

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評価

鈴木 健太郎[†] 後藤 佑介[†]
義久 智樹^{††} 金澤 正憲^{†††}

近年、インターネットを介して音楽や動画などのコンテンツ配信を行うインターネット放送が普及している。インターネット放送でよく用いられているサーバクライアント方式では、各端末にデータを配信する必要があるため、ユーザが増加すると、サーバの負荷が増加し、クライアントがデータを受信するまでの時間が長くなる。そこで本研究では、端末間でデータを伝送してインターネット放送を実現する端末伝送型インターネット放送の評価を行う。端末伝送型インターネット放送では、端末はデータを受信するだけでなく、他の端末への送信も行う。サーバクライアント方式と比べて、データを配信する端末の数が多くなり、サーバの負荷が減少する。評価の結果、再生開始時間にオーバーヘッドを伴うが、受信端末を単純に選択する手法に比べて、再生中断時間を短縮できることが分かった。

Evaluations of Node Relay Based Webcast Systems for Interruption Time Reduction

KENTARO SUZUKI,[†] YUSUKE GOTOH,[†] TOMOKI YOSHIHISA^{††}
and MASANORI KANAZAWA^{†††}

Recently, webcast, ie, delivering contents such as music or movies via Internet, have attracted great attention. In conventional server-client types, interruption time of playing the data increases when the number of clients increases. In this paper, we evaluate node relay based webcast systems that relay data among nodes. In such systems, nodes receive data and also transmit them to other nodes. Comparing with server-client types, the number of nodes that can transmit data increases and the load of the server can be reduced. As a result of our evaluations, we confirmed that the interruption time is reduced although the overhead occurs.

1. はじめに

近年、インターネットを介して音楽や動画などのコンテンツ配信を行うインターネット放送が普及している¹⁾。インターネット放送では多くの場合、サーバクライアント方式を用いて、ユーザが要求したコンテンツを、パソコンや携帯電話などの端末に配信する。この方式では、各端末にデータを配信する必要があるため、ユーザが増加するとサーバに負荷がかかり、クライアントがデータを要求してから受信するまでの時間

が長くなる。データを受信するまでの時間が長くなると、以下のような状況が発生する。

- ユーザは Web サイト で見たい動画を見つける。視聴するために動画の再生ボタンをクリックするが、再生が開始されるまでに時間がかかる。
- 動画の視聴中に、データ受信が再生開始時刻までに間に合わず、再生が途切れる。

データの受信が遅れると動画を再生するデータが無くなるため、コンテンツの再生中断時間が発生し、ユーザの待ち時間が長くなる問題が発生する。中断されている時間が長いほどユーザは視聴意欲が低下するため、再生中断時間は短いほど望ましい。そこで本研究では、端末間でデータを伝送してインターネット放送を実現する端末伝送型インターネット放送の評価を行う。端末伝送型インターネット放送では、端末はデータを受信するだけでなく、他の端末への送信も行

[†] 京都大学大学院 情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kyoto University
^{††} 大阪大学 サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University
^{†††} 京都大学 学術情報メディアセンター
Academic Center for Computing and Media Studies,
Kyoto University

う。サーバクライアント方式と比べて、データを配信できる端末の数が多くなり、サーバへの負荷集中が軽減される。端末伝送型インターネット放送では、データの送信先が複数存在するため、再生中断時間が短くなるように、適切に送信端末を選択しなければならない。このため、幾つかの再生中断時間短縮法が提案されており、本システムにこれらの手法を実装し、実環境で評価を行う。

本論文は、以下のように構成されている。2章で関連研究を紹介し、3章で端末伝送型インターネット放送について説明する。4章で端末伝送型インターネット放送システムの設計を行い、5章で実装について説明する。6章では評価を行い、最後に7章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

端末伝送型インターネット放送^{2)~5)}に関連した研究は、幾つか行われている。端末伝送によるコンテンツ配信については、Xuらによって基本的な概念が述べられている⁶⁾。Xuらは端末伝送型インターネット放送のモデルを作成し、シミュレーション評価を用いて、待ち時間やシステムの通信量を調査している。端末伝送型インターネット放送における評価に関する研究も幾つか行われている。端末伝送型インターネット放送は複雑で評価が難しいため、評価手法やモニタリング方法が提案されている⁷⁾⁸⁾。しかし、これらの研究では、端末伝送型インターネット放送システムの実装の難しさから、評価はシミュレーションで行われている。本研究では、実際に端末伝送型インターネット放送システムを実装し、シミュレーション結果と比較を行う。

