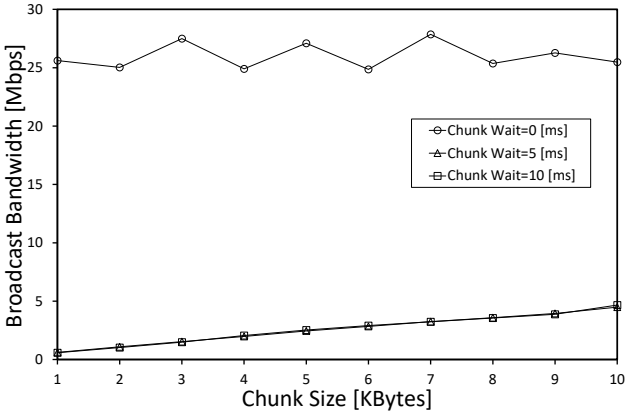


図 10　チャンクと放送帯域

Figure 10　Chunk and broadcast bandwidth

5.4 チャンクの影響

実装した放送型ビデオオンデマンドシステムでは，チャンクと呼ぶ単位で変調および復調が行われる．チャンクに関するパラメタはチャンクのデータサイズと送信間隔があり，これらの値に応じて放送帯域が変化して再生待ち時間も応じて変化する．そこで，実装したシステムで実現できる放送帯域を調査するために，これらのパラメタを変化させた．復調器を介すると復調器の処理性能で放送帯域が制限されるため，本実験では変調復調を行わずに放送帯域と再生待ち時間を計測した．

実現できた放送帯域を図 10 に示す．横軸がチャンクサイズ，縦軸が放送帯域である．送信間隔が 0 [ms]の場合，チャンクサイズが変わっても放送帯域が大きく変わらないことが分かる．これは，チャンクの送信間隔が無く連続的にチャンクが送信されるためにチャンクサイズの影響が出にくためである．また，送信間隔が 5 [ms]と 10 [ms]で放送

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

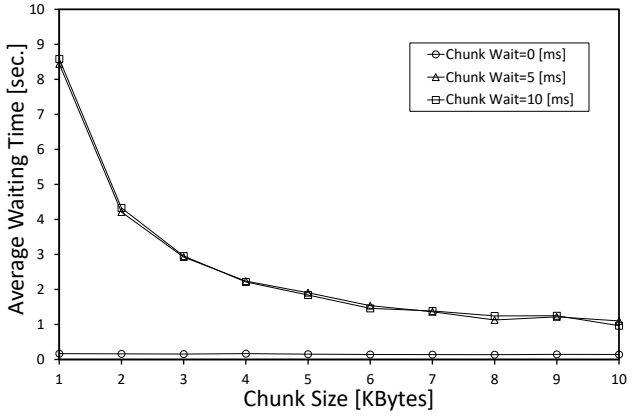


図 11　チャンクと平均再生待ち時間
Figure 11　Chunk and average waiting time

帯域に大きな違いがないことが分かる．チャンクの送信間隔を設けると，最小でも 10 [ms]以上送信間隔が発生し，5 [ms]に設定しても実際には 10 [ms] 以上の送信間隔になっているためと考えられる．チャンクサイズが大きいほど一度に送信するデータサイズが大きくなるため，放送帯域も大きくなる．

次に平均再生待ち時間を図 11 に示す．送信間隔が 0 [ms]で放送帯域が大きいほどセグメントを短時間で放送できるため，平均再生待ち時間が短くなっている．送信間隔が 5 [ms]と 10 [ms]で大きく変化がないのは放送帯域で変化がなかった理由と同じである．

これらの結果より，チャンクサイズを大きくして送信間隔を短くするほど放送帯域が大きくなって平均再生待ち時間を短縮できるが，今回の章か実験のようにハードウェアの都合で放送帯域が制限されることがある．

5.5 議論

(1) 分割数について

シミュレーションでは，映像ファイルを分割するほど平均再生待ち時間を短縮できたが，実システムでは，分割できる最小のデータサイズがあり，そのデータサイズより小さいセグメントには分割できないことが分かった．分割数が大きいほど平均再生待ち時間を短縮できる傾向にあるため，最初のセグメントのデータサイズが，この最小のデータサイズになるように分割することで平均再生待ち時間を最も短縮できると考えられる．

(2) 処理負荷について

評価実験で用いた IPDC では，MPEG のエンコードやデコード，変調復調に伴う処理により遅延が発生することが分かった．遅延時間は 0.1 [s] ほどであり，この程度の長さで平均再生待ち時間に影響する．また，大きい放送帯域を確保するほど処理負荷が大きくなるため，利用できる放送帯域に上限があることが分かった．このため，実システムではハードウェアやソフトウェアの性能を考慮したうえで放送帯域を確保する必要がある．

