

推薦論文

P2P ストリーミング環境における モデル・動作分離型コンテンツの 再生途切れ時間短縮方式

横山 正浩^{1,a)} 義久 智樹^{1,b)} 原 隆浩^{1,c)} 西尾 章治郎^{1,d)}

受付日 2013年1月7日, 採録日 2013年9月13日

概要: 近年のインターネットを介したコンテンツ配信の普及にともない, P2P ストリーミング環境に注目が集まっている. 配信されるコンテンツは多様化しており, CG アニメーションのようにモデルデータと, モデルデータに変化を与える動作データに分けて構成される, モデル・動作分離型コンテンツがある. それぞれの分割データの再生開始時刻を考慮することで再生途切れ時間を効率良く短縮できるが, このようなコンテンツを考慮した既存方式はこれまでになかった. そこで本論文では, P2P ストリーミング環境におけるモデル・動作分離型コンテンツの再生途切れ時間短縮方式を提案する. 評価の結果, 提案方式を用いることで, 視聴要求のバースト到着時の再生途切れ時間を短縮できることを確認した.

キーワード: ビデオオンデマンド, ストリーミングデータ, ウェブキャスト

A Method to Reduce Interruption Time of Model and Motion Separated Contents in P2P Streaming Environments

MASAHIRO YOKOYAMA^{1,a)} TOMOKI YOSHIHISA^{1,b)} TAKAHIRO HARA^{1,c)} SHOJIRO NISHIO^{1,d)}

Received: January 7, 2013, Accepted: September 13, 2013

Abstract: In recent years, there has been an increasing interest in P2P (Peer-to-Peer) streaming environments and delivered contents are diversified. A typical example is a content that can be separated into model and motion data like CG animations. Although the interruption time for playing the data can be reduced by considering the time to start playing each divided data, previous researches do not focus on such contents. In this paper, we propose a method to reduce interruption time of model and motion separated contents in P2P streaming environments. The evaluation results show that our proposed method can reduce the interruption time for peers when requests for playing the data burstly arrive.

Keywords: video-on-demand, streaming data, webcasting

1. はじめに

近年のインターネットを介したコンテンツ配信の普及にともない, 音声や映像などのコンテンツを P2P (Peer-to-

Peer) ネットワークを利用して配信する P2P ストリーミング配信が広く普及している. P2P ストリーミング配信では, コンテンツのデータをピースと呼ばれるいくつかの部分に分割して再生端末 (ピア) 間でピースを送受信することにより, サーバと直接通信する場合と比べて通信負荷を低減できる. P2P ストリーミング配信で配信されるコン

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

a) yokoyama.masahiro@ist.osaka-u.ac.jp

b) yoshihisa@ist.osaka-u.ac.jp

c) hara@ist.osaka-u.ac.jp

d) nishio@ist.osaka-u.ac.jp

本論文の内容は 2012 年 7 月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム 2012 にて報告され, デジタルコンテンツクリエーション研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

テンツは多様化しており、TVML (TV program Making Language)^{*1}やMMD (MikuMikuDance)などのCGアニメーションのように背景や人物のようなオブジェクトに属するモデルデータと、モデルデータに変化を与える動作データに分けて構成されるコンテンツへの関心が高まっている[5], [7], [10]. 本論文では、このようなコンテンツをモデル・動作分離型コンテンツと呼ぶ。モデル・動作分離型コンテンツは、同じ背景や人物が登場し続ける区間に分けられ、この区間をシーンと呼ぶ。P2P ストリーミング環境においてモデル・動作分離型コンテンツを配信する場合、モデルデータは対応するシーンの開始時刻、動作データは動作を開始する時刻までに受信しなければ、再生が途切れる。たとえば、再生開始から3分後に始まるシーンのモデルデータをそれまでに受信しなければ、再生開始から3分後のシーンを再生できず、再生に途切れが発生する。それぞれのデータは再生開始時刻が異なるため、それらを考慮することで再生途切れ時間を効率良く短縮できるが、既存方式ではモデルデータと動作データの区別のない従来の動画コンテンツのみを対象としており、モデル・動作分離型コンテンツのようなデータ構造を考慮したものはこれまでになかった。再生途切れ時間は、コンテンツの続きを再生するために必要なピースの受信を待っている時間の合計を意味する。なお、再生要求の到着から再生開始までの再生開始遅延も、再生途切れ時間に含む。

そこで本研究では、P2P ストリーミング環境におけるモデル・動作分離型コンテンツの再生途切れ時間短縮方式を提案する。提案方式では、次に再生が途切れる可能性がある時刻までの時間(余裕時間)が長く余裕がある場合、未受信のピースをランダムに受信する。ピアがP2P ネットワークに到着する間隔が長く、P2P ネットワーク内に存在するピアの数が少ない場合には、単純に再生開始時刻が早いピースを先に受信する方式でも、再生は途切れにくい。しかし、コンテンツの配信開始時など、多くのピアが同時にコンテンツの視聴を要求するバースト到着の場合、P2P ネットワーク内に存在する数が少ないピースを持つピアにピースの受信要求が集中する。あるピアにピースの受信要求が集中すると、1台あたりの送信先のピアに割り当てられる通信帯域が狭くなり、単純な方式では、ピースの受信にかかる時間が長くなる。提案方式では、ピースの受信要求を分散させることで、ピアのバースト到着時の再生途切れ時間を短縮できる。本研究では、シミュレーション実験により、提案方式の有効性を確認する。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で想定環境について説明する。4章で提案方式について説明し、5章で提案方式の評価を行い、6章で考察を行う。最後に7章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

P2P ネットワークを用いてデータを受信する方法にBitTorrent [1]^{*2}がある。BitTorrent では、ネットワーク内に存在する数が少ないピースを持つピアに負荷が集中することを避けるため、レアレストファスト方式を用いている。レアレストファスト方式では、P2P ネットワーク内に存在する数が最も少ないピースを優先的に受信することで、他のピアへ早くピースを分散できる。しかし、ピースの受信順序を考慮しておらず、BitTorrent を用いてストリーミング配信を行うと再生途切れ時間が長くなっていた。

BiToS (Enhancing BitTorrent for Supporting Streaming Applications) [11], およびその拡張であるBIS-S (BiToS + Immediacy and Scarcity based Streaming) [8]では、BitTorrent のレアレストファスト方式を改良してコンテンツ再生中の途切れ時間を短縮している。BIS-S では、図1に示すように未受信のピースを、再生位置に近い優先セットとそれ以外の低順位セットに区別する。ピアは優先セットと低順位セットの中から確率 p で優先セットを選択し、選択したセットから受信するピースを決定する。優先セットでは、各ピースに対し自身の再生位置からの近さを表す緊急性 I と、各ピースのネットワーク内の数から求まる希少性 S から、重み係数 c を用いて定義される重要度の高いピースを受信する。低順位セットでは、レアレストファスト方式によりピースを受信する。しかし、BIS-S方式では、本論文で扱うモデル・動作分離型コンテンツのようなデータ構造を想定していない。提案方式では、モデルデータと動作データの再生開始時刻を考慮している点異なる。