3. 端末伝送型インターネット放送

本章では、本論文で取り扱う端末伝送型インターネット放送について説明する。

3.1 端末伝送型インターネット放送の構成

従来のサーバクライアントモデルにおけるネットワークと比較すると、図1に示すように、端末伝送型では、各端末が他の複数の端末と通信を行う。多くのインターネット放送で用いられているサーバクライアントモデルでは、送信元はサーバのみであるため、サーバに通信が集中し、クライアントの数に比例してサーバの負荷が増加する。端末伝送型では、複数の端末が通信先として存在するため、データの送受信をネットワーク全体に分散できる。

端末伝送型インターネット放送では、一般に、スト

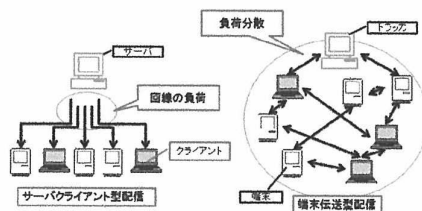


図1 サーバ・クライアント型と端末伝送型の比較

Fig.1 Comparison between server-client types with node relay based webcast types

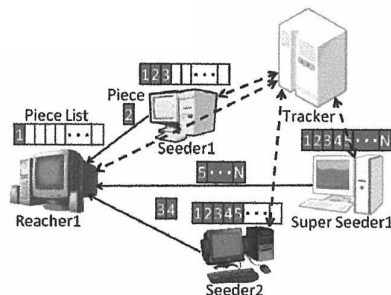


図2 端末伝送型インターネット放送システム

Fig.2 A node relay based webcast system

リーミングデータを幾つかのデータセグメントと呼ばれる単位に分割して送受信する。データセグメントは受信完了と同時に再生できる。映像を再生しながらデータセグメントを受信することで、短い待ち時間で映像の再生を開始できる。端末伝送型インターネット放送を行うネットワークでは、トラックと呼ばれるサーバがネットワークに参加している端末を管理する(図2)。端末がストリーミングデータを受信するときは、トラックに問い合わせでデータを持っている端末のIPアドレスを取得する。トラックのIPアドレスは、Webページを用いて取得する。取得した端末の中から幾つかの端末を選択して、データセグメントを受信する。端末の選択方法やデータセグメントの受信方法については、次章で説明する。

3.2 待ち時間が発生する仕組み

データの受信が再生中に間に合わない場合、再生中に中断が発生する。動画を視聴する場合に、クライアントはサーバに接続して、動画を受信するが、クライアントの数が多くなると、サーバがクライアント1つあたりに使用できる帯域が減少する。このため、クライアントは動画の受信により多くの時間がかかる。再生を行いながら同時に動画を受信するため、クライアントの動画の受信が再生に間に合わない場合に、再生に必要なデータが無い場合、再生が中断され、待ち時

間が発生する。

4. 端末伝送型インターネット 放送システムの設計

本章では、端末伝送型インターネット 放送システムの設計について詳述する。

4.1 端末伝送

端末伝送型インターネット 放送システムでは、端末はデータを受信するだけでなく、他の端末から要求があれば、データを送信する。サーバを経由する必要がなく、それぞれの端末で自由にデータの送受信を行う。

動画コンテンツの受信において、端末伝送型では複数の端末が存在するため、次の2点を考える必要がある。

- データを送信できる端末群からどの端末を選択するか
- 選択した端末から何番目のセグメントを受信するか

端末の選択とデータセグメントのスケジューリング手法によって、再生中断時間が増えるため、再生中断時間を短縮できる手法を用いる必要がある。本研究では、筆者らの提案した端末選択手法「WRPS (Waiting time Reduction for P2P Streaming) 法」¹⁰⁾¹¹⁾を用いる。WRPS法は、端末の送信速度を考慮したスケジューリングを行うことで、端末伝送型インターネット放送で再生中断時間を効率よく削減できることを示している。

