

## P2P ストリーミング環境におけるピースの希少性の変化に基づく 再生途切れ時間短縮方式

小島圭貴<sup>1</sup> 佐藤文明<sup>2</sup>

**概要:** 近年、インターネットを介した映像配信サービスの増加にともない、P2P ストリーミング環境に注目が集まっている。P2P ストリーミング環境では、再生端末（ピア）は、再生に必要な分割データ（ピース）を P2P ネットワーク上の他の複数のピアから受信することで、サーバに発生する負荷を軽減できる。しかし、ピースをランダムに選択して受信するため、再生位置付近のピースの受信が間に合わない場合、再生途切れ時間が発生する。この課題に対して、ピースの再生位置への近さ（緊急性）と P2P ネットワーク内に存在するピースの数の少なさ（希少性）を考慮してピースを受信し再生途切れ時間を短縮する方法が提案されている。しかし、再生位置から離れたピースは、希少性が高いにもかかわらず選択されにくい問題があった。本稿では、P2P ネットワーク内のピースの希少性の変化を考慮し再生位置付近とそれ以降のピースの選択確率を制御する BICS を提案する。シミュレーションによる評価の結果、提案方式は従来方式より再生途切れ時間を短縮することを確認した。

### A Method to Reduce Interruption Time in P2P Streaming Environments Based on a Change of Rarity of Pieces

KIYOTAKA KOJIMA<sup>1</sup> FUMIAKI SATO<sup>2</sup>

#### 1. はじめに

近年、YouTube などの動画共有サイトが爆発的な普及を見せ、インターネット上のストリーミング配信のトラフィックが年々増大している[1]。ストリーミング配信では、ユーザはコンテンツを再生すると同時に次に再生するデータを受信するため、スムーズなデータのダウンロードが必要となる。ストリーミング配信の実現方法として P2P ストリーミングに注目が集まっている[1][2]。P2P ストリーミング環境では、ユーザ間でコンテンツを送受信することにより、サーバ・クライアント型と比較してサーバの負荷を低減できる。

P2P ファイル共有システムを利用した P2P ストリーミング環境では、コンテンツをピースと呼ばれる分割されたデータで扱う。再生端末（ピア）は、他のピアからピースを受信する[3][4]。ピアはピースの再生開始時刻までにそのピースを受信完了することで、途切れることなくコンテンツを視聴できるが、ピースの受信が再生に間に合わない場合、再生途切れが発生する。P2P ストリーミングでは、未受信のピースをランダムに選択して受信しており、コンテンツ先頭から順に受信を行わないため、再生位置付近のピースが受信されず、再生途切れが発生する場合があった。そこ

で、再生途切れ時間を短縮するために再生位置付近のピースの受信を優先するいくつかの手法が提案されている[5][6][7]。特に、[7]の BIS 方式ではピースの重要度を再生位置からの近さ（緊急性）とピースを保持するピア数の少なさ（希少性）を考慮して算出する方法を導入し、再生途切れ時間を短縮した。しかし、これらの研究は、再生位置付近のピースの選択が優先されるため、多くのピアに拡散していないピースがコンテンツ後方にある場合、急に希少性の高いピースを持つピアに要求が集中して受信速度の低下また接続待ちが発生してしまう。その結果、受信が再生に間に合わないピアは、再生途切れ時間が発生するという問題があった。

この問題点を改善する方式として、再生位置付近のピースを優先的に受信するが、再生に余裕ができたならコンテンツ後方のピースの選択確率を動的に引き上げる BIS-E 方式[8]が提案された。これにより、希少性の高いピースを多くのピアに拡散させて将来の再生途切れを防止する結果がある。しかし、再生位置に近いピースが十分に揃って再生に余裕ができてから確率を変動させることから希少性の変化に対する追従が遅いという問題があった。

本論文では、より希少性の変化に対する追従を早めて再生途切れ時間を短縮する手法を提案する。本研究では、再生位置付近のピースを優先しながらコンテンツ後方のピースをより多く拡散させるために、既存の BIS 方式[7]を拡張し、P2P ネットワーク内の各ピース数の変化に基づいて再

<sup>1</sup> 東邦大学大学院 理学研究科 情報科学専攻  
Toho University, Graduate School of Science, Department of Information Science

<sup>2</sup> 東邦大学 理学部 情報科学科  
Toho University, Faculty of Science, Department of Information Science

生位置付近のピースの選択確率を変動させる。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章で提案手法を説明し、5章で性能評価の結果を示す。6章で提案手法について議論を行い、最後に7章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

P2P ファイル共有システムで著名な BitTorrent[9]では、コンテンツのデータをピースに分割し、レARESTファスト方式を用いてピア同士でピースを送受信する。レARESTファスト方式では、ピアはP2Pネットワーク内で数が少ないピースを優先的に受信する。しかし、ストリーミング配信の場合、レARESTファスト方式では再生位置を考慮しないため、ピースの受信が再生に間に合わない再生途切れ時間が生じる。そこで、再生途切れ時間を短縮する手法がいくつか提案されている。

### 2.1 BiToS 方式

BiToS(Enhancing BitTorrent for Supporting Streaming Applications)[10]は、BitTorrent のレARESTファスト方式を改良してコンテンツ再生中に発生する途切れ時間を短縮する手法である。BiToS では、図 2.1 に示すように未受信のピースを、再生位置に近いピースで構成される優先セット(始めの  $k\%$  の未受信ピース)とそれ以外の低順位セットに区別する。ピアは確率  $p$  で優先セットを選択し、選択されたセットからレARESTファスト方式を用いて受信するピースを選択する。BiToS では、各セット内ではレARESTファスト方式を用いて受信するピースを選択するため、優先セット内のピースのうち、再生位置に近いにもかかわらずP2Pネットワーク内に存在する数が多いピースが長時間受信されない場合がある。

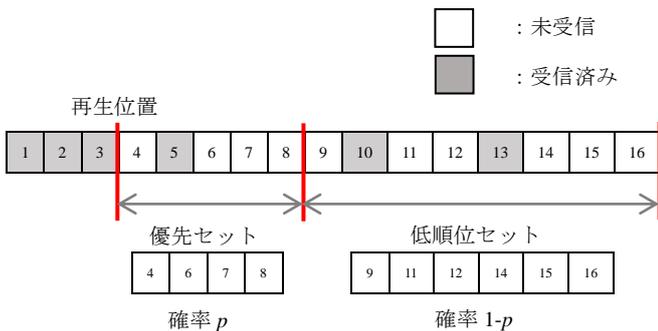


図 2.1 BiToS におけるピースセットの例

### 2.2 BIS 方式

BIS (BiToS + Immediacy and Scarcity) [7]は BiToS 方式を改良した方式である。BiToS 方式と同様に未受信のピースを2つのセットに区別する。優先セットから受信ピースを

選択する際、ピアはセット内の全ピースに対する重要度を算出し、重要度の高いピースを選択し受信する。低順位セットが選択された場合、緊急性は小さいので BiToS 方式と同様レARESTファスト方式を用いる。ピースの重要度は、緊急性と希少性の2つの点を考慮して算出する。

そこで、優先セット内の算出を行うピース  $i$  に対する重要度  $D_i$  は以下のように定義する。

$$D_i = cI_i + (1-c)S_i \quad (2.1)$$

ここで、 $I_i$  はピース  $i$  に対する各ピアの緊急性、 $S_i$  はピース  $i$  のP2Pネットワーク内における希少性、 $c(0.0 \leq c \leq 1.0)$  は重み係数を表す。

緊急性  $I_i$  は、次に再生されるピース ID の  $h$ 、コンテンツの最後に再生されるピース ID の  $n$  を用いて以下のように定義する。

$$I_i = 1 - \frac{i-h}{n} \quad (2.2)$$

希少性  $S_i$  は、P2P ネットワークに接続している全ピア数  $N$ 、ピース  $i$  を保持しているピア数  $m$  を用いて以下のように定義する。

$$S_i = \frac{N-m}{N} \quad (2.3)$$

以上より、優先セット内でのピース選択時に緊急性を考慮した重要度で選択を行うため、優先セット内で希少性の低いピースでも再生位置に近い緊急性の高い場合優先して受信が行われる。

しかし、BIS 方式と BiToS 方式は同様に優先セットの選択確率  $p$  が固定である。そのため、再生位置に近いピースが受信済みで再生時間に余裕がある場合でも優先セットの高い優先度が維持される問題があった。

### 2.3 BIS-E 方式

BIS-E (BIS considering Extra time) [8]方式は、BIS 方式で問題となっていた優先セットの選択確率  $p$  を動的に変更して低順位セットの希少性の高いピースを拡散する方法である。BIS-E では、図 2.2 にあるように再生余裕時間が閾値  $T_b$  より大きければ、優先セットの選択確率を減少させる。このとき、残りの再生時間の長さに応じて減少のさせ方を変えている。残りの再生時間が短い場合、再生位置付近の未受信ピースも少なくなり、優先セットの選択確率を高く維持しておく必要性がなくなってくる。そのため、残りの再生時間が短いほど、優先セットの選択確率  $p$  を小さくすることで、より低順位セットが選ばれやすくなり希少性の高いピースが拡散することになる。

BIS-E の優先セット選択確率の計算方法は式(2.3)のようになる。再生余裕時間が  $T_b$  より長くなった場合に、デフォ

ルトの確率  $p$  の値  $p_f$  から、 $T_b$  を残りの再生時間  $T_c$  で除した値を減算する。  $T_c$  は  $T_b$  のとりうる最長の値である。 行うことで、残りの再生時間が短いほど確率  $p$  を小さくして後ろの方のピースを受信する確率を高める。

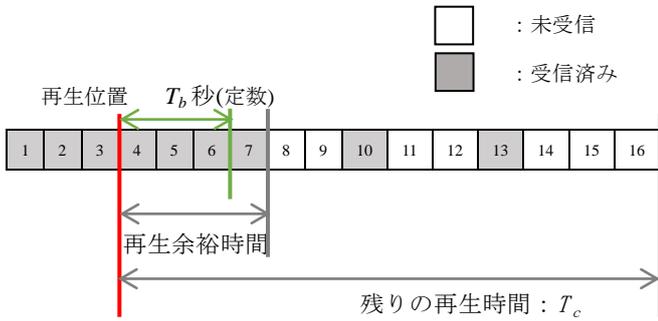


図 2.2 BIS-E 方式における例

$$p = p_f - \frac{T_b}{T_c} \quad (0.5 \leq p_f \leq 1) \quad (2.3)$$

$p_f$  は最初にシステムが設定する優先セットの選択確率、 $T_c$  はコンテンツの残り再生時間を表す。  $p_f < 0.5$  の場合、低順位セットを選択する確率のほうが優先セットの選択確率よりも高くなり、再生が長時間途切れる場合が多いため、 $0.5 \leq p_f \leq 1$  として、 $0.5 \leq p \leq p_f$  の範囲で確率  $p$  が変化するようにする。

このようにして、優先セットの選択確率  $p$  を可変にすることで、低順位セットの選択確率が適切に行われ再生途切れ時間が少なくなった。しかし、優先セット内のピースの希少性が平均的に低く、また低順位セット内に希少性の高いピースが複数存在する状況でも余裕時間が短ければ確率  $p$  は変化しない。その結果、低順位セットで選択されず残った希少性の高いピースを保持するピアに要求が集中し、そのピースに再生が到達した際再生途切れ時間が発生するという問題が残っている。

### 3. 想定環境

#### 3.1 P2P ストリーミング環境

本章では、本論文で想定する P2P ストリーミング環境について説明する。

図 3.1 に示すように、P2P 環境はあるコンテンツを共有するピアとそのネットワークを管理するサーバによって構成される。サーバは、P2P ネットワークに参加しているピアの通信速度とコンテンツの取得状況を管理している。サーバはデータを配信せず、P2P ネットワークを管理するだけであるため通信負荷が小さい。各ピアは定期的にサーバにアクセスし、P2P ネットワークに参加しているピアの情報を取得する。オリジナルのコンテンツを保持するピアは

最初 1 つだけである。ピアはまず視聴するコンテンツの配信サービス元を Web ページなどから調べ、データの情報とサーバのアドレスを取得する。コンテンツを視聴したいときは、サーバに接続してピースを保持するピアのリストを取得する。ピアはピアリストを参照して、通信相手のピアを選択しピースを受信する。ピースの受信が完了すると、そのピースを再生できる。これは、BitTorrent と同様の環境であり、現実的な想定である。

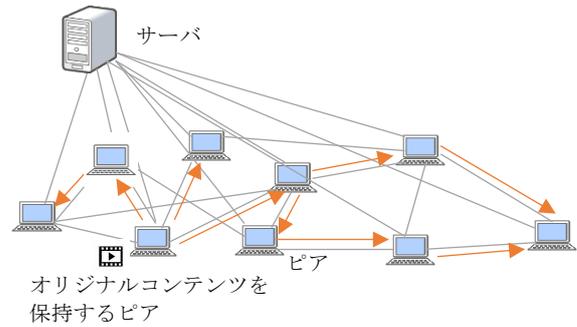


図 3.1 P2P ストリーミング環境

#### 3.2 ピースの選択

P2P ストリーミング環境において、ピアは接続するピアを選択した後、サーバからピアが保持するピースの情報を取得し、必要なピースを受信する。ピアがピースを受信する順序は、再生途切れ時間に影響を与える。たとえば、P2P ネットワーク内の数が少ないピースを保持するピアに対して多くのピアが受信要求する場合、ピースの受信速度は低下する。また、ピアの通信負荷を分散させるためピアあたりの同時に通信可能なピア数は制限されており、各ピアは通信可能なピアにしかピースを送信できない。制限数以上の受信要求が発生する場合、他のピアが受信を完了するまでピースの受信を待機しなければならない。

#### 3.3 コンテンツの再生

扱うデータは映画やドラマなどのコンテンツである。データが音楽ライブやスポーツ中継のような生放送の場合、ピアはあらかじめデータを受信できないため、配信されるコンテンツは配信開始時点でファイルとして完成しているものとする。コンテンツは  $n$  個のピースに分割される。本研究では、ピアはコンテンツの先頭ピースを受信し終えた時点で、コンテンツを先頭からピース単位で再生するものとし、早送りや巻き戻しは行わない。またコンテンツの配信を効率的に行うために、再生後のピースもすべてキャッシュする方式を想定する。

図 3.2 に、ピアがピースを受信し、それを再生する様子を示す。図の上段は、コンテンツを要求してからピースを受信する様子を表す。下段は、受信したピースを一定の再生レートで再生する様子を示す。各ピースにはピース ID

が割り当てられており、ピアはピースの受信が完了するとそれを再生できる。しかし、再生開始までピースを受信できない場合、そのピースの受信が完了するまでコンテンツの再生が途切れる。本論文では、最初のピースを受信するまでの時間とコンテンツの再生中に発生する途切れ時間の和を再生途切れ時間と定義する。ピアはコンテンツの再生を終えると、P2P ネットワークから離脱する。

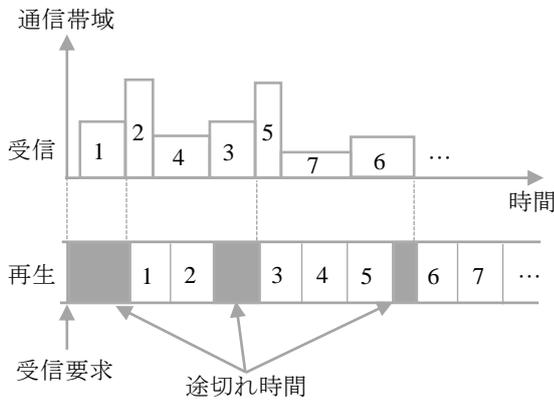


図 3.2 コンテンツ再生の様子

## 4. 提案手法

### 4.1 提案手法の概要

本研究では、P2P ストリーミング環境において再生途切れ時間を短縮する BICS (BIS + Change of the Scarcity) を提案する。BICS 方式では P2P ネットワーク内のピースの希少性の変化を考慮して P2P ネットワーク内に希少性の高いピースが生じたときそのピースの選択確率を高める。具体的には、P2P ネットワーク内の各々のピースを保持しているピア数が図 4.1 のような状況の場合、優先セット内のピースは平均的にそのピースを保持しているピアが多く各々のピースは希少性が低く要求先に余裕がある。しかし、低順位セット内には保持しているピアが少ない希少性の高いピースが存在する。BIS 方式では優先セットと低順位セットの選択確率  $p$  は一定のため図 4.1 のような優先セット内のピースは要求先のピアが多く低順位セットは要求先のピアが少ないピースが複数存在する状況でも確率  $p$  で優先セットからピースを選択する。そのためコンテンツ後方のピースが拡散されないまま再生が進み再生がコンテンツ後方に到達したとき、希少性が高いものが複数残る。その希少性の高いピースの受信を行うとき他のピアと要求先のピアが競合し受信待ちになる。その結果、再生がそのピースに到達し再生途切れ時間が発生する可能性が考えられる。