P2P ストリーミングアーキテクチャを採用しているFLoD (Flowing Level-of-Details) [5]では、ユーザの操作するキャラクターが3D空間上を自由に動き回る。自身のAOI (Area of Interest) 内のオブジェクトデータを受信する際、自身に近いオブジェクトを優先的に受信する。これにより、3D空間を構成する膨大なオブジェクトデータの通信量を削減し、ピアどうしの通信によりサーバに発生する負荷を分散できる。オブジェクトは、レンダリングの際に必ず必要になるベースピースと、それ以外のリファインメン

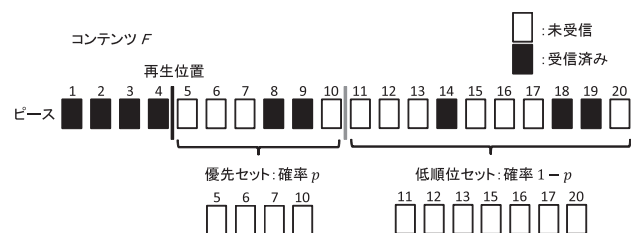


図1 BIS-S方式の優先セットと低順位セット

Fig. 1 A priority set and a non-priority set for the BIS-S method.

^{*1} TVML, <http://www.nhk.or.jp/str/tvml/>

^{*2} BitTorrent, <http://www.bittorrent.com/>

トピースで構成される。リファインメントピースはデッドラインまでに余裕のあるピアのみ受信することで、ピアがコンテンツを受信するまでの待ち時間を短縮できる。しかし、想定されているコンテンツは、すべてのピースを受信しなくても復元でき、本研究で想定するモデル・動作分離型コンテンツとは異なっている。

3. 想定環境

3.1 P2P ストリーミング環境

本研究では、あるサービスプロバイダがコンテンツを配信する、図 2 に示す P2P ストリーミング環境を想定する。P2P ストリーミング環境には、一般に、スーパーシードと呼ばれるオリジナルコンテンツを保持するピアと、P2P ネットワークを管理するピア情報管理サーバがある。ピア情報管理サーバは、P2P ネットワークに参加しているピアの受信帯域、送信帯域、コンテンツの取得状況を管理している。各ピアは定期的にピア情報管理サーバにアクセスし、これらの情報を送信する。既存研究と同じく、コンテンツの視聴を開始するピアは、P2P ネットワークに接続し、視聴要求をピア情報管理サーバに送信する。ピアは、他のピアからピースを受信しながら再生し、再生を最後まで終わると、P2P ネットワークから離脱する。受信したピースは、他のピアに送信できるようにするため、ピースの再生を終了しても、そのピースが含まれるコンテンツを再生している間は保持し、コンテンツの再生を終了するとバッファから全ピースを削除する。このため、ピアは再生するコンテンツのすべてのピースの受信に十分な容量のバッファ（記憶装置）を持っているものとする。これは、バッファにハードディスクのような大容量の記憶装置を使うことで、現実的な想定であると考えられる。

3.2 モデル・動作分離型コンテンツ

モデル・動作分離型コンテンツは、モデルデータと動作データと呼ばれる 2 種類のデータから構成される。ここでモデルデータとは、CG オブジェクトのベースとなるポリゴンメッシュや、付加データであるテクスチャ、光源設定ファ

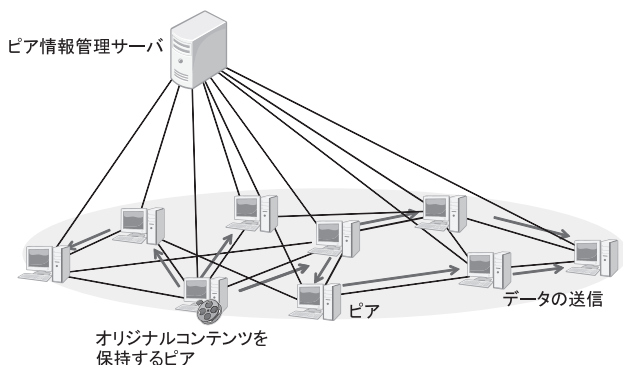


図 2 想定する P2P ストリーミング環境

Fig. 2 Our assumed P2P streaming environment.

イルなど、レンダリングのモデルとなるデータの集合である。動作データとは、モデルデータに連続的な変化を与えるデータである。コンテンツに含まれるデータは固定長に分割され、分割したデータをピースと呼ぶ。モデルデータのピースをモデルピース、動作データのピースを動作ピースと呼ぶ。また、1 章でも説明したように、コンテンツはいくつかのシーンに分けられる。シーンとは、同じモデルデータの集合を使用できる区間をいい、シーンの切り替わりや場面の切り替わりを意味する。各シーンにはモデルデータと動作データがあり、これらはモデルピースと動作ピースに分割される。モデル・動作分離型コンテンツの具体例として、CG アニメーションや TVML コンテンツがある。

ピアは各シーンに含まれるすべてのモデルピースを受信すると、シーン内の動作ピースの受信完了と同時に各動作ピースを再生する。シーンの再生開始時刻までにシーンに含まれるすべてのモデルピースが受信できていない場合、あるいは各動作ピースの動作が開始される時刻までに動作ピースが受信できていない場合には、再生が途切れる。

4. 提案方式

本章では、提案する RP-ET (Randomize + Prefetch considering Extra Time) 方式を説明する。再生途切れ時間を短縮するためには、受信するピースと受信先となるピアを適切に選択することが重要である。そこで本章では、受信するピースを決定する方法を説明した後、受信するピアの決定方法を説明する。

4.1 受信するピースの決定方法

1 章で述べたように、単純に再生開始時刻が早いピースを受信する方式では、バースト到着時に多くのピアが同じピースを受信することになって、P2P ネットワーク内で少ないピースを持つピアにピースの受信要求が集中する。通信帯域は、各ピアに等分割して割り当てられるため、受信要求が集中しているピアの、1 台あたりのピアに割り当てられる通信帯域が狭くなる。このため、バースト到着時のほとんどのピアは、ピースの受信に時間がかかり、再生途切れ時間が長くなる。各ピアが再生開始時刻の早いピースを受信していると、同じピースを要求しているピアの数が減らず、ピースの受信に時間がかかる期間が長く続いてしまう。一方、未受信のピースをランダムに受信することが考えられるが、ランダムに受信すると、すぐに再生開始しなければならないピースでも受信するのが遅くなって再生途切れ時間が長くなる。

そこで、RP-ET 方式では、次に再生が途切れる可能性がある時刻までの余裕の時間を余裕時間と呼び、余裕時間に応じて受信するピースの範囲を制限する。余裕時間 E は、受信済みのピースと現在の再生位置から計算でき、現在時刻を t 、現在再生中のピースの再生開始時刻を s 、そのピー

スから連続して受信完了しているピースの数を c 、1 つのピースの再生時間を d とすると、次式で表される。

$$E = s + dc - t \quad (1)$$

なお、コンテンツ受信開始直後は $s = t$ とし、また $c = 0$ であるため、 $E = 0$ となる。余裕時間が短いほど、再生開始時刻の早いピースを受信しなければ、再生が途切れやすくなる。余裕時間が長くなると、現在再生中のシーンや次のシーンといった先のピースを受信しても再生が途切れにくい。そこで、閾値 T_1 、 T_2 ($T_1 < T_2$) を用いて以下のようの場合分けする。

- $E \leq T_1$

他のピースを受信している余裕がないと判断し、再生が途切れないように再生開始時刻の最も早い動作ピースを受信する。シーン内の動作ピースをすべて受信している場合には、次のシーンのモデルピースを受信する。

- $T_1 < E \leq T_2$

再生が途切れるまでにある程度の余裕があると判断し、シーン内の動作ピースをランダムに受信する。さらに、 E の大きさに応じて、現在の再生位置から順番に取り出される w 個のうちから、ランダムにピースを受信する。 w は以下の式で与える。

$$w = \frac{E - T_1}{T_2 - T_1} U \quad (2)$$

U は現在再生しているシーン内の未受信の動作ピースの個数である。たとえば、 $T_1 = 10$ 秒、 $T_2 = 30$ 秒、 $E = 20$ 秒、 $U = 4$ 個の場合 $w = 2$ 個となるため、再生位置から近い 2 個の未受信の動作ピースの中からランダムに受信する。

- $T_2 < E$

再生が途切れるまでに十分に余裕があると判断し、次のシーンのモデルピースをランダムに受信する。

4.2 閾値の決め方

ピースの受信速度が遅ければ、次に再生が途切れる可能性がある時刻まで時間があっても、再生開始時刻の早いピースを受信しなければ再生が途切れる可能性が高い。そこで、RP-ET 方式では、ピースの受信速度に応じて閾値を動的に変化させる。再生開始時刻が早い順番にピースを受信しなくても再生が途切れない状況は、これから受信するピースと、次に再生するピースの 2 個のピースを受信できる余裕時間がある場合である。そこで、再生開始位置に最も近い動作ピースを受信するための閾値 T_1 を 2 個のピースの受信にかかる時間で与える。閾値 T_2 は T_1 よりも大きく、2 つの閾値を以下の式で与える。

$$T_1 = \frac{2D}{R}, T_2 = \frac{nD}{R} \quad (n = 3, 4, \dots) \quad (3)$$

ここで、 D はピースのデータサイズであり、 R は自身のピース 1 つあたりの受信帯域である。 n は提案方式のパラ

メータであり、小さいほど次のシーンのモデルピースが受信されやすい。受信帯域は変化し、つねに正確な受信帯域を把握することは困難である。そこで本研究では、各ピアは同時に複数のピースを送受信しており、送受信している数からピース 1 つあたりの受信帯域を計算する。本研究では、通信方式として半二重通信を想定しており、1 回線が送信と受信で共有されるため、受信帯域は送信ピアの数と受信ピアの数に依存する。送受信帯域は各送受信ピアに公平に割り当てられるものとする。たとえば、ピースを受信しようとしているピア p の送受信帯域が B_p で、 N_p 個のピアにピースを送信中、 M_p 個のピアからピースを受信中とする。さらに他のピアからピースを受信する場合、ピア p の受信帯域 R は、次式で与えられる。

$$R = \frac{B_p}{N_p + M_p + 1} \quad (4)$$

4.3 ピースの受信先となるピアの決定方法

ピースを速く受信できるほど再生途切れ時間を短縮しやすいため、各ピアは通信帯域の大きいピアをピースの受信先とする。ここで、ネットワークの可用帯域は非常に大きいと想定し、ピア間の通信帯域はピースを送信するピアの送信帯域と、ピースを受信するピアの受信帯域の小さい方の帯域で決定される。ここで、送信帯域とはピアがデータを送信できる最大の速度であり、受信帯域とはピアがデータを受信できる最大の速度を表している。ピースの受信先となるピアの決定時には、送信帯域が大きいピアを選択することで、ピースを早く受信できる。各ピアは、ピースを送信完了するごとに送信帯域を管理サーバに伝えているため、管理サーバに問い合わせることで、送信帯域の大きいピアを発見できる。通信方式は半二重通信を想定し、送受信帯域は各送受信ピアに公平に割り当てられるため、送信帯域は 4.2 節における受信帯域と同様に計算できる。たとえば、受信するピースを持つピアの集合を Q とする。ピア q ($\in Q$) の各ピアへの送信帯域は、4.2 節と同じく $\frac{B_q}{N_q + M_q + 1}$ となる。このとき、次式を与えるピアを受信先とする。

$$\max_{q \in Q} \frac{B_q}{N_q + M_q + 1} \quad (5)$$

N_q や M_q が大きすぎると、通信帯域が狭くなって 1 つのピースの受信にかかる時間が長くなるため、RP-ET 方式では N_q 、 M_q に上限を与える。この上限により、 Q に含まれるすべてのピアからピースを受信できない場合には、ピアは一定時間待ってから再びピースを要求する。待機時間が短すぎる場合、サーバへの問合せ回数が増えサーバの計算負荷が大きくなり、長すぎる場合、ピースを受信する機会が減少し再生が途切れる可能性が高くなる。

4.4 具体例

図 3 を用いて、RP-ET 方式のピース・ピア選択方法に

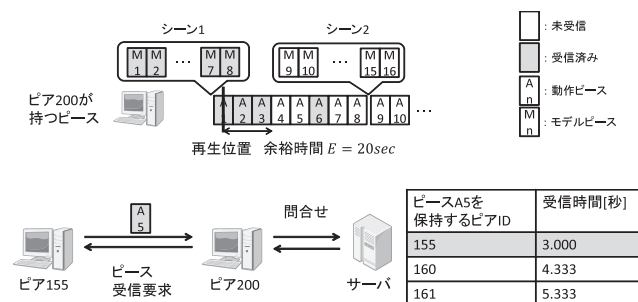


図 3 RP-ET 方式の具体例

Fig. 3 An example of the RP-ET method.

について説明する．上部にピア ID が 200 のピア 200 が持つピースを示している．網掛けのピースが受信済みのピースを表しており，凡例を右上に示している．右下には，ピア 200 がこれから受信するピース A5 を保持するピア ID と，そのピアからの受信にかかる予測時間を示している．ピア 200 はシーン 1 のモデルピースをすべて受信し，動作ピース 1, 2, 3 を連続して受信しているため，動作ピース 4 を再生するまでは途切れることなく再生できる．動作ピース 1 つあたりの再生時間が 8 秒で動作ピース 1 の半分を再生している場合，現在時刻から動作ピース 4 の再生を開始する時刻までの余裕時間 E は 20 秒になる． T_1, T_2 がそれぞれ 10 秒，30 秒であるとする，シーン 1 の未受信の動作ピースの数は動作ピース 4, 5, 7, 8 の 4 個であることから，式 (2) より，選択範囲である w は 2 個となる．よって，再生位置から近い 2 個のピース A4, A5 からランダムに選択する．次に，選択したピースを保持するピアのうち，最も早くピースを受信できるピアをサーバに問い合わせる．ここでは，ピースは A5 を選択したものとし，ピース A5 を最も早く受信できる，ピア 155 に対して受信要求を発行する．

図 3 では $T_1 < E \leq T_2$ の場合を説明したが， $E \leq T_1$ の場合は，再生位置に最も近いピース A4 を選択する． $T_2 < E$ の場合は，次のシーンであるシーン 2 のモデルピース M9～M16 のうちからランダムに選択する．選択したピースを受信完了し次第，同様に次に受信するピースを選択する．

5. 評価

本章では，RP-ET 方式の性能評価のために行ったシミュレーション実験について述べる．

5.1 評価環境

本研究では，性能評価のために表 1 に示すパラメータを用いてシミュレーション実験を行った．ピアのコンテンツ視聴要求はポアソン過程に従うものとし，平均要求到着間隔は，一般的な到着分布としてよく用いられるポアソン分布で与える．無線 LAN を想定して，ピアの通信帯域には平均値が 6 Mbps，標準偏差が 1 Mbps の正規分布を与え，

表 1 実験のパラメータ

Table 1 Experimental parameters.

パラメータ	値
コンテンツ長 [秒]	1,800
シーン長 [秒]	180
ビットレート [Mbps]	2.5
モデルデータの割合 [%]	75
ピースサイズ D [Kbyte]	1,024
平均要求到着間隔 [秒]	20
バースト到着開始時の平均要求到着間隔 [秒]	1
最大通信帯域 B [Mbps]	4～8
受信中のピース数 (M) の上限数 [個]	2
送信中のピース数 (N) の上限数 [個]	2

4 Mbps を下限，8 Mbps を上限とした．要求失敗時の待機時間は，各ピアが 1 つのピースを受信するのに要する十分な時間と考え，10 秒とした．ピースサイズは，BitTorrent のデフォルトのピースサイズと同じ 1 MByte としている．コンテンツの条件は様々なものが考えられるが，ビットレートは MPEG2 でエンコードされた高画質のコンテンツ相当を想定し，2.5 Mbps とした．シーン長，モデルデータの割合は標準を 180 秒，75%としているが，それぞれを変化させたときの影響を 5.5 節，5.6 節で詳しく調べている．また，閾値 T_2 を決定する n を変化させたときの影響についても，5.3 節で詳しく調べている．

各方式において，同時に通信するピアの数に関する予備実験を行った．その結果から，すべての方式で最も平均再生途切れ時間が短くなるよう，同時に通信するピアの数は 4 台で，送信，受信するピアの数はそれぞれ 2 台として後の評価を行う．

ピアのバースト到着をシミュレーションするため，特に明記しない限り，各ピアの再生途切れ時間が収束してから一定時間後に平均要求到着間隔を 1 秒に変化させた．その後，1,500 ピア到着後にバースト到着が収まり，平均要求到着間隔が元の 20 秒に戻るよう平均要求到着間隔を指数関数で増加させた [3]．バースト到着発生前の再生途切れ時間が大幅に変わっていない期間を安定時と呼ぶ．1,500 ピア到着するとバースト到着が収まるため，バースト到着によりピアの再生途切れ時間が増加してから，徐々に減少して再生途切れ時間の変化が少なくなるが，この期間を過渡期と呼ぶ．過渡期は，あるピアの再生途切れ時間が，直前の 50 ピアの再生途切れ時間の平均の 5% 以内に収まったときに終了すると見なす．また，過渡期の継続時間を収束時間と呼ぶ．

シミュレーション実験では，P2P ストリーミング配信の評価によく利用されているシミュレータ GPS [12] を参考にした．GPS は P2P ネットワークにおけるコンテンツ配信を評価するためにいくつかの研究で利用されている [6], [9]．

5.2 比較方式

シミュレーション実験では、単純方式、ランダム方式、BIS-S方式と、提案方式であるRP-ET方式を比較する。

単純方式では、再生開始時刻の早いピースから順番に受信する。各シーンのモデルデータのピースは再生開始時刻が同じであるが、単純にモデルデータを構成する初めのピースから順番に受信する。単純方式では、モデルデータを前の方のピースから順番に受信するため、モデルピースを集め続けると、ネットワーク内で持っているピアが少ないモデルピースの受信要求が増加する。結果、そのモデルピースを持つピアに受信要求が集中して、受信に時間がかかる。そこで、受信要求が集中しないように、ランダム方式では、モデルピースを前の方からでなく、モデルデータ内でランダムに選択して受信する。

また、既存方式として、文献[8]でP2Pストリーミング環境における有効性が確認されているBIS-S方式を用いる。ただし、BIS-S方式はモデルデータを考慮していないため、モデルデータをシーンの初めに受信するものとして方式を拡張した。

5.3 T_2 の影響

まず、RP-ET方式の T_2 を決定するパラメータ n の影響を調べるために、 n を100まで変化させた場合の、再生途切れ時間を評価した。シミュレーションでは、ピアの到着順にそれぞれIDが振られる。ここでは、バースト到着が始まる、ピアIDが2,751番目の再生途切れ時間をグラフに示す。

図4では、モデルデータの割合を変えて比較している。この結果から、モデルデータの割合ごとに、ピアの再生途切れ時間を短くする n の値が異なることが分かる。これは、モデルデータの量が多いほど、 T_2 を小さくして次のシーンのモデルピースを受信しやすくすることで、ピースの受信要求が集中しにくく、再生途切れ時間を短縮できるためである。一方、モデルデータの割合が小さい場合は、

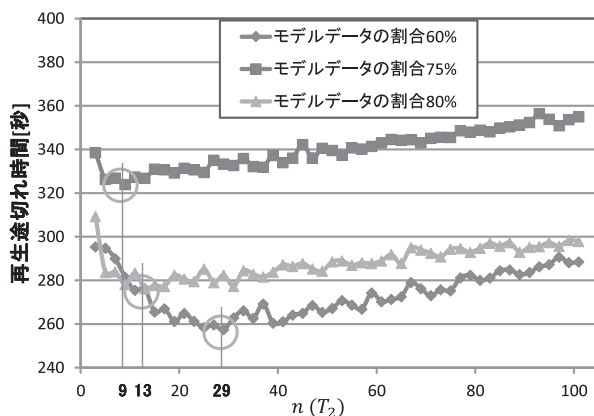


図4 モデルデータの割合と T_2 の影響

Fig. 4 The influence of the model-data ratio and T_2 .

動作データの量が増え、動作ピース1つあたりの再生時間は短くなる。この場合、 T_2 が大きくなり、次のシーンのモデルピースよりも、同じシーンの再生位置付近の動作ピースを広く受信することで、再生途切れ時間を短縮できる。また、再生途切れ時間が大きい順にモデルデータの割合は75%、80%、60%となっており、必ずしもモデルデータが多いほど再生途切れ時間が大きいとは限らないことが分かる。モデルデータの割合が大きい場合、次のシーンのモデルデータを受信するのに時間がかかり、再生途切れ時間が増加する。一方で、モデルデータの割合が小さい、すなわち動作データの割合が大きい場合、動作データの量が増えることで動作ピース1つあたりの再生時間は短くなり、余裕時間が増加しにくくなるため、再生途切れ時間が増加する。このため、モデルデータが多いほど再生途切れ時間が大きくなるとは限らない。

図5では、シーン長を変えて比較している。この結果から、シーン長ごとのピアの再生途切れ時間を短くする n には大きな違いがない一方で、横軸 n の変化に対して、再生途切れ時間の傾きは、シーン長が短いほど大きくなっていることが分かる。これは、シーン長が短くなるほどシーンあたりの動作ピースが少なく、余裕時間が長くなりやすいためである。次のシーンのモデルピースが受信されにくく、ピースの受信要求が集中しやすくなり、再生途切れ時間が長くなる。

以降のRP-ET方式における評価では、各モデルデータの割合およびシーン長において最短の再生途切れ時間を与えた n を用いる。

5.4 バースト到着時におけるピアの到着間隔の影響

コンテンツの人気度や時間帯など、様々な条件のもとでピアのバースト到着の程度は異なり、これによってピアの再生途切れ時間は変化する。長時間の再生途切れ時間にならないように、数分程度の再生途切れ時間になる場合を考えて、バースト到着開始時の平均要求到着間隔が1.5秒、2

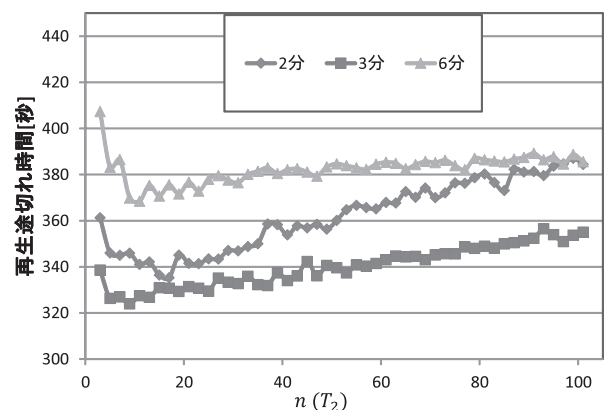


図5 シーン長と T_2 の影響

Fig. 5 The influence of the scene durations and T_2 .

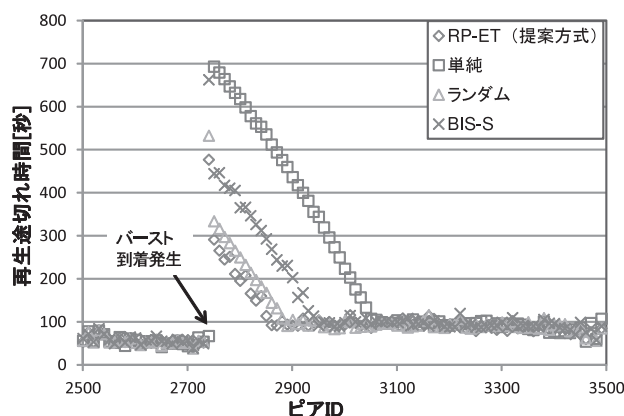


図 6 過渡期におけるピアの再生途切れ時間（バースト到着開始時の平均要求到着間隔 1.5 秒）

Fig. 6 Interruption time in transition phase (The arrival interval is 1.5 sec.).

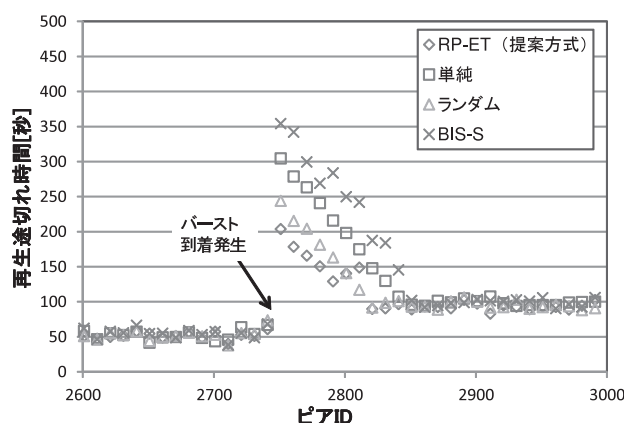


図 7 過渡期におけるピアの再生途切れ時間（バースト到着開始時の平均要求到着間隔 2 秒）

Fig. 7 Interruption time in transition phase (The arrival interval is 2 sec.).

表 2 バースト到着開始時の平均要求到着間隔と収束時間 [秒]

Table 2 The convergence time and the arrival interval (sec.).

方式	収束時間 (1.5 秒)	収束時間 (2 秒)
RP-ET (提案方式)	230	211.2
単純方式	682.6	277.8
ランダム方式	278	222.9
BIS-S 方式	411.4	314.8

秒の場合のピアの再生途切れ時間をシミュレートした。それぞれの結果を図 6, 図 7 に示す。収束時間をまとめたものを表 2 に示す。ピア ID は到着順に与えられるため、各図の横軸は実質的に時間の進行を表している。バースト到着開始直後であるピア ID2751 からしばらくは、ピース受信要求が集中しピースを受信するのに時間がかかるため、再生途切れ時間が大きい。バースト到着後半のピアは、前半に到着したピアの送信帯域を利用することができるため、再生途切れ時間が減少している。ここで、バースト到着時の平均要求到着間隔が長くなると、P2P ネットワー

ク内に存在するピアの数は少なくなり、ピースの受信要求は集中しにくく、再生途切れ時間、収束時間はともに短くなる。バースト到着開始時の平均要求到着間隔が 2 秒の場合、単純方式の方が BIS-S 方式よりも再生途切れ時間が短くなっているが、どちらの場合においても、RP-ET 方式が再生途切れ時間を最短にしている。

また、各方式において、バースト到着以前のピアの再生途切れ時間に比べ、バースト到着およびその収束後のピアの再生途切れ時間が長くなっている。これらはいずれも最初のシーンのモデルデータを受信するのに要する時間であり、バースト到着前に比べて P2P ネットワーク内にピアが多く存在し、ピース受信要求が集中することで、バースト到着以前に比べてピースの受信にさらに時間がかかるためである。図を十分に時間が経過するまで表示すると、バースト到着時のグラフが縮小されて見づらくなるため、図中では示されていないが、十分に時間が経過し元の平均要求到着間隔に戻るピア ID4250 のピア以降の再生途切れ時間は、いずれの方式においても、バースト到着以前のピアの再生途切れ時間と同程度となることを確認している。

5.5 シーン長の影響

同じモデルデータが使用される区間の長さは、コンテンツによって異なる。たとえば、舞台やライブでは、舞台やライブの会場のシーンが長く、他のシーンは少なく短いことが多い。一方で、ドラマなどでは、シーンが頻繁に切り替わることが考えられる。

そこで、バースト到着時の再生途切れ時間を、シーン長が 2 分、3 分の場合についてそれぞれ図 8, 図 9 に示す。どちらの場合においても、RP-ET 方式では余裕がある場合にピースを先取りすることが有効に働き、再生途切れ時間を最短にしている。これらの場合の収束時間を表 3 に示す。シーン長が 3 分よりも 2 分の方が、RP-ET 方式、ランダム方式では、収束時間が長くなっていることが分かる。BIS-S 方式では、ほとんど変化がないが、バースト到着時の再生途切れ時間の増加がより小さくなっている。たとえば、ピア ID が 3000 のピアの再生途切れ時間は、3 分の場合は 150.3 秒であるが、2 分の場合は 109.5 秒となっている。これは、BIS-S 方式では、動作データとモデルデータの違いを考慮していないため、再生開始時刻がすべて各シーンの初めになるモデルピースでも、P2P ネットワーク内のピースの数を考慮して先に受信しないことがあるためである。モデルピースの数が少ないほどこの影響は小さく、再生途切れ時間が短くなる。

5.6 モデルデータの割合による影響

コンテンツに占めるモデルデータの割合もコンテンツの内容に依存する。たとえば、人物などのモデルデータが高精細な場合にはモデルデータの割合が大きくなり、ポリゴ

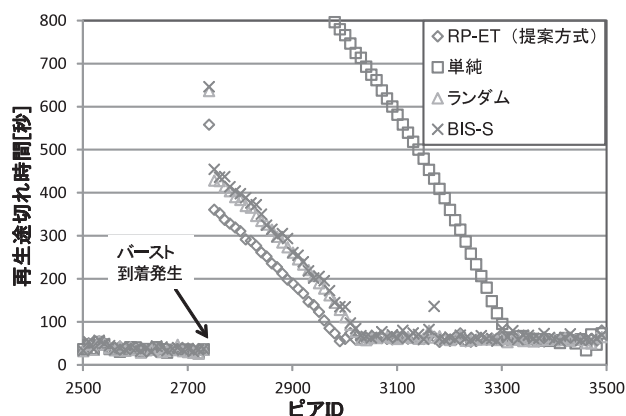


図 8 過渡期におけるピアの再生途切れ時間 (シーン長 2 分)

Fig. 8 Interruption time in transition phase (Scene duration is 2 min.).

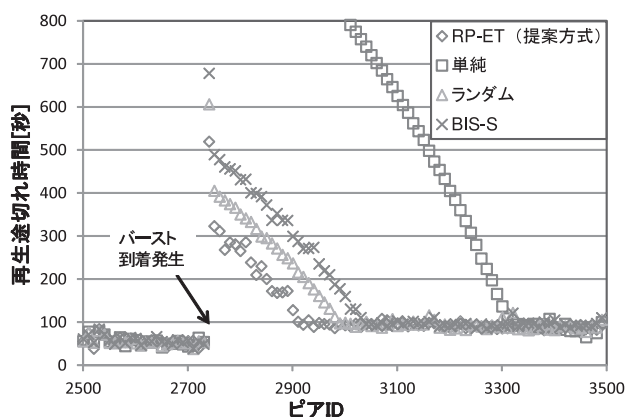


図 9 過渡期におけるピアの再生途切れ時間 (シーン長 3 分)

Fig. 9 Interruption time in transition phase (Scene duration is 3 min.).

表 3 シーン長と収束時間 [秒]

Table 3 The convergence time and the scene durations (sec.).

方式	収束時間 (シーン長 2 分)	収束時間 (シーン長 3 分)
RP-ET (提案方式)	338.7	236.2
単純方式	1,142.9	1,125.6
ランダム方式	430.4	349
BIS-S 方式	432.2	417.7

ンなどのシンプルなモデルデータの場合にはモデルデータの割合は小さくなる。一般にモデルデータの割合は、動作データの割合に比べて大きく、50%以上になるが、様々な割合が考えられる。すべての値で評価することは不可能なため、モデルデータの割合が再生途切れ時間に及ぼす影響を調べるために、モデルデータの割合が 60%と 80%にして評価を行った。評価結果を図 10、図 11 に示す。収束時間をまとめたものを表 4 に示す。

これらの結果より、モデルデータの割合が大きくなるほど、RP-ET 方式、ランダム方式では、収束時間が短くなっていることが分かる。単純方式、BIS-S 方式では、バース

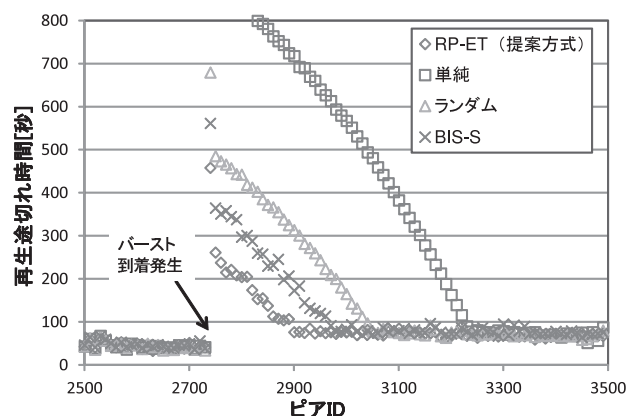


図 10 過渡期におけるピアの再生途切れ時間 (モデルデータの割合 60%)

Fig. 10 Interruption time in transition phase (Model-data ratio is 60%).

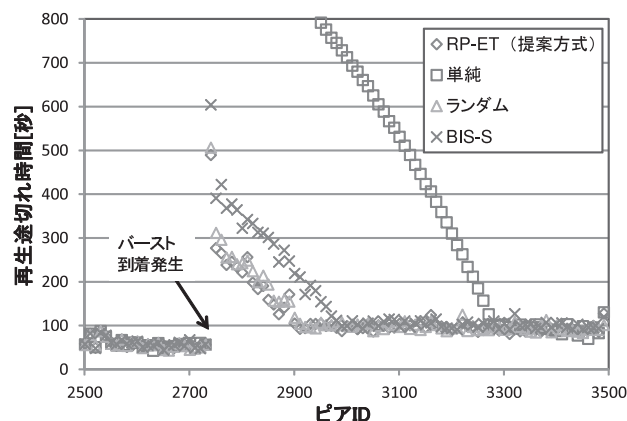


図 11 過渡期におけるピアの再生途切れ時間 (モデルデータの割合 80%)

Fig. 11 Interruption time in transition phase (Model-data ratio is 80%).

表 4 モデルデータの割合と収束時間 [秒]

Table 4 The convergence time and model-data ratio (sec.).

方式	収束時間 (モデルデータの割合 60%)	収束時間 (モデルデータの割合 80%)
RP-ET (提案方式)	189.6	177.4
単純方式	891.3	1,044.3
ランダム方式	462.8	223.3
BIS-S 方式	317.3	338.7

ト到着時の再生途切れ時間の増加がより大きくなり、収束時間も長くなっている。これは、モデルデータの割合が大きいほど、各シーンに含まれるモデルピースの数が増えて、P2P ネットワーク内で同じモデルピースを持つピアの数を増やす方が、再生を途切れにくくできるためである。他の方式では、初めのシーンのモデルピースをすべて受信するまでの時間が長くなって、バースト到着の影響が大きくなる。

また、異なるシーンで同じモデルデータを利用すること

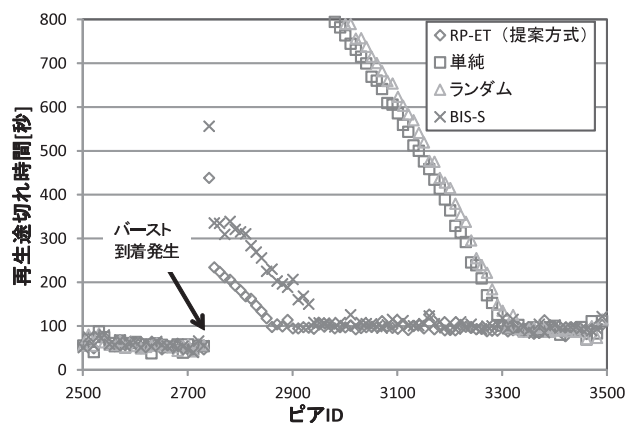


図 12 過渡期におけるピアの再生途切れ時間（モデルデータの割合は線形に減少）

Fig. 12 Interruption time in transition phase (Model-data ratio diminishes lineally).

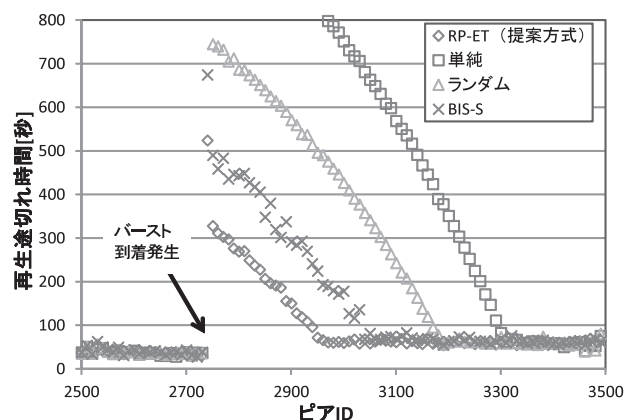


図 13 過渡期におけるピアの再生途切れ時間（モデルデータの割合は一定）

Fig. 13 Interruption time in transition phase (Model-data ratio is constant).

が考えられる。そこで、初めの方ほど新しい登場人物や背景が現れるコンテンツを考え、10 個のシーンのモデルデータの割合を、初めのシーンでは 80% とし、最後のシーンでは 20% となるように線形に減少させて評価を行った。モデルデータの割合が、すべてのシーンにおいて 50% のコンテンツと比較した。モデルデータの全データサイズは同じになる。バースト到着時の再生途切れ時間を、それぞれ図 12、図 13 に示す。収束時間をまとめたものを表 5 に示す。

モデルデータの全データサイズが同じでも、シーン間で異なる場合には、再生途切れ時間が変化しており、RP-ET 方式、BIS-S 方式では再生途切れ時間が短くなっている。これは、受信するモデルデータの量が後ろのシーンになるほど減少することで、シーンの変化時に途切れが発生する確率が小さくなるためである。一方、単純方式、ランダム方式では再生途切れ時間は長く、ランダム方式の性能が単純方式を下回っている。これは、後ろの方ではモデルデー

表 5 モデルデータの割合と収束時間 [秒]

Table 5 The convergence time and model-data ratio (sec.).

方式	収束時間 (モデルデータの 割合は線形に減少)	収束時間 (モデルデータの 割合は一定)
RP-ET (提案方式)	156.3	309.1
単純方式	1,087.3	1,125.6
ランダム方式	1,125.6	772.4
BIS-S 方式	299.2	472.6

タが少ないため、ランダム方式で受信すると、決定されたピースが多くの場合に、単純方式で決定されるピースと同じになるためである。一方で、途切れの発生しないコンテンツの前の方では、モデルピースをランダムに受信することにより、各ピースの受信に時間がかかり、単純方式に比べて再生途切れ時間がわずかに長くなっている。

これらの結果より、シーン間で共通するモデルデータを再利用する場合においても、RP-ET 方式は有効であることが確認できる。

6. 考察

6.1 RP-ET 方式の有効性について

各ピアが受信したピースを、次に再生要求を出したピアに送信するといった順番にピースを送信できる安定した状況では、各方式において平均再生途切れ時間に大きな差が出なかった。いずれの方式においても、各ピアは最低でも 50 秒程度再生が途切れている。妥当な再生途切れ時間は、視聴者が視聴を諦めてしまう再生途切れ時間であり、視聴者の視聴意欲に依存するため一概には定義できないが、この程度の途切れ時間は許容範囲内であると考えられる。しかし、再生要求がバースト到着し、順番に送信しても再生が途切れる状況になると、RP-ET 方式の平均再生途切れ時間が最も短くなっている。これは、RP-ET 方式では、再生が途切れるまで余裕のあるピアが先のモデルピースを先取りすることで、P2P ネットワーク内に少ないピースを持つピアへの受信要求の集中を避けられるためである。一般に、P2P ストリーミング配信では、コンテンツの人気度や、時間帯によって平均要求到着間隔が変わり、このようなユーザの視聴要求が不均一な場合には、RP-ET 方式が有効といえる。

6.2 パラメータ T_2 について

T_2 が小さすぎる場合、次のシーンのモデルピースを先取りしている間に通信速度が低下すると、ピースの受信中に余裕時間が消費され、再生が途切れる可能性がある。また、逆に T_2 が大きすぎる場合、各ピアの受信するピースに偏りが生じ、ピースの受信要求があるピアに集中しやすくピースの受信に時間がかかり、再生が途切れやすくなる。RP-ET 方式では、再生途切れ時間が短くなるように T_2 を

設定することで、多くの場合、比較方式よりも短い再生途切れ時間を与えている。実際には、コンテンツやシステム環境が変わると適切な値も変化するため、運営者がはじめは小さな値に設定し、少しずつ大きくして再生途切れ時間が短くなるように設定することが考えられる。

6.3 コンテンツのデータ構造について

本研究で想定しているコンテンツのように、モデルピースと動作ピースに分けられるコンテンツでは、各シーンの初めの再生開始時刻までにモデルピースを受信しておかなければ再生が途切れるため、モデルピースの受信が重要になる。

また、ユーザの視覚的な重要度に基づいて、受信すべきモデルデータを最小限に抑えたり、受信できたモデルデータから漸進的にレンダリングする方式をとることで、途切れ時間をさらに短縮できると考えられる。文献 [2] や文献 [4] などの既存研究を参考にして、ユーザのモデル・動作分離型コンテンツ視聴方法を十分に検討する必要がある、今後の課題である。

7. おわりに

本研究では、P2P ストリーミング環境において、モデル・動作分離型コンテンツの再生中の途切れ時間を短縮する方式を提案した。RP-ET 方式では、余裕時間と呼ぶ、次に再生が途切れる可能性がある時刻を計算する。余裕時間が短い場合には、再生開始時刻が早い順番にピースを受信するが、長い場合には、次のシーンのモデルピースをランダムに受信する。再生が途切れるまで余裕があるピアがピースを先取りすることで、ネットワーク内で少ないピースを持つピアに受信要求が集中しにくくなり、既存方式よりもバースト到着時の再生途切れ時間の増加が抑えられる。シミュレーション実験の結果から、RP-ET 方式は比較方式と比べて、安定時の平均再生途切れ時間を維持しつつ、バースト到着時の再生途切れ時間の増加が抑えられることを確認した。

今後、コンテンツの再生途中でピアが離脱する場合や、シーン長を考慮して受信するピースを決定する方式についても検討する。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金（若手研究（A））「次世代オンデマンド型視聴形態のためのコンテンツ配信方式」（課題番号：23680007）、「総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）」および科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「再生途切れのない没入型コンテンツの放送型配信に関する研究」（課題番号：23650050）による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Cohen, B.: Incentives build robustness in BitTorrent, *Proc. P2PECON*, pp.68–72 (2003).
- [2] Chim, J., Lau, R., Leong, H.V. and Si, A.: CyberWalk: A Web-based Distributed Virtual Walkthrough Environment, *IEEE Trans. Multimedia*, Vol.5, No.4, pp.503–515 (2003).
- [3] D'Acunto, L., Vinko, T. and Pouwelse, J.: Do BitTorrent-like VoD systems scale under flash-crowds?, *Proc. IEEE Int. Conf. on P2P*, pp.1–4 (2010).
- [4] Doran, A., Mondet, S., Grigoras, R., Morin, G., Ooi, W.T. and Boudon, F.: A Demonstration of MobiTree: Progressive 3D Tree Models Streaming on Mobile Clients, *Proc. ACM Multimedia*, pp.955–956 (2009).
- [5] Hu, S.Y., Huang, T.H., Chang, S.C., Sung, W.L., Jiang, J.R. and Chen, B.Y.: Flod: A framework for peer-to-peer 3D streaming, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.1373–1381 (2008).
- [6] Kangasharju, J., Schmidt, U., Bradler, D. and Schröder-Bernhardi, J.: ChunkSim: Simulating peer-to-peer content distribution, *Proc. Spring Simulation Multiconference*, pp.25–32 (2007).
- [7] 小川剛史, 永石博憲, 原 隆浩, 西尾章治郎: 放送型サイバースペースのためのオブジェクトの人気度と距離を考慮したスケジューリング方式, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.739–747 (2008).
- [8] 坂下 卓, 義久智樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: P2P ストリーミング環境における分割データの重要度を考慮した視聴中止端末数削減手法, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.11, pp.3008–3017 (2011).
- [9] Shah, P., Rasheed, J. and Paris, J.F.: Performance study of unstructured P2P overlay streaming systems, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, pp.1–6 (2008).
- [10] Tang, Z., Rong, G., Guo, X. and Prabhakaran, B.: Streaming 3D Shape Deformations in Collaborative Virtual Environment, *Conf. IEEE VR*, pp.183–186 (2010).
- [11] Vlavianos, A., Iliofotou, M. and Faloutsos, M.: BiToS: Enhancing BitTorrent for supporting streaming applications, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.1–6 (2006).
- [12] Yang, W. and Ghazaleh, N.A.: GPS: A general peer-to-peer simulator and its use for modeling BitTorrent, *Proc. IEEE Int. Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, pp.425–432 (2005).

推薦文

モデル・動作分離型コンテンツに着目した手法として新規性の高い研究発表であり、実証についても良く論理だてられていることから、学術的な価値が高いと考えられる。（デジタルコンテンツクリエーション研究会主査 塚本昌彦）



横山 正浩（学生会員）

2012 年大阪大学工学部電子情報工学科卒業。現在、同大学大学院情報科学研究科博士前期課程在学中。P2P ストリーミング環境に興味を持つ。



義久 智樹 (正会員)

2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2003 年同大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程を修了し、2005 年同専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。2005 年京都大学学術情報メディアセンター助教。2008 年大阪大学サイバーメディアセンター講師を経て 2009 年より同准教授となり、現在に至る。この間、カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員。インターネット放送およびセンサネットワークに興味を持つ。電子情報通信学会、IEEE 各会員。



原 隆浩 (正会員)

1995 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1997 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学院工学研究科博士後期課程中退後、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助手、2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手、2004 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻准教授となり、現在に至る。工学博士。1996 年本学会山下記念研究賞受賞。2000 年電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。2003 年本学会研究開発奨励賞受賞。2008 年、2009 年本学会論文賞受賞。モバイルコンピューティング、ネットワーク環境におけるデータ管理技術に関する研究に従事。IEEE、ACM、電子情報通信学会、日本データベース学会各会員。



西尾 章治郎 (フェロー)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授を経て、1992 年大阪大学工学部教授、2002 年同大学院情報科学研究科教授となり、現在に至る。その間、大阪大学サイバーメディアセンター長、同大学院情報科学研究科長、理事・副学長を歴任。データベースシステムにおけるデータおよび知識管理に関する研究に従事し、紫綬褒章、立石賞功績賞等を授与される。日本学術会議会員。本会では理事を歴任し、論文賞、功績賞を受賞。IEEE、電子情報通信学会フェロー。