表 1 説明のための変数
Table 1 Variables for explanation

記号	説明
D	データサイズ
n	セグメント数
w	セグメントあたりのデータサイズ, $w = \frac{D}{n}$
r	再生レート
p	端末数, $p \leq m$
S_i	セグメントデータを再生している状態, $i = 1, \dots, n$
R_j	送信端末 $j = 1, \dots, p$
b_j	送信端末の帯域幅
$t_{bs}(i)$	セグメント i の配信開始時刻
$t_{bf}(i)$	セグメント i の配信終了時刻

4.2 比較のための単純なスケジューリング手法

本節では、次節で述べる WRPS 法と比較するための単純なスケジューリング手法(以下、単純手法)について、アルゴリズムを説明する。本節で説明するスケジューリング手法に関する変数を表 1 に定義する。

4.2.1 端末選択手法

データを受信する端末を選択するとき、単純手法で

は送信帯域の大きい端末から順に選択を行い、選択した端末の送信帯域の合計が再生する動画のビットレート以上になるまで選択を続ける。

4.2.2 データセグメント 選択手法

データセグメントのスケジューリング手順は次のようになる。

- (1) 使用できる帯域幅が大きい b_i から順番に並べる。
- (2) S_i を初めから順番にストリーミングするため、 $R_i \bmod p$ によって計算される端末から受信する。
- (3) すべてのセグメントのスケジューリングが完了するまで (2) を繰り返す。

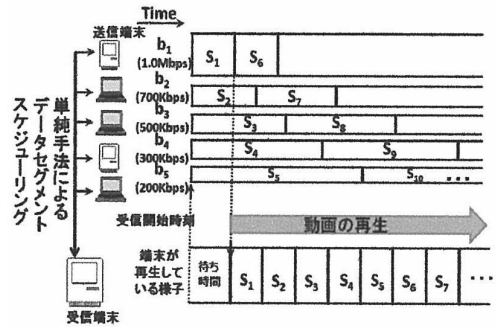


図 3 単純手法における放送スケジュール例
Fig. 3 Example of a delivery schedule under simple method

単純手法のデータセグメントの選択例を図 3 に示す。図 3 では、 b_1 がデータセグメント S_1 , b_2 がデータセグメント S_2 , b_3 がデータセグメント S_3 を選択している。例えば、 S_6 では手順 (2) において、端末の数が 5 台であるため、 $6 \bmod 5 = 1$ より b_1 を選択する。このように単純手法では、ラウンドロビンにセグメントの受信先を決定する。

4.3 WRPS 法

本節では、実装システムに用いるため、WRPS 法¹⁰⁾について、詳しく説明する。

4.3.1 端末選択手法

WRPS 法の端末選択アルゴリズムについて述べる。WRPS 法では複数の端末から受信する端末を選択する場合に、初めに最大の帯域を持つ端末を選択する。次に、選択した端末の帯域が動画のビットレート以上なら終了する。そうでない場合、(動画のビットレート - 選択した端末の帯域) 以上ならば最小の帯域の端末を選択し、動画のビットレート以上になるか、選択する端末が無くなるまで続ける。

4.3.2 データセグメント 選択手法

WRPS 法では、データを受信する複数の端末が使用できる帯域幅を考慮して端末を選択し、端末間の帯域幅が大きいほど前のセグメントを受信し、待ち時間を短縮する。

WRPS 法は以下のことを前提とする。

- データをダウンロードする端末は 1 つ以上の端末からデータを受信する。
- データを送信する端末はデータセグメント全体を持っている。
- データを送信する端末は 1 つの端末しかデータを送信しない。

以下の手順でデータセグメントを受信する端末を決定する。

- (1) 使用できる帯域幅が大きい b_i から順番に並べる。
- (2) S_i を初めから順番にストリーミングするため、セグメントデータの配信に使用する送信端末 R_j の配信終了時刻 $t_{bf}(i)$ を以下の式より算出する。

$$t_{bf}(i) = t_{bs}(i) + w/r \times b_i \quad (1)$$
- (3) セグメント S_i について、各送信端末から配信する場合の配信終了時刻が一番早い R_j にスケジューリングする。
- (4) $t_{bs}(i)$, $t_{bf}(i)$ の値を更新する。
- (5) すべてのセグメントのスケジューリングが完了するまで (2) から (4) を繰り返す。

式 (1) では、各 R_i において配信終了時刻をセグメントデータの再生時間 w/r を b_i の帯域幅で配信する場合の受信時間を算出する。この受信時間をもとに各 R_i の配信終了時刻を算出し、一番配信終了時刻が早い送信端末で配信を行うようにスケジューリングする。

次に、WRPS 法によるデータセグメントのスケジューリングの例を図 4 に示す。図 4 で各端末 b_1, \dots, b_5 の中でデータセグメントの配信時刻が一番早いのは b_1 であるため、 b_1 にデータセグメント S_1 をスケジューリングして、 b_1 のデータセグメント配信時刻を更新する。次に、データセグメントの配信時刻が早い端末は b_2 であるため、データセグメント S_2 をスケジューリングして、 b_2 のデータセグメント配信時刻を更新する。次に配信時刻が早い端末を調べると、再び b_1 となるため、 b_3 に S_3 をスケジューリングする。このようにして、WRPS 法ではデータセグメントのスケジューリングを行う。

5. 端末伝送型インターネット放送システムの実装

本章では、端末伝送型インターネット放送システ

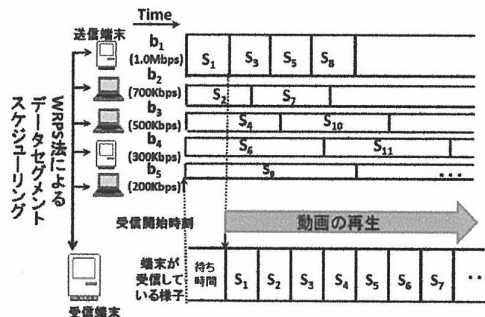


図 4 WRPS 法における放送スケジュール例
Fig. 4 Example of a delivery schedule under the WRPS method

ム「Broadcasting System with P2P Environments (Brossom)」の実装について述べる。設計方針については前節で述べた。

5.1 Brossom の概要

Brossom は、端末伝送型インターネット放送を行うソフトウェアである。端末とトラックで構成されており、トラックが端末を管理する。Brossom トラックは、コンテンツと端末の情報の管理を行う。端末は、Brossom トラックと通信して、情報を取得することで、他の端末と通信できる。ここでは、Brossom を構成する要素について説明する。

5.2 データセグメントの設定

動画データを分割してデータセグメントを作成する。データセグメントには、動画データの名前と、分割したデータが何番目に位置するかという情報が付加される。また、データセグメントの付加データから元の動画データを復元できる。Brossom では、データセグメントの大きさは 128KByte とする。

5.2.1 動画再生方法

ストリーミング再生によって動画ファイルをすべて受信してから再生するのではなく、再生しながらセグメント単位で受信を行う。動画サイズに関係なく、バッファ分だけ受信できれば再生を開始できるため、受信にかかる待ち時間を短縮できる。ここで、バッファとは、ストリーミング再生を行う際にあらかじめメモリに蓄えておくキャッシュをさす。Brossom では、動画の再生時間 10 秒分のデータサイズをバッファとして受信してから再生を開始する。

6. 評価

6.1 評価環境

評価には 9 台の PC を用いる。それぞれの PC の

表 2 評価に使用する動画ファイル
Table 2 Movie specification used in our evaluations

種類	VIDEO1	VIDEO2	VIDEO3
ビットレート	350Kbps	768Kbps	1Mbps
バイト数	2,839,638	6,191,199	7,653,729
	バイト	バイト	バイト
データセグメント数	22	48	59
再生時間	60 秒	60 秒	60 秒

性能を表 3 に示す。各 PC の計算機性能に違いはあるが、動画を再生する処理能力は十分であり、評価結果に影響を及ぼさないと考える。それぞれの PC は、Dummysnet を介して相互に接続される。評価に使用する計算機は、Dummysnet を用いて図 5 のように接続される。ハブで接続された PC もすべて Dummysnet を介して通信を行うように設定する。Dummysnet を介して通信を行うことで、それぞれの PC の帯域を制御する。

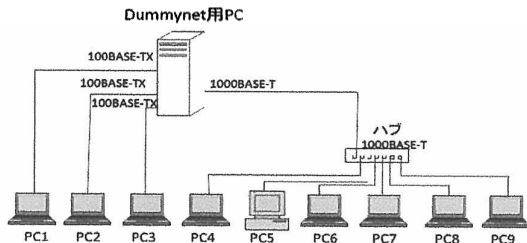


図 5 ネットワーク構成
Fig. 5 Network configuration

6.2 WRPS 法の実環境評価

WRPS 法の実環境とシミュレーションの比較評価を行う。シミュレーションにおける評価は、あらかじめ端末伝送型インターネット放送をモデル化し、コンピュータでシミュレーションを行った結果である。

6.2.1 計算機の設定

評価を行うにあたり、実環境の様々なネットワーク環境を考慮して、各計算機のネットワーク帯域を表 4 のように設定した。PC1~PC6 はデータ送信が可能な端末であり、送信するコンテンツデータ (表 2) のデータセグメント全体を持っているものとする。PC7~PC9 は受信端末で、初期状態ではデータセグメントを 1 つも持っていない。

6.2.2 評価結果

PC7~PC9 について 10 秒ごとに PC7, PC8, PC9 の順に動画の視聴要求を出し、動画の要求から再生終了までに発生する再生待ち時間や途切れ時間の再生中

断について評価した。350Kbps の動画をストリーミング再生した結果を図 6, 図 7 に示す。同様に図 8, 図 9 に 768Kbps の動画を要求した場合の再生結果, 図 10, 図 11 に 1Mbps の動画を要求したときの再生結果を示す。これらのグラフの横軸は、再生中の経過時間を表している。縦軸には、受信要求を行った PC7, PC8, PC9 の実環境およびシミュレーションでの結果を示す。グラフ中の凡例の意味については次のとおりである。

- 再生待ち:
要求を開始してから再生までの待ち時間。データセグメントの受信を行っているが、再生開始可能となるバッファにデータが十分蓄えられていない状態。
- 再生と受信:
動画を再生中で、同時にデータセグメントの受信も行っている状態。
- 途切れ:
途切れ状態。再生に必要なデータセグメントの受信が間に合わず、バッファが空の状態になっているため、再生を一時停止し、データセグメントの受信のみを行っている状態。
- 再生:
必要なデータセグメントの受信がすべて完了し、動画の再生のみを行っている状態。

図 6~図 11 の再生までの待ち時間と、途切れ時間をまとめたものを再生中断時間として、それぞれの動画のビットレートごとに実環境の結果と比較したものを図 12, 図 13, 図 14 に示す。縦軸は再生中断時間である。横軸では PC7, PC8, PC9 のそれぞれの場合で WRPS 法と単純手法を比較している。

6.3 評価結果の考察

6.3.1 シミュレーションとの比較

図 11 のグラフより、途切れ回数は一致しており、再生までの時間や、途切れ時間も近い値を示していることが分かる。また、シミュレーションの方が、PC7, PC8, PC9 それぞれの場合で、再生開始時間や途切れ時間の開始時刻が早くなっている。これはシミュレーションでは内部処理を考慮しておらず、処理が早く終了するためである。Brossom の実装は、シミュレーションを再現しているといえ、WRPS 法もシミュレーション通りの結果を出している。

6.3.2 実環境での WRPS 法と単純手法の比較

図 6~図 11 より、WRPS 法の場合、再生中断時間が短く、途切れ回数も少ないことが分かる。これは、単純手法では、帯域を考慮せずにデータセグメントを

表 3 計算機の性能

Table 3 Nodes spec for evaluations

種類	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
OS	Windows XP SP2	Windows XP SP2	Windows XP SP2	Windows Vista	Windows XP 64bit	Windows XP SP3	Windows XP SP2	Windows XP SP2	Windows XP SP2
CPU	Pentium M 1.2GHz	Pentium M 1.2GHz	Pentium M 1.2GHz	CoreSolo 1.3GHz	Pentium X4 9800 2.3GHz	Pentium III 866MHz	Pentium M 1.0GHz	Pentium M 1.2GHz	Pentium M 1.2GHz
メモリ	512MB	512MB	512MB	1GB	4GB	256MB	512MB	512MB	512MB

表 4 端末の役割と帯域の設定

Table 4 Node roles and bandwidth configuration

種類	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
役割	送信	送信	送信	送信	送信	送信	受信	受信	受信
端末	端末	端末	端末	端末	端末	端末	端末	端末	端末
送信帯域	300 Kbps	250 Kbps	200 Kbps	700 Kbps	1200 Kbps	150 Kbps	設定無し	設定無し	設定無し

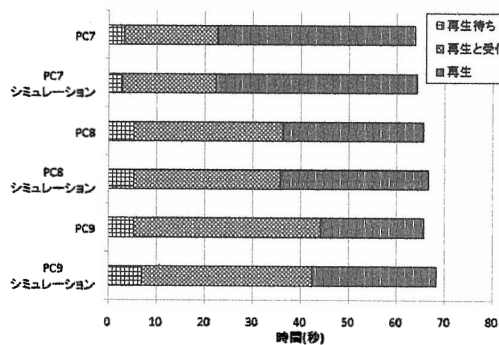


図 6 単純手法における再生結果(再生レート 350Kbps)
Fig.6 Results of simple method (video rate : 350Kbps)

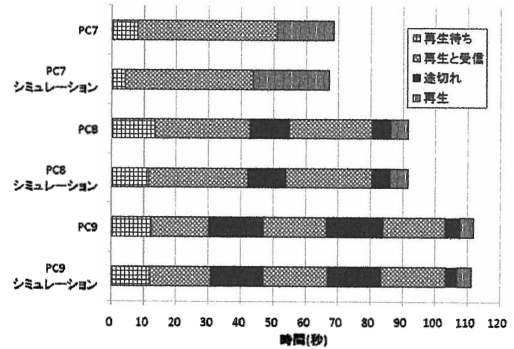


図 8 単純手法における再生結果(再生レート 768Kbps)
Fig.8 Results of simple method (video rate : 768Kbps)

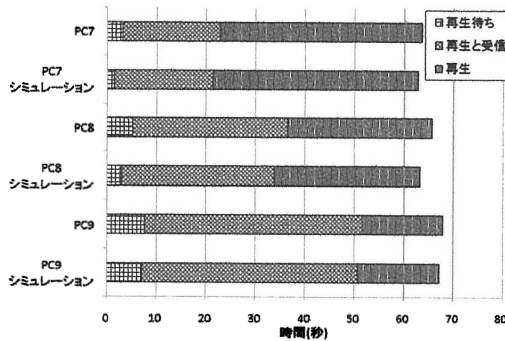


図 7 WRPS 法における再生結果(再生レート 350Kbps)
Fig.7 Results of WRPS method (video rate : 350Kbps)

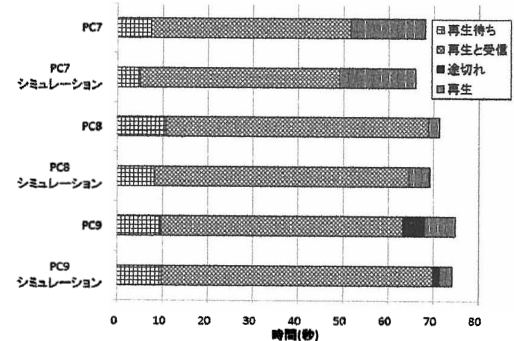


図 9 WRPS 法における再生結果(再生レート 768Kbps)
Fig.9 Results of WRPS method (video rate : 768Kbps)

選択しているためである。6.3.1 節の評価結果で述べたように、再生中に途切れが発生することがあり、再生中断時間が生じる。WRPS 法では、先頭のセグメントの受信には帯域が大きい端末を割り当てるため、再生開始までの待ち時間が短くなる。また、後半のセグメントの受信に帯域の小さい端末を割り当てるため、低速な端末からのデータの受信に時間がかかる。WRPS 法では、帯域が小さい端末にもスケジューリ

ングすることで、帯域を有効に利用できる。

6.3.3 WRPS 法が不利になる場合

WRPS 法では、端末選択時に、初めの端末以外はビデオレートと選択した端末の合計帯域の差以上で最小の送信帯域の端末を選択する(4.3.1 節)。このため、動画のビットレートが 768Kbps のとき、PC8 において、単純手法では 700Kbps の端末と 300Kbps の端末を選択したが、WRPS 法では 700Kbps と 150Kbps を選択し

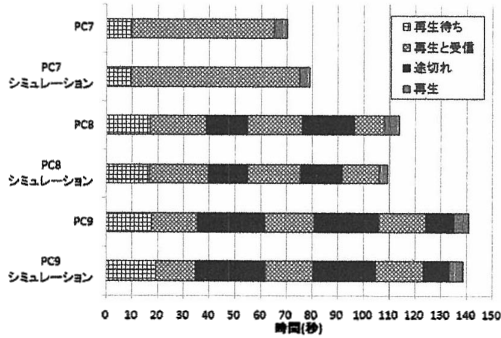


図 10 単純手法における再生結果(再生レート 1Mbps)
Fig.10 Results of simple method (video rate : 1Mbps)

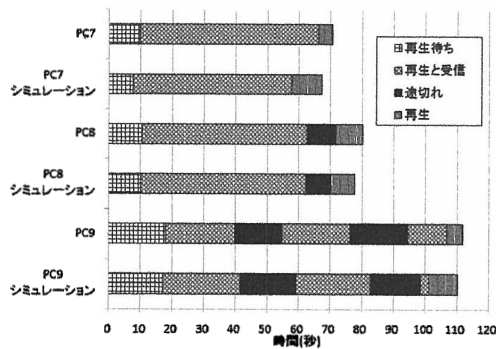


図 11 WRPS 法における再生結果(再生レート 1Mbps)
Fig.11 Results of WRPS method (video rate : 1Mbps)

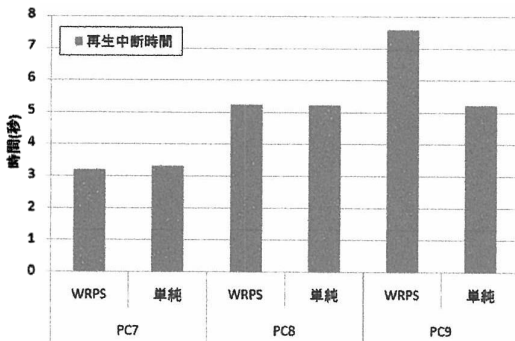


図 12 再生中断時間の比較(再生レート 350Kbps)
Fig.12 Comparison of interruption time (video rate : 350Kbps)

ている。また、動画のビットレートが 350Kbps のときも、PC9 において単純手法では 300Kbps と 250Kbps の端末を選択しているが、WRPS 法では 300Kbps の端末と 150Kbps の端末を選択している。このため、受信端末の合計帯域は単純手法で選択の方が大きくなり、350Kbps の PC9 では単純手法の方が再生中断時

表 5 単純手法で受信要求した PC の番号

Table 5 Number of selected PC under simple method

動画ビットレート	受信 PC(Kbps)		
	PC7	PC8	PC9
350Kbps	PC5(1200)	PC4(700)	PC1(300) PC2(250)
768Kbps	PC5(1200)	PC4(700) PC1(300)	PC2(250) PC3(200) PC6(150)
1Mbps	PC5(1200)	PC4(700) PC1(300)	PC2(250) PC3(200) PC6(150)

表 6 WRPS 法で受信要求した PC の番号

Table 6 Number of selected PC under WRPS method

動画ビットレート	受信 PC(Kbps)		
	PC7	PC8	PC9
350Kbps	PC5(1200)	PC4(700)	PC1(300) PC6(150)
768Kbps	PC5(1200)	PC4(700) PC6(150)	PC1(300) PC2(250) PC3(200)
1Mbps	PC5(1200)	PC4(700) PC1(300)	PC2(250) PC3(200) PC6(150)

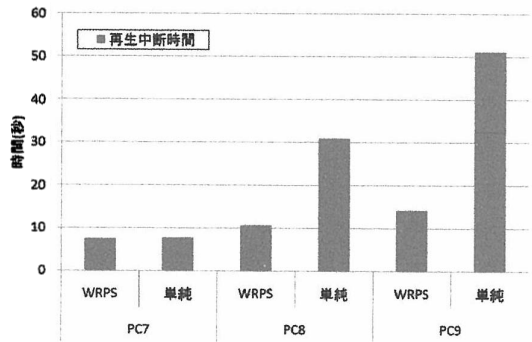


図 13 再生中断時間の比較(再生レート 768Kbps)
Fig.13 Comparison of interruption time (video rate : 768Kbps)

間が短くなっている(図 12)。しかし、図 13 の PC8 の場合の合計帯域は単純手法よりも小さいが、WRPS 法ではデータセグメントの効率的なスケジューリングの効果で再生中断時間が短くなっている。PC9 の場合でも、帯域が大きい端末を選択したため、再生中断時間を短く抑えられている。

7. おわりに

本論文では、実環境で動作する端末伝送型インターネット放送システムを設計し、評価した。端末伝送型では、データ受信時における端末の選択が重要であり、提案した再生中断時間短縮のためのスケジューリング手法である WRPS 法を用いて評価を行った。WRPS 法を用いたコンピュータのシミュレーション結果と本

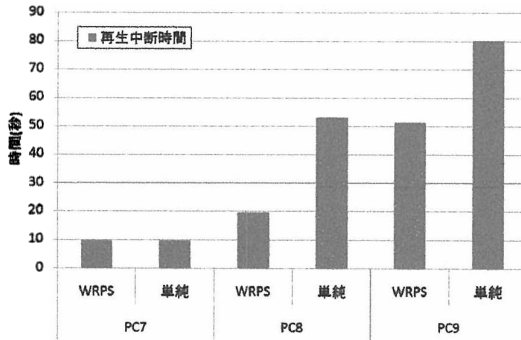


図 14 再生中断時間の比較 (再生レート 1Mbps)
Fig. 14 Comparison of interruption time (video rate : 1Mbps)

システムにおける実環境での評価結果を比較すると、ほぼ正確にシミュレートできていることを確認した。また、WRPS法は、データ送信端末の帯域から効率よくスケジューリングを行うため、単純手法と比較して再生中断時間を短縮できた。

今後の予定として、送信端末の帯域を分割し、データ再生に必要な帯域だけを確保して他の端末にも帯域を分配する手法について実装し、評価を行う。

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))「選択型コンテンツの放送型配信に関する研究」(課題番号: 18700085)、および文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(A))「ユビキタス環境のための全体プログラミング方式」(課題番号: 20240007)、文部科学省グローバルCOEプログラム「知識循環社会のための情報学教育研究拠点」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) Youtube, <http://www.youtube.com>.
- 2) 鈴木健太郎, 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 連続メディアデータ放送のためのP2P配信システムの設計と実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2008)シンポジウム, pp.1378-1385, (2008).
- 3) PeerCast, <http://www.peercast.org/jp>.
- 4) Napster, <http://napster.com>.
- 5) B. Cohen: Incentives Build Robustness in BitTorrent, (2003).
- 6) D. Xu, M. Hefeeda, S. Hambrusch, and B. Bhargava: On peer-to-peer media streaming, Proc. 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS2002),

vol.1, pp.363-371, (2002).

- 7) Y. Guo, K. Suh, J. Kurose and D. Towsley: A Peer-to-Peer On-Demand Streaming Service and Its Performance Evaluation, Proceedings of IEEE International Conference of Multimedia and Expo 2003 (ICME '03), vol.2, pp.649-652, (2003).
- 8) X. Hei, Y. Liu, Keith W. Ross: Inferring Network-Wide Quality in P2P Live Streaming Systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, no. 9, pp. 1640-1654, (2007).
- 9) P. Shah and J.-F. Paris: Peer-to-Peer Multimedia Streaming Using BitTorrent, Proceedings of the 26th International Performance of Computers and Communication Conference (IPCCC 2007), New Orleans, LA, pp.340-347, (2007).
- 10) 後藤 佑介, 鈴木 健太郎, 義久 智樹, 金澤 正憲: P2Pストリーミング放送における待ち時間短縮のためのピア選択手法, 電子情報通信学会第19回データ工学ワークショップ 第6回日本データベース学会年次大会 (DEWS2008), D3-4, (2008).
- 11) 後藤 佑介, 鈴木 健太郎, 義久 智樹, 金澤 正憲: IPネットワークにおける分割放送型システムの途切れ時間に関する評価, 電子情報通信学会技術研究報告 インターネットアーキテクチャ研究会 (2008-09-IA), vol.108, no.223, pp.7-12, (2008).