提案方式では、図 4.1 の状況で優先セットと低順位セットの選択確率  $p$  を変動させ低順位セットの選択確率を高める。そして、後々再生途切れの因子となるピースを先に受信することで将来発生する再生途切れ時間を回避する。

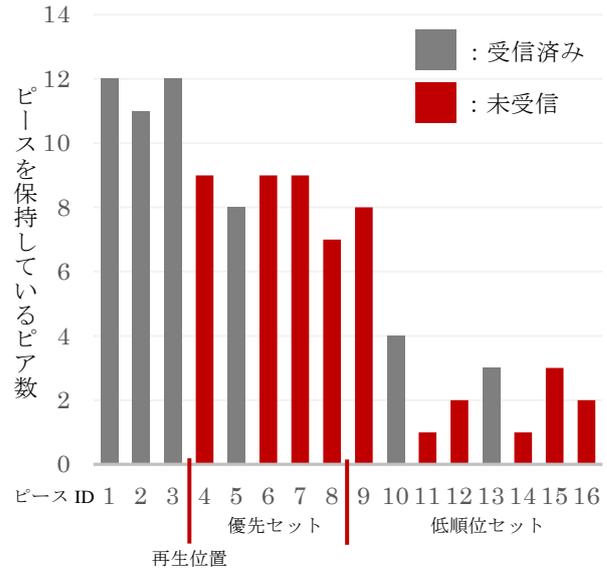


図 4.1 P2P ネットワーク内のピースの状況

### 4.2 BICS (BIS + Change of the Scarcity) 方式

BICS 方式では、BIS 方式と同様に受信のピースを優先セットと低順位セットの2つのセットに区別する。優先セットから受信ピースを選択する場合 BIS 方式で算出された重要度のピースを選択して受信し、低順位セットから受信ピースを選択する場合も BIS 方式と同様にレアレストファスト方式を用いて受信ピースを選択する。また、4.1 節で述べたように BICS 方式では優先セットと低順位セットの選択確率  $p$  を P2P ネットワーク内の希少性の状況に応じて変動させる。そこで選択確率  $p$  を以下のように定義する。

$$p = \begin{cases} p' & (\alpha < 1) \\ \frac{0.5}{\alpha} + 0.5 & (1 \leq \alpha) \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\alpha = Y_a - T_m \quad (4.2)$$

ここで、 $p'$  は BIS 方式と同様の選択確率、 $\alpha$  は式 (4.2) と図 4.2 で示すように優先セット内のピースを保持しているピア数の平均値  $Y_a$  と低順位セット内のピースを保持しているピア数の中でもっとも小さな値  $T_m$  との差である。また、優先セットの選択確率を下げ過ぎないように少なくとも 50% 以上の確率を保つようにした。この 50% の値は予備実験により最も再生途切れ時間の少ない値を用いた。以上より低順位セット内に希少性が高いピースが生じた場合、低順位セットの選択確率を高めて低順位セットの希少性の高いピースを受信し、後々生じる可能性のある再生途切れ時間を回避する。

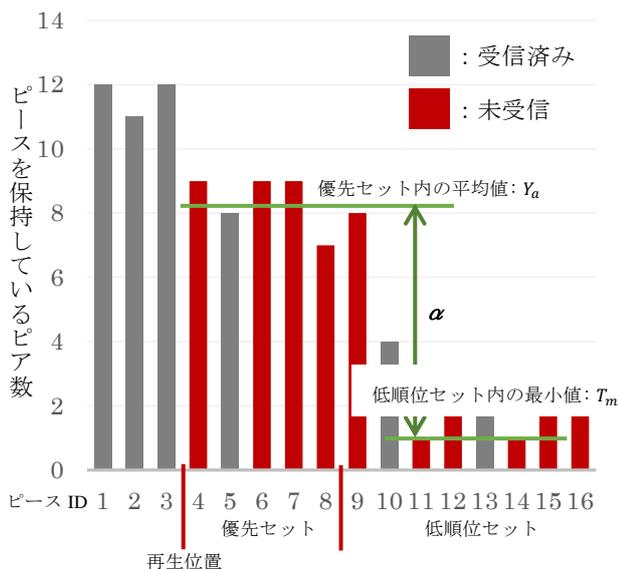


図 4.2 P2P ネットワーク内のピースの状況

## 5. 性能評価

### 5.1 実験概要

性能評価では、BitTorrent のシミュレータである GPS (General P2P Simulator) [11]を用いて実験を行う。GPS とは現実の動作環境に基づいた P2P ネットワークを仮定したイベントドリブン型のメッセージレベル P2P シミュレータである。

有線 LAN でインターネットに繋がった端末で構成する P2P ネットワークを想定し、表 5.1 に示すパラメータ (文献[7]と同様) を用いてシミュレーション実験を行った。各々のピアがコンテンツの視聴を開始する間隔 (ピアの要求到着間隔) は、一定と考える。実験では 400 個のピアがコンテンツのダウンロードを終了するまでをシミュレーションした。また、ピア間の最大通信帯域は全て一定とし、複数のピアと同時に通信する場合は、この最大通信帯域を等分して各ピアに割り当てる。ピアはコンテンツを受信するのに十分な記憶領域を保持するものとし、他のピアにピアを送信するために再生後のピースも保持する。これは、近年のコンピュータがハードディスクのような大容量の記憶容量を保持していることから現実的である。ピアは定期的に通信するピアのリストを更新する。簡単化のため、1つの P2P ネットワークでは、1つのコンテンツが共有されるものとする。ピアはコンテンツを再生終了後、P2P ネットワークから離脱する。P2P ストリーミング環境では、再生途切れ時間は性能評価の重要な基準であるため、平均途切れ時間について評価を行う。

P2P ストリーミング環境は、比較的アクセスが多いコンテンツの配信を前提にしていると考えられる。そして、ピアの要求到着間隔が小さい場合同じピアを選択するピア

が複数生じるので 4 章で述べたように提案方式と BIS 方式に性能の差がみられると考えられる。このことから、BIS 方式と提案方式の平均途切れ時間の比較をピアの要求到着間隔をパラメータとして用いて評価する。

また、確率  $p$ 、優先セット  $k$ 、重み係数  $c$ 、確率  $p_f$ 、再生余裕定数  $T_b$  は文献[7][8]で示されている条件で再生途切れ時間が最短になるように与えた。

表 5.1 実験パラメータ

パラメータ	値
コンテンツ長	2700[秒]
ビットレート	2[Mbps]
ピースサイズ	1024[Kbyte]
オリジナルコンテンツ数	1[個]
ピア数	400[個]
最大通信帯域	8[Mbps]
同時に通信可能なピア数	4[個]
通信ピアの切り替え間隔	10[秒]
確率 $p$	80[%]
優先セット $k$	10[%]
重み係数 $c$	0.8
確率 $p_f$	80[%]
再生余裕定数 $T_b$	100[秒]

### 5.2 実験結果

ピアの要求到着間隔が 5 秒から 40 秒まで 5 秒ずつ異なる場合の 400 個のピアがコンテンツ受信するまでの再生途切れ時間の平均値の変化を図 5.1 に示す。また、負荷の軽い条件であるピアの要求到着間隔 40 秒の各ピアが受信完了するまでの再生途切れ時間の平均値の変化を図 5.2 に示し、負荷の重い条件であるピアの要求到着間隔 5 秒の再生途切れ時間の平均値の変化を図 5.3 に示す。

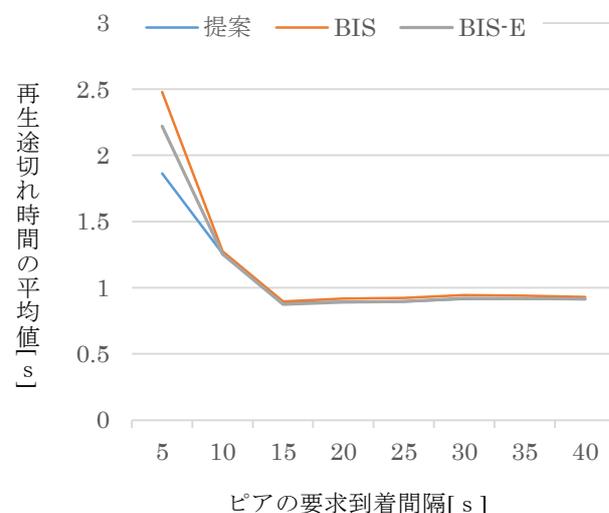


図 5.1 ピアの要求到着間隔の影響

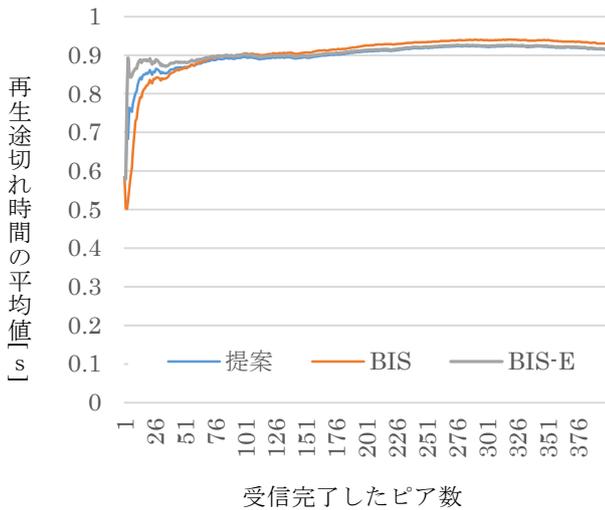


図 5.2 ピアの要求到着間隔とピア数の影響

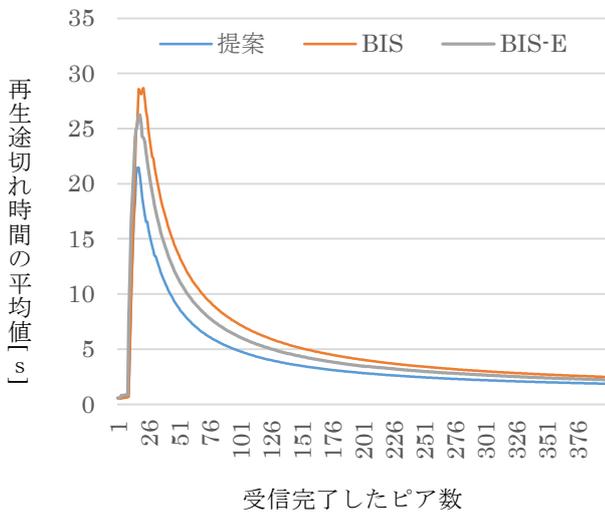


図 5.3 ピアの要求到着間隔とピア数の影響

## 6. 考察

シミュレーション実験よりピアの要求到着間隔が変化すると、再生途切れ時間が変化することがわかる。また、図 5.3 から負荷が高い場合 20 個程度のピアが受信完了した際の再生途切れ時間の平均値がどの方式でも長いことがわかる。これは、コンテンツをまだ受信完了していないピアがコンテンツを受信完了しているピアに比べて多いことから生じたと考えられる。また、希少性の高いピースを保持しているピアに要求が集中しそこで受信待ちが生じ再生途切れ時間が発生したと考えられる。

図 5.1, 図 5.2 の 100 個程度のピアが受信完了した以降、また図 5.3 において提案方式が BIS 方式より再生途切れ時間を短縮している。図 5.1 より 400 個のピアがコンテンツを受信完了した際の平均の途切れ時間は、どの負荷の状況でも提案方式が優れていた。中でも要求到着間隔が 5 秒の場合、BIS 方式に比べ 24.7% 短縮できた。図 5.2 より負荷

が軽いときは 20 個のピアが受信完了した状況では提案方式が再生途切れ時間の平均値が長い。しかし、400 個のピアが受信完了した状況で BIS 方式より提案方式が再生途切れ時間が短いことから低順位セットの選択確率を高めることで希少性の高いピースを減らすことができ後々その希少性の高いピースによって起こる再生途切れ時間を回避できたと考えられる。そして図 5.3 より、ピアの要求到着間隔が 5 秒の場合、18 個のピアがコンテンツ受信完了した時点での再生途切れ時間の平均値を BIS 方式に比べて 24.8% 短縮できた。また、BIS-E 方式も BIS 方式より再生途切れ時間を短縮できているが、提案方式の方が再生途切れ時間が短い。そこでそれぞれの確率  $p$  の制御方式から、再生に余裕ができてから確率  $p$  を制御する BIS-E 方式より、ピースの受信に余裕ができてから確率  $p$  を制御する提案方式の方が確率  $p$  への対処が早いと考えられ再生途切れ時間をより短縮できたと考察する。また、全体的に再生途切れ時間の値が小さいことからより再生途切れ時間が発生しやすい環境でのシミュレーションが必要だと考えられる。

## 7. おわりに

本論文では、P2P ストリーミング環境において、コンテンツ再生中の途切れ時間を短縮するためのピースの選択方式を提案した。BIS 研究の一つにコンテンツの再生位置付近のピースを優先して選択する BIS 方式がある。しかし、再生位置から離れたピースは、希少性が高いにもかかわらず選択されにくい問題があった。本研究の提案の特徴は、再生位置付近以降の後々再生途切れ時間を発生させる因子と考えられる希少性の高いピースが発生した際状況に応じてその希少性の高いピースを優先して選択し再生途切れ時間を短縮することである。

提案方式の有効性を評価するために、ピアの要求到着間隔をパラメータとして用いてシミュレーションを行った。その結果、P2P ネットワーク内のピースの希少性の変化を考慮し再生位置付近とそれ以降のピースの選択確率を制御することで BIS 方式より再生途切れ時間を短縮できていることを確認した。例えば、コンテンツを受信するピアの要求到達間隔が 5 秒の場合、提案方式は BIS 方式より 24.7% 再生途切れ時間の平均値を短縮することができる。また、提案方式と同様に確率  $p$  を制御し再生途切れ時間を短縮する BIS-E 方式よりも 16.1% 短縮できた。

今後の課題として、複数コンテンツを配信する環境や、ユーザの途中離脱を考慮した評価、再生位置をとばすなどユーザの操作を考慮した場合での再生途切れ時間の短縮する方式を考えている。

**謝辞** 本研究の一部は JSPS 科研費 25330115 および 16H02813 の助成を受けたものである。また、本研究の一部は東北大学電気通研究所における共同プロジェクト研究の

助成によるものである。

## 参考文献

- [1] 情亀井 聡, 森 達哉, 大井 恵太:” P2P ファイル共有の実態と課題 トラヒック計測・設計・制御・管理法の確率に向けて”, 電子情報通信学会技術研究報告. CQ, コミュニケーションクオリティ Vol.103, No.178, pp.39-46, 2003.
- [2] 江崎 浩:” P2P 教科書”, インプレス, 2007.
- [3] Vratonjić, N., Gupta, P., Knežević, N., Kostić, D. and Rowstron, A.: “Enabling DVD-like features in P2P video-on-demand systems,” Proc. ACM Workshop on Peer-to-peer Streaming and IP-TV 2007, pp.329-334, 2007.
- [4] Choe, Y.R., Schuff, D.L., Dyaberi, J.M. and Pai, V.S.: “Improving VoD server efficiency with bittorrent,” Proceedings of the 15th ACM international conference on Multimedia, pp.117-126, 2007.
- [5] Zhang, X., Liu, J., Li, B. and Yunn, T.-S.P.: “CoolStreaming/DoNet: A data-driven overlay network for efficient live media streaming,” Proc. INFOCOM’05, Vol.3, pp.2102-2111, 2005.
- [6] 義久智樹, 西尾章治郎: “端末伝送型インターネット放送における再生中断時間短縮手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.9, pp.2340-2349, 2009.
- [7] 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再生途切れ時間短縮方式”, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1045-1054, 2011.
- [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除手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.11, pp.3008-3017, 2011.
- [9] BitTorrent: <http://www.bittorrent.com/>
- [10] Vlavianos, A., Iliofotou, M. and Faloutsos, M.: “BiToS: Enhancing BitTorrent for Supporting Streaming Applications,” Proc. INFOCOM’06, pp.1-6, 2006.
- [11] Yang, W. and Abu-Ghazaleh, N.: “GPS: A General Peer-to-Peer Simulator and its Use for Modeling BitTorrent,” 13th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, pp.27-29, 2005.