6. おわりに

本研究では, 実装した V-High 帯を用いた放送型ビデオオンデマンドシステムにより，再生待ち時間や途切れ時間といった性能計測を実システムで行った．性能計測の結果，これまでのシミュレーション結果とは異なり，実現可能な放送帯域や実処理に伴う配信遅延が発生し，また，映像データのバッファリングが必要になることが明らかになった．評価実験の結果，再生が途切れないという条件のもと，映像データを 9 分割して並列に放送することで，再生が開始されるまでの待ち時間を最大で 84%短縮できることが明らかになった．今後，再生端末がインターネットからも映像データを受信する放送通信融合環境で実験することや，選択型コンテンツや VR 放送といったインタラクティブ性のあるコンテンツの放送型配信を考えている．

謝辞　本実験に関し，多大なるご協力を頂いた IPDC フォーラムの諸氏に衷心より感謝申し上げます．本研究の一部は，G-7 奨学財団研究開発助成事業および科学研究費補助金（18K11316 および 20K11829）の研究助成による．謹んで感謝の意を表する．

参考文献

[1] R. Fratini, M. Savi, G. Verticale, and M. Tornatore: Using Replicated Video Servers forVoD Traffic Offloading in Integrated Metro/Access Networks, in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), 2014, p. 3438-3443.

[2] G. Zhang, W. Liu, X. Hei, and W. Cheng: Unreeling Xunlei Kankan: Understanding HybridCDN-P2P Video-on-Demand Streaming, IEEE Transactions on Multimedia, 2015, Vol. 17, Issue 2, p. 229-242.

[3] A.G. Sheshjavani, B. Akbari, and H.R. Ghaeini: An Adaptive Buffer-Map Exchange Mechanism for Pull-based Peer-to-Peer Video-on-Demand Streaming Systems, Springer International Journal of Multimedia and Applications, 2016, Vol. 76, Issue 5, p. 7535-7561.

[4] G. Araniti, P. Scopelliti, G.-M. Muntean, and A. Lera: A Hybrid Unicast-Multicast Network Selection for Video Deliveries in Dense Heterogeneous Network Environments, IEEE Transactions on Broadcasting, Early Access, 2018, 11 pages.

[5] T. Yoshihisa, M. Tsukamoto, and S. Nishio.: A Scheduling Scheme for Continuous MediaData Broadcasting with A Single Channel, IEEE Transactions on Broadcasting, 2006, Vol. 52, Issue 1.

[6] T. Yoshihisa: Data Piece Elimination Technique for Interruption Time Reduction on Hybrid Broadcasting Environments, Proc. of IEEE International Conference on Pacific Rim Conference Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM), 2017, 6 pages.

[7] J. Guo, X. Gong, J. Liang, W. Wang, and X. Que: An Optimized Hybrid Unicast/Multicast Adaptive Video Streaming Scheme Over MBMS-Enabled Wireless Networks, IEEE Transactions on Broadcasting, Early Access, 2018, 12 pages.

[8] C. Tian, J. Sun, W. Wu, and Y. Luo: Optimal Bandwidth Allocation for Hybrid Video-onDemand Streaming with a Distributed Max Flow Algorithm, ACM Journal of Computer Networks, 2015, Vol. 91, Issue C, p. 483-494.

[9] F. Boronat, M. Montagud, D. Marfil, and C. Luzon: Hybrid

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-GN-112 No.18
Vol.2021-CDS-30 No.18
Vol.2021-DCC-27 No.18
2021/1/25

Broadcast/Broadband TV Servicesand Media Synchronization: Demands, Preferences and Expectations of Spanish Consumers, IEEE Transactions on Broadcasting, 2018, Vol. 64, Issue 1, p. 52-69.

[10] F. Boronat, D. Marfil, M. Montagud, and J. Pastor: HbbTV-Compliant Platform for Hybrid Media Delivery and Synchronization on Single- and Multi-Device Scenarios, IEEE Transactions on Broadcasting, 2017, Vol. 64, Issue 3, 6 pages.

[11] L. Christodoulou, O. Abdul-Hameed, and A.-M. Kondoz: Toward an LTE Hybrid Unicast Broadcast Content Delivery Framework, IEEE Transactions on Broadcasting, 2017, Vol. 63, Issue 4, p. 656-672.

[12] Y. Hang, C. Gao, Y. Guo, K. Bian, X. Jin, Z. Yang, L. Song, J. Cheng, H. Tuo, and X.M. Li: Proactive Video Push for Optimizing Bandwidth Consumption in Hybrid CDN-P2P VoD Systems, in Proc. IEEE INFOCOM, 2018, 9 pages.

[13] 松本哲，義久智樹，川上朋也，寺西裕一：放送通信融合環境における映像再生中断時間削減のための通信帯域割当手法，情報処理学会研究報告，2019, Vol. 2019-DCC-21, No. 4, p. 1-6.

[14] FFmpeg: https://ffmpeg.org

[15] Big Buck Bunny: https://peach.blender.org/

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan